



Effect van de zuivering van middeldiep gewonnen grondwater op de biologische stabiliteit van het drinkwater

Onderzoek bij wpb Nuland (Brabant Water)

BTO 2011.021
Juli 2011

Effect van de zuivering van middeldiep gewonnen grondwater op de biologische stabiliteit van het drinkwater

Onderzoek bij wpb Nuland (Brabant Water)

BTO 2011.021
Juli 2011

© 2010 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.

Colofon

Titel

Effect van de zuivering van middeldiep gewonnen grondwater op de biologische stabiliteit van het drinkwater

Projectnummer

B111684

Onderzoeksprogramma

Waterbehandeling

Projectmanager

Jan Post

Opdrachtgever

CvO

Kwaliteitsborger(s)

Maarten Nederlof, Emile Cornelissen, Stephan van de Wetering (Brabant Water)

Auteurs

Robin van Leerdam, Wolter Siegers, Peter van Dinther (Brabant Water)

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

Voorwoord

Dit rapport is geschreven binnen het BTO thema “Biologische Stabiliteit” dat loopt van 2009 tot en met 2011. Hieraan nemen de programmalijnen Waterbehandeling, Microbiologie en Waterinfrastructuur aan deel en het thema is begeleid door een themabegeleidingsgroep met vertegenwoordigers van Nederlandse en Vlaamse waterleidingbedrijven, die in het BTO participeren.

Eén van de onderzoeken vanuit de programmalijn Waterbehandeling vond plaats op productiebedrijf Nuland en heeft geleid tot dit rapport. De auteurs danken Brabant Water en met name Sikko Hempenius voor de samenwerking tijdens het onderzoek.

Samenvatting

Inleiding

Op waterproductiebedrijf (wpb) Nuland van Brabant Water is van 25 maart tot en met 30 augustus 2010 onderzoek uitgevoerd naar de biologische stabiliteit van het water in de zuivering. Wpb Nuland bestaat uit twee zuiveringen: een zuivering voor het middeldiep gewonnen grondwater en een zuivering voor het diep gewonnen grondwater, die elk weer uit vier zuiveringsstraten bestaan. Het onderzoek richtte zich met name op de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater, omdat onderzoek uit het verleden (Van der Wielen en Van der Kooij, 2008) heeft aangetoond dat het geproduceerde water uit deze zuivering het minst biologisch stabiel is. De zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater bestaat uit een beluchtungs- en ontgassingstoren (BOT), voorfiltratie, nafiltratie (beide snelfilters), actieve koolfiltratie (AKF) en UV-desinfectie. De UV-desinfectie werd tijdens het onderzoek niet gebruikt. De gehele zuivering van wpb Nuland wordt discontinu bedreven met vier tot zeven uur stilstand in de nacht. Voor het onderzoek is de onderzochte straat (straat 1) zoveel mogelijk continu bedreven in verband met continue bemonsteringen.

Het doel van het onderzoek is de oorzaak te achterhalen en het begrijpen van de minder biologisch stabiele situatie en de hoge biofilmvormingssnelheid (BVS) van met name de zuiveringsstraat met het middeldiep gewonnen grondwater. Omdat uit het onderzoek van Goulier e.a. (2009) bleek dat na ultrafiltratie van het reinwater van wpb Nuland de biologische stabiliteit sterk verbeterde, wordt in het onderzoek veel aandacht besteed aan de rol van deeltjes in de zuivering op de biologische stabiliteit. Hierbij worden deeltjes gedefinieerd als alle materie die tegengehouden wordt door ultrafiltratie, die materie kan dus ook bestaan uit biomassa.

Verwijdering ijzer, ammonium en mangaan in voorfilter en nafilter

Het voorfilter in straat 1 van het middeldiep gewonnen grondwater verwijdert met de huidige bedrijfsvoering vooral ijzer. De ijzerconcentratie wordt teruggebracht van circa 6 mg/l naar 0,1 mg/l. Dit is nog boven de bedrijfsnorm van Brabant Water (0,05 mg/l). De ijzerverwijdering vindt vooral plaats in de bovenste halve meter van het filter. In het nafilter wordt ijzer verder verwijderd tot onder de bedrijfsnorm.

Ammonium (circa 1 mg/l) wordt slechts voor een klein deel (circa 20%) in het voorfilter verwijderd. De overige verwijdering vindt plaats in de bovenste meter van het nafilter tot een concentratie van circa 0,01 mg/l. Hiermee wordt voldaan aan de bedrijfsnorm van Brabant Water van 0,05 mg/l.

Mangaan wordt evenals ammonium in de bovenste meter van het nafilter verwijderd van circa 1 mg/l tot 0,01 mg/l. Hiermee wordt voldaan aan de bedrijfsnorm van Brabant water van 0,02 mg/l.

Er kan worden geconcludeerd dat de onderzochte zuiveringstak van het middeldiep gewonnen grondwater goed functioneert met betrekking tot de verwijdering van ijzer, mangaan, ammonium.

Deeltjes in de zuivering

Door spoelingen van de voorfilters en de BOT is er bijna dagelijks een piek te zien in de deeltjesconcentratie (deeltjes van 1-100 μm) van het voorfiltraat tot circa 5000 ppb (volume) en circa 80.000 deeltjes per milliliter. Deze deeltjes bestaan voornamelijk uit ijzerverbindingen. In het voorfiltraat is er een grote variatie in de deeltjesconcentratie waar te nemen.

Door spoelingen van de nafiltes is er ongeveer om de anderhalve dag een deeltjespiek te zien van maximaal circa 500 ppb (volume) en 30.000 tot 40.000 deeltjes per ml in het nafiltraat. Deze pieken zijn duidelijk lager dan de pieken in het voorfiltraat. Zowel met TILVS als met deeltjestellingen is vastgesteld dat in het nafilter gemiddeld 94% minder deeltjes aanwezig waren dan in het voorfilter. Vanwege de KMnO_4 -dosering voor het nafilter bestaan de deeltjes in het nafiltraat voor een relatief groot deel uit mangaan (gemiddeld 12%). Op andere plekken in de zuivering is dit 1% of minder.

De mediane deeltjesconcentraties (deeltjes van 1-100 μm) in het nafiltraat en AKF-filtraat zijn vrijwel aan elkaar gelijk (circa 1-4 ppb volume). Doordat het AKF effectief deeltjespieken uit het nafiltraat verwijdert, is de gemiddelde deeltjesconcentratie in het AKF-filtraat wel lager. Deeltjespieken in het AKF-filtraat (concentraties < 100 ppb vol en < 700 deeltjes per ml) komen vrij na het stopzetten en weer opstarten van de filterstraat. In het AKF-filtraat is het NPOC (niet vluchtig organisch koolstof) duidelijk de grootste fractie (gemiddeld 37%). Dit is vermoedelijk een gevolg van de uitspoeling van biomassa of

organisch stof uit het AKF, maar ook uitgespoelde kooldeeltjes kunnen hier onderdeel van zijn. Resterende ijzer- en mangaandeeltjes worden door het AKF-filter effectief verwijderd. Deeltjespieken in het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging zijn laag (< 5 ppb vol, < 300 deeltjes per ml) vergeleken met het aantal deeltjes in het AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater. Pieken worden veroorzaakt door verschillende bedrijfsmatige acties zoals spoelen van de carry-over filters, aan- en uitschakeling van de filterstraat, spoelen van de BOT, en het opschakelen van distributiepompen. De deeltjespieken (1-100 µm) in het gemengde reinwater zijn over het algemeen kleiner dan 10 ppb (volume) en kleiner dan 1000 deeltjes per ml. Pieken zijn een gevolg van op- of afschakelen van distributiepompen, het wisselen van de transporttak en snelheidswisselingen in de transportleiding af pompstation. De mediane concentratie van het totaal aantal deeltjes in het reine water ligt tussen de 0,8 en 2,0 ppb (volume). Dit is wat ongeveer verwacht mag worden op basis van de mengverhouding van de twee zuiveringen. De vaste stof concentratie (deeltjes > 0,7 µm) in het gemengde reine water, bepaald in het TILVS-concentraat, is gemiddeld wel toegenomen ten opzichte van beide ongemengde stomen. Dit kan een gevolg zijn van opwerveling door bepaalde bedrijfsmatige acties, die niet direct de mediane concentratie verhogen, maar wel pieken in deeltjesconcentraties, die door het TILVS-filter afgevangen worden.

Biologische stabiliteit van de zuivering

In het voorfiltraat van de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater is de BVS vastgesteld op 344 ± 84 pg ATP cm⁻² d⁻¹. Dit is ver boven de streefwaarde voor biologisch stabiel water (10 pg ATP cm⁻² d⁻¹) vanwege de aanwezigheid van verschillende groeibevorderende componenten in het voorfiltraat zoals circa 0,8 mg/l ammonium, 7 mg/l DOC, 60 µg/l ortho-fosfaat, 0,1 mg/l ijzer(deeltjes) en 0,4 mg/l mangaan. De AOC-concentratie voldoet met 10 µg acetaat-C/l wel aan de streefwaarde voor biologisch stabiel water (10 µg acetaat-C/l).

Er waren twee periodes met een sterke groei van de biofilm van het nafiltraat waarin de BVS respectievelijk $9,4 \pm 2,1$ en $17,3 \pm 3,6$ pg ATP cm⁻² d⁻¹ was. De daling van de BVS ten opzichte van het voorfiltraat is vermoedelijk onder meer een gevolg van de verwijdering van ammonium tot circa 0,01 mg/l, ortho-fosfaat tot circa 20 µg/l en ijzer en mangaan tot onder de 0,01 mg/l en een daling van de deeltjesaantallen van meer dan 90% in het nafiltraat. De daling van de ATP concentratie van $16,0 \pm 7,4$ ng/l naar $7,5 \pm 2,6$ ng/l is ook een aanwijzing dat de biologische stabiliteit in het nafiltraat verbeterd is ten opzichte van het voorfiltraat. De AOC-concentratie in het nafiltraat steeg echter tot 20 µg acetaat-C/l, vermoedelijk als gevolg van oxidatie van DOC door KMnO₄-dosering in het voorfiltraat. Gezien de toename van stam NOX is de verwachting dat er goed assimileerbare carbonzuren zijn gevormd na de KMnO₄-dosering die niet geheel in het nafiltraat zijn verwijderd.

De BVS van het AKF-filtraat was in de onderzoeksperiode gemiddeld $3,3 \pm 0,3$ pg ATP cm⁻² d⁻¹. De daling ten opzichte van het nafiltraat hangt vermoedelijk samen met de verdere daling van de DOC-concentratie en fosfaatconcentratie in het AKF-filtraat. Het AKF verwijdert ook de deeltjespieken die na spoelingen van het nafiltraat vrijkomen. Dit speelt mogelijk ook een rol in de daling van de BVS in het AKF-filtraat ten opzichte van het nafiltraat. De BVS in het AKF-filtraat voldoet aan de streefwaarde voor biologisch stabiel water. Een BVS van $3,3 \pm 0,3$ pg ATP cm⁻² d⁻¹ is een veel lagere waarde dan de BVS die in 2008 werd vastgesteld na de UV van de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater ($15,3 \pm 1,2$ pg ATP cm⁻² d⁻¹).

De hoge BVS in het gezuiverde middeldiep gewonnen grondwater zoals gevonden in 2008 kon in dit onderzoek niet worden gereproduceerd. Een verschil met de situatie in 2008 is dat toen de BVS gemeten werd na menging van zuiveringsstraten 3 en 4 van het gezuiverde middeldiep gewonnen grondwater na de UV-installatie. In het huidige onderzoek is de BVS gemeten aan het eind van zuiveringsstraat 1. In 2008 stond de UV-stallatie aan en in het huidige onderzoek niet. De afgestorven biomassa, als gevolg van de UV-behandeling, kan een voedingsbron zijn geweest voor bacteriën, waardoor nagroei en biofilmvorming bevorderd werden. Een tweede mogelijke verklaring voor de lagere BVS in het huidige onderzoek kan de meer continue bedrijfsvoering zijn, waardoor het AKF minder vaak zuurstofarm wordt en er waarschijnlijk minder afgestorven biomassa uitspoelt en er minder vaak deeltjespieken in het filtraat vrijkomen. Beide verklaringen zouden verder onderzocht moeten worden om hier uitsluitsel over te geven.

De AOC-concentratie in het AKF-filtraat is gelijk aan of hoger dan de AOC-concentratie van het nafiltraat. AOC-data uit 2006 en 2007 bevestigen dat na actief koolfiltratie de AOC-concentratie niet of nauwelijks daalt.

De biomassaproductiepotentie (BPP), de AOC-concentratie en de ATP-concentratie van het gezuiverde diep gewonnen grondwater zijn duidelijk lager dan van het gezuiverde middeldiep gewonnen grondwater (na AKF). Dit is een aanwijzing dat het gezuiverde diep gewonnen grondwater biologisch stabiel is dan het gezuiverde middeldiep gewonnen grondwater, wat ook al aangetoond werd door Van der Wielen en Van der Kooij (2008) alhoewel in het huidige onderzoek de BVS niet bepaald is in het gezuiverde diep gewonnen grondwater.

Invloed fosfaat op biologische stabiliteit

In het ruwe middeldiep gewonnen grondwater is circa 500 µg/l totaalfosfaat aanwezig, waarvan het grootste deel in oplossing is (of aanwezig als colloïden < 0,01 µm). Als gevolg van de beluchting in de BOT is het fosfaat na de BOT en in het voorfiltraat voornamelijk aanwezig als (ijzergebonden) deeltjes of colloïden met een deeltjesgrootte tussen de 0,01 µm en 0,45 µm. In de BOT, het voorfilter en het nafiltraat daalt de totaalfosfaat concentratie stapsgewijs met circa 90% ten opzichte van het ruwe water. Het nafiltraat verwijdert effectief fosfaathoudende deeltjes of colloïden groter dan 0,01 µm. In het nafiltraat, het AKF-filtraat (beide middeldiep), in het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en in het reine water is ortho-fosfaat aanwezig in opgeloste vorm (of als colloïden < 0,01 µm).

De ortho-fosfaat concentratie in het reinwater daalt niet na voorbehandeling met een 100 kDa-filter (scheidingsgrens circa 0,01 µm). Dit betekent dat ortho-fosfaat in oplossing is en dat het reinwater daarom na een mogelijke ultrafiltratie (100 kDa) vermoedelijk niet biologisch stabiel wordt als gevolg van de verwijdering van ortho-fosfaat. Tevens bleek uit de analyse van het Hemoflow-concentraat (deeltjes/colloïden > 0,01 µm) dat fosfaat in deeltjes slechts een kleine fractie is (< 10%) van het totale fosfaat in het reine water. Het is daarom de verwachting dat ortho-fosfaat niet de hoofdreden is voor het (tijdelijk) verbeteren van de biologische stabiliteit na UF, zoals aangetoond door Goulier e.a. (2009). Ondanks het feit dat circa 20-30 µg/l ortho-fosfaat vanaf het nafiltraat tot in het reine water in opgeloste vorm (of colloïden kleiner dan 0,01 µm) aanwezig is, hoeft dit niet te betekenen dat het biologisch beschikbaar is. Een deel is mogelijk gebonden aan bijvoorbeeld colloïden en daardoor mogelijk niet biologisch beschikbaar, waardoor gemeten concentraties een overschatting zijn voor de hoeveelheid beschikbaar fosfaat voor bacteriële groei.

Aanbevelingen

Er wordt aanbevolen om te onderzoeken of toepassing van continue bedrijfsvoering in de gehele zuivering de biologische stabiliteit kan verbeteren, omdat de huidige vastgestelde BVS onder continue bedrijfsvoering van de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater beduidend lager is dan in 2008 toen discontinue bedrijfsvoering werd toegepast.

Het onderzoek kan uitgevoerd worden door bijvoorbeeld door een zuiveringsstraat afwisselend continu en discontinu te bedrijven en de biologische stabiliteit vast te stellen met de bij KWR nieuw ontwikkelde Rapid Biofilm Monitor (RBM). Door de continue bedrijfsvoering wordt het AKF minder vaak zuurstofarm/anaeroob en zal er waarschijnlijk minder (afgestorven) biomassa uitspoelen en zullen minder vaak deeltjespieken in het AKF-filtraat vrijkomen. Tevens kan het AKF zich dan ontwikkelen als biologisch actief koolfilter en mogelijk meer AOC verwijderen ten opzichte van de huidige situatie. Om de werking van het AKF verder te onderzoeken wordt aanbevolen om deeltjesaantallen te meten en te karakteriseren in het eerste filtraat van het AKF na het terugspoelen en in het spoelwater. Ook wordt aanbevolen om de biologische stabiliteit vast te stellen van het spoelwater en het eerste filtraat.

Verder wordt aanbevolen om het effect van UV-desinfectie na het AKF op de biologische stabiliteit te onderzoeken. Een belangrijk verschil met het onderzoek van Van der Wielen en Van der Kooij (2008) is dat toen de UV-stallatie aan stond en in het huidige onderzoek niet. Dit zou de daling van de BVS na AKF ten opzichte van 2008 kunnen verklaren.

Vanwege de opmerkelijke stijging van de AOC-concentratie in het nafiltraat ten opzichte van het voorfiltraat wordt aanbevolen om het effect van de KMnO₄-dosering op de samenstelling van het water te bepalen met name het effect op de vorming van AOC.

Afkortingen

AKF	actief koolfilter
AOB	ammoniumoxiderende bacteriën
AOC	assimilable organic carbon
AS	afzettingssnelheid
ATP	adenosinetriphosfaat
BFM	biofilmmonitor
BOT	beluchtungs- en ontgassingstoren
BPP	biomassaproductiepotentie
BTO	bedrijfstakonderzoek
BVS	biofilmvormingsnelheid
DCT	directe celtellingen
DOC	dissolved organic carbon
ICP-MS	inductively coupled plasma mass spectrometer
KG22	koloniegetal bepaald bij 22 °C
KG25	koloniegetal bepaald bij 25 °C
mv	maaiveld
NF	nafilter
NOM	natural organic matter
NPOC	non purgeable organic carbon
wpb	waterproductiebedrijf
TILVS	time integrated large volume sampling
UF	ultrafiltratie
VF	voorfilter

Inhoud

Voorwoord	1
Samenvatting	2
Afkortingen	5
Inhoud	6
1 Inleiding	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Beschrijving en bedrijfsvoering van de zuivering wpb Nuland	8
1.3 Doel	11
1.4 Leeswijzer	11
2 Onderzoeksopzet	12
2.1 Aanpak	12
2.2 Monsternamepunten	12
2.3 Onderzoekperiode en analysepakketten	12
2.4 Analysemethoden	13
3 Resultaten	16
3.1 Inleiding	16
3.2 Beschrijving waterkwaliteit per parameter	16
3.2.1 Chemische parameters	16
3.2.2 Microbiologische parameters	34
3.3 Beschrijving waterkwaliteit per zuiveringsstap	41
4 Discussie	49
5 Conclusies	57
6 Aanbevelingen	59
7 Literatuur	60
8 Bijlages	62
8.1 Bijlage 1: deeltjestellingen	62
8.2 Bijlage 2: ICPMS analyses TILVS- en Hemoflow-concentraat	74
8.3 Bijlage 3: Zuiveringsproces wpb Nuland	77

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Tijdens opslag, transport en distributie van drinkwater kunnen biologische processen optreden die de kwaliteit van het drinkwater verslechteren. Dit kan een toename zijn van ziekteverwekkende bacteriën, een toename van het koloniegetal of de groei van dierlijke organismen of bacteriën uit de coligroep. Dit is ongewenst vanwege volksgezondheid, hygiëne, esthetische en/of technische redenen (Van der Wielen en Van der Kooij, 2008).

In Nederland wordt het drinkwater over het algemeen gedistribueerd zonder een restgehalte van een desinfectiemiddel. Daarom wordt in Nederland gestreeft naar water met een hoge mate van biologische stabiliteit, zodat de nagroei van micro-organismen zo laag is dat er geen problemen ontstaan. In biologisch stabiel water is de concentratie microbiologisch afbreekbare verbindingen zo laag dat vrijwel geen vermeerdering van micro-organismen kan optreden.

In het verleden zijn twee methoden ontwikkeld die samen een indicatie geven van de mate van biologische stabiliteit van het water. De eerste methode is de bepaling van de hoeveelheid gemakkelijk afbreekbaar organisch koolstof (AOC) in het water (Van der Kooij en Hijnen, 1984) uitgedrukt in microgrammen acetaat-C/l drinkwater. Onderzoek naar nagroei van heterotrofe bacteriën in drinkwater heeft aangetoond dat bij AOC concentraties onder de 10 µg acetaat-C/l de vermeerdering van micro-organismen over het algemeen zeer beperkt is (Van der Kooij, 1992).

De biofilmvormingssnelheid (BVS) van drinkwater is de tweede indicator die de mate van biologische stabiliteit aangeeft. Deze wordt vastgesteld door de hoeveelheid ATP in de biomassa op de ringen van een zogenaamde biofilmmonitor periodiek te meten. De BVS (uitgedrukt in pg ATP cm⁻² dag⁻¹) wordt berekend door de helling van (het lineaire deel van) de toename van het ATP-gehalte als functie van de tijd te berekenen (Van der Kooij e.a., 1993, 1997).

Er zijn streefwaarden voor het AOC-gehalte (10 µg acetaat-C/l) en de BVS (10 pg ATP cm⁻² dag⁻¹) opgesteld (Van der Kooij, 1997) waaronder het water als biologisch stabiel wordt beschouwd. Recente inzichten geven echter aan dat als beide streefwaardes gehaald worden, dit niet altijd een garantie biedt voor biologisch stabiel water, maar dat dit van nog meer facetten afhankelijk is.

In de afgelopen jaren zijn er verschillende onderzoeken uitgevoerd naar de biologische stabiliteit van het drinkwater van waterproductiebedrijf (wpb) Nuland van Brabant water (Van der Wielen en Van der Kooij, 2006; Van der Wielen en Van der Kooij, 2008; Goulier e.a. 2009; Siegers e.a., 2010). Bij wpb Nuland wordt zowel middeldiep (35 - 76 m -mv) als diep grondwater (109 - 136 m -mv) gewonnen. In 2006 is er op de zuivering van wpb Nuland nieuwbouw gepleegd (nieuw filtergebouw) om aan alle bedrijfsnormen te kunnen voldoen en omdat de zuivering op leeftijd was.

In de nieuwe zuivering wordt het middeldiepe grondwater apart gezuiverd van het diepe grondwater. Door het verschil in waterkwaliteit tussen middeldiep en diep gewonnen grondwater (zie bijvoorbeeld Van der Wielen en Van der Kooij, 2008) zijn de zuiveringsprocessen ook verschillend voor beide watertypen.

Door de scheiding van beide watertypen en een andere mengverhouding van gezuiverd middeldiep en gezuiverd diep water werd verwacht dat de biologische stabiliteit van het afgeleverde water zou verbeteren. Na ingebruikname van de nieuwe zuivering van wpb Nuland werd echter geen afname van de *Aeromonas*-aantallen in het voorzieningsgebied waargenomen, zelfs niet nadat het hele voorzieningsgebied was schoongemaakt volgens de standaardprocedure van Brabant Water. Tevens werden in 2006 en 2007 relatief hoge ATP-concentraties in het voorzieningsgebied van Nuland waargenomen. Hieruit bleek dat de biologische stabiliteit van het water in het voorzieningsgebied niet is verbeterd na ingebruikname van de nieuwe zuivering.

In 1995/1996, voor de verbouwing van wpb Nuland, is de biofilmvormingssnelheid (BVS) van het reinwater vastgesteld op 13,3 pg ATP cm⁻² d⁻¹. In 2007 en 2008 is de BVS nogmaals bepaald. In 2007 werd de BVS-waarde van het reinwater vastgesteld op 17,6 pg ATP cm⁻² d⁻¹. In 2008 lag de BVS-waarde van

het gezuiverde diepe grondwater onder de steefwaarde van 10 pg ATP cm⁻² d⁻¹ terwijl de BVS-waarde van het middeldiep gezuiverde grondwater 15,3 pg ATP cm⁻² d⁻¹ was. Beide BVS-waarden waren echter duidelijk lager dan de BVS-waarde van het gemengde reinwater: 38,7 pg ATP cm⁻² d⁻¹ (Van der Wielen en Van der Kooij, 2008). Deze relatief hoge BVS-waarde leidt mogelijk tot nagroei in het distributienet (mogelijk *Aeromonas* en/of dierlijke organismen) en in binneninstallaties (mogelijk *Legionella*). Ondanks dat de zuivering in 2007 en 2008 op dezelfde manier bedreven werd, zijn er toch grote verschillen te zien in de BVS van het reinwater.

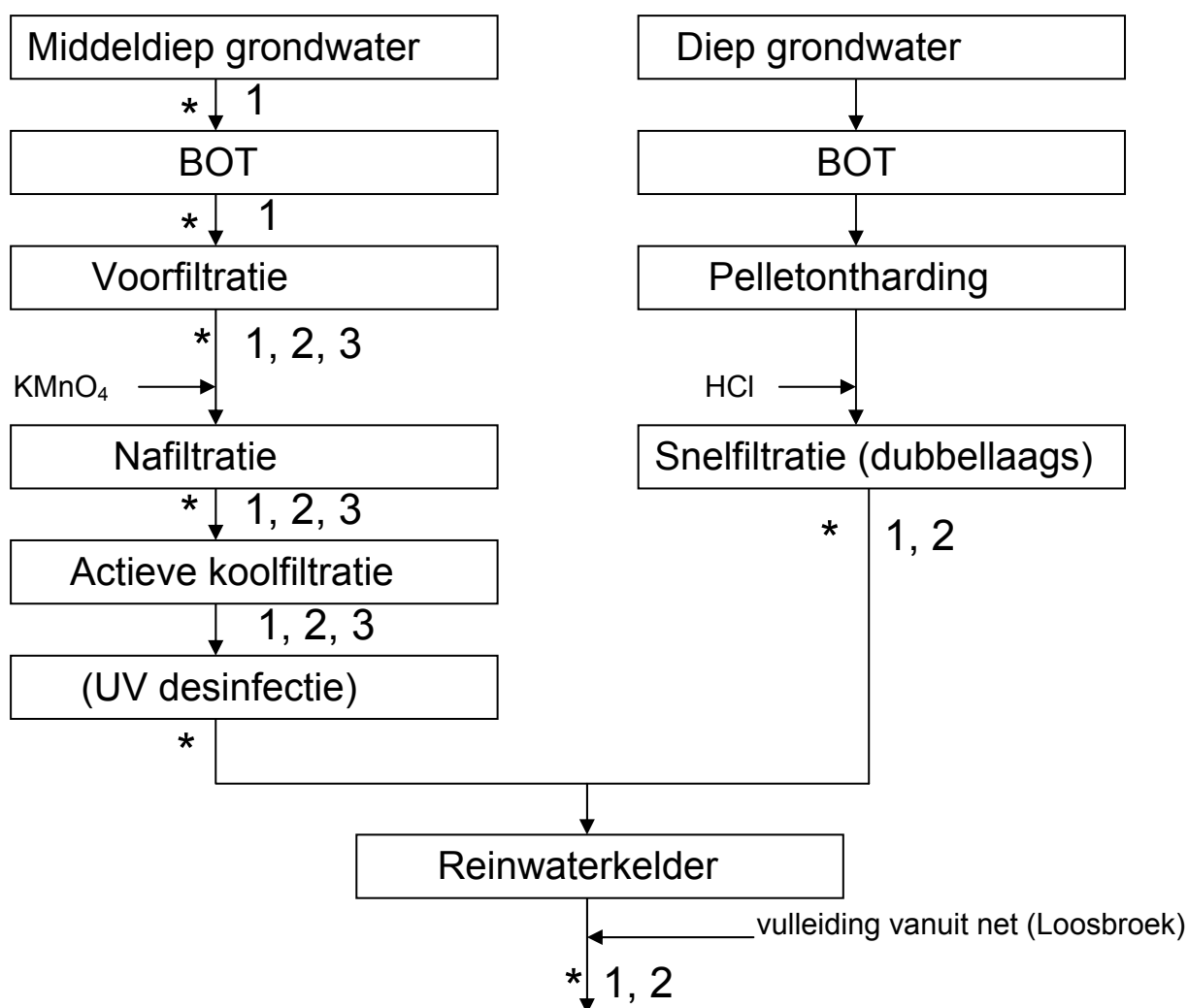
Van der Wielen en Van der Kooij (2008) stelden drie hypothesen op die de hogere BVS-waarde van het gemengde reinwater verklaren:

- de groei van micro-organismen in één van de afzonderlijke gezuiverde grondwatertypen is gelimiteerd door één of meerdere nutriënten die wel aanwezig is/zijn in het andere gezuiverde grondwatertype (al dan niet gebonden aan deeltjes);
- nutriënten die de groei van micro-organismen limiteren komen door desorptie van colloïden vrij tijdens het verblijf in de reinwaterkelders;
- een combinatie van bovenstaande.

Uit BTO onderzoek bleek dat de biofilmvormingssnelheid van het gemengde reinwater na ultrafiltratie (UF) laag is (Goulier e.a., 2009). De BVS van het reine water (38,7 pg ATP cm⁻² d⁻¹) daalde tot 1,0 pg ATP cm⁻² d⁻¹ na behandeling met ultrafiltratie. Ultrafiltratie had een gering effect (circa 20% daling) op de NOM-concentratie van het water, maar wel op de concentratie deeltjes en colloïden. Deeltjes worden hier breed gedefinieerd als alle componenten die door het UF-membraan worden tegengehouden (groter dan circa 0,01 µm). Aan deeltjes gebonden nutriënten en sporenelementen, die micro-organismen nodig hebben voor hun groei, zouden dus voor de mindere biologische stabiliteit van het reinwater verantwoordelijk kunnen zijn. Ook levende en dode micro-organismen worden verwijderd met UF en dit zou ook een reden kunnen zijn voor een (tijdelijke) verbetering van de biologische stabiliteit. Ultrafiltratie zou theoretisch op het gemengde reinwater als additionele zuiveringsstap kunnen worden toegevoegd, zodat de biologische stabiliteit van het reinwater van wpb Nuland sterk verbeterd wordt. De uitdaging is echter om te onderzoeken welke deeltjes die door UF verwijderd worden, verantwoordelijk zijn voor de mindere biologische stabiliteit van het water en om vervolgens te onderzoeken of door verbetering van de bestaande zuivering de biologische stabiliteit verbeterd kan worden. In tweede instantie kan gedacht worden aan een (goedkoop) polishing filter. Toepassing van UF is als additionele zuiveringsstap is relatief duur en biedt geen garantie voor een langdurend effect. De BVS-waarde in het leidingnet zou weer hoger kunnen worden door afgifte van stoffen door het leidingnet en door afbraak van NOM dat na behandeling nog aanwezig is in de reinwaterkelder en het leidingnet.

1.2 Beschrijving en bedrijfsvoering van de zuivering wpb Nuland

De zuivering van wpb Nuland (Figuur 1 en Bijlage 3) wordt discontinu bedreven. Per dag is er vier tot zeven uur stilstand op zowel de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater (vier straten) als op de zuivering van het diep gewonnen grondwater (vier straten). De straten worden discontinu bedreven volgens een zogenaamd stratenbedrijf. Afhankelijk van het kelderniveau schakelen straten bij of af. Tijdens de onderzoeksperiode werd één van de straten van het middeldiep gewonnen grondwater, de onderzochte straat 1 (zie Bijlage 3) echter zoveel mogelijk continu bedreven om continue metingen niet te verstoren. Brabant Water overweegt om over te gaan op continue bedrijfsvoering van de gehele zuivering.



Figuur 1. Zuiveringsproces van wpb Nuland (* is monsterpunt voor analyse in meetpakket, 1, 2 of 3)

Middeldiep gewonnen grondwater

De zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater heeft een minimale capaciteit van 165 m³/uur per straat (er zijn vier straten). Bij onderhoud aan een andere straat stijgt het debiet tot maximaal circa 195 m³/uur. De eerste zuiveringsstap van het middeldiepe grondwater is beluchting in een beluchtings- en ontgassingstoren (BOT). Hierin wordt methaan verwijderd, de pH verhoogd door CO₂-ontgassing en wordt het water verzadigd met zuurstof. De looptijd van de BOT is 60 uur. Hierna treedt het spoelprogramma in werking dat circa 40 minuten duurt.

Na de BOT volgt snelfiltratie (voorfilter). Het voorfilter wordt om de 33 uur teruggespoeld door middel van water- en lucht-waterspoelingen (circa 30 minuten). Bij de opstart na een spoeling is er circa tien minuten inwerktijd om uitspoeling van grote hoeveelheden deeltjes te voorkomen. Het inwerkwater wordt afgevoerd naar de spoelwatervijver. Na het voorfilter wordt kaliumpermanganaat (KMnO₄) aan het water toegevoegd (tot een additionele concentratie van 0,7 mg/l mangaan in het water) om ijzer-DOC-complexen te oxideren om in het nafilter het ijzergehalte verder te kunnen verlagen. Het water gaat vervolgens door een tweede snelfilter (nafilter). Het nafilter wordt om de 40 uur teruggespoeld door middel van water- en lucht-waterspoelingen (circa 30 minuten). Hiervoor geldt ook een inwerktijd van circa tien minuten.

De volgende stap is de actieve koolfiltratie (AKF). Elk van de vier actieve koolfilters voor het middeldiep gewonnen grondwater wordt in principe één keer per jaar geregenereerd. Dit betekent dat elke drie maanden het actieve kool uit één van de AKF's geregenereerd wordt. Na een looptijd van circa 54 dagen wordt een bed teruggespoeld met water om het bed in de juiste conditie te houden en om dierlijke organismen te verwijderen. Er wordt gespoeld tot een bedexpansie van 20%. De benodigde snelheid

hiervoor is circa 20 m³/uur. Tijdens de onderzoeksperiode (april tot en met augustus 2010) is het AKF van de onderzochte zuiveringsstraat (straat 1) drie maal teruggespoeld: 22 april, 22 juni en 19 augustus. Tijdens de uren dat de zuivering 's nachts uit bedrijf is, worden de AKF's gerecirculeerd met reinwater (circa 30 m³/uur per koolfilter). Indien slechts één AKF op recirculeren staat, is de recirculatiestroom circa 60 m³/uur. De zuurstofconcentratie in het AKF-filtraat kan dan dalen van 5-6 mg/l tot onder de 1 mg/l.

De onderzochte straat (straat 1), en ook het AKF in deze straat, is tijdens de onderzoeksperiode zoveel mogelijk continu bedreven maar zeer sporadisch kwam stilstand in straat 1 ook voor in de nacht als gevolg van schakelingen tussen de verschillende staten via het zogenaamde stratenbedrijf. Tijdens deze sporadische stilstand in de nacht en tijdens filterspoelingen werd het AKF gerecirculeerd met reinwater.

Tenslotte is er nog de mogelijkheid tot UV-desinfectie, maar Brabant Water maakt hier momenteel alleen gebruik van tijdens een korte periode na ingebruikname van nieuwe of geregenereerde kool. De reden dat gestopt is met UV-desinfectie is dat de KG22-getallen in het AKF-filtraat vrijwel altijd kleiner waren dan 10 kve/ml. Bovendien stimuleerde de UV-straling algengroei. Daarom stond ook tijdens de onderzoeksperiode (april tot en met augustus 2010) de UV-installatie uit.

Het ijzerhoudende spoelwater van de BOTs, snelfilters en koolfilters wordt behandeld in een spoelwaterbehandelingsunit. Aan het spoelwater wordt FeCl₃ gedoseerd en het wordt daarna in een bezinkbak gepompt. Na bezinking wordt het spoelwater geloosd op het oppervlaktewater.

Diep gewonnen grondwater

Het diepe grondwater wordt eveneens belucht en ontgast in een BOT. Daarna wordt het water onthard in een pelletontharder, waarvoor kalkmelk wordt gedoseerd. Hierna wordt het water aangezuurd met zoutzuur (HCl) en wordt het over een dubbellaagsfilter (carry-over filter) geleid.

Het gezuiverde middeldiepe grondwater en diepe grondwater wordt gemengd (60:40) en gaat de reinwaterkelders in. Het reine water dat de kelders verlaat, kan vanuit het net (Loosbroek) aangevuld worden. Dat is gemiddeld circa 0,5 % van de hoeveelheid water die het net in gaat. Deze hoeveelheid is afhankelijk van de vraag en van de aanwezige productiecapaciteit.

Het reine water van wpb Nuland moet voldoen aan de eigen bedrijfsnormen van Brabant Water (Tabel 1). Deze zijn soms lager dan de normen in het Waterleidingbesluit.

Tabel 1. Bedrijfsnormen van Brabant Water voor het reine water.

Parameter	Eenheid	Bedrijfsnorm
CH ₄	mg/l	< 0,1 na ontgassen
NH ₄	mg/l	< 0,05
NO ₃	mg/l	< 25
NO ₂	mg/l	< 0,05
Fe	mg/l	< 0,05
Mn	mg/l	< 0,02
HCO ₃	mg/l	> 120
EGV	mS/m	< 80
TOC	mg C/l	< 5
kleur	mg Pt/l	< 10
pH	-	7,9 - 8,3
AOC	µg/l acetaat-C	< 10
KG22	kve/ml	< 100
KG25	kve/ml	< 500

1.3 Doel

Uit het onderzoek van Van der Wielen en Van der Kooij (2008) blijkt dat de BVS van het gezuiverde middeldiep gewonnen grondwater hoger is dan van het gezuiverde diepe grondwater. Het doel van het huidige onderzoek is daarom de oorzaak te achterhalen en het begrijpen van de mindere biologische stabiliteit en hoge BVS van met name de zuiveringsstraat met het middeldiep gewonnen grondwater. Omdat uit het onderzoek van Goulier e.a. (2009) bleek dat na ultrafiltratie van het reinwater de biologische stabiliteit sterk verbeterde, wordt in het huidige onderzoek veel aandacht besteed aan de rol van deeltjes in de zuivering op de biologische stabiliteit. Vragen die in dit onderzoek onderzocht worden, zijn:

- a) Waaruit bestaan de deeltjes (chemisch, microbiologisch, fysisch)?
- b) Waar in het proces worden deeltjes gevormd of komen ze vrij?
- c) Welke deeltjes zijn verantwoordelijk voor de minder biologische stabiele omstandigheden?
- d) Welke aanpassingen (optimalisatie of additionele behandeling) kunnen in het zuiveringsproces worden gedaan om de biologische stabiliteit van water af-productiebedrijf te verbeteren?
- e) Hoe kan door optimalisatie van de bestaande zuivering de verwijdering van relevante deeltjes worden verbeterd?
- f) Wat is het nut en noodzaak om aanvullende zuiveringsstappen te realiseren om deeltjes te verwijderen (ultrafiltratie of alternatieve technieken om deeltjes te verwijderen).

Gelijktijdig met het onderzoek in de programmalijn Waterbehandeling wordt door de programmalijn Waterinfrastructuur onderzoek gedaan naar de biologische stabiliteit af pompstation van wpb Nuland, in het leidingnet van Rosmalen en Den Bosch (dit onderzoek wordt elders gerapporteerd).

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 (Onderzoeksopzet) wordt de opzet van het onderzoek naar de biologische stabiliteit van het water van wpb Nuland en de analysepakketten besproken. In hoofdstuk 3 (Resultaten) wordt eerst de verwijdering of vorming besproken in de zuivering van elke gemeten chemische en microbiologische parameter. Vervolgens wordt de werking van de verschillende zuiveringsstappen van wpb Nuland beschouwd. In hoofdstuk 4 (Discussie) worden de resultaten bediscussieerd en vergeleken met andere onderzoeken. In hoofdstuk 5 worden de conclusies getrokken en uiteindelijk worden er aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek en verbetering van het zuiveringsproces in hoofdstuk 6.

2 Onderzoeksopzet

2.1 Aanpak

In dit onderzoek wordt het functioneren van de zuivering van wpb Nuland geanalyseerd. Er wordt nagegaan welke parameter, zowel chemisch als microbiologisch, in welke zuiveringsstap wordt verlaagd of wordt gevormd om te kunnen begrijpen waardoor de minder biologische stabiele situatie van het water veroorzaakt wordt. De zuivering wordt integraal bekeken en de nadruk ligt op de zuiveringsstraat van het middeldiep gewonnen grondwater.

2.2 Monsternamepunten

Het onderzoek richtte zich met name op de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater (straat 1). Er zijn monsters genomen van het middeldiep gewonnen ruwe grondwater, na de beluchtungs- en ontgassingstoren, na het voorfilter, na het nafilter en na de actieve koolfiltratie. Daarnaast zijn er monsters genomen van het diep gewonnen grondwater na de dubbellaagsfiltratie (straat 11, voor menging met het water uit straat 12) en van het gemengde water na de kelders (uitgaande rein PG1 tak 1) (*Figuur 1*). Het volledige zuiveringsschema is weergegeven in Bijlage 3.

2.3 Onderzoekperiode en analysepakketten

Het onderzoek bij wpb Nuland is uitgevoerd van april 2010 tot en met augustus 2010 en het bestond uit drie meetpakketten.

Meetpakket 1

Op drie tijdstippen, 19 april, 7 juni en 16 augustus 2010, is een bemonstering uitgevoerd op alle zeven in *Figuur 1* aangegeven monsterpunten. Hiermee zijn de volgende analyses uitgevoerd door Aqualab Zuid: opgelost zuurstof, ijzer (II en III), mangaan, ammonium, pH, DOC, kleur, methaan en fosfaat.

Meetpakket 2

Meetpakket 2 werd uitgevoerd op vijf monsterpunten. Het ruwe middeldiepe grondwater en het water na de BOT van het middeldiepe grondwater werden niet meegenomen. Er werden de volgende bepalingen gedaan: Time Integrated Large Volume Sampling (TILVS), Hemoflow, ATP, AOB en BPP. Deeltjestellingen zijn uitgevoerd van 13 t/m 19 april, 7 t/m 11 juni en 16 t/m 20 augustus 2010 (middeldiep grondwater) en 19 t/m 22 april, 14 t/m 18 juni en 23 t/m 27 augustus 2010 (diep gewonnen grondwater en reinwater). De monsternamen voor ATP-, AOB- en BPP-bepalingen vond niet plaats op dezelfde tijdstippen als de monsternamen voor meetpakket 1.

TILVS en Hemoflow zijn gedurende drie periodes over een tijdsduur van vier dagen (maandag tot en met vrijdag) uitgevoerd. Voor het voorfilteraat, nafiltraat en AKF-filtraat was dit 19 tot 23 april, 7 tot 11 juni en 16 tot 20 augustus 2010. Voor het diep gewonnen grondwater en het reinwater was dit een week later, van 26 tot 30 april, 14 tot 18 juni en 23 tot 27 augustus 2010. Omdat er maar drie TILVS- en Hemoflow-filters beschikbaar waren, konden de metingen niet op de vijf monsterlocaties tegelijk uitgevoerd worden.

Meetpakket 3

Meetpakket 3 bestaat uit de BVS-metingen en enkele aanvullende bepalingen. De biofilmmonitoren zijn geplaatst na het voorfilter, na het nafilter en na het AKF van de straat met het middeldiep gewonnen grondwater. Gedurende een periode van vijf maanden, 25 maart tot en met 30 augustus 2010, werden de biofilmmonitoren doorstroomd met water en elf maal per biofilmmonitor werden de ringen bemonsterd. De biomassa op ringen werd geanalyseerd op ATP, ijzer en mangaan, DCT ten behoeve van respectievelijk de bepaling van biofilmvormingssnelheid, ijzer- en mangaanafzettingssnelheid en de groei van cel aantallen. AOC, DOC en BPP zijn twee maal gemeten na achtereenvolgens voorfilter, nafilter en AKF. Een totaaloverzicht van de analyses staat in Tabel 2.

Tabel 2. Monsterlocaties en analyses gedurende de gehele monsterperiode van april tot en met augustus 2010.

Analyse	Monsterpunten middeldiep					Diep	Rein
	Ruwwatertak 1	Na BOT straat 1	Voorfiltraat straat 1	Nafiltraat straat 1	AKF-filtraat straat 1	Diep voor menging straat 11	Uitgaand rein water PG1 tak 1
	NULA-RU-1091	NULA-BO-2301	NULA-VF-4101	NULA-NF-4201	NULA-UV-4411	NULA-NF-4011	NULARW1993
Meetpakket 1							
O ₂	3x	3x	3x	3x	3x	3x	3x
Fe(II)	3x	3x	3x	3x	3x	3x	3x
Fe(III)	3x	3x	3x	3x	3x	3x	3x
Mn	3x	3x	3x	3x	3x	3x	3x
NH ₄	3x	3x	3x	3x	3x	3x	3x
pH	3x	3x	3x	3x	3x	3x	3x
DOC	3x	3x	3x	3x	3x	3x	3x
Kleur	3x	3x	3x	3x	3x	3x	3x
CH ₄	3x	3x	3x	3x	3x	3x	3x
t-PO ₄	3x	3x	3x	3x	3x	3x	3x
o-PO ₄	3x	3x	3x	3x	3x	3x	3x
Meetpakket 2							
TILVS			3x	3x	3x	3x	3x
Hemoflow			3x	3x	3x	3x	3x
deeltjestelling			3x	3x	3x	3x	3x
ATP			4x	4x	4x	4x	4x
BPP			3x	3x	3x	3x	3x
AOB			3x	3x	3x	2x	2x
Meetpakket 3							
BVS			1x	1x	1x		
Fe-AS			1x	1x	1x		
Mn-AS			1x	1x	1x		
AOC			2x	2x	2x	1x	
DCT			3x	3x	3x		

2.4 Analysemethoden

Hemoflow

Hemoflow is de naam van een commercieel ultrafiltratie membraanfilter waarmee in ziekenhuizen rode bloedlichaampjes worden geconcentreerd. Het is echter ook mogelijk om met dit filter gesuspendeerde stoffen, bacteriën of deeltjes in water te concentreren. Hiervoor is door het Microbiologisch Laboratorium van KWR een speciale opstelling ontwikkeld (Veenendaal en Brouwer-Hanzens, 2007). De scheidingsgrens van het UF-filter ligt op 100 kDa, wat ongeveer overeenkomt met 0,01 µm. Door middel van een tank gekoppeld aan een slangenpomp wordt een hoeveelheid water over het membraan geleid. Het concentraat wordt teruggevoerd in de tank. Op deze manier kunnen tot enkele kubieke meters water worden behandeld. Hierna wordt het achterblijvende water en het concentraat in de tank nongmaals over het membraan geleid. Het geconcentreerde water dat in het membraan zit wordt overgebracht in een fles, waarmee de analyses uit meetpakket 2 uitgevoerd zijn. Een deel van de deeltjes (circa 20%) blijft achter op het membraan. Daarom is in het laboratorium het Hemoflow-filter nagespoeld met 200 ml milli-Q water en dat is bij het Hemoflow-concentraat gevoegd. In de huidige experimenten lag de concentratiefactor tussen de 564 en 2196.

TILVS

Voor het bepalen van de massa en de chemische samenstelling van deeltjes in water wordt een deelstroom van het voedingswater over een filter geleid (scheidingsgrens circa 0,7 µm). Het filter wordt voor en na de behandeling gedroogd en gewogen om de depositiemassa te kunnen bepalen, gevolgd door destructie en chemische analyse. TILVS is ontworpen om over langere tijd een watermonster te nemen met een constant debiet. Vanwege de opbouw van een koeklaag op het filter, is een hogere druk noodzakelijk om hetzelfde debiet door het filter te handhaven. De TILVS maakt gebruik van een speciale pomp waarmee het debiet constant gehouden wordt ondanks de drukopbouw.

Vanwege de maximale druk die de pomp kan leveren, wordt vastgesteld, afhankelijk van de gewenste looptijd, welk debiet mogelijk is om zoveel mogelijk deeltjes te kunnen afvangen. Daarnaast heeft het type filtermateriaal invloed op de drukopbouw. In dit onderzoek is er gebruik gemaakt van glasvezelfilters met een min of meer driedimensionale structuur, zodat een langere periode van bemonstering mogelijk is. Bij de analyse van het filter met deeltjes (door destructie gevolgd door de analyse) is een blanco filter geanalyseerd omdat de glasfilters zelf aanzienlijke hoeveelheden metalen bevatten (Siegiers en Raffin, 2007). Het debiet door de TILVS was 2 liter per uur met uitzondering van de TILVS in het voorfiltraat. Hier is 0,5 liter per uur aangehouden, omdat anders het filter te snel verstopt raakte.

Analyse TILVS- en Hemoflow-concentraat

Het TILVS- en Hemoflow-concentraat zijn geanalyseerd op gesuspendeerde stoffen (alleen TILVS), ijzer- en mangaandeeltjes, NPOC (non purgeable organic carbon) en totaal fosfaat (alleen Hemoflow). De gesuspendeerde stoffen in het TILVS-concentraat is bepaald volgens LAM-046, conform Kiwa 1-02-1. IJzer en mangaan zijn kwantitatief gemeten met de ICPMS na salpeterzuurdestructie volgens KWR-methodes LAM-059 en LAM-074. NPOC is gemeten na salpeterzuurdestructie conform ISO 8245 en NEN-EN 1484. Hiermee wordt de concentratie koolstof uit het niet vluchtige organisch stof vastgesteld. De totale hoeveelheid niet vluchtige organisch stof is circa een factor 1,5-2 hoger, aangezien het organisch stof ook nog uit onder meer waterstof, zuurstof en stikstof bestaat.

Daarnaast is er van het TILVS- en Hemoflow-concentraat een semi-kwantitatieve ICPMS-scan gemaakt na salpeterzuurdestructie voor de bepaling van een serie metalen (LAM-059/Kiwa protocol ICP/MS-scan) (Berg, 2010).

De concentratie van verschillende elementen aanwezig in deeltjes $\geq 0,01 \mu\text{m}$ in het Hemoflow-concentraat is bepaald door van de concentratie gemeten met de ICPMS een blanco concentratie af te trekken (de gemiddelde waarde van een bepaald element in de zuivering op die plek) en door daarna te delen door de concentratiefactor van het concentraat.

Deeltjestellingen

Voor de deeltjestellingen is het type Waterviewer van het merk Pamas gebruikt. Water stroomt door een buis en deeltjes worden gescand door een laserstraal. De laserstraal valt op een detectorplaatje dat de straal registreert. De grootte van het deeltje bepaalt de tijd van onderbreking van de laserstraal. De deeltjesteller heeft een meetbereik van 1 tot $100 \mu\text{m}$ en beschikt over acht kanalen. Het aantal kanalen geeft het aantal grootteklassen van de gemeten deeltjes weer (Paas, 2009; Raffin en Teunissen, 2007). Voor de metingen op wpb Nuland is gekozen voor indeling in de volgende klassen: $1-2 \mu\text{m}$, $2-3 \mu\text{m}$, $3-4 \mu\text{m}$, $4-5 \mu\text{m}$, $5-7 \mu\text{m}$, $7-10 \mu\text{m}$, $10-15 \mu\text{m}$ en $> 15 \mu\text{m}$. Elke twee minuten is er een meting gedaan.

Biofilmvormingssnelheid van water

Met behulp van de biofilmmonitor wordt de biofilmvormingssnelheid van water bepaald. Biofilmvorming verhoogt de nagroei in het distributienet en de kans op groei van dierlijke organismen en pathogene bacteriën zoals *Legionella*. Gedurende 150 dagen wordt de biofilmmonitor doorstroomd met het te onderzoeken water zodat een biofilm zich kan hechten op glazen ringen. Periodiek worden deze ringen onderzocht op de aangroei van biomassa. Daarnaast zijn ijzer en mangaan op de ringen bepaald (Veenendaal, 2010; Van der Wielen en Van der Kooij, 2008).

ATP

De ATP-concentratie werd bepaald met KWR huisvoorschrift LMB-055 (detectiegrens $0,05 \text{ ng/l ATP}$) ten behoeve van de ATP-concentratie op de BFM-ring en met met KWR huisvoorschrift LMB-002 (detectiegrens $1,0 \text{ ng/l ATP}$) voor ATP-metingen in water. Monsternamen voor ATP-monsters in water die hoorden bij het meetpakket van de BFM zijn genomen uit een kraantje in de aanvoerleiding naar de BFM.

Overige analyses Laboratorium voor Microbiologie (LMB) van KWR

Biomassaproductiepotentie (BPP) werd uitgevoerd volgens KWR huisvoorschrift LMB-070. Assimileerbaar organisch koolstof (AOC), directe celtellingen (DCT), en ammoniumoxiderende bacteriën

(AOB) werd door LMB uitgevoerd volgens de door Van der Wielen en Van der Kooij (2008) en Veenendaal (2010) beschreven methoden.

Fosfaat

Analyse door Aqualab Zuid

Er zijn verschillende voorbehandelingsmethoden gebruikt bij de fosfaatmetingen. Eén monster wordt niet gefiltreerd, één monster wordt gefiltreerd over een 0,45 µm membraanfilter en één monster wordt gefiltreerd over een 100 kDa ultrafiltratie membraan (scheidingsgrens circa 0,01 µm). De monsters worden niet aangezuurd bij monsternamen. De verwachting is dat het ortho-fosfaatgehalte zonder voorafgaande filtratie groter dan of gelijk is aan het gehalte na voorafgaande filtratie over een 0,45 µm membraanfilter, welk gehalte groter dan of gelijk zal zijn aan het gehalte na voorafgaande filtratie over het 100 kDa ultrafiltratie membraan.

In de monsters wordt volgens de standaard methode van Aqualab Zuid het ortho-fosfaatgehalte vastgesteld. De onderste analysegrens voor ortho-fosfaat is 10 µg/l. Er is drie maal een monsterserie door Aqualab Zuid geanalyseerd. De monsters werden genomen op 19 april, 7 juni en 16 augustus 2010. Er is bemonsterd op alle zeven de monsterpunten van meetpakket 2 (zie *Figuur 1*).

Analyse ortho-fosfaat door KWR

Bij KWR is nog één maal extra op ortho-fosfaat geanalyseerd (monsternamen op 7 september 2010) conform NEN-EN-ISO 6878. De onderste analysegrens voor ortho-fosfaat bij KWR is 1 µg/l. De metingen werden in een 10 cm cuvet uitgevoerd in plaats van in een 1 cm cuvet, zodat de calibratiecurve een factor 10 lager was. Filtratie vond pas na drie dagen plaats in het KWR-laboratorium over 0,45 µm en 100 kDa filters in tegenstelling tot de monsters die naar Aqualab Zuid gingen. Die zijn direct na monsternamen op wpb Nuland gefiltreerd.

Overige analyses Aqualab Zuid

Zuurstof, ijzer (II), ijzer (III), mangaan, ammonium, pH, DOC, methaan en kleur wordt door Aqualab Zuid gemeten volgens hun standaardmethodes. Kleur wordt gemeten ten opzichte van milli-Q water. De Pt-Co schaal is de standaard waarmee de ijklijn wordt gemaakt.

3 Resultaten

3.1 Inleiding

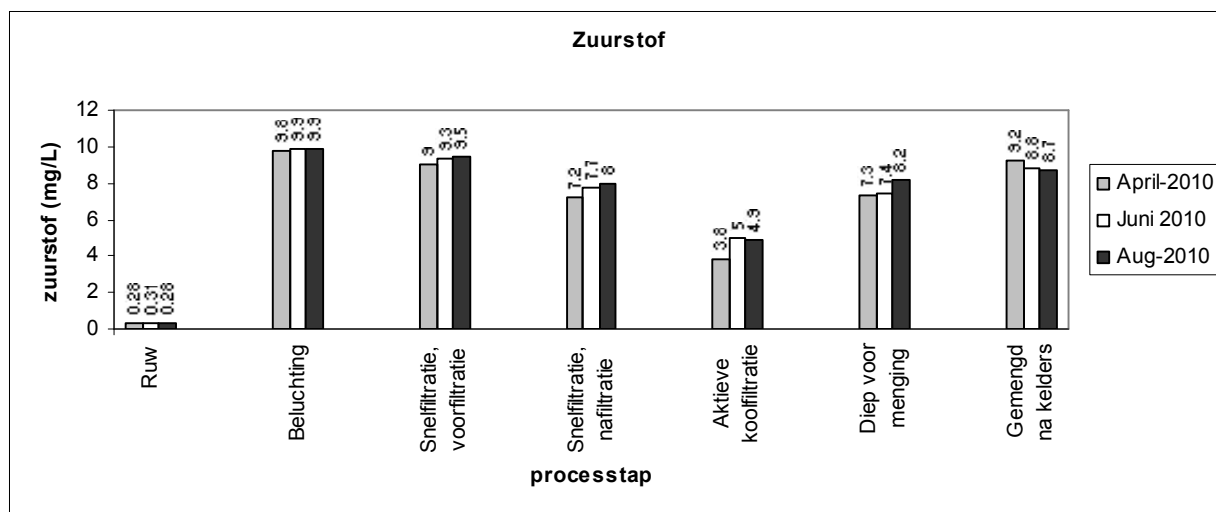
In paragraaf 3.2 wordt per gemeten parameter (zowel chemisch als microbiologisch) beschreven hoe het verloop is in de zuivering. De discussie hierover vindt plaats in paragraaf 3.3 en hoofdstuk 4. In paragraaf 3.3 worden de prestaties van individuele zuiveringsstappen in straat 1 van de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater besproken. Dit zijn de BOT, het voorfilter, het nafilter en het actieve koolfilter. Tevens wordt de kwaliteit van het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en het reine water na de kelders besproken.

3.2 Beschrijving waterkwaliteit per parameter

3.2.1 Chemische parameters

Zuurstof

Het ruwe water is zuurstofarm (0,3 mg/l), maar na de beluchting in de BOT is het water vrijwel verzadigd met zuurstof (10 mg/l). In het voorfilter en nafilter wordt in totaal ongeveer 2 mg/l zuurstof verbruikt en in het actieve koolfilter 3-4 mg/l. Het gezuiverde diep gewonnen grondwater (voor menging) bevat meer zuurstof dan het actieve koolfiltraat (middel diep). Na menging van beide stromen is het water weer (bijna) verzadigd met zuurstof (Figuur 2). De zuurstofconcentratie op verschillende plekken in de zuivering is vrij constant in de tijd.



Figuur 2. Zuurstofconcentratie in de zuivering van wpb Nuland na de processtappen.

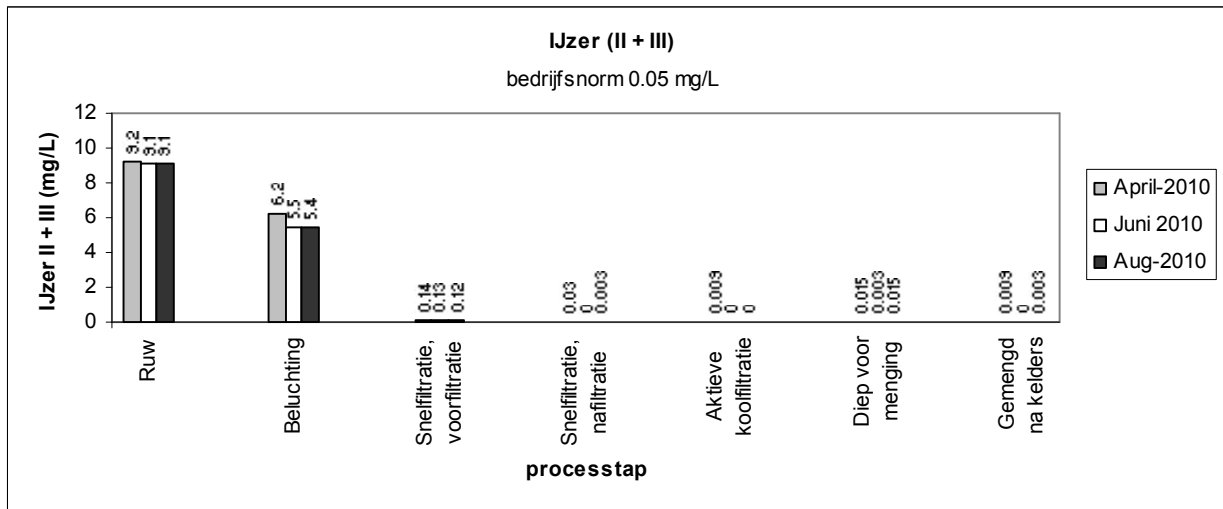
IJzer

In de BOT van het middeldiep gewonnen grondwater wordt 3-4 mg/l van het totale ijzergehalte verwijderd van de 9 mg/l die in het ruwe water aanwezig is. IJzer wordt daarna vrijwel volledig verwijderd in het voorfilter tot circa 0,13 mg/l. De bedrijfsnorm van Brabant Water (0,05 mg/l) wordt hier nog niet gehaald. In het nafilter daalt de ijzerconcentratie verder tot gemiddeld 0,01 mg/l in het nafiltraat (Figuur 3).

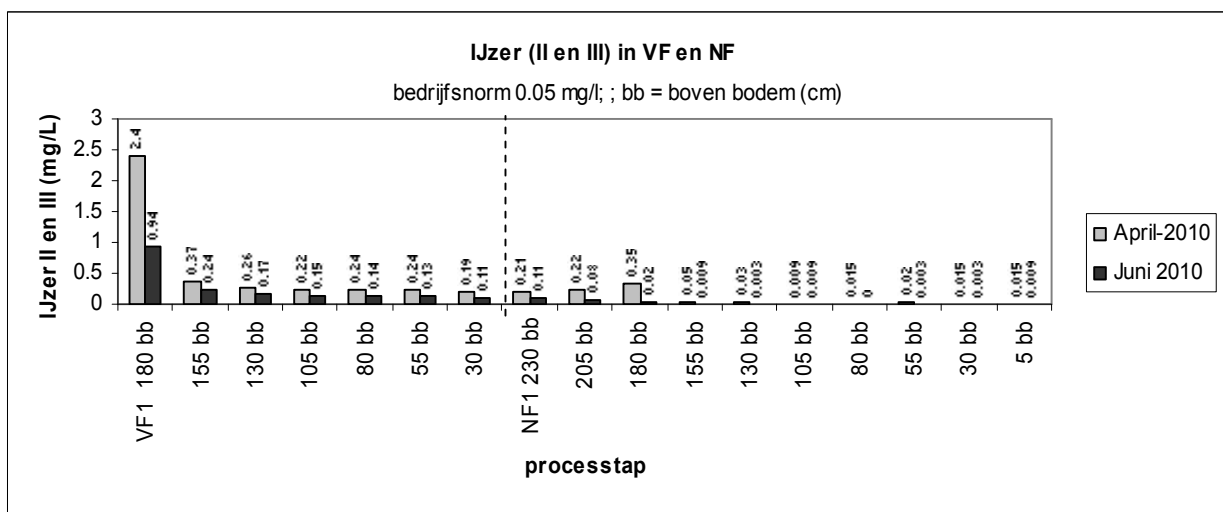
Er is tevens twee maal bemonsterd op verschillende hoogtes in het voorfilter en het nafilter. Hieruit blijkt dat de ijzerverwijdering vrijwel volledig plaatsvindt in de bovenste halve meter van het 2 meter hoge bed van het voorfilter (Figuur 4).

In het gezuiverde diep gewonnen grondwater (voor menging) en in het reine water na mening is de totale ijzerconcentratie kleiner of gelijk aan 0,01 mg/l en voldoet daarmee aan de bedrijfsnorm van Brabant Water.

Ijzer in het ruwe water en in het botaat (het water uit de BOT) bestaat voor meer dan 95% uit Fe (II). Het resterende ijzer in het voorfiltraat bestaat voor circa 80-90% uit Fe(II) (zie Bijlage 4) waaruit blijkt dat vooral het geoxideerde ijzer, vermoedelijk aanwezig als ijzerhydroxides, verwijderd wordt in de BOT en het voorfilter.



Figuur 3. Totale ijzerconcentratie in de zuivering van wpb Nuland.



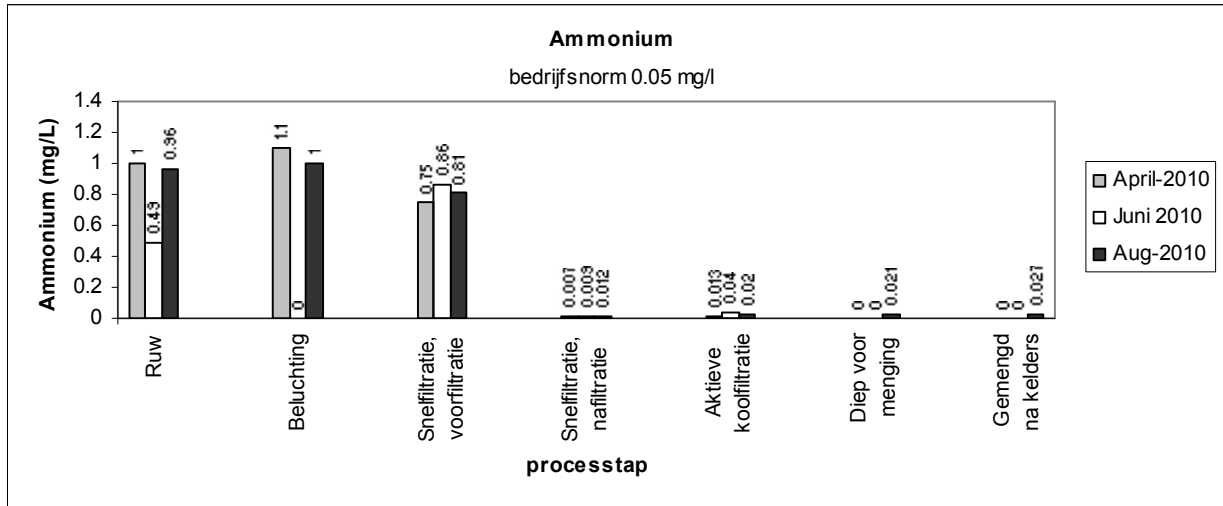
Figuur 4. Totale ijzerconcentratie op verschillende hoogtes in het voorfilter en nafiltraat van het middeldiep gewonnen grondwater (straat 1). bb = boven bodem.

Ammonium

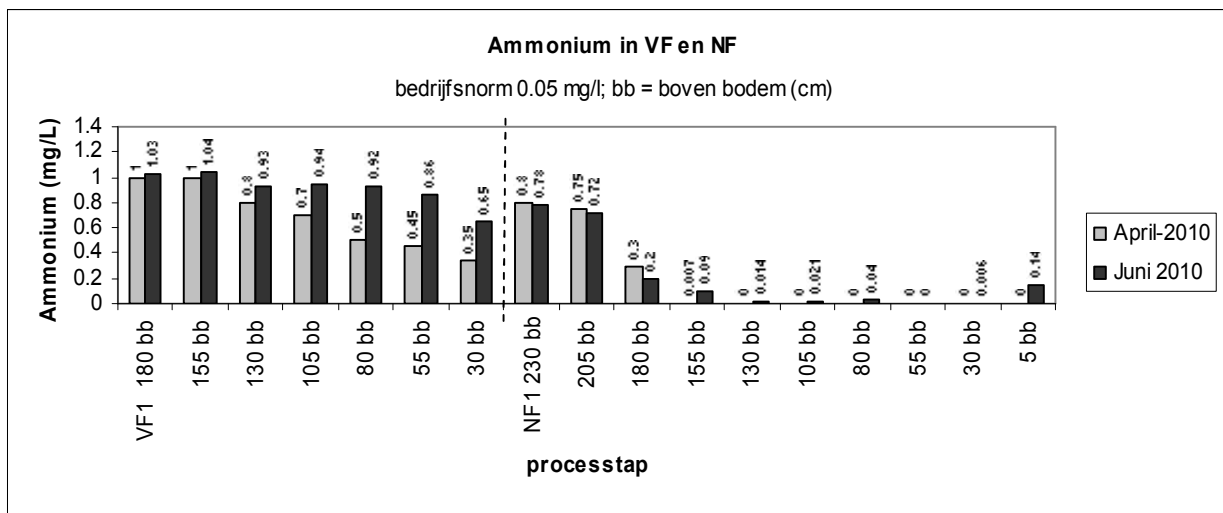
In het ruwe middeldiep gewonnen grondwater en in het botaat is circa 1 mg/l ammonium aanwezig (de juni-analyse in het ruwe water en in het botaat, respectievelijk 0,5 mg/l en 0 mg/l, worden als meetfouten beschouwd). In het voorfilter wordt circa 20% van het ammonium verwijderd (Figuur 5). Metingen op verschillende hoogte in het voorfilter geven aan dat de ammoniumverwijdering in de onderste helft van het voorfilter plaatsvindt en gemiddeld circa 50% is (Figuur 6). Het is niet duidelijk waarom bovenin het nafiltraat weer hogere concentraties ammonium worden gemeten. Vermoedelijk is het lastig om representatieve monsters te nemen onderin het voorfilter. In het nafiltraat is de concentratie ammonium gedaald tot 0,01 mg/l, waarmee voldaan wordt aan de bedrijfsnorm van 0,05 mg/l. De

ammoniumomzetting vindt met name boven in het nafiltraat plaats tussen 205 cm en 155 cm boven de bodem (totale filterbedhoogte circa 2,2 meter).

In het AKF-filtraat werd gemiddeld een ammoniumconcentratie van 0,02 mg/l gemeten. In het diep gewonnen grondwater voor menging en in het reine water na menging werd in 2 van de 3 gevallen geen ammonium aangetoond.



Figuur 5. Ammoniumconcentratie in de zuivering van wpb Nuland.

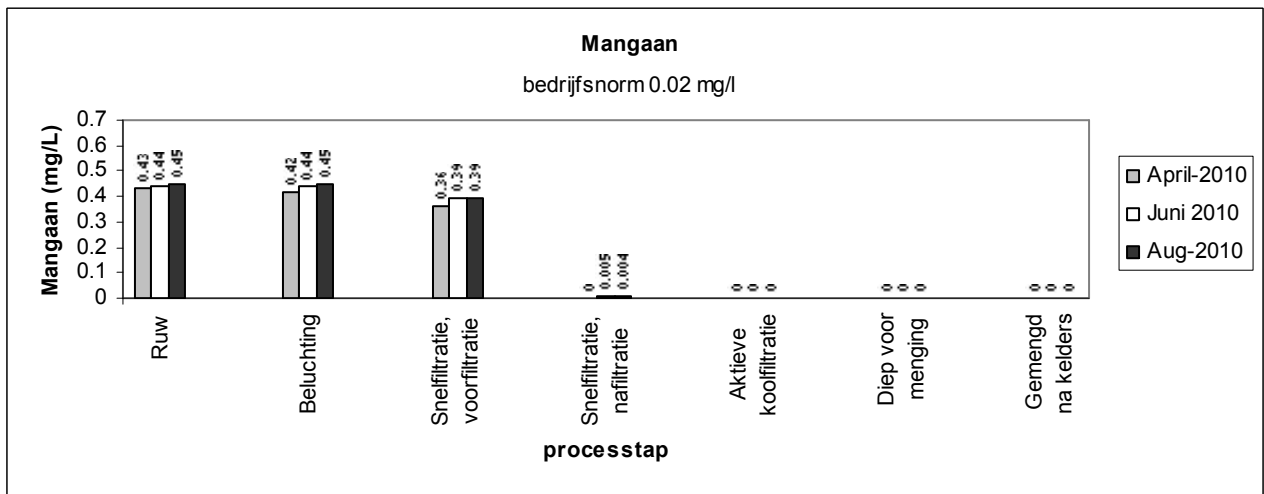


Figuur 6. De Ammoniumconcentratie op verschillende hoogtes in het voorfilter en nafiltraat van het middeldiep gewonnen grondwater (straat 1). bb = boven bodem.

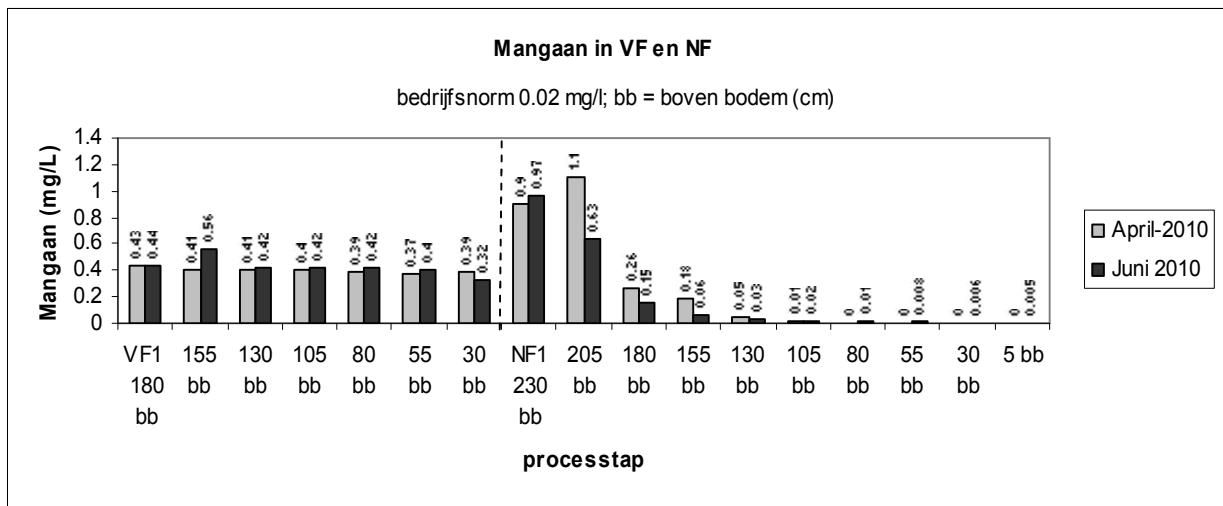
Mangaan

In het ruwe middeldiep gewonnen grondwater is circa 0,4 mg/l mangaan aanwezig. In het voorfilter wordt geen mangaan verwijderd. Na het voorfilter wordt KMnO_4 gedoseerd om ijzer-DOC-complexen te oxideren. Hierdoor is er een verhoogde concentratie mangaan in de bovenste 50 cm van het nafiltraat (circa 1 mg/l). In het nafiltraat wordt mangaan verwijderd tot een concentratie van circa 0,01 mg/l (Figuur 7 en Figuur 8). Dit voldoet aan de bedrijfsnorm voor mangaan van 0,02 mg/l.

In het diep gewonnen grondwater voor menging en in het reine water na menging werd geen mangaan aangetoond.



Figuur 7. De mangaanconcentratie in de zuivering van wpb Nuland.

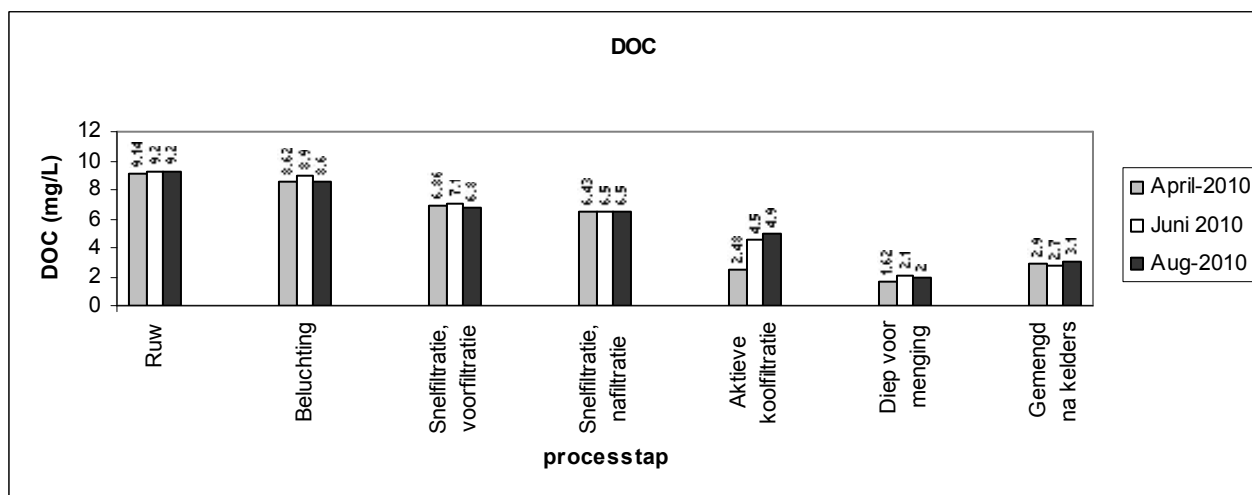


Figuur 8. De mangaanconcentratie op verschillende hoogtes in het voorfilter en nafilter van het middeldiep gewonnen grondwater (straat 1). bb = boven bodem.

DOC

DOC wordt gedeeltelijk verwijderd in het voorfilter, het nafilter en in het actieve koolfilter. De concentratie daalt stapsgewijs van 9 mg/l tot 2,5-4,5 mg/l. In februari 2010 is de kool uit het koolfilter van straat 1 geregenereerd, waardoor bij de aprilmeting de hoogste DOC-verwijdering over het actieve koolfilter (4 mg/l) werd behaald. De DOC-verwijdering door het actieve koolfilter wordt in de loop van de tijd lager (juni 2 mg/l; augustus 1,5 mg/l) (Figuur 9).

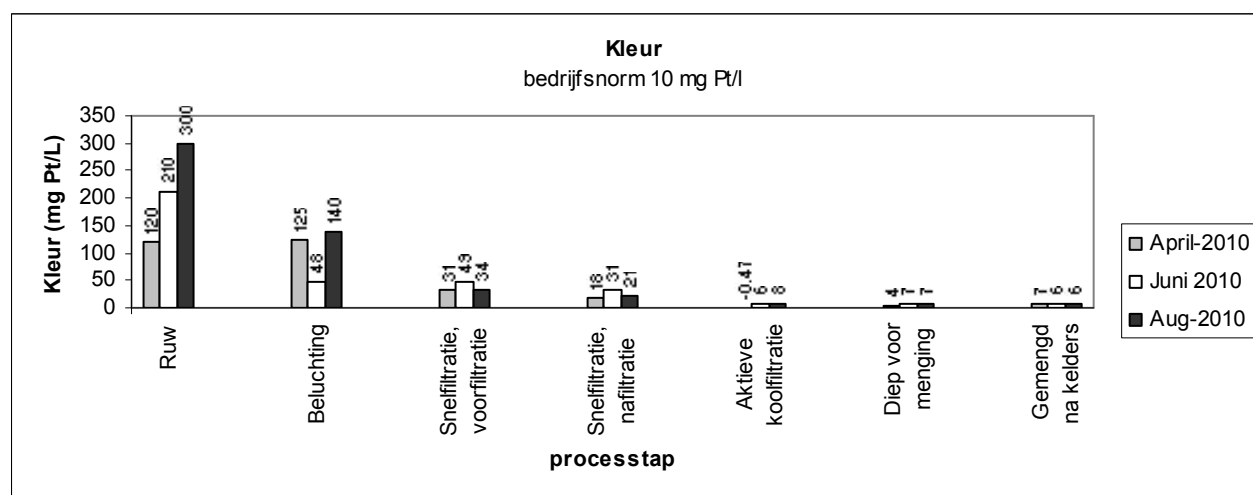
Het ruwe diep gewonnen grondwater heeft een lagere DOC-concentratie dan het middeldiep gewonnen grondwater en daardoor heeft ook het filtraat van het dubbellaagsfilter (diep grondwater) een lagere DOC-concentratie dan het AKF-filtraat (middeldiep grondwater). In het reine water heeft de DOC-concentratie, volgens verwachting, een waarde tussen die van het diep gewonnen grondwater na het dubbellaagsfilter en die van het actieve koolfiltraat van het middeldiep gewonnen grondwater (circa 3 mg/l). Hiermee wordt voldaan aan de bedrijfsnorm van 5 mg/l.



Figuur 9. De DOC-concentratie in de zuivering van wpb Nuland.

Kleur

Ook kleur wordt niet in één stap verwijderd, maar stap voor stap in beluchtingsfase, het voorfilter, het nafiltraat en in het actieve koolfilter. Kleur in het ruwe middeldiepe grondwater en in het botaat kan als hoog worden beschouwd en wordt vermoedelijk voornamelijk veroorzaakt door ijzerhydroxides en/of ijzer-DOC-complexen. De kleurmeting van het ruwe water is waarschijnlijk niet geheel anaëroob uitgevoerd. De kleurmetingen van het ruwe water en het water na de BOT zijn niet goed reproduceerbaar en verschillen sterk van dag tot dag (mondelijke mededeling LLM Keltjens, Aqualab Zuid). Kleur in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat wordt voornamelijk veroorzaakt door DOC. In het AKF-filtraat, het diep gewonnen grondwater voor menging en in de reinwaterkelder is de kleurintensiteit beneden de 10 mg Pt/l, de bedrijfsnorm van Brabant Water.

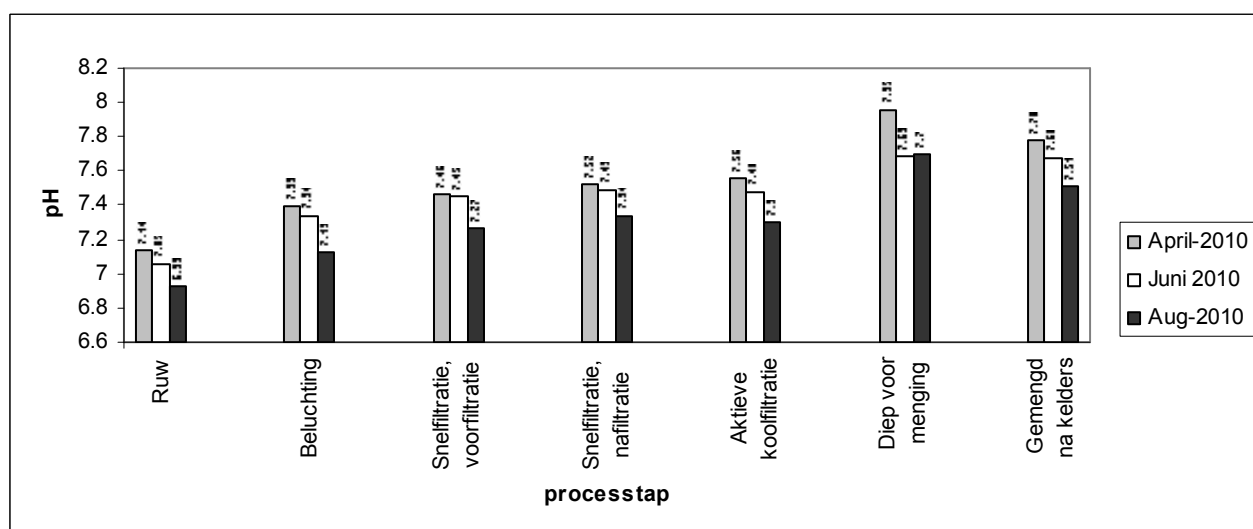


Figuur 10. De kleurintensiteit in de zuivering van wpb Nuland.

pH

De pH-waarde van het water op verschillende plekken in de zuivering is een resultante van de watersamenstelling die afhangt van de bron van het water en van de werking van de verschillende zuiveringsstappen. Het ruwe middeldiepe gewonnen grondwater had tijdens de onderzoeksperiode een gemiddelde pH van 7,0. In de middeldiepe zuiveringsstraat neemt de pH langzaam toe tot gemiddeld 7,5 in het nafiltraat en het AKF filtraat (Figuur 11).

Het diep gewonnen grondwater na het dubbellaagsfilter heeft duidelijk een iets hogere pH (7,8) dan het middeldiep gewonnen grondwater.



Figuur 11. De pH-waarde in het zuiveringsproces van wpb Nuland.

Temperatuur

De temperatuur van het water bij de monsterpunten in de zuivering lag gedurende de gehele onderzoeksperiode tussen de 11°C en 12°C.

Fosfaat

Gedurende de onderzoeksperiode van april tot en met september 2010 zijn er vier maal monsters genomen voor de bepaling van de fosfaatconcentratie. In het ruwe water wordt een redelijk constante totale fosfaatconcentratie tussen 510 en 561 µg/l gemeten (Tabel 3). De tweede en derde monsternamen geven aan dat dit totaal fosfaat vrijwel volledig uit ortho-fosfaat bestaat, terwijl de analyses in maart en september laten zien dat er respectievelijk slechts 50 µg/l en 144 µg/l ortho-fosfaat in het ruwe water aanwezig is, dus slechts 10% en 27% van het totale fosfaat. Deze metingen zijn niet erg consistent.

Van het totale fosfaat in het ruwe water wordt een deel al verwijderd in de beluchttingsfase, vermoedelijk als gevolg van vorming van ijzerfosfaat of ijzerhydroxides die fosfaat binden en een neerslag vormen op de kunststof Pall ringen in de BOT. Na de beluchttingsfase is de gemiddelde totaal fosfaatconcentratie 335 µg/l. De hoeveelheid totaal fosfaat die in de BOT verwijderd wordt, varieert van 120 tot 280 µg/l (24%-49% van het totaal fosfaat). De hoeveelheid ortho-fosfaat na de beluchttingsfase is niet constant gedurende de vier meetrondes. Dit varieert van 10 µg/l tot 420 µg/l, wat neerkomt op 2-3% tot 100% van het totale fosfaat. In de BOT worden fosfaatbevattende (ijzer)deeltjes/colloïden gevormd met een grootte tussen de 0,45 µm en 0,01 µm. Dit kan worden opgevoerd uit de sterke daling van de ortho-fosfaatconcentratie na de BOT na filtratie met het 100 kDa filter en het vrijwel gelijk blijven van de ortho-fosfaatconcentratie na filtratie over het 0,45 µm filter (tweede, derde en vierde meetronde).

In het voorfilter wordt het grootste deel van het resterende totaal fosfaat verwijderd. In de eerste drie meetrondes was dit 170 tot 340 µg/l wat neerkomt op 51% tot 87% verwijdering van het resterende totaal fosfaat in het voorfilter. Daarna resteren er concentraties totaal fosfaat van 50 tot 160 µg/l en ortho-fosfaatconcentraties van circa 60 µg/l.

Het nafiltraat lijkt de totaal fosfaat concentratie nog wel iets te verlagen, met name als er in het voorfilter minder verwijderd wordt zoals in meetronde 3 (respectievelijk van 330 µg/l na beluchting naar 160 µg/l in voorfiltraat naar 60 µg/l in het nafiltraat). In het nafiltraat worden totaal fosfaatconcentraties gemeten

van 34 µg/l tot 80 µg/l. De ortho-fosfaatconcentratie varieert van 6 tot 21 µg/l. Het verschil kan bestaan uit deeltjesgebonden fosfaat of organisch gebonden fosfaat.

In het nafiltraat wordt fosfaat gebonden aan deeltjes of colloïden (> circa 0,01 µm) verwijderd. Dit kan worden geconcludeerd, aangezien filtratie van het nafiltraat geen invloed meer heeft op de ortho-fosfaatconcentratie en filtratie van het voorfiltraat nog wel. Dit kan samenhangen met de kleinere korrelgrootte van het zand in het nafiltraat (0,71-1,25 mm) ten opzichte van het voorfilter (1,0-1,6 mm). Het actieve koolfilter kan ook nog een kleine bijdrage leveren aan het verwijderen van totaal fosfaat met enkele microgrammen per liter. De analyses zijn echter niet consistent. De ortho-fosfaatconcentratie in het AKF-filtraat is 6 tot 20 µg/l.

Het diep gewonnen grondwater, voor menging, heeft een totaal fosfaatconcentratie van 30 tot 90 µg/l. Dit is vrijwel gelijk aan de totaal fosfaatconcentraties na de AKF van het middeldiepe water (21 tot 70 µg/l). In het diep gewonnen grondwater voor menging worden ortho-fosfaatconcentraties gemeten van 9 tot 30 µg/l.

De fosfaatconcentraties in het gemengde water na de kelders (PG1, tak1) verschillen niet sterk van de concentraties na AKF (middeldiep gewonnen grondwater) en na het dubbellaagsfilter (diep gewonnen grondwater).

Fosfaatanalyse bij KWR

Naast de drie meetseries uitgevoerd door Aqualab Zuid is er ter vergelijking een vierde monsternameserie (7 september 2010) bij KWR geanalyseerd. De ortho-fosfaatconcentraties op 7 september 2010 verschillen over het algemeen niet significant met de ortho-fosfaatconcentraties die op 7 juni en 16 augustus 2010 door Aqualab Zuid gemeten zijn met uitzondering van de concentraties in het ruwe water en na beluchting op 16 augustus 2010.

De monsters van deze vierde meetserie waren pas drie dagen na monsternamen gefiltreerd van het 0,45 µm- en 100 kDa-filter. Hierdoor was er ijzerneerslag te zien in de monsterflessen van het ruwe water en het beluchte water. Dit verklaart de lagere ortho-fosfaat concentraties gemeten tijdens de vierde fosfaatanalyse door KWR in vergelijking met de tweede en derde fosfaatanalyseronde bepaald door Aqualab Zuid.

Effect van filtratie over 0,45 µm- en 100 kDa-filter

Ortho-fosfaat monsters zijn gefiltreerd over een 0,45 µm- en een 100 kDa-filter om een indruk te krijgen of ortho-fosfaat zich in opgeloste vorm of in een deeltje bevindt. Logischerwijze zal de concentratie ortho-fosfaat zonder filtratie groter dan of gelijk aan de concentratie na filtratie over een 0,45 µm-filter zijn, die weer groter dan of gelijk aan de concentratie na filtratie over een 100 kDa-filter zal zijn. Bij de ortho-fosfaatmetingen tijdens de eerste meetronde is vermoedelijk tijdens de monsternamen of analyse monsters verwisseld, aangezien de concentraties ortho-fosfaat na de verschillende voorfiltraties niet consistent zijn.

De monsters van 7 juni 2010 zijn wel consistent en ook zes van de acht monsterseries genomen na de BOT en van het voorfiltraat van alle vier de meetrondes. Aan de zes consistente monsterseries na de BOT en van het voorfiltraat valt op dat de ortho-fosfaatconcentratie na filtratie over het 0,45 µm-filter nauwelijks daalt, maar dat er wel een sterke daling is (factor 3 of meer) na filtratie over het 100 kDa-filter. Dit betekent dat het grootste deel van het ortho-fosfaat in het water na de BOT en in het voorfiltraat in deeltjesvorm aanwezig is met een grootte tussen 0,45 µm en circa 0,01 µm. Dit laatste is ongeveer de scheidingsgrens van het 100 kDa-filter.

Filtratie (0,45 µm en 100 kDa) van de ortho-fosfaatmonsters in het nafiltraat, na AKF, in het diepe grondwater voor menging (straat 11) en gemengd na de kelders (PG1, tak 1) in de meetrondes 2, 3 en 4 levert vrijwel nooit lagere ortho-fosfaat concentraties op dan zonder filtratie (Tabel 3). Dit betekent dat het ortho-fosfaat in opgeloste vorm aanwezig is of in ieder geval gebonden aan colloïden kleiner dan circa 0,01 µm.

Tabel 3. Fosfaatconcentraties ($\mu\text{g/l PO}_4^{2-}$) na zuiveringsstappen (middeldiep, straat 1) op wpb Nuland.

Zuiveringsstap	Eerste meetronde: 19 april 2010				Tweede meetronde: 7 juni 2010				Derde meetronde: 16 augustus 2010				Vierde meetronde*: 7 september 2010		
	P-tot	P-o	P-o 0,45 μm	P-o 100 kDa	P-tot	P-o	P-o 0,45 μm	P-o 100 kDa	P-tot	P-o	P-o 0,45 μm	P-o 100 kDa	P-o	P-o 0,45 μm	P-o 100 kDa
Ruw	510	50	7	80	561	600	450	400	530	580	620	430	144	175	3,7
Beluchting	390	10	5	20	285	140	140	10	330	420	400	30	150	276	5,2
Snelfiltratie (VF)	50	30	30	3	58	60	60	10	160	60	60	20	64	58	14
Snelfiltratie (NF)	80	6	6	10	34	20	20	20	60	20	20	20	21	26	21
AKF	40	6	4	1	21	20	20	10	70	20	130	20	15	15	17
Diep voor menging straat 11	30	9	4	9	31	30	20	20	90	30	30	30	31	34	29
Gemengd na kelders	30	9	8	2	34	30	30	10	60	30	30	30	29	29	26

* analyse bij KWR, 3 dagen na monsternamen gefiltreerd.

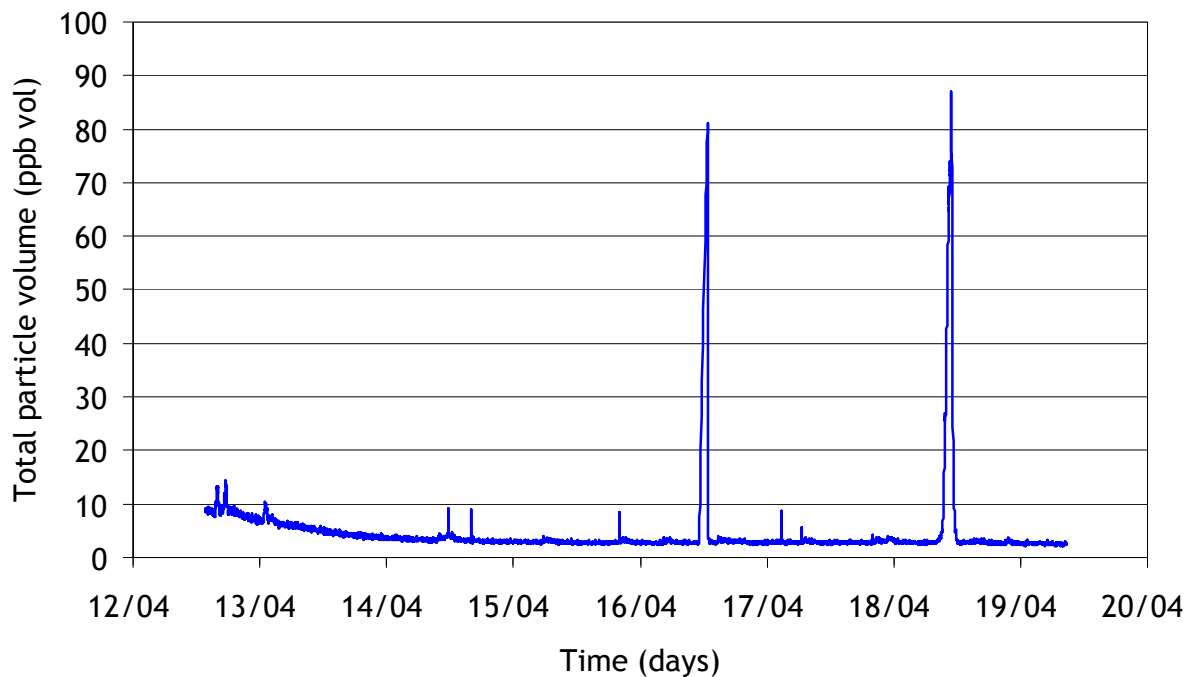
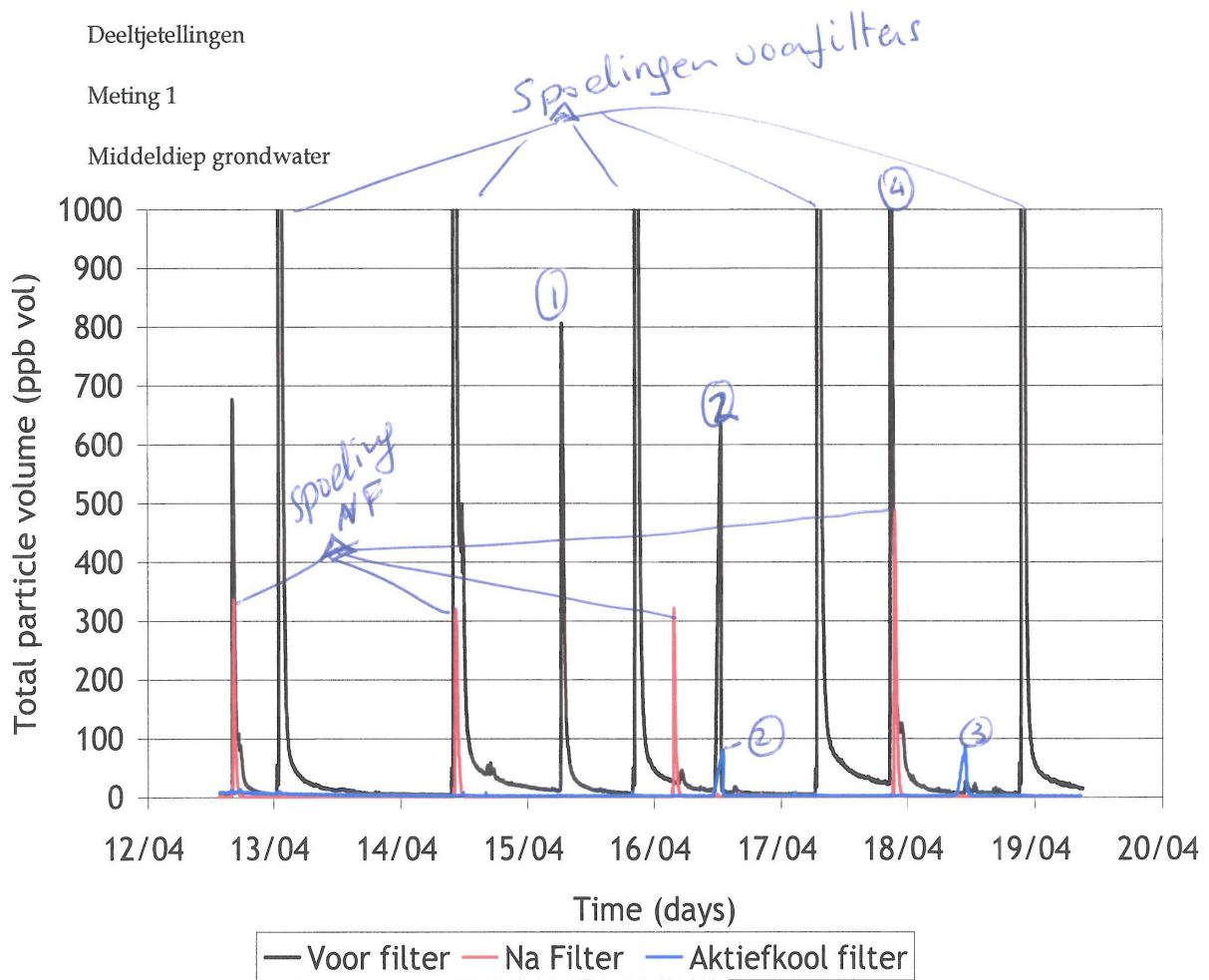
Deeltjestellingen

Er zijn gedurende drie periodes deeltjestellingen (deeltjesgrootte van 1 tot 100 μm) uitgevoerd in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater, in het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en in het gemengde reine water.

Door spoelingen van de voorfilters is er in de onderzoeksperiode bijna dagelijks een piek te zien in de deeltjesconcentratie van het voorfiltraat. Deze pieken kunnen oplopen tot circa 5000 ppb (volume) en maximaal circa 80.000 deeltjes per ml (dit valt buiten de schaal in *Figuur 12* en *Figuur 13*). Ook het spoelen van de BOT (om de 60 uur) veroorzaakt een piek in de deeltjesconcentratie van het voorfiltraat. In de eerste meetperiode resulteerde dit in een piek van circa 800 ppb vol op 15 april (*Figuur 12*) en meer dan 50.000 deeltjes per milliliter (*Figuur 13*).

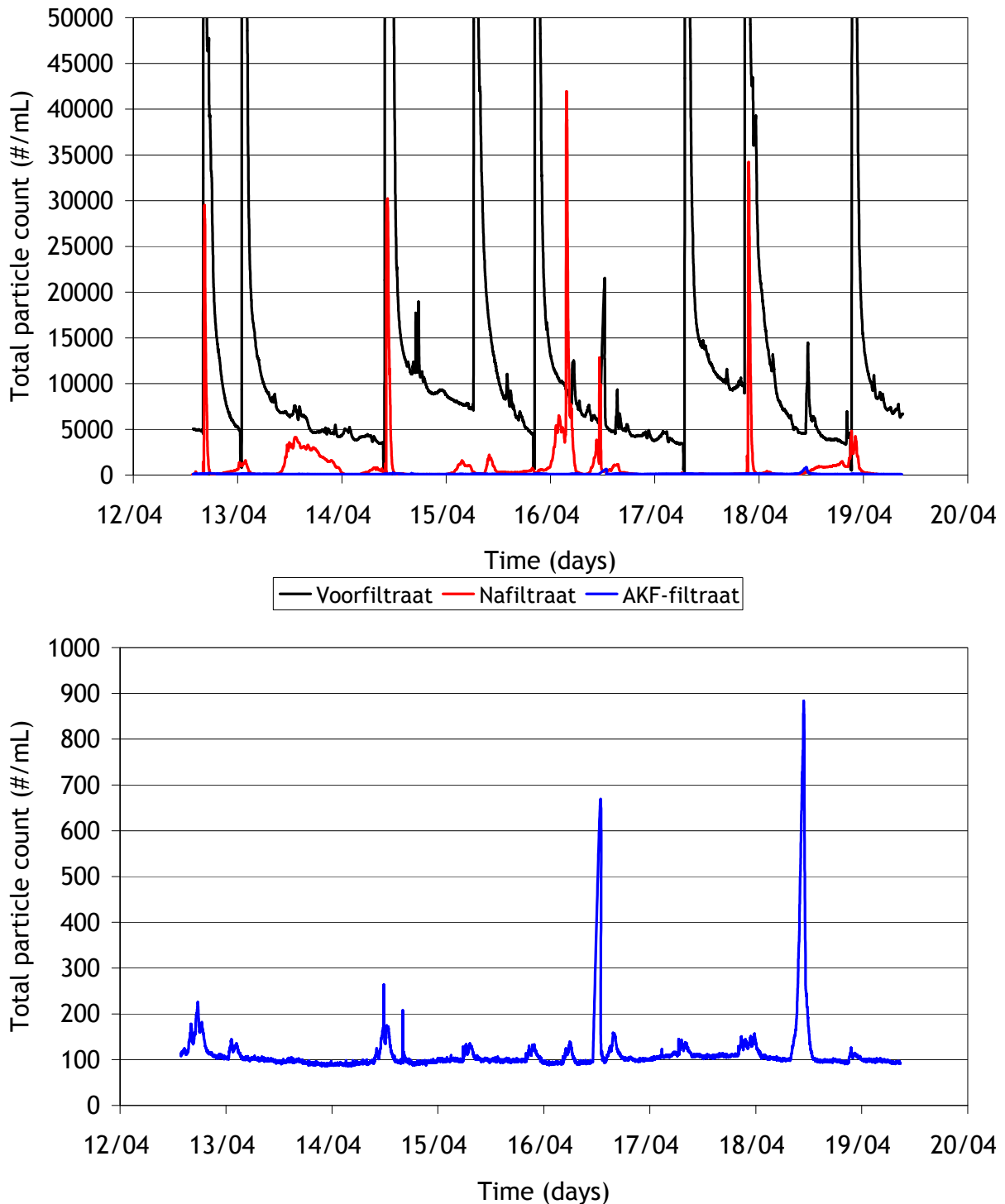
Door spoelingen van de nafiltraats is er ongeveer om de anderhalve dag een piek te zien (maximaal circa 500 ppb vol en 30.000 tot 40.000 deeltjes per ml) in de deeltjesconcentratie van het nafiltraat (*Figuur 12* en *Figuur 13*). De pieken zijn duidelijk lager dan in het voorfiltraat. Deze pieken zijn niet de afgevlakte pieken uit het voorfiltraat, maar het gevolg spoelingen van het nafiltraat zelf.

Deeltjespieken in het AKF-filtraat (< 100 ppb vol, < 900 deeltjes per ml) (*Figuur 12* en *Figuur 13*) treden op na het stopzetten en weer opstarten van de filterstraat als gevolg van spoelacties. De pieken op 16 april en 18 april kunnen hieraan worden toegeschreven. Het AKF wordt dan op recirculatie met reinwater gezet of er juist vanaf gehaald. Het AKF zorgt voor een sterke daling van de deeltjesconcentratie die vrijkomt als gevolg van spoelingen van het voorfilter en nafiltraat en functioneert dus deels als polishing filter. De mediaan van de deeltjesconcentratie in het AKF-filtraat is kleiner dan 3 ppb (volume) (Tabel 5). De pieken op 16 en 18 april dragen significant bij aan de totale deeltjeslast (wat betreft volume) na de AKF (*Figuur 12*). De piek op 16 en 18 april hebben respectievelijk een oppervlakte van circa 120 ppb vol x uur en 150 ppb vol x uur, terwijl het oppervlakte onder de basislijn in de tussenliggende periode circa 130 ppb vol x uur is. Wat betreft aantallen deeltjes zijn de pieken op 16 en 18 april minder dominant. Het basisaantal deeltjes in het AKF-filtraat is circa 100/ml en de pieken zijn respectievelijk circa 700/ml en 900/ml (*Figuur 13*). Kennelijk zijn de deeltjes die vrijkomen bij het stoppen en starten van de filterstraat en het op recirculatie zetten van de AKF relatief groot ten opzichte van de deeltjes die continu door het AKF doorgelaten worden.



Figuur 12. Deeltjestellingen (volume) na het voorfilter, nafilter en actief koolfilter van het middeldiep gewonnen grondwater (boven) en alleen van het actieve koolfilter (onder, april 2010). Toelichting:

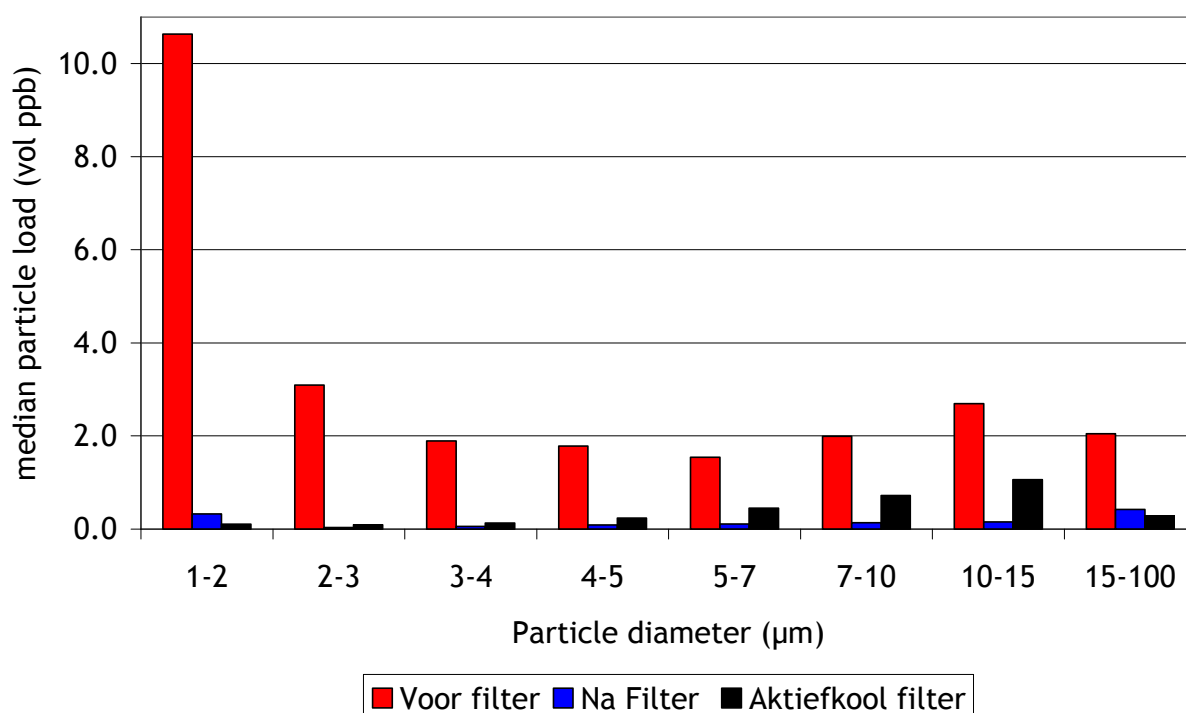
- 1) 15 april 2010: Piek in filtraat voorfilter door BOT-spoeling (05.35 uur) en opstart straat 1.
- 2) 16 april 2010: Piek in filtraat voorfilter (en nafiltraat) door stop/start filterstraat 1 (14.00-14.42 uur)
- 3) 18 april 2010: stop/start filterstraat 1 (07.43 - 10.35 uur, AKF recirculatie met reinwater)
- 4) dubbele opstart voorfilter, naspoelen nafiltraat



Figuur 13. Deeltjestellingen (aantal) na het voorfilter, nafiltraat en actief koolfilter van het middeldiep gewonnen grondwater (boven) en alleen van het actieve koolfilter (onder; eerste meetronde, april 2010).

In *Figuur 14* en *Tabel 4* is de mediane concentratie (vol ppb) weergegeven van elke deeltjesfractie in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat in de periode van 12 tot en met 19 april 2010 (eerste meetperiode). Dit geeft een goed beeld van de “normale” concentratie van de deeltjes buiten de pieken om als gevolg van onder andere spoelen. De medianen van de totale deeltjesconcentraties (1-100 µm) in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat zijn respectievelijk 26,1, 1,4 en 3,0 vol ppb (*Tabel 5*).

Uit *Figuur 14* en de Figuren van de tweede en derde meetserie (*Bijlage 1*) blijkt dat in het voorfiltraat de kleinere deeltjes (1-2 µm, 2-3 µm) het meest voorkomen. In het nafiltraat is de fractie met de grootste deeltjes (15-100 µm) de grootste fractie, gevolgd door de fractie met de kleinste deeltjes (1-2 µm). In het AKF-filtraat komen de grootste fracties (10-15 µm, 15-100 µm) het meest voor (*Tabel 4* en *Bijlage 1*). Opvallend is dat de mediane volumeconcentratie van het totaal aantal deeltjes in het AKF-filtraat hoger ligt dan in het nafiltraat tijdens de eerste meetperiode (*Tabel 5*). De gemiddelde volumeconcentratie deeltjes in het nafiltraat is echter hoger, vanwege hoge pieken na het spoelen.



Figuur 14. Mediaan van de deeltjesconcentratie van de verschillende deeltjesfracties (eerste meetserie, 12-19 april 2010) in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater.

Tabel 4. Mediaan van de deeltjesconcentratie van de verschillende deeltjesfracties (eerste meetserie, 12-19 april 2010) in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater.

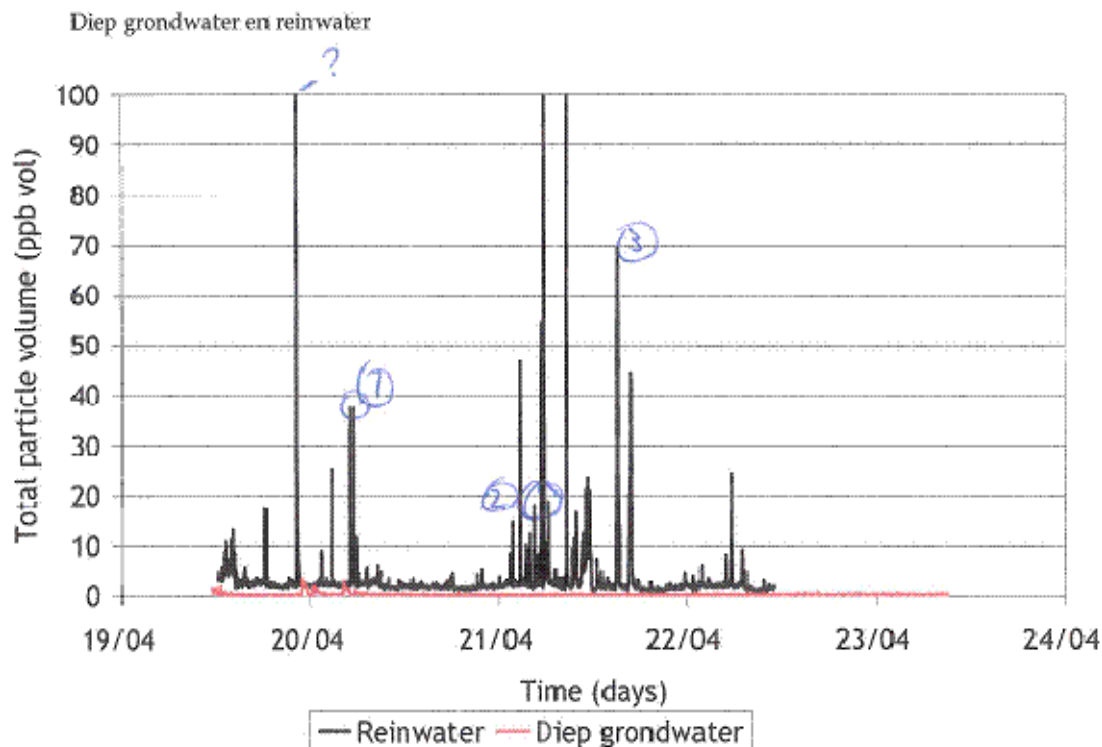
Deeltjesdiameter (µm)	Mediaan van de deeltjesconcentratie (vol ppb)							
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-7	7-10	10-15	15-100
Voorfiltraat	10,63	3,09	1,89	1,78	1,54	1,99	2,69	2,05
Nafiltraat	0,33	0,04	0,06	0,09	0,11	0,13	0,15	0,42
Actiefkool filtraat	0,10	0,09	0,13	0,23	0,45	0,72	1,06	0,28

Tabel 5. Totale deeltjesconcentratie (ppb vol, mediaan) op verschillende plekken op wpb Nuland (deeltjes 1-100 µm).

Meetperiode	voorfiltraat	nafiltraat	AKF-filtraat	diep	rein
1	26,1	1,4	3,0	0,3	2,0
2	58,6	1,9	1,0	0,2	0,8
3	27,4	3,5	1,4	0,4	1,1

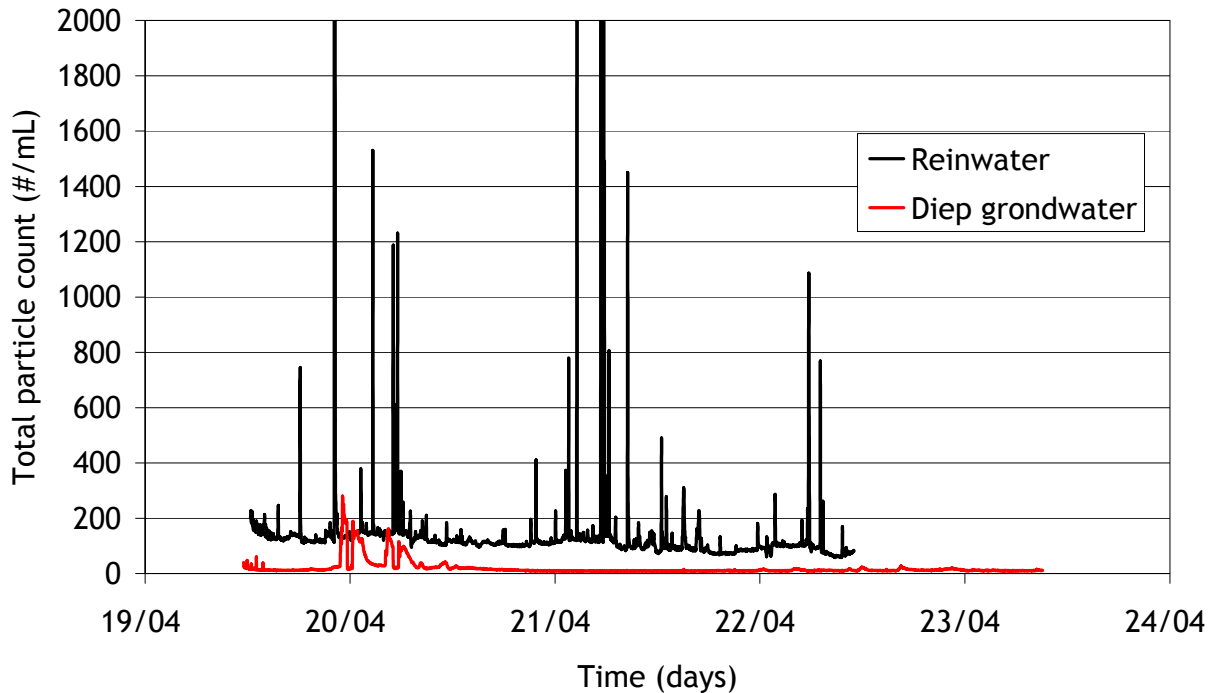
Deeltjespieken in het diep gewonnen grondwater voor menging zijn over het algemeen laag (< 5 ppb vol, < 300 deeltjes per ml) (Figuur 15, *Figuur 16* en Bijlage I) vergeleken met het aantal deeltjes in het AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater. Pieken werden veroorzaakt door verschillende bedrijfsmatige acties zoals spoelen van de carry-over filters, aan-uitschakeling van de filterstraat en het spoelen van de BOT. Spoelen van het dubbellaagsfilter en de BOT van straat 12 geven lichte snelheidswisselingen en daardoor pieken in de onderzochte straat 11 van het diepe grondwater.

De deeltjespieken (1-100 µm) in het gemengde reinwater zijn over het algemeen kleiner dan 10 ppb (volume) en kleiner dan 1000 deeltjes per ml. Pieken zijn een gevolg van de overgang/opschakelen van distributiepompen, het wisselen van transporttakken en snelheidswisselingen in de transportleiding af pompstation. Het is opvallend dat tijdens de eerste meetserie in april (Figuur 15, *Figuur 16*) duidelijk hogere deeltjespieken worden gemeten (enkele > 100 ppb vol en > 2000 per ml) dan in de tweede en derde meetserie. Dit was niet de verwachting op basis van de deeltjespieken in het AKF-filtraat en in het diep gewonnen grondwater. Er lijkt daarom geen directe relatie te zijn tussen de (spoel)pieken uit de zuivering en de pieken in het reine water.



Figuur 15. Deeltjestellingen (volume) na dubbellaagsfilter van het diep gewonnen grondwater en van het gemengde reinwater (april 2010).

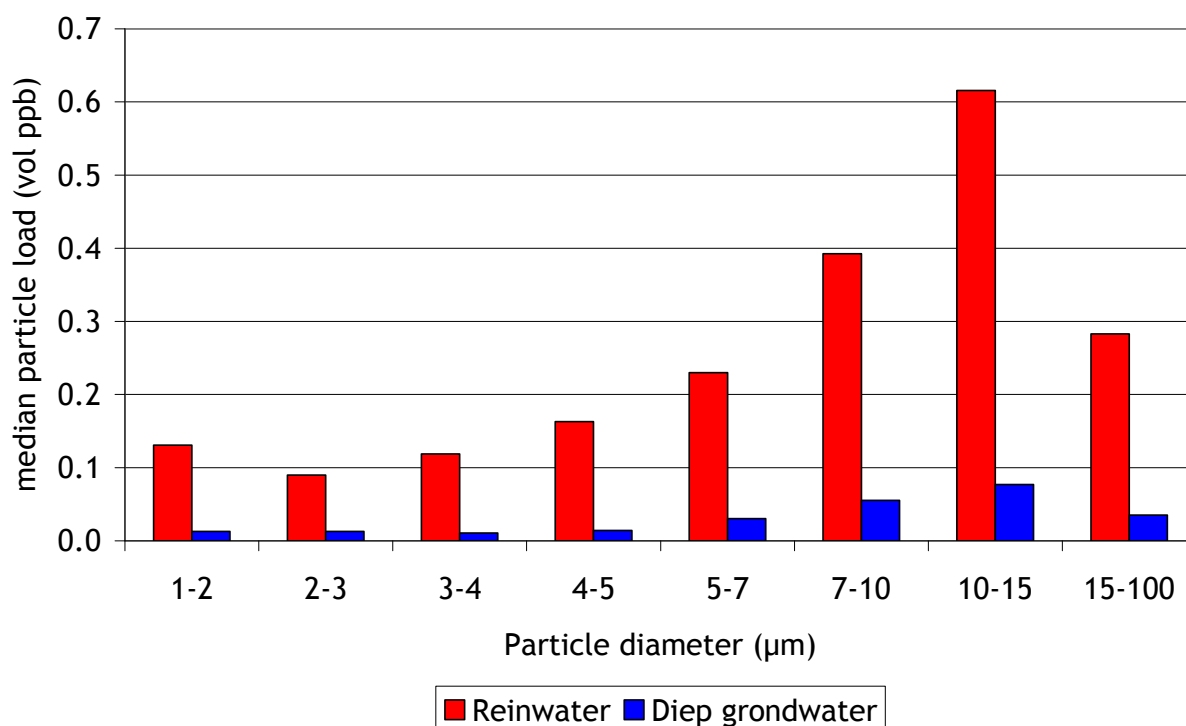
Toelichting 1-3) overgang/opschakelen distributiepompen



Figuur 16. Deeltjestellingen (aantal) na dubbellaagsfilter van het diep gewonnen grondwater en van het gemengde reinwater (april 2010).

In Figuur 17 en Tabel 6 is de mediane concentratie (vol ppb) weergegeven van elke deeltjesfractie in het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en in het gemengde reine water van 19-23 april 2010 (eerste meetserie). Dit geeft een goed beeld van de "normale" concentratie van de deeltjes buiten de pieken om als gevolg van onder andere spoelen. De medianen van de totale deeltjesconcentraties (1-100 μm) in het diep gewonnen grondwater en in het reine water zijn respectievelijk 0,3 en 2,0 vol ppb tijdens de eerste meetserie (Tabel 5).

Uit Figuur 17, Tabel 6 en de Figuren van de tweede en derde meetserie (Bijlage 1) blijkt dat in zowel het middeldiep gewonnen grondwater voor menging als in het reine water de fracties van 7 tot 10 μm en 10 tot 15 μm het meest voorkomen. De mediane concentratie van het totaal aantal deeltjes in het reine water (0,8-2,0 $\mu\text{g/l}$) ligt ongeveer op het niveau dat verwacht mag worden op basis van menging van beide stromen (Tabel 5).



Figuur 17. Mediaan van de deeltjesconcentratie van de verschillende deeltjesfracties (19-23 april 2010) in gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en in het gemengde reine water.

Tabel 6. Mediaan van de deeltjesconcentratie van de verschillende deeltjesfracties (19-23 april 2010) in gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en in het gemengde reine water.

Deeltjesdiameter (µm)	Mediaan van de deeltjesconcentratie (vol ppb)							
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-7	7-10	10-15	15-100
Reinwater	0,13	0,09	0,12	0,16	0,23	0,39	0,62	0,28
Diep grondwater	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,06	0,08	0,04

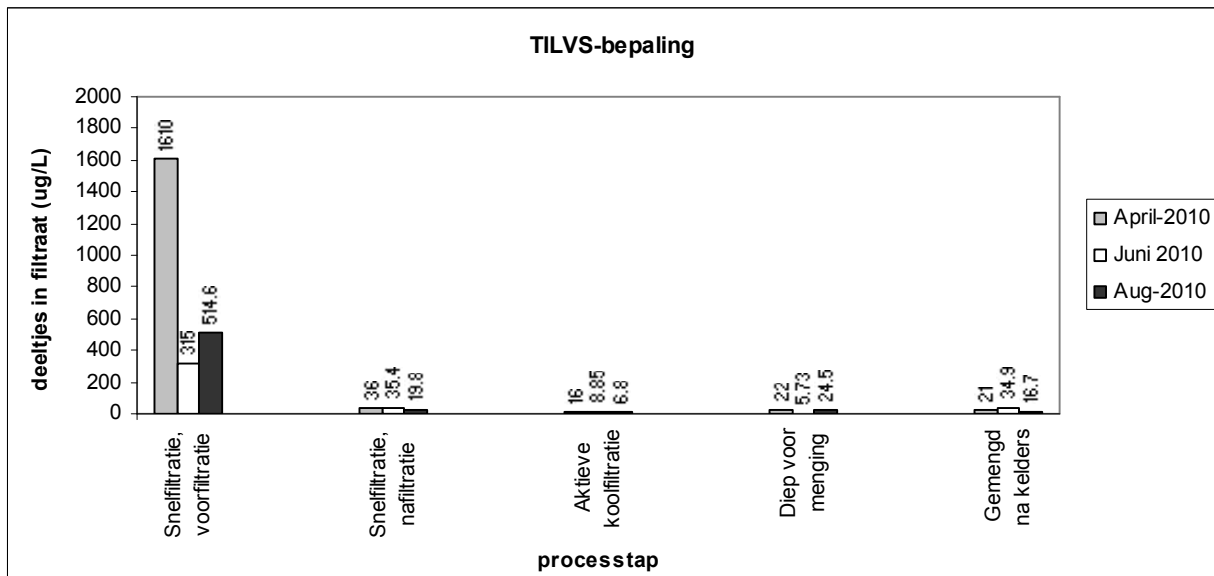
Deeltjessamenstelling

TILVS en Hemoflow zijn drie maal gedurende vier dagen bedreven op het voorfilteraat, nafiltraat, AKF-filtraat, het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en op het reine water na menging.

TILVS

Het TILVS-contraat bevat deeltjes van circa 0,7 µm en groter. In het voorfilteraat is er een grote variatie in de deeltjesconcentratie waar te nemen: van 315 µg/l tot 1610 µg/l in de drie meetperiodes (Figuur 18 en Tabel 7). In het TILVS-contraat van het nafiltraat zijn deeltjesconcentraties gemeten van 20 µg/l tot 36 µg/l. Dit is een daling van gemiddeld 94% ten opzichte van het voorfilteraat. Uit de resultaten van de deeltjestellers (Bijlage 1) blijkt ook al dat het nafiltraat (piekbelastingen van) de deeltjes (1 tot 100 µm) uit het voorfilteraat effectief verwijdert. In het AKF-filtraat zijn nog lagere deeltjesconcentraties aanwezig: 7 µg/l tot 16 µg/l. Het actieve koolfilter fungeert dus naast het verwijderen van kleur en DOC ook als (polishing) deeltjesverwijderaar.

In het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging zijn met behulp van TILVS deeltjesconcentraties van 6 tot 22 µg/l gemeten en in het reine water van 17 µg/l tot 35 µg/l.



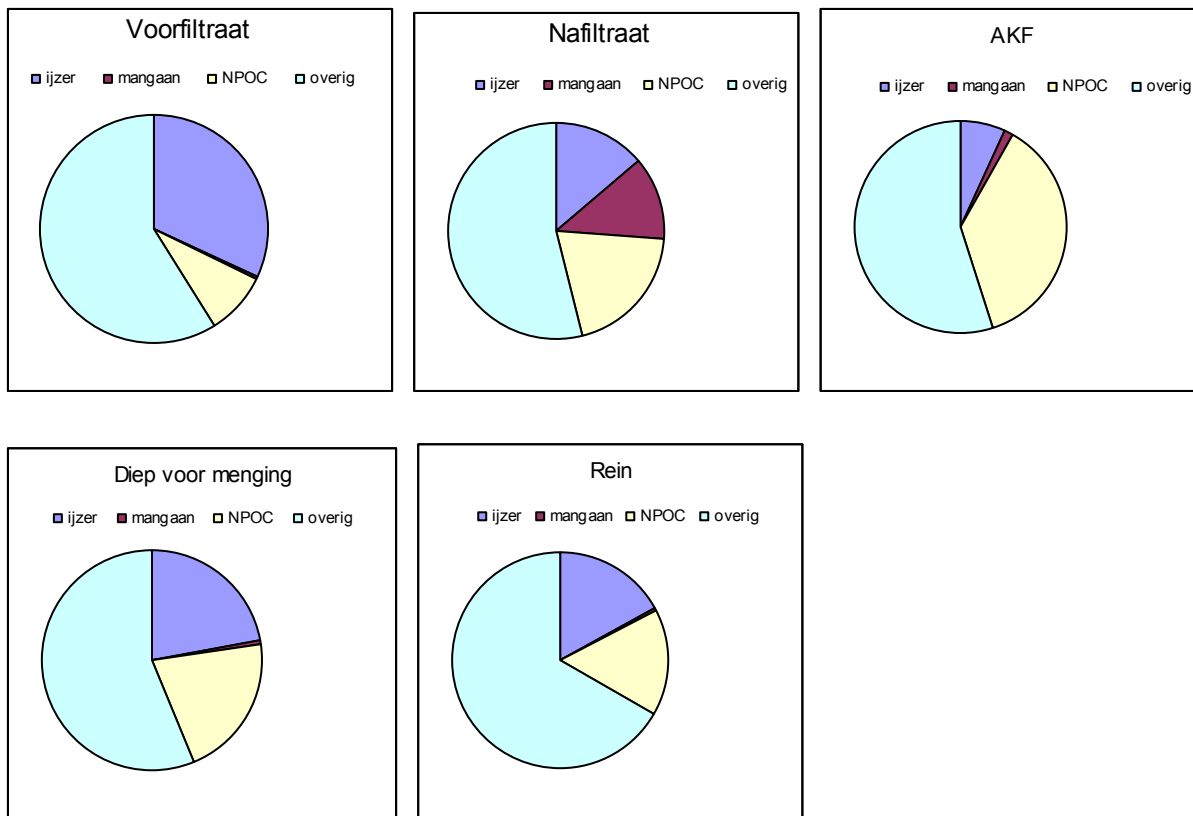
Figuur 18. Deeltjesconcentraties in het TILVS-concentraat.

Een groot deel van de deeltjes in het TILVS-concentraat van het voorfiltraat bestaat uit ijzer (Figuur 19). Het ijzer is waarschijnlijk voor het grootste deel aanwezig als ijzer(hydr)oxiden. Van de deeltjes is alleen de massa van het ijzer gemeten en niet van de (hydr)oxiden. Dit is ongeveer 32% van de massa van de deeltjes in het voorfiltraat (Tabel 7). Als er vanuit wordt gegaan dat ijzer ($M = 55,85 \text{ g/mol}$) als $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ($M = 106,9 \text{ g/mol}$) aanwezig is, is dit circa 61% van de massa van de deeltjes. Circa 9% van de massa van de deeltjes in het voorfiltraat bestaat uit NPOC, dus niet vluchtig organisch koolstof. De totale hoeveelheid niet vluchtige organisch stof is circa een factor 1,5-2 hoger, aangezien het organisch stof ook nog uit onder meer waterstof, zuurstof en stikstof bestaat.

De deeltjes in het nafiltraat bestaan slechts voor 14% uit ijzer, omdat in het nafiltraat het restijzer vrijwel volledig verwijderd is en na AKF bestaan de deeltjes slechts voor 7% uit ijzer. Het aandeel mangaan in de deeltjes neemt toe in het nafiltraat, doordat voor het nafiltraat KMnO_4 wordt gedoseerd. In Tabel 7 en Figuur 19 is te zien dat het aandeel NPOC in de deeltjes van het voorfiltraat naar het nafiltraat en het AKF-filtraat steeds groter wordt. Het gedeelte "overig" in Figuur 19 bestaat vermoedelijk voor het grootste deel uit de zuurstof in de (hydr)oxides van ijzer en mangaan en uit het deel van het organisch stof dat niet uit koolstof bestaat (met name waterstof, zuurstof en stikstof). De NPOC methode meet namelijk alleen de koolstof uit het organisch stof.

Tabel 7. IJzer-, mangaan- en NPOC-concentratie in deeltjes ($\geq 0,7 \mu\text{m}$) na verschillende zuiveringsstappen van wpb Nuland, bepaald in TILVS-concentraat (teruggerekend naar concentraties in het water).

Zuiverings-stap	Concentratie deeltjes - totaal ($\mu\text{g/l}$)			Verw. % t.o.v VF	Ijzer - totaal ($\mu\text{g/l}$)			% Fe	Mangaan ($\mu\text{g/l}$)			% Mn	NPOC ($\mu\text{g/l}$)			% NPOC	Volumen (l)
	Meetsessie				Meetsessie				Meetsessie				Meetsessie				
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		
voorfiltraat	1610	315	515	0	493	110	167	32	2,1	0,72	0,96	0,15	135	30,8	57,1	9	48
nafiltraat	36	35,4	19,8	94	5,8	4,6	2,76	14	4,2	3,71	2,77	12	6,4	6,73	4,69	20	192
AKF	16	8,85	6,8	99	0,61	1,3	0,34	7	0,23	0,05	0,05	1,0	6,4	2,35	2,92	37	192
Diep	22	5,73	24,5	Nvt	5,7	0,32	5,73	22	0,34	0,04	0,03	0,78	3,9	4,72	2,5	21	192
Rein	21	34,9	16,7	Nvt	2,7	7,7	2,19	17	0,084	0,03	0,09	0,28	3,5	4	4,22	16	192



Figuur 19. Gemiddelde samenstelling (gedurende de drie meetperiodes van vier dagen) van het TILVS-concentraat op verschillende plekken in de zuivering van wpb Nuland (kwantitatieve ICPMS bepaling).

Naast de kwantitatieve bepaling van ijzer, mangaan en NPOC is met de ICPMS een serie (zware) metalen semi-kwantitatief vastgesteld in het TILVS-concentraat (Tabel 22, Bijlage 2). Hieruit bleek onder andere dat de deeltjes in het TILVS-concentraat van het voorfiltraat voor circa 4% uit calcium bestaan, in het nafiltraat voor circa 11%, in het AKF-filtraat voor circa 1%, in het diepe water voor menging voor circa 5% en in het gemengde reine water voor circa 4%. De aanwezigheid van silicium is vermoedelijk het gevolg van het uitspoelen van zanddeeltjes.

Behalve ijzer, mangaan, calcium en silicium zijn de metalen in zeer lage concentratie aanwezig. De concentratie in Tabel 22 is in eerste instantie bepaald in het TILVS-concentraat en daarna teruggerekend naar de concentratie in het water. De semi-kwantitatieve bepaling van mangaan (Bijlage 2) komt op een enkele uitzondering na goed overeen met de kwantitatieve bepaling (Tabel 7). De semi-kwantitatieve bepaling van ijzer geeft echter circa vijf maal hogere concentraties dan de kwantitatieve methode. Dit is bekend bij het KWR-laboratorium en daarom wordt aangeraden om alleen de concentraties bepaald met de kwantitatieve methode te gebruiken. Dit betekent dat ook de overige concentraties in Tabel 22 moeten worden gezien als indicatieve waarden, die slechts een ordegrrootte aangeven.

Hier komt nog bij dat de concentratie metalen in het TILVS-concentraat is gecorrigeerd voor de metaalconcentraties in een blanco TILVS-filter. Voor de meeste metalen bleek het verschil tussen de concentratie in het TILVS-concentraat (uit 192 liter water) en het blanco filter zo klein dat de concentratie van de zware metalen niet nauwkeurig vastgesteld kon worden. In sommige gevallen was de concentratie in het blanco filter zelfs hoger dan in het TILVS-concentraat. Indien dit bij alle monsterpunten het geval was, is deze component niet in Tabel 22 opgenomen.

De gebruikte methode is niet geschikt is om sporen van zware metalen in deeltjes vast te stellen in concentraties die vaak veel kleiner zijn dan circa 1 µg/l zijn (teruggerekend naar concentraties in het niet geconcentreerde water) omdat ook het gebruikte filter zware metalen bevat en het verschil tussen de blanco en het te onderzoeken monster zeer klein is.

De semi-kwantitatieve ICP-MS metingen van het TILVS-concentraat van april, juni en augustus zijn terug te vinden in Bijlage 2.

Hemoflow

IJzer-, mangaan- en NPOC- en de totale fosfaatconcentraties zijn kwantitatief bepaald met de ICPMS in Hemoflow-concentraat (deeltjes groter dan circa 0,01 µm) op verschillende plekken in de zuivering van wpb Nuland (Tabel 8). Net zoals met TILVS is vastgesteld, blijkt het grootste deel van de deeltjes in het Hemoflow-concentraat (deeltjes ≥ 0,01 µm) in het voorfiltraat te bestaan uit ijzerdeeltjes. In de eerste meet sessie in voorfiltraat zijn duidelijk meer deeltjes aanwezig dan in tweede en derde meet sessie. Dit is consistent met de TILVS-analyse.

In het nafiltraat zijn vooral ijzer en fosfaat voor een groot deel verwijderd ten opzichte van het voorfiltraat. Na actieve koolfiltratie zijn de ijzerdeeltjes gemiddeld voor 99,8% verwijderd, mangaandeeltjes voor 97% en NPOC voor 71% ten opzichte van het voorfiltraat (Tabel 8).

Een deel van de totale fosfaatconcentratie op de verschillende plekken in de zuivering is aanwezig in deeltjes/colloïden groter dan circa 0,01 µm. Tabel 3 leert dat dit in het voorfiltraat een aanzienlijke hoeveelheid kan zijn, meer dan 50% van het aanwezige fosfaat. In het filtraat van de 100 kDa-filters is de ortho-fosfaat concentratie namelijk kleiner dan 20 µg/l en zonder filtratie is deze minstens een factor 2 hoger.

Dit is niet direct te vergelijken met de concentratie totaal fosfaat in het Hemoflow-concentraat, zoals weergegeven in Tabel 8. Dit zijn verzamelmonsters die over een langere periode (vier dagen) verzameld zijn. De totale fosfaatconcentratie in deeltjes (≥ 0,01 µm) in het voorfiltraat fluctueert tussen 0,47 en 27,5 µg/l.

In het nafiltraat, AKF-filtraat, het diep gewonnen grondwater na dubbellaagsfiltratie en in het reine water bestaat de totale fosfaatconcentratie doorgaans voor minder dan 10% uit deeltjes groter dan 0,01 µm. De rest is opgelost fosfaat.

Zowel Tabel 3 als Tabel 8 geeft aan dat in het nafiltraat nog een aanzienlijke hoeveelheid (90% van de deeltjes ten opzichte van het voorfiltraat) fosfaat wordt verwijderd, maar dat in het actieve koolfilter nauwelijks fosfaat wordt verwijderd.

Tabel 8. IJzer-, mangaan-, NPOC- en totaal fosfaatconcentratie in deeltjes van het Hemoflow-concentraat (≥ 0,01 µm) na verschillende zuiveringsstappen van wpb Nuland (teruggerekend naar concentraties in het water).

Zuiveringsstap	IJzer - totaal (µg/l)				Mangaan (µg/l)				NPOC (µg/l)				P - totaal (µg/l)			
	Meetsessie			Verw.% t.o.v VF	Meetsessie			Verw.% t.o.v VF	Meetsessie			Verw.% t.o.v VF	Meetsessie			Verw.% t.o.v VF
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
voorfiltraat	363	150	59,8	-	4,7	3,1	1,18	-	55	58	36,3	-	27,5	0,47	4,62	-
nafiltraat	2,02	2,16	1,05	94	1,21	1,53	0,97	59	7,3	28	28,7	57	0,98	1,25	1,13	90
AKF	1,07	0,05	0,060	99,8	0,28	0,01	0,01	97	16	8,5	18,3	71	3,14	0,25	0,96	87
Diep	1,73	0,77	2,75	Nvt	0,04	0,04	0,01	Nvt	0,18	16	25,7	Nvt	0,61	1,77	2,9	Nvt
Rein	1,23	1,46	1,90	Nvt	0,07	0,09	0,15	Nvt	8,24	40	31,0	nvt	1,73	2,71	2,1	Nvt

Naast de kwantitatieve bepaling is met behulp van de ICPMS tevens semi-kwantitatief een serie (zware) metalen gemeten in het Hemoflow-concentraat (Tabel 25, Bijlage 2). Hieruit blijkt met name ijzer, maar ook mangaan, calcium (alleen in het voorfiltraat) en silicium in relatief grote hoeveelheden voorkomen in deeltjes in de zuivering.

Om de concentratie van een bepaalde component in deeltjes vast te stellen is het verschil bepaald tussen de concentratie in het concentraat en de achtergrondconcentratie en vervolgens gedeeld door de hoeveelheid geconcentreerd water.

De semi-kwantitatieve bepaling van mangaan (Bijlage 2) komt op een enkele uitzondering na goed overeen met de kwantitatieve bepaling (Tabel 8). De semi-kwantitatieve bepaling van ijzer geeft echter circa vijf maal hogere concentraties dan de kwantitatieve methode. Dit is bekend bij het KWR-laboratorium en daarom wordt aangeraden om alleen de concentraties bepaald met de kwantitatieve methode te gebruiken. Dit betekent dat ook de overige concentraties in Tabel 25 moeten worden gezien als indicatieve waarden, die slechts een orde-grootte aangeven. Een goede vergelijking met concentraties in het TILVS-concentraat is daarom ook niet mogelijk.

Voor het overgrote deel van de zware metalen verschilt de concentratie in de achtergrond nauwelijks van de concentratie in het concentraat. Hierdoor is de concentratie zware metalen in deeltjes/colloïden

(groter dan circa 0,01 µm) niet nauwkeurig vast te stellen. Alleen voor bestanddelen die in relatief grote hoeveelheden voorkomen in de deeltjes (zoals ijzer, mangaan, NPOC silicium, calcium) is de hoeveelheid vast te stellen. In sommige gevallen was de achtergrondconcentratie hoger dan in het Hemoflow-concentraat. Indien dit op alle monsterpunten het geval was, is deze component niet in Tabel 25 opgenomen.

Hemoflow is niet geschikt is om sporen van zware metalen in deeltjes vast te stellen in concentraties die vaak veel kleiner zijn dan circa 1 µg/l zijn (teruggerekend naar concentraties in het niet geconcentreerde water) omdat verschillen tussen de achtergrondconcentratie (en de nauwkeurigheid van deze waardes) en het Hemoflow-concentraat (achtergrondconcentratie + geconcentreerde deeltjes) voor de meeste metalen zeer klein is. De semi-kwantitatieve ICP-MS metingen van het Hemoflow-concentraat van juni en augustus zijn terug te vinden in Bijlage 2.

3.2.2 Microbiologische parameters

Biofilm vormingssnelheid (BVS)

Op basis van de resultaten van de biofilmmonitoren die geplaatst zijn in het voorfilteraat, het nafiltraat en het AKF-filtraat in periode van 25 maart 2010 tot en met augustus 2010 is de BVS bepaald (Tabel 9 en Figuur 20).

In het voorfilteraat is de BVS vastgesteld op 344 ± 84 pg ATP cm⁻² d⁻¹. Dit voldoet bij lange na niet aan de streefwaarde van 10 pg ATP cm⁻² d⁻¹. Dit is niet verbazingwekkend aangezien het voorfilteraat nog veel groeibevorderende componenten bevat zoals circa 0,8 mg/l ammonium, 7 mg/l DOC, 60 µg/l ortho-fosfaat, 0,1 mg/l ijzer en 0,4 mg/l mangaan. Hierdoor wordt er veel biofilm gevormd.

Opvallend in de biofilmvorming in het voorfilteraat is de sterke daling na dag 104 (7 juli 2010). Van dag 74 (7 juni 2010) tot dag 96 (29 juni 2010) is filterstraat 2 van het middeldiep gewonnen grondwater in onderhoud genomen. Dit leidde tot een hoger debiet in de onderzochte zuiveringsstraat 1 van 165 m³/uur tot 175-185 m³/uur. De belasting met deeltjes in het voorfilteraat is erg variabel. Mogelijk spelen ijzerdeeltjes een rol in de afname van de biofilm in het voorfilteraat.

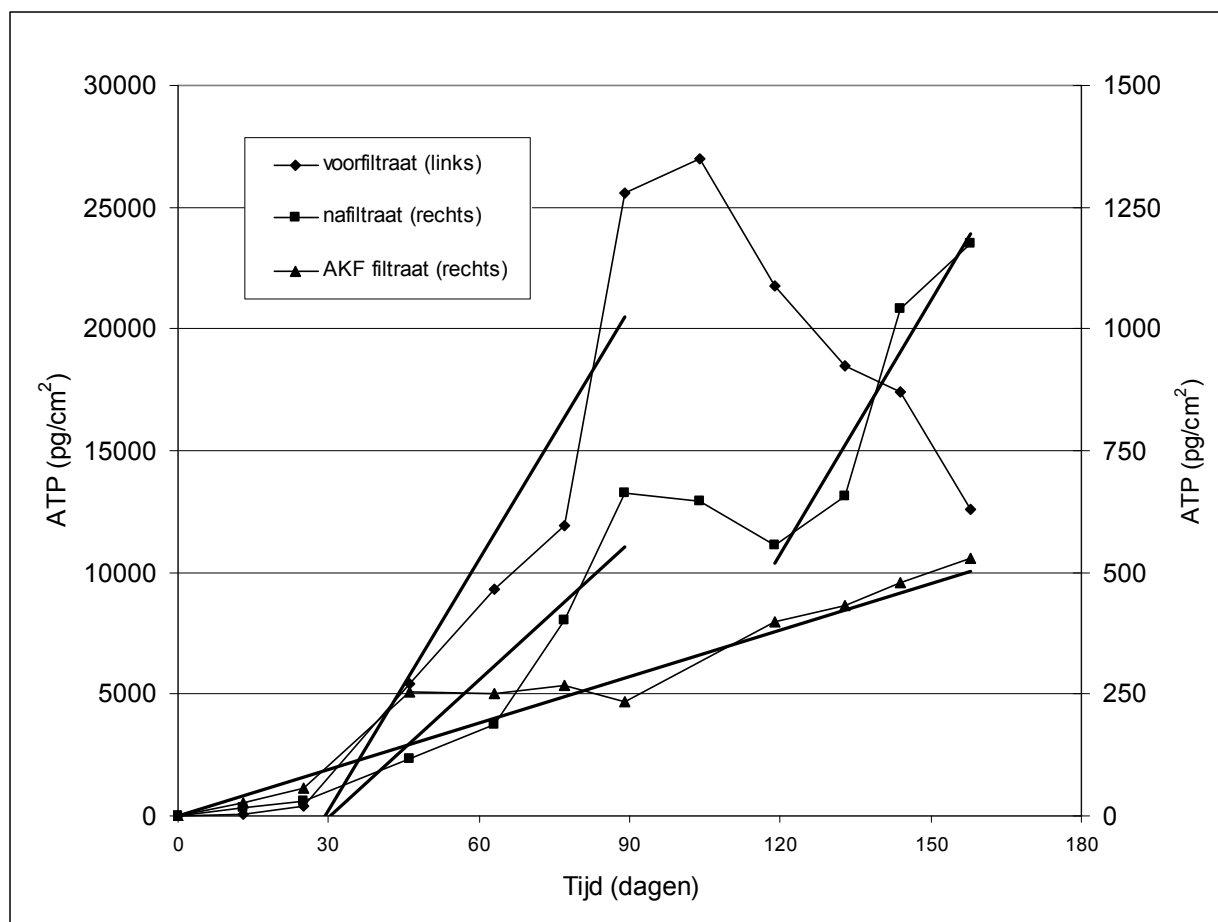
Er zijn twee periodes met een sterke groei van de biofilm van het nafiltraat: dag 25 tot 89 (19 april tot 22 juni) en dag 119 tot 158 (22 juli tot 30 augustus). In deze periodes was de BVS respectievelijk $9,4 \pm 2,1$ en $17,3 \pm 3,6$ pg ATP cm⁻² d⁻¹, waarmee in de eerste periode wel de streefwaarde voor biologisch stabiel water gehaald wordt en in de tweede niet. De daling van de BVS ten opzichte van het voorfilteraat is onder meer een gevolg van de verwijdering van ammonium tot circa 0,01 mg/l, ortho-fosfaat tot circa 20 µg/l en ijzer en mangaan tot onder de 0,01 mg/l in het nafiltraat.

De BVS van het AKF-filtraat was in de onderzoeksperiode gemiddeld $3,3 \pm 0,3$ pg ATP cm⁻² d⁻¹. Hiermee wordt ruimschoots aan de streefwaarde voor biologisch stabiel water voldaan. Opvallend is wel de stabilisatie van de biofilmgroei tussen dag 46 en 104 (10 mei en 7 juli) waarna er weer groei optrad van de biofilm.

De enige onregelmatigheid die werd geconstateerd tijdens het bedrijven van de BFM in het AKF-filtraat was op 24 juni 2010 (dag 91). Op die dag stond de BFM droog. Twee dagen eerder, dag 89, is er een monster genomen. Toen stond de BFM nog niet droog, dus deze situatie heeft zich maximaal twee dagen voorgedaan. Op dag 91 is het debiet op 50 liter per uur gebracht en later die dag weer op het normale debiet van 275 liter per uur. Het eerste punt na de droogstand (t = 104 dagen) is niet meegenomen in de berekening van de BVS.

Tabel 9. Biofilmvormingssnelheid in het voorfilteraat, nafiltraat en AKF-filtraat (middeldiep gewonnen grondwater, straat 1, maart tot en met augustus 2010).

Meetpunt	Periode bepaling BVS			BVS pg ATP cm ⁻² d ⁻¹
	Start	eind	tijd interval (d)	
Voorfilteraat	19 april 2010	22 juni 2010	64	344 ± 84
Nafiltraat	19 april 2010	22 juni 2010	64	9,4 ± 2,1
Nafiltraat	22 juli 2010	30 augustus 2010	39	17,3 ± 3,6
AKF filtraat	25 maart 2010	30 augustus 2010	158	3,3 ± 0,3



Figuur 20. Biofilmvorming in voorfiltraat, nafiltraat en AKF filtraat van wpb Nuland (middeldiep gewonnen grondwater, straat 1, maart tot en met augustus 2010).

Ijzer- en mangaanafzettingssnelheid

De ijzer- en mangaanafzettingssnelheden in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater (straat 1) zijn weergegeven in *Tabel 10* en *Tabel 11*.

De ijzerafzetting in de biofilm van het voorfiltraat steeg gedurende de gehele onderzoeksperiode. De gemiddelde ijzerafzettingssnelheid in het voorfiltraat gedurende de onderzoeksperiode van 104 dagen is vastgesteld op $8,8 \text{ mg Fe m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Dit is 33 keer hoger dan in het nafiltraat, die weer 1,5 keer hoger is dan in het AKF-filtraat.

De ijzerafzettingssnelheid in het AKF-filtraat is erg variabel (*Figuur 21*). In *Tabel 10* is de maximale waarde weergegeven. De daling in de ijzerafzetting in het AKF-filtraat na dag 46 ook in het nafiltraat te zien. De hoge ijzerafzetting op dag 46 in het AKF-filtraat gaat gepaard met een stabilisatie van de biofilmvorming in het AKF-filtraat (*Figuur 20*).

De (versnelde) stijging van de ijzerafzettingssnelheid in het voorfiltraat en het nafiltraat van 10 juni tot 7 juli (dag 74-96, *Figuur 21*) zou verband kunnen hebben met het hogere debiet in filterstraat 1 van 7 juni 2010 tot 29 juni 2010. Het ijzergehalte in het voorfiltraat en nafiltraat was in die periode niet hoger dan ervoor.

De mangaanafzettingssnelheid in het voorfiltraat is vastgesteld op $33 \text{ mg Mn m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Dit is gebaseerd op de snelle stijging van de mangaanafzetting tussen dag 77 en 104. Daarvoor was de mangaanafzettingssnelheid beduidend lager (*Figuur 22*). Deze stijging zou verband kunnen hebben met het hogere debiet in filterstaat 1 van dag 74 tot 96. Het mangaangehalte in het voorfiltraat was in die periode niet hoger dan ervoor. De sterke stijging van de mangaanafzettingssnelheid in het voorfiltraat tussen dag 77 en 104 ging gepaard met een sterke stijging van de BVS en de ijzerafzettingssnelheid in het voorfiltraat in deze periode.

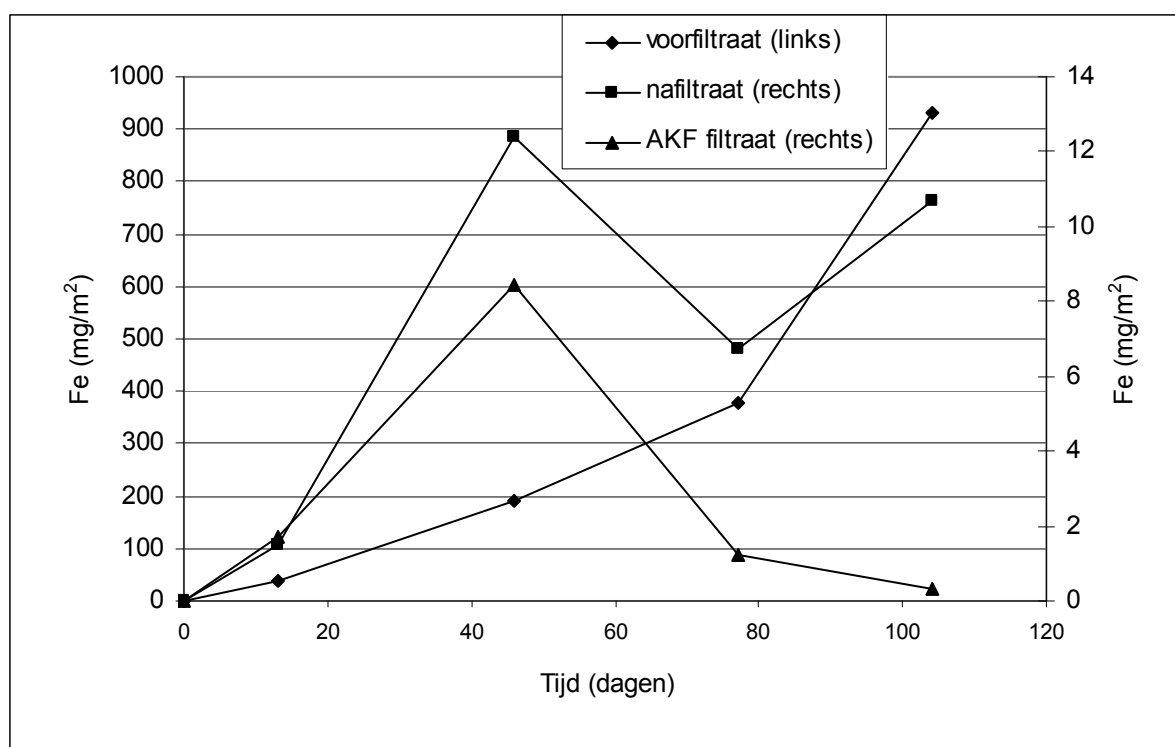
De mangaanafzettingssnelheid in het nafiltraat is ruim 600 keer lager dan in het voorfiltraat en in het AKF-filtraat is de mangaanafzettingssnelheid ruim 3000 keer lager.

Tabel 10. IJzerafzettingssnelheid in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat (middeldiep gewonnen grondwater, straat 1, maart tot en met juli 2010).

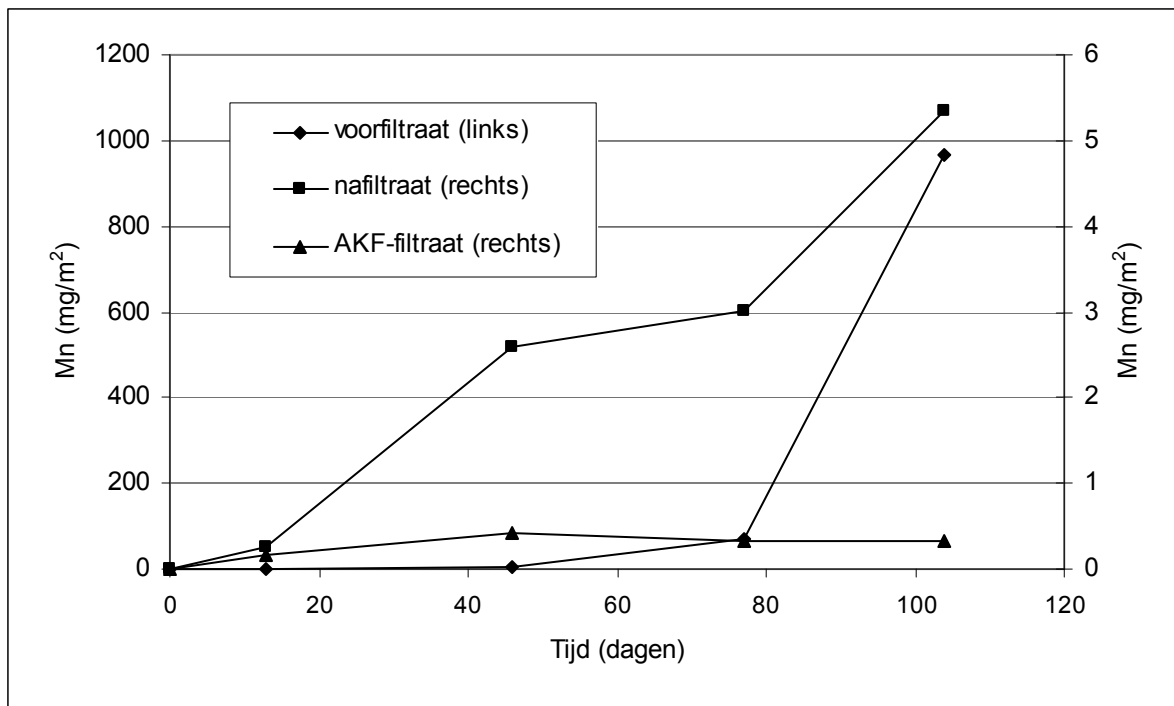
meetpunt	Periode			Biofilm - start	Biofilm - eind	Fe afz. snelheid
	start	eind	tijd interval (d)	mg Fe m ⁻²	mg Fe m ⁻²	mg Fe m ⁻² d ⁻¹
voorfiltraat	25 maart 2010	7 juli 2010	104	0	931	8,8
nafiltraat	25 maart 2010	10 mei 2010	46	0	12,4	0,27
AKF-filtraat	25 maart 2010	10 mei 2010	46	0	8,45	0,18

Tabel 11. Mangaanafzettingssnelheid in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat (middeldiep gewonnen grondwater, straat 1, maart tot en met juli 2010).

meetpunt	Periode			Biofilm - start	Biofilm - eind	Mn afz. snelheid
	start	eind	Tijd interval (d)	mg Mn m ⁻²	mg Mn m ⁻²	mg Mn m ⁻² d ⁻¹
voorfiltraat	10 juni 2010	7 juli 2010	27	71,4	966	33
nafiltraat	25 maart 2010	7 juli 2010	104	0	5,3	5,0 10 ⁻²
AKF-filtraat	25 maart 2010	10 mei 2010	46	0	0,43	9,4 10 ⁻³



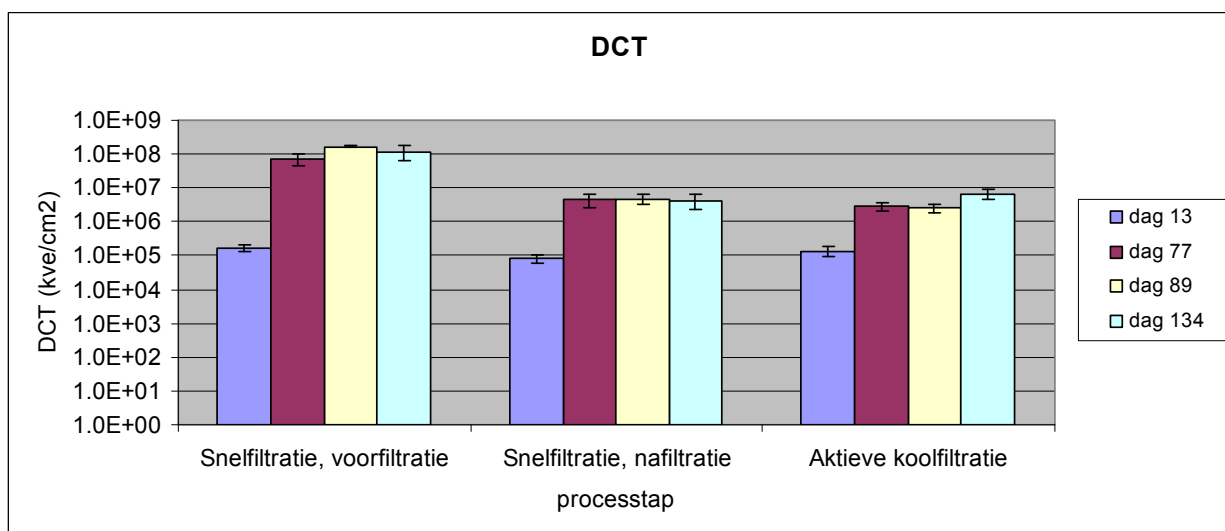
Figuur 21. IJzerafzetting op de biofilms van de biofilmmonitoren in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat in de periode eind maart tot half juli 2010 (middeldiep gewonnen grondwater, straat 1).



Figuur 22. Mangaanafzetting op de biofilms van de biofilmmonitors in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat in de periode eind maart tot half juli 2010 (middeldiep gewonnen grondwater, straat 1).

Directe celtellingen (DCT)

Op de ringen van de biofilmmonitors in het voorfiltraat, nafiltraat en actief koolfiltraat van het middeldiep gewonnen grondwater zijn directe celtellingen gedaan. Het totaal aantal cellen is een maat voor de biomassa op de biofilm. Op dag 13 is het aantal cellen op de ringen nog relatief laag (Figuur 23). Vanaf dag 77 zijn er geen grote veranderingen meer te zien in het aantal cellen op de ringen op de drie plekken in de zuivering waar dit is vastgesteld. Figuur 23 laat zien dat het aantal cellen op de ringen van de BFM in het nafiltraat gemiddeld ongeveer een log-eenheid is afgenomen ten opzichte van het voorfiltraat. In het actief koolfiltraat is geen duidelijke verschil te zien van het aantal cellen ten opzichte van het nafiltraat. Omdat directe celtellingen op de ringen niet heel vaak gemeten worden, is er weinig vergelijkingsmateriaal met andere situaties.



Figuur 23. Directe celtellingen in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat (\pm standaarddeviatie) van het middeldiep gewonnen grondwater van wpb Nuland.

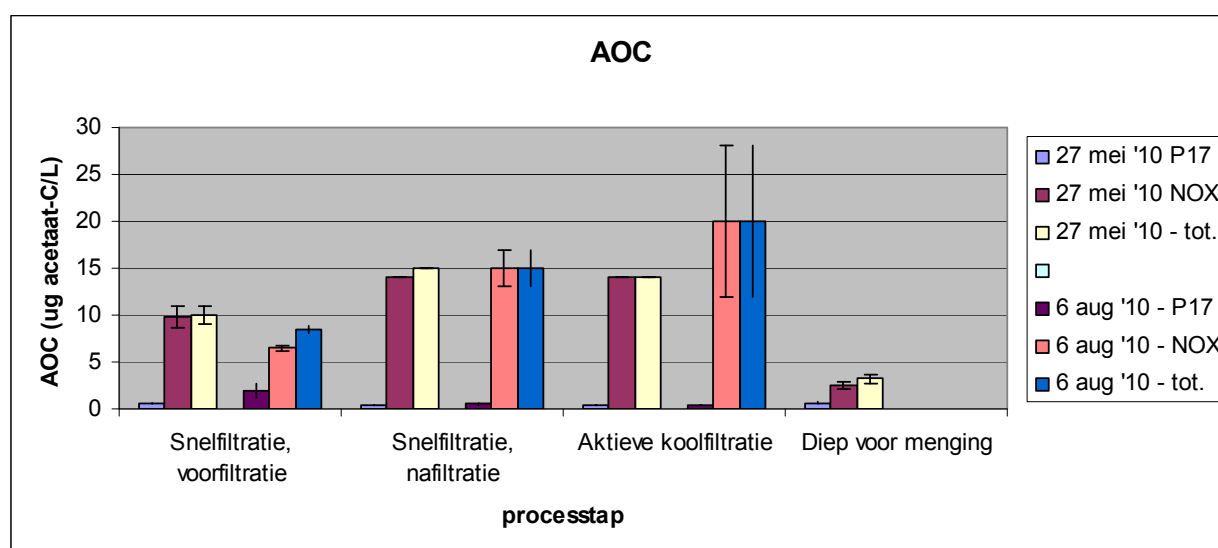
Assimileerbaar Organische Koolstof (AOC)

De AOC is een maat voor het gehalte gemakkelijk assimileerbaar organisch stof in water. De AOC-concentratie is twee maal bepaald in de onderzoeksperiode. In het voorfiltraat was de totale AOC-concentratie gelijk aan of kleiner dan de streefwaarde voor biologisch stabiel water (Figuur 24). Deze is vastgesteld op 10 µg acetaat-C/l (Van der Kooij e.a., 1997).

De AOC-concentratie in het nafiltraat stijgt ten opzichte van het voorfiltraat. In het AKF-filtraat op 6 augustus 2010 wordt een totale AOC-concentratie van 20 µg acetaat-C/l gemeten. Aangezien deze meting een hoge standaarddeviatie heeft, is niet met zekerheid te zeggen of de AOC-concentratie na het AKF verder is gestegen of gelijk is gebleven. De meting van 27 mei 2010 geeft aan dat de AOC-concentratie in het AKF vrijwel gelijk is gebleven ten opzichte van het nafiltraat.

De AOC-concentratie in het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging is duidelijk lager dan in de zuiveringsstraat met het middeldiep gewonnen grondwater en voldoet met 3,2 µg acetaat-C/l aan de streefwaarde voor biologisch stabiel drinkwater (enkelvoudige meting).

Het valt op dat de AOC bijna volledig bepaald wordt door stam NOX en nauwelijks door stam P17, wat erop duidt dat de AOC met name bestaat uit carbonzuren.



Figuur 24. AOC-concentratie in de zuiveringsstraat (straat 1) van het middeldiepe grondwater en van het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging.

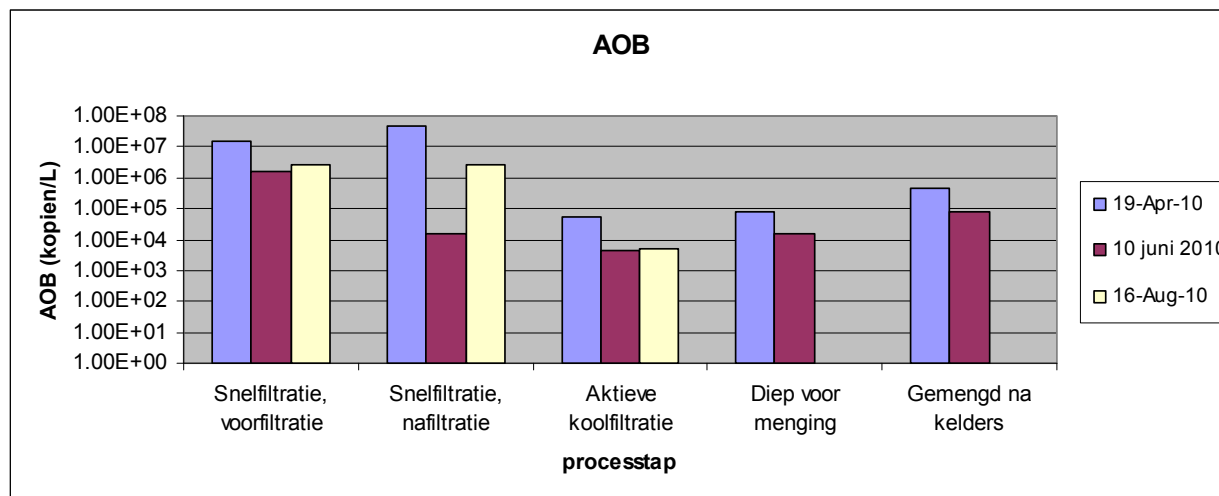
Ammonium oxiderende bacteriën (AOB)

De AOB-concentratie in het voorfiltraat lag in de onderzoeksperiode in de ordegrootte 10^6 - 10^7 kopieën per liter (Figuur 25). Een deel van het ammonium, circa 20%, wordt in het voorfilter verwijderd, maar het grootste deel in het nafiltraat (Figuur 5). In het nafiltraat fluctueert de AOB-concentratie sterk. Hier zouden hogere aantallen AOB kunnen worden verwacht dan in het voorfiltraat, omdat de activiteit van de AOB in het nafiltraat groter is. Dit blijkt echter niet duidelijk uit Figuur 25. De ammoniumconcentratie in het nafiltraat is circa 0,01 mg/l. Omdat deze concentratie al in de bovenste meter van het filter bereikt wordt (Figuur 6) is het aannemelijk dat onderin het filter minder AOB aanwezig zijn. Het filtraat is met name representatief voor (uitspoeling van) AOB onderin het filter. In het AKF-filtraat is de AOB-concentratie lager, vanwege het lage aanbod van ammonium in het actieve koolfilter (0,01-0,02 mg/l) en daarmee geringe microbiologische activiteit ten aanzien van ammoniumomzetting.

In het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en in het reinwater zijn opvallend hoge AOB waarden terug te vinden.

In 2007 werden opvallend lagere AOB-concentraties gevonden, 16/ml in het nafiltraat en 7/ml in het AKF-filtraat in de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater, 3225/ml na het dubbellaagsfilter van de zuivering van het diep gewonnen grondwater en 1000/ml in het reine water (Van der Wielen en Van der Kooij, 2008). In 2008 waren ook de concentraties ammoniumoxiderende prokaryoten (dit is de som van de aantallen AOB en ammoniumoxiderende archaea) in de zuivering

duidelijk lager (Van der Wielen en Van der Kooij, 2008) dan de huidige aantallen AOB. Hiervoor is geen verklaring gevonden.



Figuur 25. Aantallen ammonium oxiderende bacteriën na de zuiveringsprocessen van wpb Nuland.

ATP

Het ATP-gehalte is een maat voor de aanwezige actieve biomassa in het monster. De gemiddelde ATP-concentratie in het voorfiltraat was tijdens de onderzoeksperiode 16,0 ng/l (Tabel 12). De standaarddeviatie (7,4 ng/l) is bepaald over de meetreeks van vijftien metingen. Deze geeft aan dat er een behoorlijke spreiding is in de ATP concentratie in het voorfiltraat. In het nafiltraat is de gemiddelde ATP-concentratie gedaald tot 7,5 ng/l. In het AKF-filtraat is de gemiddelde ATP concentratie licht gestegen naar 9,8 ng/l. Dit duidt op biologische activiteit in het actieve koolfilter.

Omdat ATP in water zowel in meetpakket 2 is gemeten en ook in de biofilmmonitoren wordt gemeten, zijn er op vier dagen dubbele metingen. Deze metingen komen vrij goed overeen, behalve de metingen in het voor- en nafiltraat op 27 mei. Het lijkt erop dat hier de twee monsters uit meetpakket 2 zijn verwisseld, maar dat is niet meer na te gaan.

Het diep gewonnen grondwater na het dubbellaagsfilter en voor menging heeft een duidelijk lagere ATP-concentratie (4,0 ng/l). In het gemengde reinwater na de kelders was de ATP-concentratie gemiddeld 8,6 ng/l. Op grond van de mengverhouding (middeldiep : diep = 60 : 40) wordt hier gemiddeld 7,5 ng/l verwacht maar gezien de relatief grote spreiding in de verschillende metingen is dit geen significant verschil. Bovendien zijn de metingen in het middeldiepe grondwater en het diepe grondwater slechts in één straat uitgevoerd.

Tabel 12. ATP-concentraties (ng/l) in het zuiveringsproces van wpb Nuland (de eerste vier metingen vielen in meetpakket 2, de overige metingen waren onderdeel van de biofilmmonitor).

Plaats in de zuivering	Gem. ± sd	Meetpakket 2				Metingen onderdeel van biofilmmonitor										
		19 Apr 10	27 mei 2010	10 juni 2010	16 Aug 10	7 Apr 10	19 Apr 10	10 mei 10	27 mei 10	10 juni 10	22 juni 10	7 juli 10	22 juli 10	5 Aug 10	16 Aug 10	30 Aug10
Snelfiltratie, voorfiltraat	16,0 ± 7,4	12	5.5	14	17	25.8	13.9	11.5	17.8	14.1	14	14.8	13.5	10.6	17.5	37.3
Snelfiltratie, nafiltraat	7,5 ± 2,6	8.1	15.6	6.8	6.6	7.3	6.9	6.2	6.8	8.6	5.5	82.9*	7.7	4.4	6.6	6.2
Aktieve koolfiltraat	9,8 ± 3,4	15	9.4	11	6.5	18.3	11.1	12.8	8.8	9.9	8.5	8.5	8.6	5.9	6.5	6.4
Diep voor menging	4,0 ± 0,4	3.7	4.3	4.2	3.6											
Gemengd na kelders	8,6 ± 1,9	8.6	6.4	8.3	11											

* uitbijter, niet meegenomen in gemiddelde

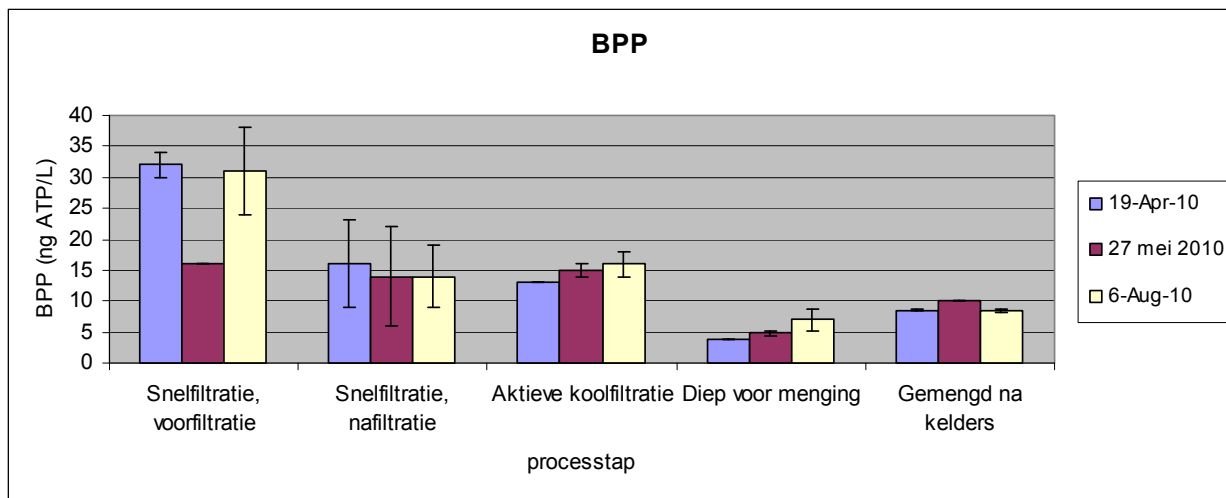
Biomassaproductiepotentie (BPP)

De biomassaproductiepotentie (BPP) is een maat voor de groeibevorderende werking van een watermonster. De BPP is bepaald in het voorfiltraat, nafiltraat en actief koolfiltraat van het middeldiep gewonnen grondwater, in het diep gewonnen grondwater na het dubbellaagsfilter en in het reinwater na de kelders. De BPP in het nafiltraat is duidelijk gedaald ten opzichte van het voorfiltraat, vermoedelijk als gevolg van de (gedeeltelijke) verwijdering van enkele groeibevorderende componenten in het nafiltraat, zoals ammonium, ortho-fosfaat, ijzer en mangaan. In het AKF-filtraat is de BPP niet verder gedaald en bedraagt circa 15 ng ATP/l.

In het diep gewonnen grondwater na het dubbellaagsfilter is de BPP duidelijk lager, circa 5 ng ATP/l, dan in de zuiveringsstraat van het middeldiep gewonnen grondwater. Dit is consistent met de directe ATP-metingen (Tabel 12) en de AOC-meting (Figuur 24). De BPP van het reine water heeft ongeveer de waarde die verwacht kan worden op basis van het mengen van beide waterstromen.

Ter vergelijking enige andere BPP-metingen op zuiveringslocaties. Op Leiduin werden BPP's gemeten van 54 ± 17 ng ATP/l en 41 ± 19 ng ATP/l in een praktijkinstallatie vóór ontharding maar na ozonisatie. In een praktijkinstallatie van pb Kralingen werd $15 \pm 1,4$ ng ATP/l en 54 ± 17 ng ATP/l gemeten na ozonisatie. Drinkwater van Tull en 't Waal (Vitens) in Nieuwegein had een BPP tussen 4 en 9 ng ATP/l (Beerendonk e.a., 2005).

In het voedingswater van de RO-installaties van Baanhoek werd een BPP gemeten van 16-35 ng ATP/l. In combinatie met een AOC van 17-25 μ g acetaat-C/l werd dit gekarakteriseerd als groeibevorderend (Hijnen e.a., 2006). Het voedingswater van deze installatie wordt bereid uit water afkomstig uit de spaarbekkens van de Brabantse Biesbosch door behandeling met inline coagulatie en ultrafiltratie. Drinkwater van pb Veendam (grondwater als bron) had een lage BPP van 4-8 ng ATP/l (Hijnen et al., 2007). Op grond hiervan kan gesteld worden dat de BPP van wpb Nuland niet bijzonder hoog is.



Figuur 26. De biomassaproductiepotentie in het voorfiltraat, nafiltraat en actief koolfiltraat van het middeldiep gewonnen grondwater, in het diep gewonnen grondwater na het dubbellaagsfilter en in het reinwater na de kelders.

3.3 Beschrijving waterkwaliteit per zuiveringsstap

Ruw middeldiep gewonnen grondwater

Het ruwe middeldiep gewonnen grondwater (35 – 76 m -mv) is vrijwel anaëroob (0,29 mg O₂/l), bevat ruim 1 mg/l methaan, circa 9 mg/l totaal ijzer, 0,4 mg/l mangaan, 1 mg/l ammonium, 9 mg/l DOC, en 0,5 mg/l totaal fosfaat (Tabel 13).

Tabel 13. Chemische parameters van het ruwe middeldiepe grondwater van wpb Nuland (straat 1) in de periode april tot en met augustus 2010.

Parameter	n	gemiddeld	Standard-deviatie
zuurstof (mg/l)	3	0,29	0,02
ijzer (II + III) (mg/l)	3	9,1	0,06
mangaan (mg/l)	3	0,44	0,01
ammonium (mg/l)	2	0,98	0,03
pH	3	7,0	0,1
kleur (mg Pt/l)	3	210	90
methaan (mg/l)	3	1,2	0,1
P-totaal (mg/l)	3	0,53	0,03
ortho-P (mg/l)	2	0,59	0,01
DOC (mg/l)	3	9,2	0,04

Beluchting

Als gevolg van beluchting in de BOT raakt het water (vrijwel) verzadigd met zuurstof (de verzadigingsconcentratie van zuurstof in water van 12°C is circa 11 mg/l) en de methaanconcentratie daalt van 1,2 mg/l in het ruwe water tot 0,03 mg/l na de BOT. Tijdens de beluchting wordt 3-4 mg/l ijzer verwijderd. Ook is er een hoeveelheid totaal fosfaat (0,1 – 0,3 mg/l) verwijderd. Dit komt vermoedelijk door ijzerneerslag op de kunststof Pall ringen, waarbij ook een deel van het fosfaat gebonden wordt. Het resterende fosfaat bestaat voor het grootste gedeelte uit deeltjes/colloïden tussen de 0,01 µm en 0,45 µm (Tabel 3). Dit blijkt uit analyse van het botaat na filtratie over een 0,45 µm en 100 kDa filter.

Ook de daling van de kleurintensiteit na de beluchting (Figuur 10) is vermoedelijk een gevolg van de verwijdering van ijzer(-DOC)-complexen. Na het spoelen van de BOT (één keer in de zestig uur) kunnen er deeltjespieken ontstaan, die ook nog in het filtraat van het voorfilter gedetecteerd worden (Figuur 12). Twee maal per jaar worden de beluchtings- en ontgassingstorens (BOT's) schoongemaakt en de Pall ringen vervangen.

Doordat CO₂ in de BOT verwijderd wordt, stijgt de pH na de BOT met enkele tienden pH-eenheden ten opzichte van het ruwe water (Figuur 11).

Voorfiltratie

Het voorfilter verwijdert vrijwel al het resterende ijzer (5-6 mg/l), maar de bedrijfsnorm van Brabant Water (0,05 mg/l) wordt nog niet bereikt in het voorfiltraat (Figuur 3). Circa 20% van het aanwezige ammonium wordt in het voorfilter verwijderd (Figuur 5) door nitrificatie. Verder wordt een gedeelte (2 mg/l) van het DOC (Figuur 9) en het grootste deel van de kleur (Figuur 10) verwijderd in het voorfilter. De verwijdering van kleur is gerelateerd aan de verwijdering van ijzer- en ijzer-DOC-complexen. Door spoelingen van de voorfilters is er bijna dagelijks een piek te zien in de deeltjesconcentratie (deeltjes van 1-100 µm) van het voorfiltraat (Figuur 12). De hoogte van deze pieken kan oplopen tot circa 5000 ppb (volume). De mediane deeltjesconcentratie, tijdens "normale" bedrijfsvoering, is veel lager en is in de drie meetperiodes vastgesteld op respectievelijk 26,1 ppb, 58,6 ppb en 27,4 ppb (volume). De kwaliteit van het voorfiltraat, wat deeltjes betreft, blijkt dus behoorlijk te variëren, ondanks dat deze mediane concentraties over een periode van vier dagen zijn vastgesteld. In het voorfiltraat bleken de deeltjesfracties van 1-2 µm en van 2-3 µm (relatief kleine deeltjes met veel ijzer) het meest voor te komen (op volumebasis) (Figuur 14).

De hoeveelheid deeltjes in het voorfiltraat verzameld met TILVS (in $\mu\text{g}/\text{l}$) (Tabel 7) geeft grotere waarden dan de mediane totale hoeveelheid deeltjes (in $\text{ppb vol} = \mu\text{g}/\text{l}$) vastgesteld met de deeltjestellers (Tabel 5). Dit komt doordat met behulp van TILVS deeltjes van circa $0,7 \mu\text{m}$ en groter worden geconcentreerd en de deeltjestellers alleen deeltjes van 1 tot $100 \mu\text{m}$ tellen. Verder zijn de waarden in Tabel 5 de mediane concentraties terwijl de concentratie bepaald met TILVS de gemiddelde concentratie is, teruggerekend uit de totale hoeveelheid gecumuleerde droge stof in vier dagen.

Ongeveer 32% van de massa van de deeltjes in het TILVS-concentraat van het voorfiltraat bestaat uit ijzer. Als er vanuit wordt gegaan dat ijzer aanwezig is als ijzerhydroxide ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) dan is dit circa 61% van de massa. Circa 9% van de massa van de deeltjes in het voorfiltraat bestaat uit NPOC (niet vluchtig organisch koolstof). De totale hoeveelheid niet vluchtig organisch stof zal nog een factor 1,5-2 hoger zijn, omdat de 9% alleen koolstof is. Ook de analyse van het Hemoflow-concentraat (deeltjes groter dan circa $0,01 \mu\text{m}$) geeft aan dat ijzer de belangrijkste component is in de deeltjes in het voorfiltraat. Uit de deeltjesgrootteverdeling (Tabel 4) kan worden geconcludeerd dat het grootste deel van de ijzerdeeltjes kleiner is dan $3 \mu\text{m}$. De relatief grote fractie van 10-15 μm in het voorfiltraat wordt mogelijk mede veroorzaakt door de aanwezigheid van bacteriën.

Totaal fosfaat wordt voor circa 90% verwijderd in het voorfilter ten opzichte van het ruwe water. Een groot deel (meer dan 50%) van het resterende ortho-fosfaat in het voorfiltraat is aanwezig in deeltjes/colloïden met een grootte tussen $0,01 \mu\text{m}$ en $0,45 \mu\text{m}$ (Tabel 3). In het filtraat van de 100 kDa-filters is de ortho-fosfaat concentratie namelijk kleiner dan $20 \mu\text{g}/\text{l}$ en zonder filtratie is deze minstens een factor 2 hoger. Uit meetronden 2 tot en met 4 blijkt dat deze deeltjesconcentratie circa $40\text{-}50 \mu\text{g}/\text{l}$ ortho-fosfaat is (Tabel 3). Deze concentraties zijn niet direct te vergelijken met de concentratie totaalfosfaat in het Hemoflow-concentraat (Tabel 8). Het gaat hier om totaal fosfaat in verzamelmonsters die over een langere periode (vier dagen) verzameld zijn. De totale fosfaatconcentratie in deeltjes ($\geq 0,01 \mu\text{m}$), zoals gemeten in het Hemoflow-concentraat van het voorfiltraat, fluctueert tussen $0,47 \mu\text{g}/\text{l}$ en $27,5 \mu\text{g}/\text{l}$ (Tabel 8).

In het voorfiltraat is de BVS vastgesteld op $344 \pm 84,1 \text{ pg ATP cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Dit is veel hoger dan de streefwaarde voor biologisch stabiel water ($10 \text{ pg ATP cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) aangezien het voorfiltraat nog veel groeibevorderende componenten bevat. De AOC-concentratie in het voorfiltraat is circa $10 \mu\text{g}$ acetaat-C/l en voldoet hiermee wel aan de streefwaarde voor biologisch stabiel water (vastgesteld op $10 \mu\text{g}$ acetaat-C/l).

De ijzerafzettingssnelheid in het voorfiltraat was hoog ($8,8 \text{ mg Fe m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) doordat er gemiddeld nog $0,13 \text{ mg}/\text{l}$ totaal ijzer in het voorfiltraat aanwezig was.

Op basis van de periode van 10 juni (dag 77) tot 7 juli 2010 (dag 104) waarin in de onderzochte straat 1 van het middeldiep gewonnen grondwater een verhoogd debiet heerste, is een mangaanafzettingssnelheid in het voorfiltraat vastgesteld op $33 \text{ mg Mn m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Dit is ongeveer een factor 30 meer dan de gemiddelde mangaanafzettingssnelheid in de periode van 25 maart (dag 0) tot 10 juni 2010 (dag 77). In het voorfilter is nog geen mangaan verwijderd en in het voorfiltraat was de mangaanconcentratie circa $0,4 \text{ mg}/\text{l}$.

KMnO₄-dosering

Tussen het voorfilter en het nafilter wordt kaliumpermanganaat (KMnO_4) gedoseerd om ijzer-DOC-complexen te oxideren, wat leidt tot een additionele hoeveelheid van circa $0,7 \text{ mg}/\text{l}$ mangaan in het water. Het effect van deze dosering op de biologische stabiliteit is in dit onderzoek niet onderzocht.

Nafiltratie

Mangaan, ammonium en restijzer worden tot onder de streefwaarde (bedrijfsnorm) verwijderd in het nafilter. In het voorfilter en nafilter samen wordt in totaal circa $2 \text{ mg}/\text{l}$ zuurstof verbruikt als gevolg van onder meer ijzer- en mangaanoxidatie en nitrificatie. Het is opvallend dat bovenin het nafilter hogere ammoniumconcentraties worden gemeten dan onderin het voorfilter (Figuur 6). Vermoedelijk is het

lastig om representatieve monsters te nemen onderin het voorfilter. Mangaanverwijdering vindt uitsluitend plaats in het nafiltraat en met name in de bovenste meter van het circa 2,2 meter hoge filterbed. Concentraties van DOC (Figuur 9) en kleur (Figuur 10) dalen verder in het nafiltraat. De daling van kleur in het nafiltraat is vermoedelijk het gevolg van de daling van de DOC-concentratie ten opzichte van het voorfiltraat.

In het nafiltraat is de totale fosfaatconcentratie en de ortho-fosfaatconcentratie met een factor 2 tot 3 gedaald ten opzichte van het voorfiltraat (Tabel 3). Aangezien de ortho-fosfaatconcentratie niet daalt na voorbewerking met een 0,45 µm filter en 100 kDa filter kan worden geconcludeerd dat het aanwezige ortho-fosfaat in opgeloste vorm aanwezig is in het nafiltraat, in ieder geval niet in deeltjes of colloïden groter dan 0,01 µm. Uit de analyse van het Hemoflow-concentraat blijkt dat circa 1 µg/l totaal fosfaat in het nafiltraat aanwezig is in deeltjes groter dan 0,01 µm. Dit is een verwijdering van gemiddeld 90% van de deeltjes ten opzichte van het voorfiltraat (Tabel 8). De 1 µg/l totaal fosfaat in deeltjes is een klein deel van het totale fosfaat in het nafiltraat, zoals weergegeven in Tabel 3 (34-80 µg/l). Er kan worden geconcludeerd dat in het nafiltraat de fosfaatbevattende deeltjes/colloïden (> 0,01 µm) effectief verwijderd worden. Het is dus niet waarschijnlijk dat nalevering van fosfaat gebonden aan deeltjes de oorzaak is van een hoge BVS in het nafiltraat of verder in de zuivering.

Door spoelingen van de nafiltraats is er ongeveer om de anderhalve dag een piek te zien in de deeltjesconcentratie van het nafiltraat tot maximaal circa 500 ppb (volume) en 30.000 tot 40.000 deeltjes per ml (Figuur 12 en Figuur 13). De pieken zijn duidelijk lager dan in het voorfiltraat. Deze pieken zijn niet de afgevlakte pieken uit het voorfiltraat, maar het gevolg spoelingen van het nafiltraat zelf. Na een opstart na een spoeling van voorfilter en nafiltraat wordt het filtraat de eerste 10 minuten afgevoerd als spoelwater om uitspoeling van grote hoeveelheden deeltjes te voorkomen. De mediane deeltjesconcentratie (totaal aan deeltjes van 1 tot 100 µm) tijdens "normale" bedrijfsvoering in de drie meetperiodes was 1,4 tot 3,5 ppb (volume). In het nafiltraat komt op volumebasis de fractie met de grootste deeltjes (15-100 µm) het meest voor, gevolgd door de fractie met de kleinste deeltjes (1-2 µm) (Figuur 14).

Zowel met de TILVS-analyse als met de deeltjestellingen is vast te stellen in welke mate deeltjes zijn verwijderd in het nafiltraat ten opzichte van het voorfiltraat. Tabel 5 laat zien dat de mediane concentratie van het totaal aantal deeltjes (1 tot 100 µm) is gedaald van 26,1-58,6 ppb (volume) naar 1,4-3,5 ppb (volume), wat neerkomt op een daling van gemiddeld 94%. Op basis van de hoeveelheid vaste bestanddelen op het TILVS-filter (Tabel 7) is er eveneens een daling van 94% behaald in het nafiltraat ten opzichte van het voorfiltraat. Tevens treedt er een verschuiving in de deeltjesgrootte op.

De deeltjes in het nafiltraat (bepaald met het TILVS-concentraat) bestaan voor 14% uit ijzer (circa 28% als ijzer aanwezig is als Fe(OH)₃) en voor 12% uit mangaan (19% als mangaan aanwezig is als MnO₂ of Mn(OH)₂). Verder is het aandeel NPOC toegenomen van 9% in het voorfiltraat naar 20% in het nafiltraat (Tabel 7 en Figuur 19).

Er zijn twee periodes met een sterke groei van de biofilm in de BFM van het nafiltraat: dag 25 tot 89 (19 april tot 22 juni) en dag 119 tot 158 (22 juli tot 30 augustus). In deze periodes was de BVS respectievelijk $9,4 \pm 2,1$ en $17,3 \pm 3,6$ pg ATP cm⁻² d⁻¹, waarmee in de eerste periode wel de streefwaarde voor biologisch stabiel water gehaald wordt en in de tweede niet. De daling ten opzichte van het voorfiltraat is onder meer een gevolg van de verwijdering van ammonium tot circa 0,01 mg/l, ortho-fosfaat tot circa 20 µg/l en ijzer en mangaan tot onder de 0,01 mg/l in het nafiltraat.

In het nafiltraat was de ijzerafzettingssnelheid (0,27 mg Fe m⁻² d⁻¹) circa 30 keer lager dan in het voorfiltraat. De ijzerconcentratie in het nafiltraat lag doorgaans onder de detectielimiet. Dat er toch nog ijzer afgezet wordt, betekent dat de verwijdering van ijzer toch niet continu goed verloopt of dat met zeer lage ijzerconcentraties toch nog een afzetting plaatsvindt gedurende de vijf maanden van de onderzoeksperiode.

In het nafiltraat lag de mangaanconcentratie onder de detectielimiet. Daardoor was de mangaanafzettingssnelheid in het nafiltraat circa 600 keer lager dan in het voorfiltraat. Dat er toch nog mangaan afgezet wordt, betekent dat de verwijdering van mangaan toch niet continu goed verloopt of

dat met zeer lage mangaanconcentraties toch nog een afzetting plaatsvindt gedurende de vijf maanden van de onderzoeksperiode.

In het nafiltraat fluctueert de AOB-concentratie sterk met concentraties tussen 10^4 – 10^8 kopieën per ml (*Figuur 25*). Een deel van het ammonium, circa 20%, wordt in het voorfilter verwijderd, maar het grootste deel in het nafiltraat (*Figuur 5*). In het nafiltraat zouden hogere aantallen AOB kunnen worden verwacht dan in het voorfiltraat, omdat de activiteit van de AOB in het nafiltraat groter is. Dit blijkt echter niet duidelijk uit *Figuur 25*. De ammoniumconcentratie in het nafiltraat is circa 0,01 mg/l. Aangezien deze concentratie al in de bovenste meter van het filter bereikt wordt (*Figuur 6*) is het aannemelijk dat de AOB's met name boven in het nafiltraat aanwezig zijn en dus niet zichtbaar zijn in het filtraat. In 2007 werden om onduidelijkere redenen slechts lage concentraties (16 kopieën AOB per ml) gemeten in het nafiltraat (Van der Wielen & Van der Kooij, 2008). Toch was de ammoniumconcentratie in het ruwe water, in het voorfiltraat en in het nafiltraat vrijwel gelijk in 2007 en in het huidige onderzoek.

De gemiddelde ATP-concentratie in het nafiltraat (7,5 ng/l) is eveneens duidelijk gedaald ten opzichte van het voorfiltraat (16,0 ng/l). Dit duidt op een afname van de aanwezige actieve biomassa.

Opvallend genoeg is de AOC-concentratie wel toegenomen van circa 10 µg acetaat-C/l in het voorfiltraat tot 15 µg acetaat-C/l in het nafiltraat (*Figuur 24*). Een hypothese is dat door de KMnO_4 - dosering tussen het voorfilter en het nafiltraat (een deel van het) DOC wordt geoxideerd tot verbindingen die een bijdrage leveren aan de AOC. Stam NOX groeit op carbonzuren, inclusief oxaalzuur en mierenzuur. Aangezien de AOC in de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater met name bepaald wordt door stam NOX zijn er waarschijnlijk carbonzuren gevormd. Deze verbindingen zijn vermoedelijk deels weer verwijderd in het (biologisch actieve) nafiltraat, maar ze resulteren uiteindelijk nog wel in een hogere AOC-concentratie dan in het voorfiltraat.

Uit onderzoek van Van der Wielen en Van der Kooij (2008) bleek dat het ATP-gehalte en de aantallen heterotrofe micro-organismen (KG25) toenamen in het water na de dosering van KMnO_4 . Dit ondersteunt bovenstaande hypothese dat KMnO_4 een deel van het niet-afbreekbare organisch materiaal oxideert tot afbreekbaar organisch materiaal, dat als substraat dient voor heterotrofe bacteriën.

AKF

In het AKF wordt circa 3-4 mg/l zuurstof verbruikt. Na regeneratie van de kool is het zuurstofverbruik het grootst. Deels is dit een gevolg van oxidatie van het kooloppervlak. In februari 2010, twee maanden voor de start van het meetprogramma, is de kool in het filter van koolfilter 1 geregenereerd. Bij de aprilmeting is relatief veel DOC verwijderd door het AKF (4 mg/l). Waarschijnlijk is dit vooral adsorptie van DOC en nog geen microbiële omzetting. Zoals verwacht wordt de DOC-verwijdering over het AKF in de loop van de tijd lager (juni: 2 mg/l; augustus 1,5 mg/l) (*Figuur 9*) als gevolg van een hogere bezettingsgraad van het koolfilter.

Het oorspronkelijke doel van het actieve koolfilter is kleurverwijdering. *Figuur 10* laat zien dat het actieve koolfilter circa 80 % van de kleur verwijdert die nog in het nafiltraat aanwezig is, hetgeen voldoende is om aan de bedrijfsnorm voor kleur te voldoen.

In het AKF-filtraat is de totale fosfaatconcentratie gedaald ten opzichte van het nafiltraat van 34-80 µg/l tot concentraties variërend van 21 tot 70 µg/l. De ortho-fosfaatconcentratie is nauwelijks verder gedaald (*Tabel 3*). Evenals in het nafiltraat is het aanwezige ortho-fosfaat in opgeloste vorm aanwezig, in ieder geval niet in deeltjes/colloïden groter dan 0,01 µm, aangezien de ortho-fosfaatconcentratie niet daalt na voorbewerking met een 0,45 µm filter en 100 kDa filter.

Uit de analyse van het Hemoflow-concentraat blijkt dat circa 1,5 µg/l totaal fosfaat in het nafiltraat aanwezig is in deeltjes groter dan 0,01 µm (*Tabel 8*). Dit is een klein deel van het totale fosfaat in het AKF-filtraat (21-70 µg/l).

Deeltjespieken (deeltjes van 1-100 µm) in het AKF-filtraat zijn kleiner dan 100 ppb (volume) en kleiner dan 900 deeltjes per ml (*Figuur 12* en *Figuur 13*) en treden op na het stopzetten en weer opstarten van de filterstraat na terugspoelen van de BOT of de snelfilters of na een sporadische stilstand van filterstraat 1 in de nacht. Het AKF wordt in die gevallen gerecirculeerd met reinwater. Het AKF zorgt voor een sterke daling van de deeltjespieken die vrijkomen als gevolg van spoelingen van het voorfilter en nafiltraat.

De mediaan van de deeltjesconcentratie in het AKF-filtraat was in de onderzochte periode 1 tot 3 ppb (volume) (Tabel 5). Dit is nauwelijks een daling ten opzichte van de mediane concentraties in het nafiltraat. De gemiddelde volumeconcentratie deeltjes in het nafiltraat is echter hoger dan in het AKF-filtraat, vanwege hoge pieken in het nafiltraat na spoelen. Het AKF is vooral effectief in het verwijderen van piekconcentraties en werkt dus als polishing filter.

Met de TILVS-analyse is vastgesteld dat in het AKF-filtraat de hoeveelheid deeltjes ($> 0,7 \mu\text{m}$) met 99% gedaald is ten opzichte van het voorfiltraat, 5% meer dan de 94% in het nafiltraat (Tabel 7).

De deeltjes in het AKF-filtraat (bepaald met het TILVS-concentraat) bestaan voor 7% uit ijzer (circa 13% indien $\text{Fe}(\text{OH})_3$ verondersteld wordt) en voor slechts 1% uit mangaan. Netto is er nog wel een daling van de NPOC-concentratie in het AKF-filtraat ten opzichte het nafiltraat, maar het aandeel van NPOC in deeltjes (1-100 μm) is toegenomen van 20% in het nafiltraat naar 37% in het AKF-filtraat (Tabel 7 en Figuur 19). Dat een groot deel van de uitgespoelde deeltjes uit het AKF bestaat uit NPOC komt waarschijnlijk door uitspoeling van biomassa. Het zijn vooral deeltjes met een grootte tussen de 10 en 100 μm (Tabel 4 en Bijlage 1). Mogelijk bestaat een deel van het NPOC van de deeltjes in het AKF-filtraat uit uitgespoelde kooldeeltjes.

Tijdens de onderzoeksperiode is het AKF in straat 1 drie maal teruggespoeld: op 22 april, 22 juni en 19 augustus. De eerste twee terugspoelbeurten vonden plaats voor de week dat de deeltjes gemeten werden in het AKF-filtraat (12-19 april en 7-11 juni). De derde keer dat het AKF werd teruggespoeld viel binnen de periode dat er deeltjes gemeten werden in het AKF-filtraat (16-20 augustus). De deeltjespiek in het AKF-filtraat op 19 augustus (Figuur 32, Bijlage 1) zou daarom het gevolg kunnen zijn van de AKF-spoeling.

De BVS van het AKF-filtraat was in de onderzoeksperiode gemiddeld $3,3 \pm 0,25 \text{ pg ATP cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Hiermee wordt aan de streefwaarde voor biologisch stabiel water voldaan. Opvallend is wel de stabilisatie van de biofilmgroei tussen dag 46 en 104 (10 mei en 7 juli) waarna er weer groei optrad van de biofilm. Hiervoor is geen verklaring gevonden. De daling van de BVS ten opzichte van het nafiltraat is vermoedelijk een gevolg van de daling van de DOC-concentratie (Figuur 9) en van de fosfaatconcentratie (Tabel 3) in het AKF-filtraat ten opzichte van het nafiltraat.

Het is moeilijk vast te stellen of het terugspoelen van de AKF invloed heeft op de BVS. Na het terugspoelen van de AKF op 22 april (dag 28) is er wel een toename in de biofilmvorming (Figuur 20) maar dit kan ook de reguliere start van de groei van de biofilm zijn na de opstartfase. Na de tweede terugspoeling van het AKF op 22 juni (dag 89) is er een lichte daling van de ATP-concentratie in de biofilm gemeten en na de derde terugspoeling op 19 augustus (dag 147) wordt de ATP-concentratie in de biofilm nog langzaam groter (Figuur 20). Er is bij Brabant Water geen onderzoek gedaan naar het effect van het terugspoelen op de werking van het AKF.

In het AKF-filtraat ($0,18 \text{ mg Fe m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) was de ijzerafzettingssnelheid circa 50 keer lager dan in het voorfiltraat. De ijzerconcentratie lag hier doorgaans onder de detectielimiet. Dat er toch nog ijzer afgezet wordt op de ringen van de BFM (Figuur 21), betekent dat de verwijdering van ijzer toch niet continu goed verloopt of dat met zeer lage ijzerconcentraties toch nog een afzetting plaatsvindt gedurende de vijf maanden van de onderzoeksperiode. In 2008 werd de ijzerafzettingssnelheid in de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater na UV vastgesteld op $0,11 \pm 0,02 \text{ mg Fe m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Van der Wielen en Van der Kooij, 2008) wat vergelijkbaar is met de huidige waarde bepaald na de AKF.

In het AKF-filtraat ligt de mangaanconcentratie onder de detectielimiet. Daardoor was de mangaanafzettingssnelheid in het AKF-filtraat circa 3000 keer lager dan in het voorfiltraat. Dat er toch nog mangaan afgezet wordt op de ringen van de BFM (Figuur 22), betekent dat de verwijdering van mangaan toch niet continu goed verloopt of dat met zeer lage mangaanconcentraties toch nog een afzetting plaatsvindt gedurende de vijf maanden van de onderzoeksperiode. In 2008 werd de mangaanafzettingssnelheid in het middeldiep gewonnen grondwater na UV bepaald op $0,025 \pm 0,08 \text{ mg Mn m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Van der Wielen en Van der Kooij, 2008) wat circa drie maal hoger is dan de mangaanafzettingssnelheid na AKF in het huidige onderzoek.

De gemiddelde ATP-concentratie in het AKF-filtraat ($9,8 \pm 3,4$ ng/l) is licht gestegen ten opzichte van het nafiltraat ($7,5 \pm 2,6$ mg/l). De vraag is echter of dit een significante stijging is, gezien de spreiding van de ATP-concentratie in de tijd (Tabel 12).

In het AKF-filtraat op 6 augustus 2010 wordt een totale AOC-concentratie van $20 \mu\text{g}$ acetaat-C/l gemeten. Aangezien deze meting een hoge standaarddeviatie heeft, is niet met zekerheid te zeggen of de AOC-concentratie na het AKF verder is gestegen of gelijk is gebleven ten opzichte van het nafiltraat. De meting van 27 mei 2010 geeft aan dat de AOC-concentratie in het AKF vrijwel gelijk is gebleven ten opzichte van het nafiltraat (Figuur 24).

Samenvattend kan gesteld worden dat het AKF-filter kleur en DOC verwijdert en (ijzer- en mangaan-) deeltjes afkomstig uit het nafiltraat. In Tabel 14 de gemiddelde samenstelling weergegeven van het AKF-filtraat. Dit kan gezien worden als het eindproduct van de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater aangezien de UV-installatie niet in bedrijf was tijdens de onderzoeksperiode.

Tabel 14. De chemische en microbiologische waterkwaliteit van AKF-filtraat van het middeldiepe grondwater van ps Nuland (straat 1) in de periode april tot en met augustus 2010.

Parameter	N	Gemiddelde waarde	Standaarddeviatie
zuurstof (mg/l)	3	4,57	0,66
ijzer (II + III) (mg/l)	3	< 0,01	0,005
mangaan (mg/l)	3	< 0,01	0,00
ammonium (mg/l)	3	0,02	0,005
pH	3	7,45	0,13
kleur (mg Pt/l)	3	4,51	4,4
methaan (mg/l)	3	< 0,01	0,00
P-totaal (mg/l)	3	0,04	0,025
ortho-P (mg/l)	3	0,02	0,00
DOC (mg/l)	3	3,96	1,29
mediaan deeltjes 1-100 μm (ppb vol)	3	1,8	1,1
AOC (mg acetaat-C/l)	2	17	4,2
BVS (pg ATP cm ² d ⁻¹)	1	3,3	0,25
DCT (kve/cm ²)	4	$3,06 \cdot 10^6$	
ATP (ng/l)	15	9,8	3,4
AOB (aantal/l)	3	$4,90 \cdot 10^4$	
BPP (ng ATP/l)	3	14,7	1,5

Diep voor menging

In het diep gewonnen grondwater voor menging (straat 11) zijn ijzer, mangaan en ammonium verwijderd tot onder de bedrijfsnormen. De DOC concentratie is duidelijk lager (circa een factor 2) dan in het middeldiep gewonnen grondwater na AKF (Figuur 9) maar dit komt met name door de lagere concentratie DOC in het ruwe diep gewonnen grondwater.

Het gezuiverde diep gewonnen grondwater, voor menging, heeft een totaal fosfaatconcentratie van 30 tot $90 \mu\text{g/l}$. Dit is vrijwel gelijk aan de totaal fosfaatconcentraties na de AKF van het middeldiepe water (21 tot $70 \mu\text{g/l}$). Ortho-fosfaatconcentraties in het diep gewonnen grondwater voor menging varieerden van 9 tot $34 \mu\text{g/l}$.

Aangezien filtratie over $0,45 \mu\text{m}$ filters en 100 kDa filters geen daling in de ortho-fosfaatconcentratie geeft, kan gesteld worden dat het aanwezig orthofosfaat in het diep gewonnen grondwater voor menging in opgeloste vorm aanwezig is, in ieder geval in deeltjes/colloïden kleiner dan $0,01 \mu\text{m}$. Uit de analyse van het Hemoflow-concentraat blijkt dat slechts een kleine fractie ($0,61$ tot $2,9 \mu\text{g/l}$) van het totaalfosfaat aanwezig is als deeltje groter dan $0,01 \mu\text{m}$ (Tabel 8).

Deeltjespieken (1-100 µm) in het diep gewonnen grondwater voor menging zijn over het algemeen laag vergeleken met het aantal deeltjes in het AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater, namelijk vrijwel altijd kleiner dan 5 ppb (volume) en kleiner dan 300 deeltjes per ml (Figuur 15 en *Figuur 16* en *Bijlage 1*). Pieken worden veroorzaakt door verschillende bedrijfsmatige acties zoals spoelen van de carry-over filters, aan-uitschakeling van de filterstraat, spoelen van de BOT, en het opschakelen van distributiepompen. Spoelen van het carry-over filter en BOT van straat 12 geeft geringe snelheidswisselingen en daardoor pieken in de onderzochte straat 11 van het diepe grondwater. De mediane concentratie van de deeltjes (1-100 µm) in het diep gewonnen grondwater voor menging is met 0,2 tot 0,4 ppb (volume) duidelijk lager dan in het AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater (Tabel 5).

De vaste stof concentratie (deeltjes $\geq 0,7$ µm) in het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging, vastgesteld met TILVS, varieert van 6 tot 25 µg/l (Tabel 7) en is gemiddeld (17 µg/l) iets hoger dan in het AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater (11 µg/l).

De deeltjes in het diep gewonnen grondwater voor menging (bepaald met het TILVS-concentraat) bestaan voor een groot deel (22%) uit ijzer (circa 42% als Fe(OH)₃) en NPOC (21%) en slechts voor circa 1% uit mangaan (Tabel 7, *Figuur 19*). Verder bleek uit een semi-kwantitatieve ICPMS-analyse dat het TILVS-concentraat ook nog voor circa 5% uit calcium bestaat. Het grootste deel van deze deeltjes is aanwezig in de fractie van 7 tot 10 µm en 10 tot 15 µm (*Figuur 17*, Tabel 6 en *Bijlage 1*).

De AOC-concentratie in het diep gewonnen grondwater direct voor menging (*Figuur 24*, 3,2 µg acetaat-C/l) en de ATP-concentratie (4,0 ± 0,4 ng/l, Tabel 12) zijn duidelijk lager dan aan het einde van de zuiveringsstraat met het middeldiep gewonnen grondwater. Dit is een aanwijzing dat het gezuiverde diep gewonnen grondwater biologisch stabiel is dan het gezuiverde middeldiep gewonnen grondwater, alhoewel de BVS in het gezuiverde diep gewonnen grondwater niet bepaald is. Ook de biomassa-productiepotentie in het diep gewonnen grondwater voor menging (*Figuur 26*) is met circa 5 ng ATP/l duidelijk lager dan de BPP van het AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater (15 ng ATP/l).

Gemengde reine water na kelders

Het gemengde water na de reinwaterkelder bestaat voor 60% uit middeldiep gewonnen grondwater en voor 40% uit diep gewonnen grondwater. Dit gemengde water is (bijna) verzadigd met zuurstof in tegenstelling tot het AKF-filtraat. Dit komt doordat als gevolg van een val van 1,5 meter in de mengkelders zuurstof in het water oplost. Ammonium-, ijzer- en mangaanconcentraties liggen onder de bedrijfsnormen.

De DOC-concentratie heeft een waarde (circa 3 mg/l) die te verwachten is na het mengen van de twee stromen. Uit onderzoek van Van der Wielen en Van der Kooij (2008, KWR 08.092) bleek dat de DOC-concentratie niet afneemt in het voorzieningsgebied van wpb Nuland, dus de DOC-fractie die na de zuivering overblijft lijkt moeilijk biologisch afbreekbaar en lijkt een beperkte rol te spelen in de microbiologische groei. Het grootste gedeelte van de organisch stof in het middeldiep gewonnen grondwater bleek uit humuszuren te bestaan (73,9%) en een klein gedeelte uit organische zuren (9,5%).

De fosfaatconcentraties in het gemengde water na de kelders (PG1, tak1) verschillen, zoals mag worden verwacht, niet sterk van de concentraties na AKF (middeldiep gewonnen grondwater) en na het dubbellaagsfilter (diep gewonnen grondwater). De totale fosfaatconcentratie varieert van 30 tot 60 µg/l en de ortho-fosfaatconcentratie is gemiddeld circa 30 µg/l. Ortho-fosfaat is aanwezig in opgeloste vorm of in ieder geval in deeltjes kleiner dan 0,01 µm (Tabel 7). Analyse van totaalfosfaat in het Hemoflow-concentraat (Tabel 8) geeft aan dat circa 2 µg/l aanwezig is als deeltje ($\geq 0,01$ µm).

Deeltjespieken in de zuivering zijn niet terug te zien in het gemengde reine water. De deeltjespieken (deeltjes van 1-100 µm) in het gemengde reinwater zijn over het algemeen kleiner dan 10 ppb (volume) en kleiner dan 1000 deeltjes per ml. Pieken zijn een gevolg van de overgang/opschakelen van distributiepompen, het wisselen van de transporttak en snelheidswisselingen in de transportleiding af pompstation. Het is opvallend dat tijdens de eerste meetserie in april (*Figuur 15*, *Figuur 16*) duidelijk

hogere deeltjespieken worden gemeten (enkele > 100 ppb vol en > 2000 per ml) dan in de tweede en derde meetserie. Dit was niet de verwachting op basis van de deeltjespieken in het AKF-filtraat en in het diep gewonnen grondwater. Als gevolg van opschakelen van distributiepompen zouden hogere deeltjespieken kunnen zijn ontstaan.

De mediane concentratie van het totaal aantal deeltjes in het reine water ligt tussen de 0,8 en 2,0 ppb (volume) (Tabel 5). Dit is wat ongeveer verwacht mag worden op basis van de mengverhouding van de twee waterstromen. De grootste deeltjesfractie (op basis van volume) is de fractie van 10 tot 15 μm . In 2008 werd echter gevonden dat de fractie van 15 tot 50 μm de grootste was (Goulier e.a., 2009). Kennelijk is dit ook aan variatie onderhevig.

De vaste stof concentratie (deeltjes > 0,7 μm) in het gemengde reine water, bepaald in het TILVS-concentraat, is gemiddeld wel toegenomen ten opzichte van beide ongemengde stromen (Tabel 7). Dit kan een gevolg zijn van opwerveling door bepaalde bedrijfmatige acties, die niet direct de mediane concentratie verhogen, maar wel pieken in deeltjesconcentraties, die door het TILVS-filter afgevangen worden.

De belangrijkste componenten in de deeltjes zijn ijzer en organisch stof (Tabel 7, Figuur 19). Evenals in het middeldiep gewonnen grondwater voor menging en in het AKF-filtraat komen in het reine water de deeltjesfracties van 7 tot 10 μm en 10 tot 15 μm het meest voor.

In het gemengde reinwater na de kelders was de ATP-concentratie gemiddeld $8,6 \pm 1,9$ ng/l. Dit is niet veel meer dan verwacht kan worden op basis van de mengverhouding van de twee stromen (Tabel 12). Ook de biomassa-productiepotentie in het reine water na de kelder (circa 10 ng/l) heeft een waarde die verwacht mag worden na menging van beide stromen.

In het gemengde reine water is het aantal ammonium oxiderende bacteriën gestegen ten opzichte van het AKF-filtraat en het diep gewonnen grondwater voor menging (Figuur 25). Deze stijging is opvallend aangezien de ammoniumconcentratie op deze drie plekken nooit hoger was dan 0,04 mg/l.

4 Discussie

Biofilm vormingssnelheid (BVS)

In dit onderzoek is de biologische stabiliteit van het drinkwater van wpb Nuland van Brabant Water onderzocht. Uit onderzoek uit het verleden (Van der Wielen en Van der Kooij, 2008) is gebleken dat de biologische stabiliteit van het reine water van wpb Nuland niet aan de streefwaardes voldoet. Eén van de parameters die een indicatie is voor de biologische stabiliteit van water is de BVS. In 2007 en 2008 is de BVS bepaald op wpb Nuland (Van der Wielen en Van der Kooij, 2008). In 2007 is de BVS van het reinwater van wpb Nuland vastgesteld op $17,6 \pm 1,1$ pg ATP cm⁻² d⁻¹ en in 2008 op $38,7 \pm 4,2$ pg ATP cm⁻² d⁻¹. Tevens is in 2008 de BVS vastgesteld van het gezuiverde diep gewonnen grondwater ($6,6 \pm 0,44$ pg ATP cm⁻² d⁻¹) en van het gezuiverde middeldiep gewonnen grondwater ($15,3 \pm 1,2$ pg ATP cm⁻² d⁻¹). Aangezien de BVS in de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater het hoogst was, is er voor gekozen om in het huidige onderzoek te richten op de verschillende zuiveringsstappen in de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater.

In het huidige onderzoek is echter een lage BVS gemeten aan het eind van de zuivering van het middeldiepe grondwater (na AKF) ($3,3 \pm 0,3$ pg cm⁻¹ dag⁻¹). Deze waarde is duidelijk lager dan die gemeten in 2008 (na UV) (Tabel 15). De in dit onderzoek gemeten BVS aan het eind van de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater voldoet aan de streefwaarde voor biologisch stabiel water (10 pg cm⁻¹ dag⁻¹).

De condities waaronder de BVS-meting werd uitgevoerd aan het eind van de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater in 2008 en 2010 waren echter niet volledige aan elkaar gelijk. In 2008 is de BVS gemeten na menging van zuiveringsstraten 3 en 4 na de UV-installatie. In het huidige onderzoek is de BVS gemeten aan het eind van zuiveringsstraat 1 (Figuur 1 en Bijlage 3).

Een belangrijker verschil tussen de meting in 2008 en 2010 is dat in 2008 de UV-installatie in gebruik (dosis 73 mJ/cm²) was terwijl de UV-installatie in 2010 niet werd gebruikt. De reden dat gestopt is met UV-desinfectie is dat de KG22-getallen in het AKF-filtraat vrijwel altijd kleiner waren dan 10 kve/ml. Bovendien stimuleerde de UV-straling algengroei. Tijdens de onderzoeksperiode (april tot en met augustus 2010) stond de UV-installatie daarom uit.

Dat gebruik van lage druk UV kan leiden tot een verslechtering van de biologische stabiliteit van het water is vastgesteld bij pb De Punt (Waterbedrijf Groningen). Hier werd na ingebruikname van lage druk UV-desinfectie (dosis 40 mJ cm⁻²) aan het eind van de zuivering een verhoogde AOC-concentratie en BVS gemeten (Van der Maas e.a., 2009).

Een belangrijk derde verschil tussen de BVS-meting in 2008 en 2010 is de bedrijfsvoering van de zuivering. In 2008 werd de zuivering discontinu bedreven volgens een zogenaamd stratenbedrijf. Het effect hiervan is in de meting van 2008 meegenomen door het mengwater van twee straten te bemonsteren (en daarmee een continu aanvoer te garanderen voor de BFM). In 2010 is door een continue bedrijfsvoering van straat 1 gezorgd voor voldoende aanvoer voor de BFM.

Een discontinue bedrijfsvoering betekent dat zowel de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater als de zuivering van het diep gewonnen grondwater vier tot zeven uur per dag stilstaat. Afhankelijk van het kelderniveau schakelen straten bij of af. Op het moment van stilstand worden de AKF's gerecirculeerd met reinwater met een debiet van 30 m³/uur. Hierdoor daalt de zuurstofconcentratie in het AKF tot onder de 1 mg/l en kunnen lokaal anaerobe zones ontstaan, waardoor actieve biomassa in het AKF af kan sterven. Bij opstart van de zuivering in de ochtend kan afgestorven biomassa uitspoelen en komen ook deeltjes vrij (Figuur 12). Het AKF zal zich op deze manier ook minder snel ontwikkelen als biologisch actief koolfilter. Om de biologische stabiliteit te verbeteren is daarom een continue bedrijfsvoering vermoedelijk voordelig. Nader onderzoek zal deze hypothese moeten bevestigen of ontkrachten.

In het huidige onderzoek is de onderzochte straat 1 van de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater zoveel mogelijk continu bedreven. De reden hiervoor was dat de BFM's in het voorfilter, nafiltraat en AKF-filtraat op die manier van voldoende water konden worden voorzien. De zuivering van straat 1 stond dus niet elke nacht stil. Tijdens spoelingen van de BOT, het voorfilter en het nafiltraat en tijdens sporadische stilstand in de nacht werd het AKF gevoed met een recirculatiestroom van het reinwater. Dat het AKF minder vaak (voor een langere periode) op recirculatiestroom werd gezet en daardoor waarschijnlijk minder vaak anaëroob werd, kan een positieve bijdrage hebben geleverd aan de

biologische stabiliteit van het gezuiverde middeldiep gewonnen water. Het zou daarom kunnen dat straat 1 geen representatief beeld gaf van de complete zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater in deze periode.

Verder kan nog opgemerkt worden dat meetgegevens zoals gepresenteerd in dit rapport voor een deel als een momentopname moeten worden gezien en als representatief voor de meetperiode met de bijbehorende bedrijfsvoering. De BVS in het AKF-filtraat die is vastgesteld van eind maart tot eind augustus 2010 was laag, maar dit garandeert niet dat bijvoorbeeld een jaar later, als onder soortgelijke omstandigheden wordt gemeten, de BVS weer dezelfde waarde heeft. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de metingen van de BVS in 2007 en 2008 in het gemengde reinwater (Van der Wielen en Van der Kooij, 2008) die ruim een factor twee verschillen (Tabel 15).

Tot slot moet nog opgemerkt worden dat het verloop van de biofilmvorming na de AKF atypisch was en moeilijk te interpreteren vanwege de stabilisatie van de biofilm tussen dag 46 en 104. Hiervoor is geen verklaring gevonden. De BVS van $3,3 \pm 0,3 \text{ pg cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ is bepaald over de gehele onderzoeksperiode en is dus een gemiddelde. Gedurende twee korte periodes (dag 25 tot 46 en dag 104 tot 119) was de BVS duidelijk hoger, maar deze twee periodes zijn niet representatief voor de gehele onderzoeksperiode. Blijkbaar is er sprake van variatie in de tijd.

Tabel 15. Vergelijking van de BVS en ATP in water op wpb Nuland in 2007, 2008 en 2010.

	Nuland 2007	Nuland 2008	Nuland 2008	Nuland 2010
Plaats BFM	Reinwatertak PG1 tak 1	Reinwatertak PG1 tak 1	Middeldiep gemengd na UV3/4	Middeldiep Straat 1 na UV
Conditie	UV aan discont. bedrijfsvoering	UV aan discont. bedrijfsvoering	UV aan discont. bedrijfsvoering	UV uit "continue" bedrijfsvoering
BVS ($\text{pg cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$)	$17,6 \pm 1,1$	$38,7 \pm 4,2$	$15,3 \pm 1,2$	$3,3 \pm 0,25$
ATP (ng/l)	$7,3 \pm 1,3$	$8,9 \pm 2,4$	$8,8 \pm 3,6$	$9,8 \pm 3,4$

Assimileerbaar Organische Koolstof (AOC)

De AOC-concentratie is een tweede indicator voor de biologische stabiliteit van water. De AOC-concentratie is toegenomen van circa $10 \mu\text{g acetaat-C/l}$ in het voorfiltraat tot $15 \mu\text{g acetaat-C/l}$ in het nafiltraat (Figuur 24). Een hypothese is dat door de KMnO_4 - dosering tussen het voorfilter en het nafiltraat (een deel van het) DOC wordt geoxideerd tot verbindingen die een bijdrage leveren aan de AOC. Stam NOX groeit op carbonzuren, inclusief oxaalzuur en mierenzuur. Aangezien de AOC in de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater met name bepaald wordt door stam NOX zijn er waarschijnlijk carbonzuren gevormd. Deze verbindingen zijn vermoedelijk deels weer verwijderd in het (biologisch actieve) nafiltraat, maar ze resulteren uiteindelijk nog wel in een hogere AOC-concentratie dan in het voorfiltraat.

De eerste AOC-bepaling in het AKF-filtraat is, evenals in het nafiltraat, circa $15 \mu\text{g acetaat-C/l}$, maar de tweede AOC-meting in het AKF-filtraat gaf een waarde van $20 \mu\text{g acetaat-C/l}$ (Figuur 24). Deze laatste meting had een hoge standaarddeviatie, maar duidelijk is dat het AKF niet voor een (netto) daling van de AOC zorgt ten opzichte van het nafiltraat.

Uit historische AOC-gegevens uit 2006 en 2007 (Tabel 16) en de huidige bepalingen blijkt dat de AOC-concentratie in het nafiltraat sterk kan variëren ($6,0\text{-}17 \mu\text{g acetaat-C/l}$). Vermoedelijk speelt het tijdstip van monsternamen een belangrijke rol. Er zijn echter vrij weinig metingen beschikbaar.

Uit de historische AOC-gegevens (Tabel 16) blijkt eveneens dat de AOC-concentratie in het AKF-filtraat sterk varieert. In die periode zijn concentraties tussen de $3,0$ en $16 \mu\text{g acetaat-C/l}$ gemeten. De AOC-concentraties in het AKF-filtraat gemeten in het huidige onderzoek zijn dus relatief hoog.

Regeneratie van actieve kool zou tijdelijk kunnen leiden tot lage AOC-concentraties in het AKF-filtraat (zie meting op 13-11-2006). Twee maanden later is de AOC-concentratie in het AKF-filtraat gestegen tot $7,0 \mu\text{g acetaat-C/l}$ (zie meting op 15-1-2007 in Tabel 16). De AOC-concentratie in nafiltraat op 13-11-2006

was echter ook al relatief laag (6,0 µg acetaat-C/l), dus het AKF-filter heeft geen grote bijdrage geleverd aan de relatief lage AOC-concentratie op die datum.

Vergelijking van AOC-concentratie in het nafiltraat en AKF-filtraat (13-11-2006, 31-5-2006, 7-11-2006) leert dat het AKF, net zoals in het huidige onderzoek, nauwelijks of geen bijdrage levert aan een daling van de AOC-concentratie. Uit deze gegevens wordt niet duidelijk of direct na regeneratie van de kool (één keer per jaar) wel (tijdelijk) een grotere verwijdering van AOC plaatsvindt. Spoelen van het AKF (elke 54 dagen) kan ook invloed hebben op de AOC-concentratie in het filtraat. Om dit vast te stellen is nader onderzoek nodig.

Uit de historische gegevens blijkt dat, net zoals in het huidige onderzoek, de AOC-concentratie in de zuivering van het diep gewonnen grondwater na de dubbellaagsfilters (3,0 tot 10 µg acetaat-C/l) duidelijk lager is dan in de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater. Hiermee voldoet het gezuiverde diep gewonnen grondwater in alle metingen aan de streefwaarde voor biologisch stabiel drinkwater (10 µg acetaat-C/l).

Tabel 16. Historische AOC-concentraties (µg acetaat-C/l) op wpb Nuland (dlf = dubbellaagsfilter).

Plaats in zuivering	Datum	AOC-NOX	AOC-P17	AOC-totaal	Bijzondere reden monstername?
Zuivering middeldiep gewonnen grondwater					
Filtraat VF 4	31-5-2006	7,2	18,6	26	-
Filtraat NF 3	13-11-2006	5,7	0,8	6,0	Monitoring AOC i.v.m. nieuwe kool op 6 november. 8 november op kelder gegaan na 24 uur inwerken.
Filtraat NF 4	31-5-2006	7,1	10,2	17	-
Filtraat NF 4	7-11-2006	7,0	0,8	8,0	-
Filtraat AKF 1	26-2-2007	9,6	0,4	10	-
Filtraat AKF 1	16-4-2007	1,5	3,7	5,0	NOM-onderzoek
Filtraat AKF 2	16-4-2007	8,9	5,5	14	NOM-onderzoek
Filtraat AKF 3	13-11-2006	3,2	1,2	4,0	Monitoring AOC i.v.m. nieuwe kool op 6 november. 8 november op kelder gegaan na 24 uur inwerken.
Filtraat AKF 3	15-1-2007	6,3	0,8	7,0	Monitoring AOC/DOC i.v.m. nieuwe kool
Filtraat AKF 4	31-5-2006	5,1	10,5	16	-
Filtraat AKF 4	29-9-2006	7,0	0,4	7,0	-
Filtraat AKF 4	7-11-2006	7,4	0,4	8,0	-
Filtraat AKF 4	26-2-2007	2,7	0,4	3,0	-
Zuivering diep gewonnen grondwater					
Filtraat dlf 11	13-6-2006	3,6	6,4	10	-
Filtraat dlf 11	2-8-2006	2,5	1,9	4,4	-
Filtraat dlf 11	26-9-2006	2,4	0,5	3,0	Diep draait nu met technisch HCl en 30% kalkmelk van Carmeuse
Filtraat dlf 11	7-11-2006	2,9	1,0	4,0	Diep draait nu met technisch HCl en 30% kalkmelk van Carmeuse
Filtraat dlf 11	16-4-2007	3,0	4,8	8,0	NOM-onderzoek
Filtraat dlf 14	16-4-2007	3,2	6,6	10	NOM-onderzoek
Reinwater					
Uitgaand rein PG 1 tak 1	31-5-2006	7,8	8,6	16	-
Uitgaand rein PG 1 tak 1	2-8-2006	11	1,6	13	-
Uitgaand rein PG 1 tak 1	29-9-2006	7,0	0,8	8,0	-
Uitgaand rein PG 1 tak 1	7-11-2006	4,3	0,4	5,0	-
Uitgaand rein PG 1 tak 1	15-1-2007	4,4	1,8	6,0	-
Uitgaand rein PG 1 tak 1	13-3-2007	4,9	3,4	8,0	Microbiologisch onderzoek BW/WLZ/Kiwa
Uitgaand rein PG 1 tak 1	16-4-2007	5,1	4,4	7,0	-
Vulleiding vanuit het net (Loosbroek)	16-4-2007	3,6	3,4	7,0	NOM-onderzoek

Werking actieve koolfilter

Het doel van het AKF op wpb Nuland is kleurverwijdering. Dit gebeurt door de adsorptieve werking van het filter. Door deze verwijdering heeft het gemengde reinwater een kleur onder de 10 mg/l Pt, de bedrijfsnorm van Brabant Water. Circa 80 % van de kleur die nog aanwezig is in het nafiltraat, wordt door het AKF verwijderd. Daarnaast verwijderd het AKF DOC en (ijzer- en mangaan-) deeltjes afkomstig uit het nafiltraat.

Eén keer per jaar wordt de kool uit de filters geregenereerd. Hierna is de DOC-verwijdering tijdelijk hoog. In het AKF van straat 1 is maximaal 4,5 mg/l DOC-verwijdering gemeten twee maanden na de regeneratie. Daarna werd de DOC-verwijdering, volgens verwachting, lager (*Figuur 9*). Er zijn vier staten die het middeldiep gewonnen grondwater behandelen en om de drie maanden wordt er kool uit een filter geregenereerd.

De AKF's worden om de circa 54 dagen teruggespoeld om de bovenwaterstand te verlagen en om de hogere organismen te verwijderen. Het is niet bekend of na het terugspoelen de verwijdering van DOC of kleur (tijdelijk) beter verloopt.

Om de kool zo weinig mogelijk te belasten met ijzer- en mangaandeeltjes zijn de koolfilters na de nafiltraats geplaatst. Deze deeltjes verlagen de adsorptiecapaciteit van de koolfilters. Er is gebleken dat het AKF toch nog een functie vervult als deeltjesverwijderaars van de deeltjespieken die vrijkomen als gevolg van spoelingen van het voorfilter en nafiltraat (*Figuur 12, Figuur 13*). Deeltjespieken (deeltjes van 1-100 µm) die vrijkomen in het AKF-filtraat zijn een gevolg van het stopzetten en weer opstarten van de filterstraat in verband met terugspoelperiodes. Over het AKF wordt dan reinwater gerecirculeerd. Deze pieken zijn echter beduidend lager dan de pieken in het voorfiltraat en nafiltraat. De deeltjes in het AKF-filtraat bestaan voor een groot deel (37%) uit NPOC, niet vluchtig organisch koolstof. Het zijn vooral deeltjes met een grootte tussen de 10 en 100 µm. Dit zou uitgespoelde biomassa kunnen zijn, maar mogelijk voor een deel ook nog uitgespoelde kooldeeltjes.

De BVS in het AKF-filtraat is lager dan in het nafiltraat (*Tabel 9*). De gemiddelde concentratie opgelost ATP tijdens de onderzoeksperiode in het AKF-filtraat ($9,8 \pm 3,4$ ng/l) stijgt echter licht ten opzichte van het nafiltraat ($7,5 \pm 2,6$ ng/l). Alhoewel de verschillen klein zijn, zou dit kunnen duiden op biologische activiteit in het actieve koolfilter en dit is in overeenstemming met metingen uit 2007 en 2008, waaruit ook bleek dat de ATP-concentratie was toegenomen in het AKF-filtraat (Van der Wielen en Van der Kooij, 2008).

Ook enkele andere microbiologische parameters verbeteren niet na het AKF, zoals AOC (*Figuur 24*), DCT in de biofilm van de BFM (*Figuur 23*) en BPP (*Figuur 26*). Het AKF zou daarom geoptimaliseerd moeten worden voor deze parameters om tot een biologisch stabiel water te komen.

De AKF van de onderzochte straat 1 van de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater is zoveel mogelijk continu bedreven tijdens de onderzoeksperiode. Tijdens langere periodes van reinwater recirculatie over het AKF ('s nachts) daalt de zuurstofconcentratie in het AKF-filtraat vermoedelijk van circa 5-6 mg/l tot onder de 1 mg/l. Er kunnen lokaal anaerobe zones ontstaan, waar aangehechte biomassa afsterft en uitspoelt. Meer continu bedrijven van de zuivering zou daarom al tot een verbetering kunnen leiden van de biologische stabiliteit van het water.

Biologische stabiliteit van de twee zuiveringsstraten en na menging

Dit onderzoek richtte zich primair op de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater. Maar ook over de biologische stabiliteit van beide stromen en het gemengde reinwater valt op basis van het huidige onderzoek nog het één en ander op te merken.

De zuivering van het diep gewonnen grondwater na het dubbellaagsfilter en voor menging heeft een duidelijk lagere ATP-concentratie ($4,0 \pm 0,4$ ng/l) dan na de AKF in straat 1 van het middeldiep gewonnen grondwater ($9,8 \pm 3,4$ ng/l, *Tabel 12*). Ook de BPP in het diep gewonnen grondwater voor menging is met circa 5 ng ATP/l duidelijk lager dan de BPP van het AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater (15 ng ATP/l, *Figuur 26*). Verder was de AOC-concentratie (3,2 µg acetaat-C/l) in het gezuiverde diep gewonnen grondwater beduidend lager dan in het gezuiverde middeldiep gewonnen grondwater (14-20 µg acetaat-C/l). Dit zijn aanwijzingen dat het gezuiverde diep gewonnen

grondwater biologisch stabiel is dan het gezuiverde middeldiep gewonnen grondwater. Dit werd ook al geconcludeerd door Van der Wielen en Van der Kooij (2008).

In het gemengde reinwater na de kelders was de ATP-concentratie gemiddeld $8,6 \pm 1,9$ ng/l. Dit is niet significant meer dan verwacht kan worden op basis van de mengverhouding van de twee stromen. Ook de biomassa-productiepotentie in het reine water na de kelder (circa 10 ng/l) heeft een waarde die verwacht mag worden na menging van beide stromen. De hoeveelheid ammonium oxiderende bacteriën in het gemengde reinwater is echter hoger dan de AOB-concentratie in beide ongemengde stromen. Dit kan duiden op nagroei in het reinwater.

Fosfaat

Achtergrond ortho-fosfaatbepaling

Hoe de bemonstering ten behoeve van de ortho-fosfaatbepaling moet worden uitgevoerd staat al lange tijd ter discussie. Vóór 2010 werden monsters zonder voorbehandeling genomen, in het laboratorium van Aqualab Zuid te Breda over 0,45 µm membraanfilters gefiltreerd en met behulp van doorstroomanalysestelsel (SFA) geanalyseerd. Om de methode conform NEN-voorschrift te gaan uitvoeren is besloten de monsters conform dat voorschrift in het veld te filtreren en aan te zuren in de fles. De analyse werd te Breda met SFA uitgevoerd.

Sinds 1 april 2010 heeft Aqualab Zuid de werkwijze aangepast. Standaard wordt in het veld gefiltreerd over een 0,45 µm membraanfilter, maar het monster wordt niet aangezuurd (Keltjens, 2010).

De aangepaste werkwijze van Aqualab Zuid is ook voor het huidige onderzoek gebruikt, maar met verschillende voorbehandelingsmethoden: een monster wordt niet gefiltreerd, een monster wordt gefiltreerd over een 0,45 µm membraanfilter en een monster wordt gefiltreerd over een 100kDa ultrafiltratie membraan (scheidingsgrens circa 0,01 µm). De monsters worden niet aangezuurd tijdens de monsternamen. Hiermee moet rekening worden gehouden als vergeleken wordt met oudere fosfaatmetingen.

Door verschillende types filtratie of juist geen filtratie toe te passen direct na de monsternamen kan worden vastgesteld of fosfaat zich bevindt in oplossing (in het filtraat van het 100 kDa filter), in deeltjes of aan colloïden groter dan 0,01 µm of in deeltjes en aan colloïden groter dan 0,45 µm.

Om ortho-fosfaat te bepalen is een zuur nodig, terwijl als gevolg van dat zuren extra ortho-fosfaat uit het aanwezige metaalgebonden of gecomplexeerde (poly)fosfaat kan worden vrijgemaakt. Louter vrij ortho-fosfaat bepalen is chemisch onmogelijk, behalve wanneer het water geen metaalgebonden of gecomplexeerd (poly)fosfaat bevat. Dit is de essentie van het analytische probleem met de chemische ortho-fosfaatbepaling. Er is daarom de wens om een biologische bepalingmethode te ontwikkelen, zoals op dit moment bij KWR gebeurt.

Fosfaatconcentraties op wpb Nuland

In 2007 en 2008 zijn in de zuivering van wpb Nuland ook fosfaatmetingen gedaan (Van der Wielen en Van der Kooij, 2008). Deze zijn geanalyseerd door het laboratorium van KWR (zie de paragraaf over Analysemethoden in hoofdstuk 2). De monsters zijn vermoedelijk in het veld al aangezuurd, in ieder geval niet in het laboratorium. In het laboratorium, voor de analyse, werd gefiltreerd over een 0,45 µm filter. In *Tabel 17* zijn deze metingen vergeleken met de huidige ortho-fosfaatmetingen.

In 2010 is een hogere ortho-fosfaatconcentratie gemeten in het ruwe middeldiep gewonnen grondwater dan in 2007 en 2008. Dit komt vermoedelijk niet door de aangepaste voorbehandeling. Volgens de huidige methode wordt namelijk direct bij monsternamen gefiltreerd en niet aangezuurd. In 2007 en 2008 werd al aangezuurd in de monsternamenfles en werd pas gefiltreerd voor de analyse. Ten opzichte van de huidige methode zou dit moeten leiden tot een hogere of in ieder geval gelijke concentratie ortho-fosfaat. Ook na beluchting wordt in 2010 nog steeds meer ortho-fosfaat teruggevonden dan in 2008. Na het voorfilter wordt een gelijke concentratie van ortho-fosfaat gevonden van circa 60 µg/l in 2008 en 2010. Vanaf het nafiltraat worden concentraties ortho-fosfaat onder de 30 µg/l gemeten en in 2007 en 2008 zelfs onder de 10 µg/l. De detectiegrens van Aqualab Zuid ligt op 10 µg/l. Door gebruik te maken van een 10 cm cuvet kan bij KWR ook onder 10 µg/l gemeten worden en ligt de detectiegrens op 1 µg/l.

De monsters van 7 september 2010 waren pas drie dagen na monsternamen gefiltreerd van het 0,45 µm-filter. Hierdoor was er ijzerneslag te zien in de monsterflessen van het ruwe water en het beluchte water. Dit verklaart de lagere ortho-fosfaat concentraties in met name het ruwe water gemeten door KWR in vergelijking met de analyses door Aqualab Zuid van de monsternamen op 7 juni en 16 augustus 2010.

In het diep gewonnen grondwater na het dubbellaagsfilter is in 2010 20 tot 34 µg/l ortho-fosfaat gemeten na de 0,45 µm filtratie. In 2007 en 2008 was deze concentratie kennelijk iets lager (12 tot 16 µg/l) (Tabel 17).

Tabel 17. Ortho-fosfaatconcentratie (µg/l) in de zuivering van wpb Nuland na filtratie over een 0,45 µm filter.

	2007*	2008*	7 juni 2010**	16 aug 2010**	7 sept 2010*
MIDDELDIEP					
Ruw water	217	122	450	620	175
Na beluchting	-	57	140	400	276#
Na voorfilter	-	61	60	60	58
Na nafiltraat	-	10	20	20	26
Na AKF	-	6	20	130#	15
Na UV	9	6	-	-	-
DIEP na dubbellaagsfilter	13	12	20	30	34
REINWATER	16	12	30	30	29

* KWR analyse

** Aqualab Zuid analyse

kan worden beschouwd als analysefout, gezien de lagere concentratie ortho-fosfaat zonder filtratie (Tabel 3).

2007: enkelvoudige meting

2008: duplo meting

Fosfaat in deeltjes

De ortho-fosfaatconcentratie na de BOT en in het voorfiltraat daalt nauwelijks na filtratie over het 0,45 µm-filter, maar wel (factor 3 of meer) na filtratie over het 100 kDa-filter (Tabel 3). Dit betekent dat het grootste deel van het ortho-fosfaat in het water na de BOT en in het voorfiltraat in deeltjesvorm aanwezig is met een grootte tussen 0,45 µm en circa 0,01 µm.

Filtratie (0,45 µm en 100 kDa) van de ortho-fosfaatmonsters in het nafiltraat, na AKF, in het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en het gemengde reine water levert vrijwel nooit lagere ortho-fosfaat concentraties op dan zonder filtratie (Tabel 3). Dit betekent dat het ortho-fosfaat in opgeloste vorm aanwezig is of in ieder geval in deeltjes of colloïden kleiner dan circa 0,01 µm. In het nafiltraat worden de fosfaatdeeltjes en -colloïden (> 0,01 µm) kennelijk verwijderd.

Omdat de ortho-fosfaat concentratie in het reinwater niet daalt na voorbehandeling met een 100 kDa-filter, betekent dat dat het reinwater na ultrafiltratie (100 kDa) niet biologisch stabiel wordt als gevolg van de verwijdering van ortho-fosfaat. Uit analyse van het Hemoflow-concentraat (deeltjes > 0,01 µm) blijkt dat fosfaat in deeltjes slechts een kleine fractie is (< 10%) van het totale fosfaat in het reine water. Het is daarom de verwachting dat ortho-fosfaat niet de hoofdreden is voor het (tijdelijk) verbeteren van de biologische stabiliteit na UF, zoals aangetoond door Goulier e.a. (2009).

De vraag is echter of de huidige condities hetzelfde waren als tijdens het onderzoek in 2008 (Goulier e.a., 2009). Theoretisch kan het zijn dat er toen wel fosfaathoudende deeltjes waren als gevolg van de discontinue bedrijfsvoering.

Ondanks dat circa 20-30 µg/l ortho-fosfaat vanaf het nafiltraat tot in het reine water in "opgeloste" vorm (kleiner dan 0,01 µm) aanwezig is, hoeft dit niet te betekenen dat het biologisch beschikbaar is. Een deel is mogelijk gebonden aan bijvoorbeeld colloïden en daardoor mogelijk niet biologisch beschikbaar, waardoor gemeten concentraties een overschatting zijn voor de hoeveelheid beschikbaar fosfaat voor bacteriële groei.

Fosfaatlimitatie

Op pb Spannenburg en pb St Jansklooster (Vitens) is onderzocht of er fosfaatlimitatie is voor de nitrificatie over de voorfilters. Het ruwwater van pompstations Spannenburg en St. Jansklooster is qua samenstelling vergelijkbaar. Toch verloopt op pompstation Spannenburg de nitrificatie in de zuivering minder goed dan bij pompstation St. Jansklooster. Voor en na de voorfilters zijn monsters genomen en hieraan zijn (behalve bij de blanco) één of meerdere van de volgende stoffen toegevoegd: 5 mg/l ammonium-N, 1 mg/l acetaat-C en 50 µg/l P.

Uit de experimenten met monsters voor de voorfilters waren er voor zowel pb Spannenburg en pb St Jansklooster geen aanwijzingen dat extra toegevoegd fosfaat de groei van heterotrofe of nitrificerende bacteriën bevordert (gemeten als toename in ATP-concentratie) en fosfaat is dus niet limiterend in de monsters genomen voor de voorfilters.

Bij pb St Jansklooster was er geen verschil in groei en maximale ATP-opbrengst tussen monsters met acetaat en de monsters met acetaat en fosfaat. Het verschil in groei tussen de monsters waar ammonium en de monsters waar ammonium en fosfaat aan zijn toegevoegd was ook niet groot.

In alle experimenten met monsters na het voorfilter van pb Spannenburg was echter met extra fosfaatdoserings (naast acetaat of ammonium) de ATP-opbrengst in de monsters hoger dan zonder fosfaatdoserings. Dit kan erop duiden dat de heterotrofe en nitrificerende bacteriën in hun groei worden beperkt door de hoeveelheid beschikbaar fosfaat. Wanneer de bacteriële groei beperkt is door fosfaat, is de verwachting dat een gedeelte van het acetaat en ammonium niet is omgezet in de monsters waaraan alleen acetaat of ammonium is toegevoegd. Dit was echter wel het geval.

Dat in alle gevallen het ammonium volledig is gebruikt door nitrificerders, is in tegenstelling met de verwachting, en betekent dat, ondanks de lage ATP-opbrengst in Spannenburg na het voorfilter (zonder toevoeging van extra fosfaat) de nitrificerende bacteriën in staat zijn geweest om toch al het ammonium voor groei te gebruiken. Het is op dit moment niet duidelijk of die lagere ATP-opbrengst komt doordat er minder biomassa is gevormd, of omdat de bacteriën onder lage fosfaatconcentratie hun ATP-pool in hun cel aanpassen omdat ATP een fosfaatrijke verbinding is. Ook is niet duidelijk of de waargenomen effecten onder batch-condities onder de dynamische condities van een snelle zandfilter tot lagere nitrificatie leidt (Paul van der Wielen, 2011, persoonlijke communicatie).

Vanwege deze onduidelijkheid wordt op dit moment voor wpb Nuland niet aanbevolen om de invloed van fosfaat op de nagroeipotentie met behulp van fosfaat doseringsexperimenten te onderzoeken.

Deeltjesaantallen op wpb Nuland ten opzichte van het leidingnet en andere zuiveringen

In het drinkwater zijn deeltjes aanwezig. Dit is op zich geen probleem, maar problemen kunnen ontstaan als de deeltjes bezinken in het leidingnet, dat daardoor vervuult. Opwervelende deeltjes kunnen voor bruin waterklachten zorgen bij de consument. Siegers e.a. (2011) toonden aan dat de verwijdering van deeltjes (uit het reine water) leidt tot een verlaging van de BVS bij wpb Nuland. Aangezien de BVS een parameters is die iets zegt over de biologische stabiliteit van het water, is het van belang om te weten hoeveel deeltjes er in de zuivering en in het reine water aanwezig zijn.

Deeltjespieken (deeltjes van 1 tot 100 µm) na spoelen van het voorfilter van Zuidwolde (maximaal circa 1000 ppb vol) en Sellingen (maximaal circa 3500 ppb vol) (Abrahamse e.a., 2011) zijn van een zelfde orde grootte als de deeltjespieken na het spoelen van de voorfilters van wpb Nuland (Figuur 12, Figuur 27 en Figuur 31). Zowel op wpb Nuland als bij de twee bovengenoemde voorbeelden kan de deeltjespiek na de spoeling van het voorfilter wel enkele uren aanhouden. De nafiltsers op wpb Nuland en ook op Zuidwolde en Sellingen verwijderen de deeltjes echter effectief tot onder de 5 ppb (vol).

De mediane deeltjesconcentratie in het reine water van wpb Nuland was in de periode van 19 tot en met 23 april 2010 2,0 ppb (vol) (Tabel 5 en Figuur 15). Dit komt goed overeen met de metingen die door de programmalijn Waterinfrastructuur zijn gedaan direct "buiten het hek" van het waterproductiebedrijf. Van 29 maart tot 3 april 2010 werden daar concentraties gemeten die meestal tussen 2,0 en 2,5 ppb (vol) varieerden. In juni en augustus daalde de mediane deeltjesconcentratie in het reine water van wpb Nuland tot circa 1 ppb (vol) (Tabel 5). Direct buiten de zuivering is toen niet gemeten. Van 29 november

tot 6 december 2010 is door de programmalijn Waterinfrastructuur weer direct buiten de zuivering gemeten. De totale deeltjesconcentratie varieerde toen vrijwel steeds tussen 2 en 4 ppb (vol).

Abrahamse e.a. (2011) stelden de gemiddelde deeltjesvolumes (deeltjes van 1-100 μm) vast op enkele drinkwaterproductielocaties in het nafiltraat en/of in het reine water: Breehei 12-18 ppb, Susteren 14 ppb, Genderen 1,4 ppb, Zuidwolde 1,3 ppb, Sellingen 8,6 ppb. In vergelijking met andere grondwaterbedrijven lijken de deeltjesvolumes van wpb Nuland in het reine water dus niet bijzonder hoog.

Abrahamse e.a. (2011) stelden tevens de deeltjesconcentratie vast met behulp van TILVS in het nafiltraat en/of in het reine water van de zeven drinkwaterproductielocaties: Breehei 50-90 $\mu\text{g/l}$, Susteren 35 $\mu\text{g/l}$, Genderen 25 $\mu\text{g/l}$, Zuidwolde 35 $\mu\text{g/l}$, Sellingen 11 $\mu\text{g/l}$ en 39 $\mu\text{g/l}$, Weesperkarspel 5 $\mu\text{g/l}$ en Katwijk 18 $\mu\text{g/l}$. Het gemiddelde is circa 30 $\mu\text{g/l}$. De deeltjesconcentratie bij de oppervlaktewaterzuivering was lager dan bij de grondwaterzuiveringen, omdat de genoemde oppervlaktewaterzuiveringen meer filtratiestappen hebben die deeltjes verwijderen (eindigend met langzame zandfiltratie). De deeltjesconcentraties die op wpb Nuland zijn vastgesteld met TILVS tijdens de drie meetperiodes (april, juni, augustus 2010) vallen ook binnen de bovengenoemde range van 5 tot 90 $\mu\text{g/l}$ (na AKF: 7 tot 16 $\mu\text{g/l}$; diep voor menging: 6 tot 25 $\mu\text{g/l}$; gemengd rein na kelders: 17 tot 35 $\mu\text{g/l}$, Figuur 18) en kunnen daarom worden beschouwd als een normale hoeveelheid deeltjes ($> 0,7 \mu\text{m}$) aan het eind van de zuivering.

5 Conclusies

Algemeen:

- De onderzochte zuiveringstak van het middeldiep gewonnen grondwater functioneert goed met betrekking tot de verwijdering van ijzer, mangaan, ammonium en methaan en levert water dat voldoet aan de bedrijfsnormen van Brabant Water.

Biologische stabiliteit:

- Uit het huidige onderzoek is niet zonder meer te concluderen dat het gezuiverde middeldiep gewonnen grondwater na AKF van goede kwaliteit is wat betreft de biologische stabiliteit. De BVS was weliswaar laag tijdens de onderzoeksperiode ($3,3 \pm 0,3$ pg ATP cm⁻² d⁻¹) maar de AOC voldeed met circa 15 tot 20 µg acetaat-C/l niet aan de streefwaarde voor biologisch stabiel water en aan de bedrijfsnorm van Brabant Water (10 µg acetaat-C/l).
- De AOC-concentratie in het nafiltraat stijgt ten opzichte van het voorfiltraat, mogelijk als gevolg van de oxidatie van organisch stof door KMnO₄ dat tussen het voorfilter en nafiltraat gedoseerd wordt.
- De relatief hoge biofilmvormingssnelheid ($15,3 \pm 1,2$ pg ATP cm⁻² d⁻¹) die in 2008 vastgesteld is na UV-behandeling in de zuiveringstak van het middeldiep gewonnen grondwater wordt in het huidige onderzoek niet bevestigd. In het huidige onderzoek is een lage BVS van $3,3 \pm 0,3$ pg ATP cm⁻² d⁻¹ vastgesteld, die voldoet aan de streefwaarde voor biologisch stabiel water.
- De hierboven genoemde lage BVS kan mogelijk verklaard worden door het verschil in bedrijfsvoering van de onderzochte straat tijdens het huidige onderzoek ("continu" bedrijf) ten opzichte van de situatie in 2008 (discontinu bedrijf). Een tweede mogelijkheid is dat de UV-behandeling in 2008 (UV aan) voor een hogere BVS zorgde dan in de huidige situatie waarin de UV uit stond.
- Het actieve koolfilter veroorzaakt een sterke daling van de biofilmvormingssnelheid ($3,3 \pm 0,3$ pg ATP cm⁻² d⁻¹) ten opzichte van het nafiltraat ($9,4 \pm 2,1$ en $17,3 \pm 3,6$ pg ATP cm⁻² d⁻¹) in de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater.

Met betrekking tot deeltjes:

- Deeltjes worden gevormd in de BOT, in het voorfilter en in het nafiltraat als gevolg van oxidatie en precipitatie-reacties. Ze bestaan voornamelijk uit anorganische componenten (met name ijzer en mangaan). In het actieve koolfiltraat bestaan de deeltjes voor het grootste deel uit organisch stof, mogelijk biomassa (deelvraag a,b inleiding). Een deel kan echter bestaan uit uitgespoelde kooldeeltjes.
- De deeltjes komen vooral vrij na spoelingen van de BOT en de snelfilters. Deeltjespieken in het voorfiltraat worden effectief verwijderd door het nafiltraat. Het actieve koolfilter verwijdert effectief de deeltjespieken die vrijkomen na het spoelen van het nafiltraat (polishing effect). In het AKF-filtraat komen geringe hoeveelheden deeltjes voor na stopzetten en weer opstarten van de filterstraat wanneer wordt overgegaan op recirculatie van het AKF met reinwater (deelvraag b, inleiding).
- In het nafiltraat en het AKF-filtraat van de zuiveringstak van het middeldiep gewonnen grondwater, in het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en in het reine water

na menging is ortho-fosfaat aanwezig in opgeloste vorm. Dit betekent dat het reinwater na een mogelijke ultrafiltratiestap niet biologisch stabiel wordt als gevolg van de verwijdering van ortho-fosfaat in deeltjes. Het is daarom de verwachting dat verwijderen van ortho-fosfaat niet de reden is voor het (tijdelijk) verbeteren van de biologische stabiliteit na een ultrafiltratiestap (Goulier e.a. 2009). Optimalisatie of uitbreiding van de zuivering om fosfaathoudende deeltjes te verwijderen lijkt niet nodig (deelvraag f, inleiding). Het valt echter niet volledig uit te sluiten dan in het onderzoek van Goulier e.a. (2009) als gevolg van discontinue bedrijfsvoering wel fosfaathoudende deeltjes aanwezig waren in het reinwater.

- Een direct verband tussen de aanwezigheid en samenstelling van de deeltjes enerzijds en de biologische stabiliteit van het water na een bepaalde zuiveringsstap kan nog niet worden gelegd (deelvraag c, inleiding).

Overig:

- De BPP, de AOC-concentratie en de ATP-concentratie van het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging zijn duidelijk lager dan in het actieve koolfiltraat van het middeldiep gewonnen grondwater. Dit is een aanwijzing dat het gezuiverde diep gewonnen grondwater biologisch stabiel is dan het gezuiverde middeldiep gewonnen grondwater, alhoewel in het huidige onderzoek de BVS niet bepaald is in het gezuiverde diep gewonnen grondwater. Dit is een bevestiging van een conclusie van Van der Wielen en Van der Kooij uit 2008.
- De oorzaak van de hoge BVS in de zuiveringstak van het middeldiep gewonnen grondwater is niet gevonden, aangezien in het huidige onderzoek geen bevestiging is gevonden van de hoge biofilmvormingssnelheid van het gezuiverde middeldiep gewonnen grondwater. Vermoedelijk is er een relatie met de continue/ discontinue bedrijfsvoering en/of het in bedrijf zijn van de UV.

Methodisch:

- Met TILVS als bemonsteringsmethode is het goed mogelijk om de meest voorkomende componenten in de deeltjes ($> 0,7 \mu\text{m}$) in de zuivering (ijzer, mangaan, NPOC) kwantitatief vast te stellen. Met TILVS (192 liter monster) bleek het echter niet mogelijk om de concentratie van de meeste sporenelementen/zware metalen in deeltjes vast te stellen omdat ook het gebruikte filter deze sporenelementen/zware metalen bevat en het verschil tussen het blanco filter en het te onderzoeken monster (inclusief filter) meestal verwaarloosbaar was.
- Met Hemoflow als bemonsteringsmethode van deeltjes in de zuivering ($> 0,01 \mu\text{m}$) is het goed mogelijk om de meest voorkomende componenten in de deeltjes (zoals ijzer, mangaan, NPOC, silicium, calcium) kwantitatief vast te stellen. Met Hemoflow bleek het echter niet mogelijk om de concentratie van de meeste sporenelementen/zware metalen in deeltjes vast te stellen omdat verschillen tussen de achtergrondconcentratie en het Hemoflow-concentraat (achtergrondconcentratie + geconcentreerde deeltjes) voor de meeste sporenelementen/zware metalen verwaarloosbaar is.

6 Aanbevelingen

- Er wordt aanbevolen om het effect van (dis)continue bedrijfsvoering op de biologische stabiliteit verder te onderzoeken in de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater en met name van het actieve koolfilter als laatste zuiveringsstap. Dit kan worden gedaan door middel van BVS-, AOC-, ATP-, BPP- en deeltjesmetingen (deelvraag d,e, inleiding). Een zuiveringsstraat zou afwisselend continu en discontinu bedreven kunnen worden om de verschillen vast te leggen. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van de recent ontwikkelde Rapid Biofilm Monitor.
- Optimalisatie-onderzoek naar het biologisch actief koolfilter in de zuivering van het middeldiep gewonnen grondwater gericht op verbeterde AOC-verwijdering en verlaagde biomassa productiepotentie (BPP) van het filtraat.
- Er wordt aanbevolen om het effect van het spoelen van het AKF op de biologische stabiliteit te bepalen door voor en na het spoelen AOC, BPP, ATP en deeltjesaantallen en -samenstelling te meten in het AKF-filtraat en in het spoelwater.
- Er wordt aanbevolen om het effect van de KMnO_4 -dosering op de samenstelling van het nafiltraat te bepalen met name het effect op de vorming van AOC.
- Er wordt aanbevolen om het effect van UV-desinfectie na het AKF op de biologische stabiliteit te onderzoeken om uit te sluiten dat UV de oorzaak was van de verminderde biologische stabiliteit in 2008.
- Na een opstart na een spoeling van voorfilter en nafiltraat wordt het filtraat de eerste 10 minuten afgevoerd als spoelwater om uitspoeling grote hoeveelheden deeltjes te voorkomen. Het is aan te bevelen om te onderzoeken of langzamer optoeren van de pomp na terugspoelen een verbetering geeft.
- Er wordt aanbevolen de verbeterde methode om biologisch beschikbaar fosfaat te bepalen uit te proberen op wpb Nuland en de resultaten te vergelijken met bestaande fosfaatbepalingen om de voorlopige conclusie te bevestigen dat het niet aannemelijk is dat er sprake is van fosfaatlimitatie in het reinwater.

7 Literatuur

Abrahamse, A., W. Siegers, G. Reijnen (2011), Deeltjeskarakterisering op 7 locaties, BTO 2011.043

Beerendonk, E.F., J.S. Vrouwenvelder, J. Verdouw, D. van der Kooij (2005), Verwijdering van laag-moleculaire bacteriegroeibevorderende organische verbindingen door nanofiltratie, BTO 2004.078

Berg, N. (2010), Laboratoria voor Materialenonderzoek en Chemische analyse, overzicht uit te voeren anorganische bepalingen 2010, versie 1.4

Goulier, J., A. Abrahamse, W.G. Siegers, P. van der Wielen (2009), Improvement of the biological stability of drinking water by removal of NOM and particles, BTO-rapport 2009.052(s)

Hijnen, W.A.M., H.R. Vrouwenvelder, E. Cornelissen, S. van Agtmaal, D. van der Kooij (2006), De biologische stabiliteit van het voedingswater van de RO-installatie van Baanhoek (Evides) en het optreden van biofouling, BTO 2006.030(s)

Hijnen, W., E. Cornelissen, J. Bruins, H. Prummel, P. van der Wielen en Dick van der Kooij (2007), Relatie tussen de voedingswaterkwaliteit en de vervuiling van de membranen in de RO-installatie in Veendam van Waterbedrijf Groningen, BTO 2007.007(s)

Keltjens, L. (2010), Fosfaatonderzoek Nuland, memo voor Brabant Water, 5 juli 2010

Paas, A. (2009), Invloed van deeltjes in voedingswater op gefluïdiseerde ionenwisseling (FIX) bij drinkwaterbereiding, KWR-studentverslag

Raffin, M., K. Teunissen (2007), Particle fingerprint method development, Fingerprint of the treatment of Harderbroek, BTO 2007.015

Siegers, W.G., M. Raffin (2007), Karakterisering van deeltjes in drinkwater, BTO-rapport 2007.046

Siegers, W.G., S. van de Wetering, P. van Dinther, D. van der Kooij (2011), Verwijdering van deeltjes met ultrafiltratie verlaagt snelheid van biofilmvorming, *H₂O/3*: 37-39

Van der Kooij, D., W.A.M. Hijnen (1984), Substrate utilization by an oxalate-consuming *Spirillum* species in relation to its growth in ozonated water. *Appl. Environmental Microbiol.* 47: 551

Van der Kooij, D. (1992), Assimilable organic carbon as an indicator of bacterial regrowth, *J. Am. Water Works Assoc.* 84: 57-65

Van der Kooij, D., H.R. Veenendaal (1993), Assessment of the biofilm formation characteristics of drinking water, Proceedings AWWA 1992 Water Quality Technology Conference, Toronto, pp 1099-1110

Van der Kooij, D., J.S. Vrouwenvelder, H.R. Veenendaal (1997), Bepaling en betekenis van de biofilmvormende eigenschappen van drinkwater. *H₂O* 30(25):767-771

Van der Maas, P., J. Bruins, D. van der Woerd (2009), Effect of low pressure UV on the regrowth potential of drinking water, 5th International congress on ultraviolet technologies, Amsterdam, Nederland 21-23 september

Van der Wielen, P.W.J.J., D. van der Kooij (2006), De pompstations van Brabant Water gerangschikt naar microbiologische groei in het water. Kiwa Water Research, Nieuwegein. Rapportnummer KWR. 06.042

Van der Wielen, P., D. van der Kooij (2008), Effect van de zuivering op de biologische stabiliteit van het drinkwater van ps Nuland, KWR 08.092

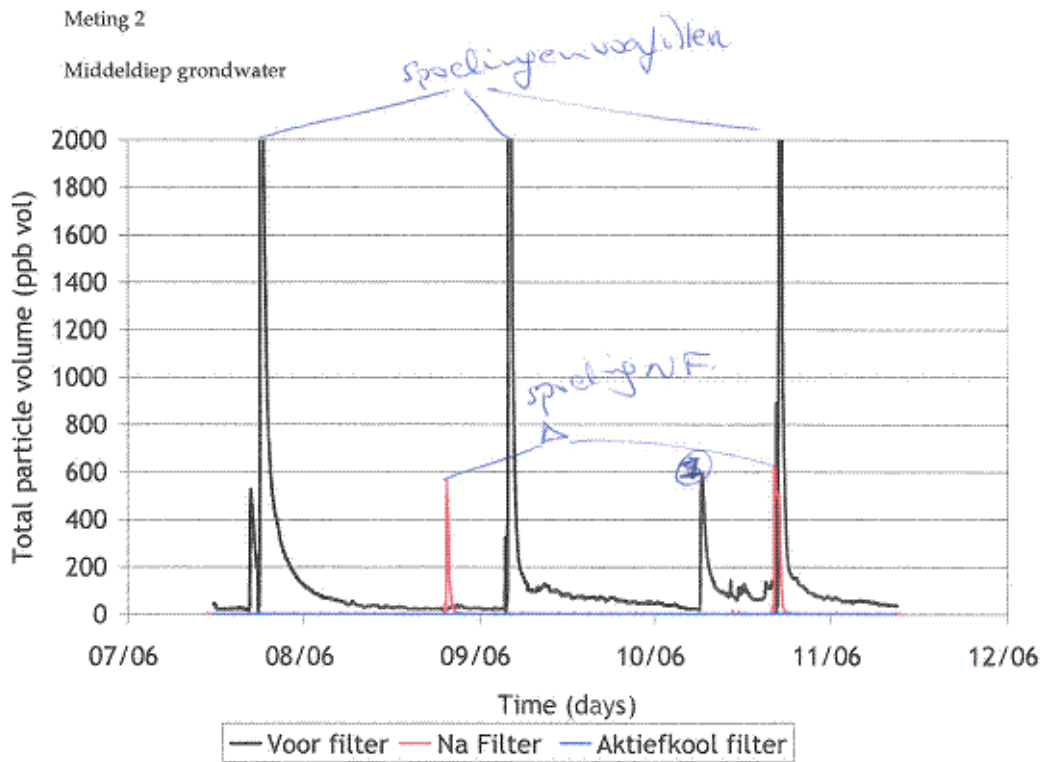
Veenendaal, H.R., A.J. Brouwer-Hanzens (2007), A method for the concentration of microbes in large volume of water. Rapport Techneau, D.3.2.4.

Veenendaal, H. (2010), Laboratorium-analyses LMB 2010, achtergronden, beschrijving van de uitvoering en prestatiekenmerken, KWR Nieuwegein.

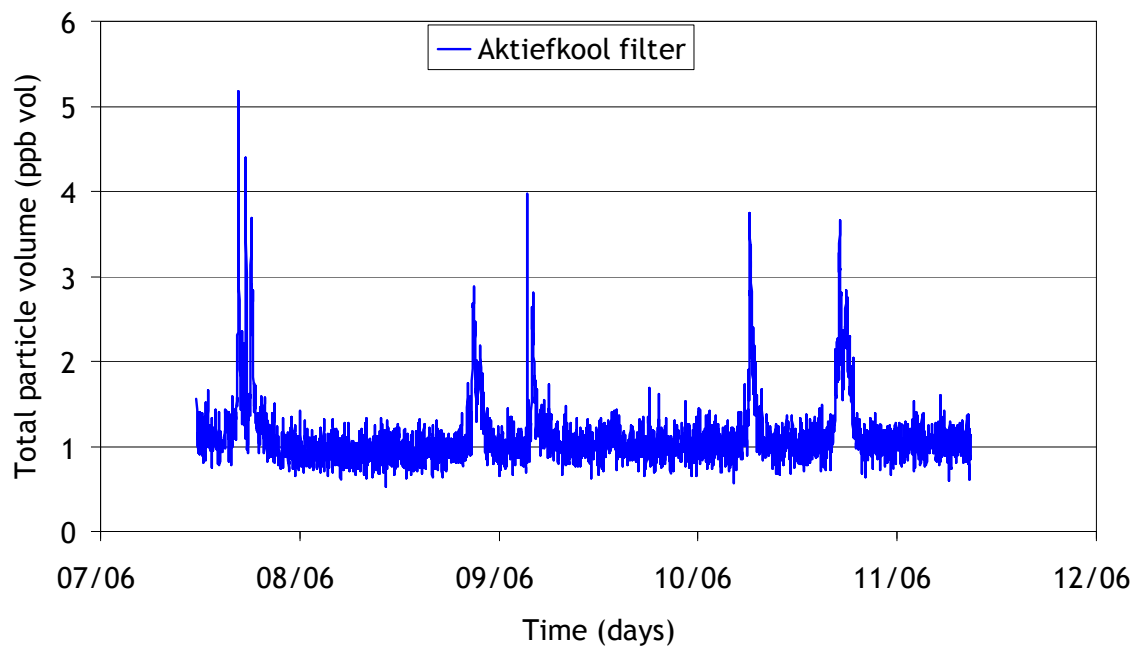
8 Bijlages

8.1 Bijlage 1: deeltjestellingen

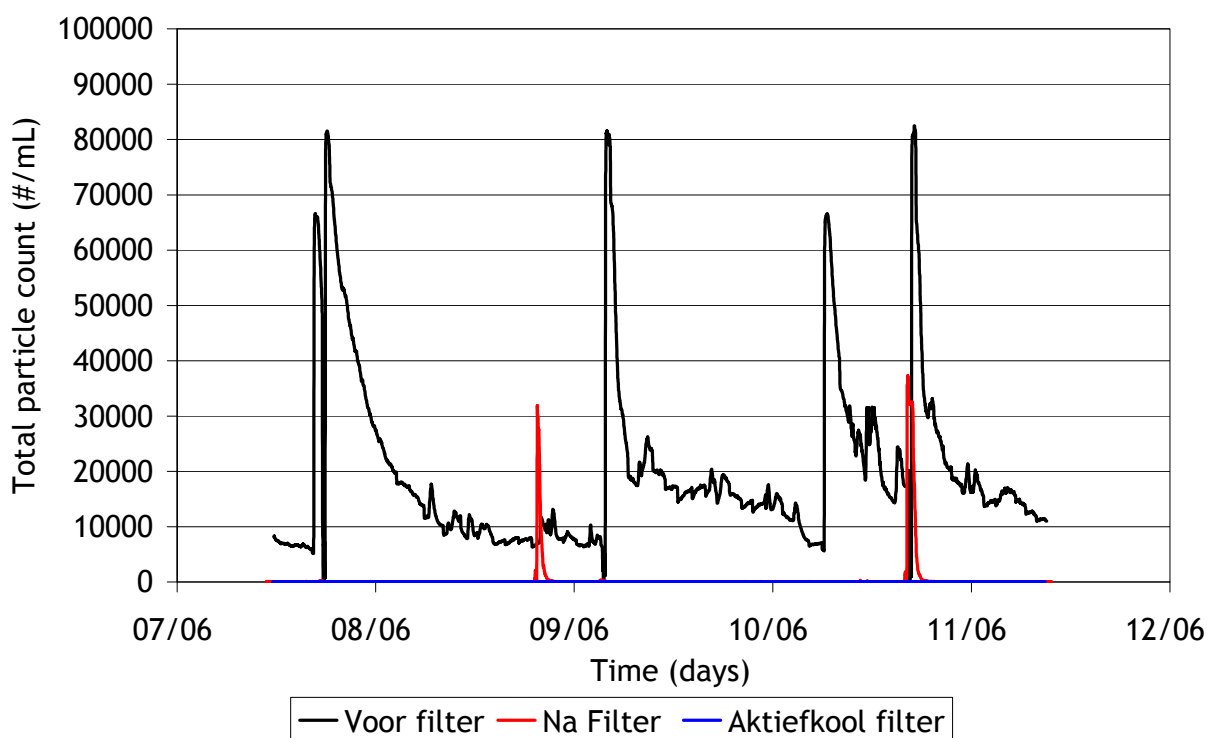
Deeltjes (1-100 µm) in middeldiep gewonnen grondwater



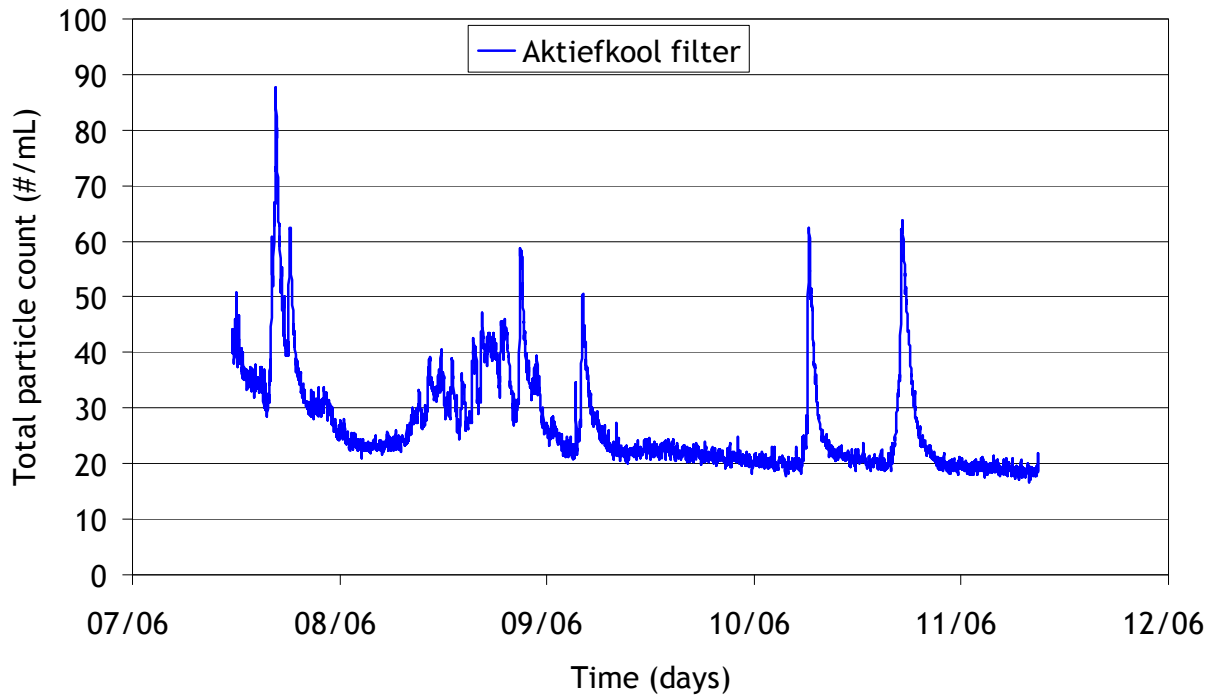
Figuur 27. Deeltjestellingen (volume) na het voorfilter, nafilteer en actief koolfilter van het middeldiep gewonnen grondwater (juni 2010). Toelichting 1) 10 juni 2010: opstart na BOT-spoeling straat 1.



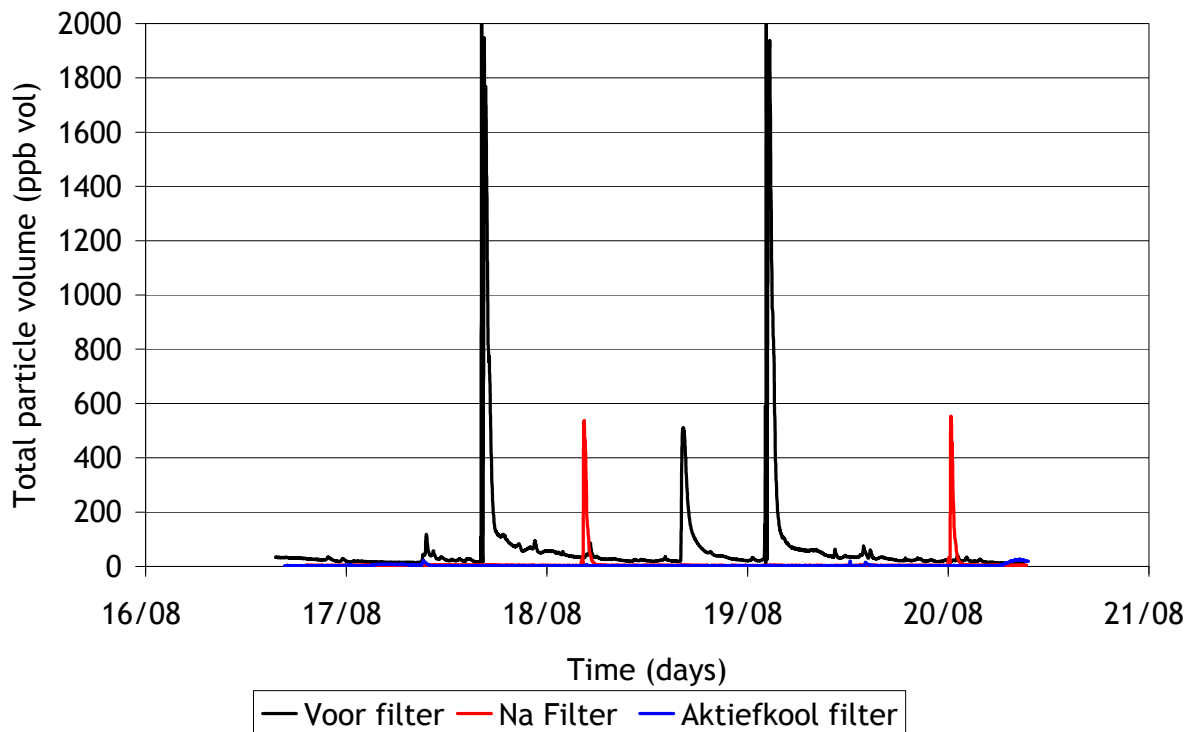
Figuur 28. Deeltjestellingen (volume) na actief koolfilter (detail uit Figuur 27) van het middeldiep gewonnen grondwater (juni 2010).



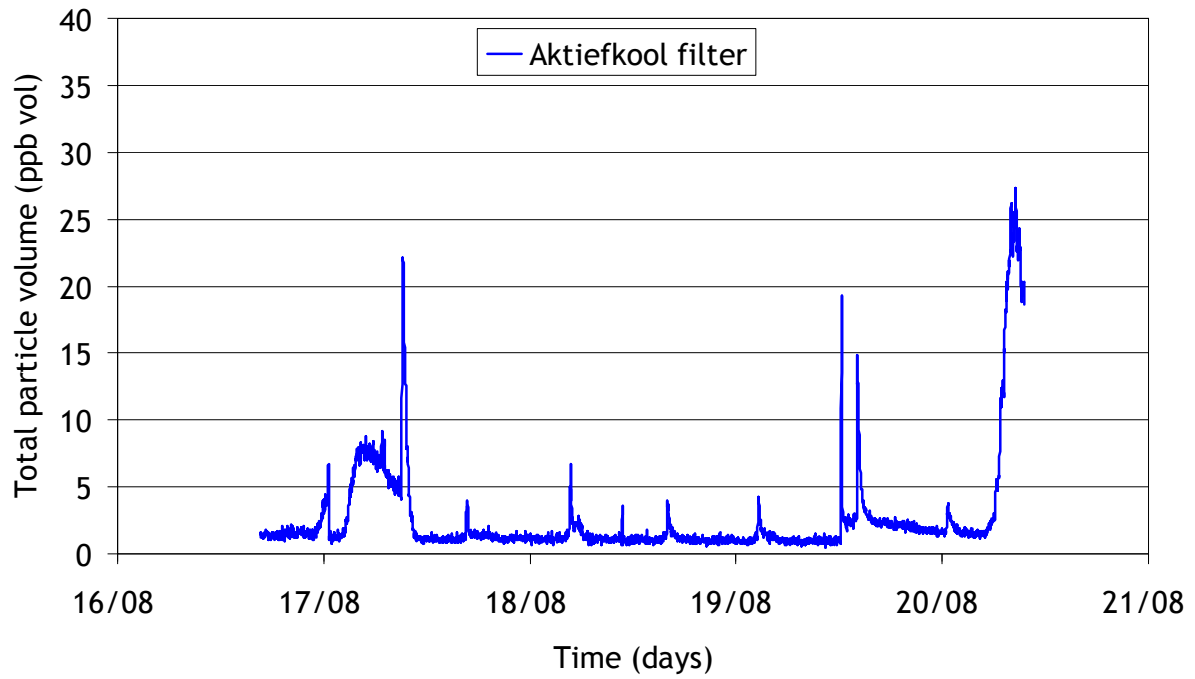
Figuur 29. Deeltjestellingen (aantal) na het voorfilter, nafilter en actief koolfilter van het middeldiep gewonnen grondwater (juni 2010).



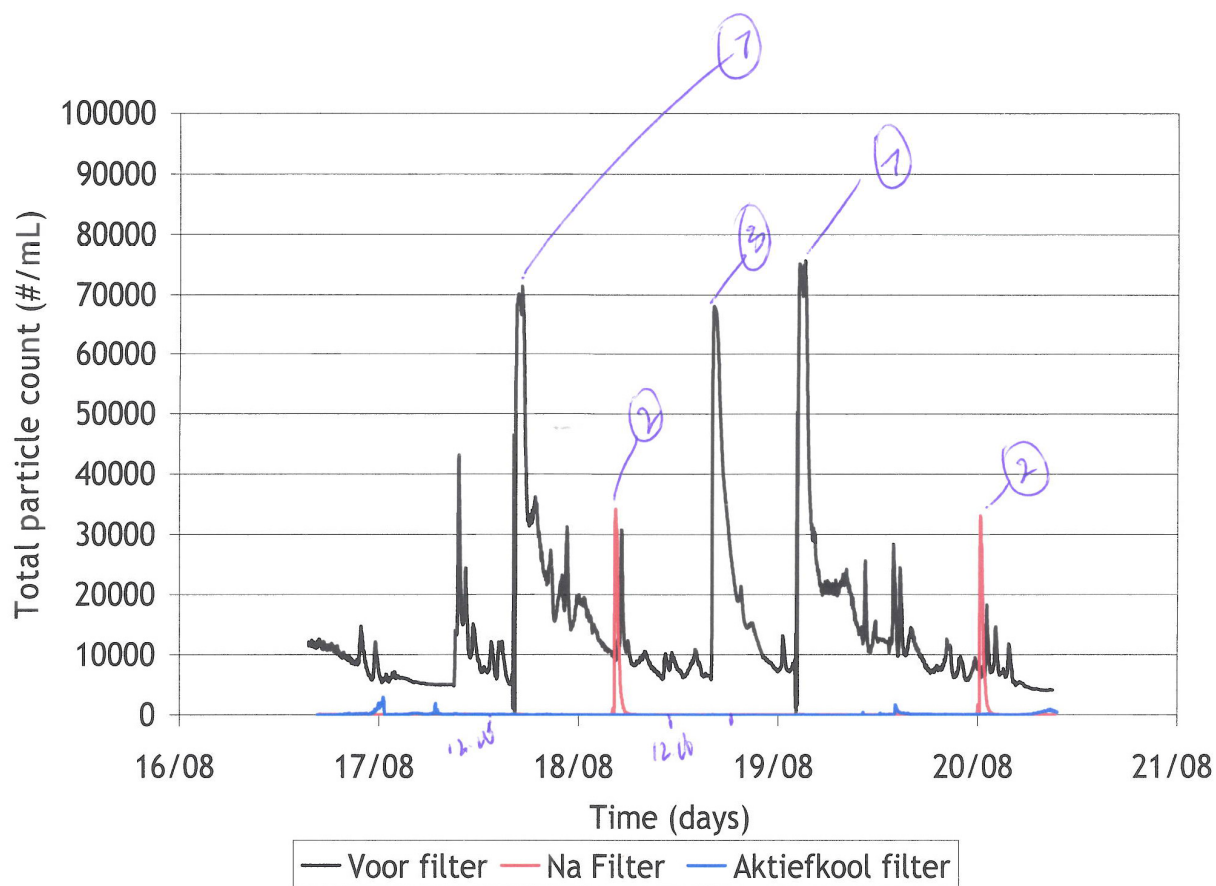
Figuur 30. Deeltjestellingen (aantal) na actief koolfilter (detail uit Figuur 29) van het middeldiep gewonnen grondwater (juni 2010).



Figuur 31. Deeltjestellingen (volume) na het voorfilter, nafilter en actief koolfilter van het middeldiep gewonnen grondwater (augustus 2010).

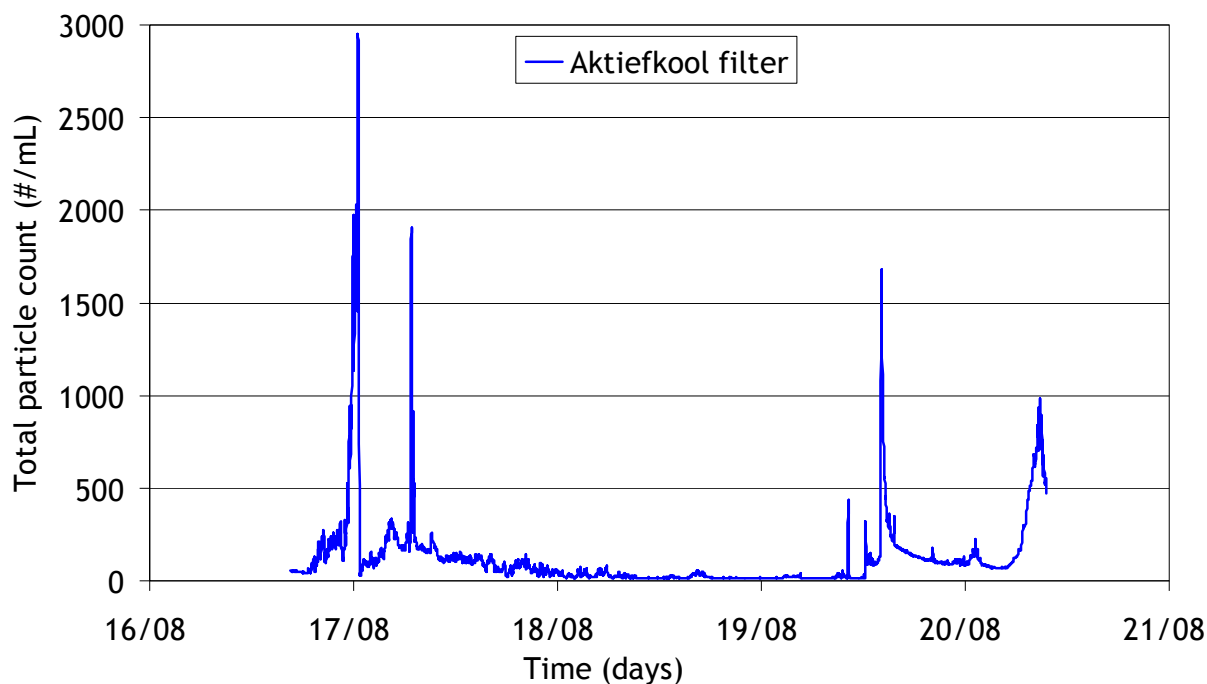


Figuur 32. Deeltjestellingen (volume) na actief koolfilter (detail uit Figuur 31) van het middeldiep gewonnen grondwater (augustus 2010).



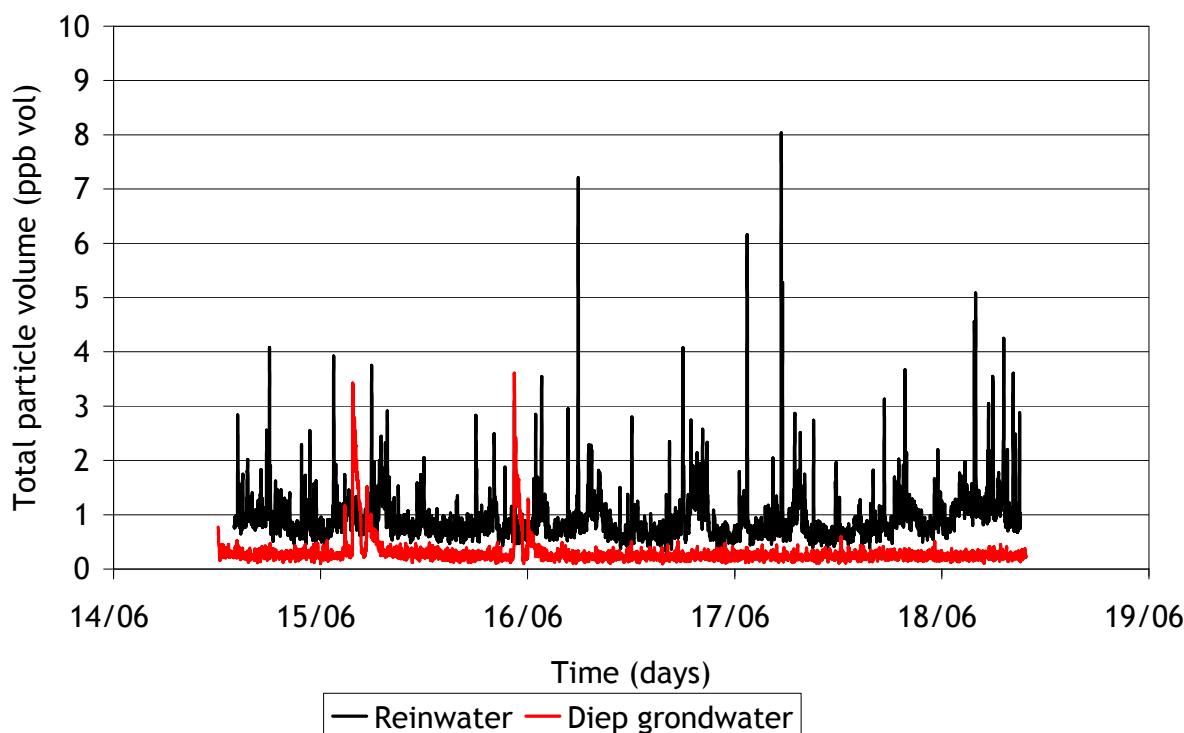
Figuur 33. Deeltjestellingen (aantal) na het voorfilter, nafilter en actief koolfilter van het middeldiep gewonnen grondwater (augustus 2010). Toelichting:

1. spoeling voorfilter
2. spoeling nafilter
3. spoeling BOT

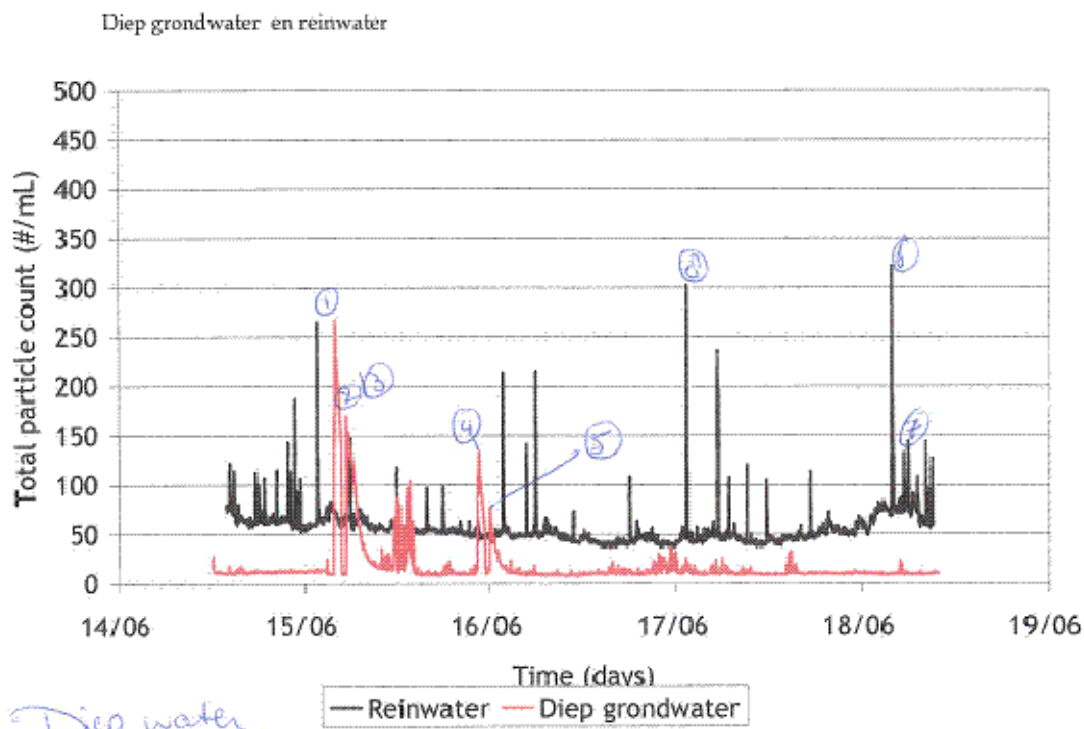


Figuur 34. Deeltjestellingen (aantal) na actief koolfilter (detail uit Figuur 33) van het middeldiep gewonnen grondwater (augustus 2010).

Deeltjes (1-100 μ m) in diep gewonnen grondwater en gemengde reine water



Figuur 35. Deeltjestellingen (volume) na dubbellaagsfilter van het diep gewonnen grondwater en van het gemengde reinwater (juni 2010).



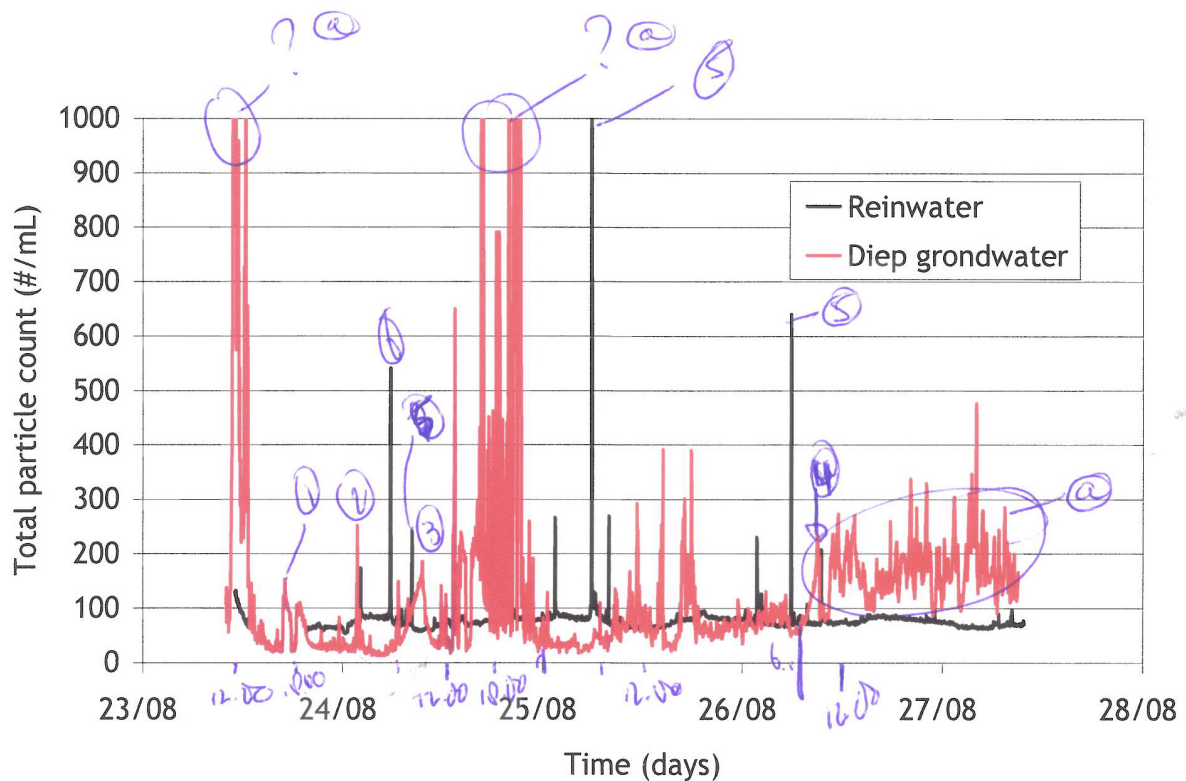
Figuur 36. Deeltjestellingen (aantal) na dubbellaagsfilter van het diep gewonnen grondwater en van het gemengde reinwater (juni 2010).

Toelichting diep grondwater:

- 1) spoeling diepe carry-over filter (dubbellaagfilter) (02.47 uur)
- 2) aan/uit-schakeling filtraat (03.31 uur)
- 3) spoeling BOT (04.41 uur)
- 4) spoeling carry-over filterstraat 12 geeft snelheidswisselingen
- 5) spoeling BOT filterstraat 12, geeft snelheidswisselingen

Toelichting reinwater:

- 6) wisseling transporttak (03.48 uur)
- 7) opschakelen distributiepomp (07.11 uur)
- 8) snelheidswisseling in transportleiding (01.26 uur)



Figuur 37. Deeltjestellingen (aantal) na dubbellaagsfilter van het diep gewonnen grondwater en van het gemengde reinwater (augustus 2010).

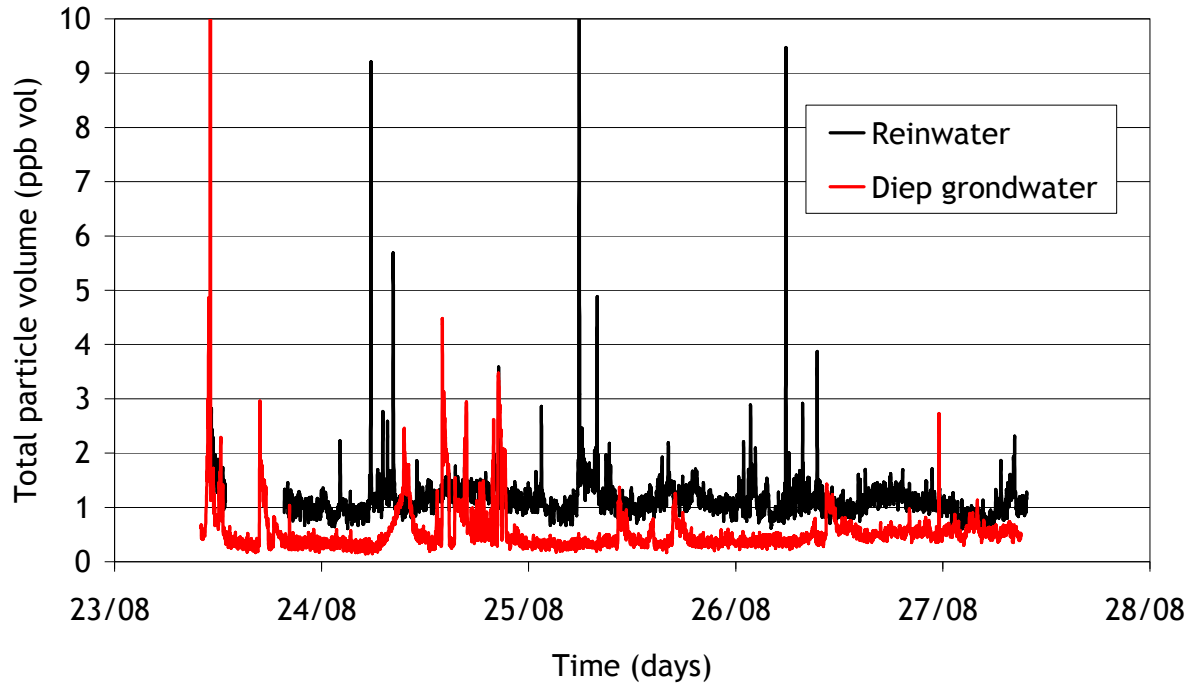
Toelichting diep grondwater:

a. Tijdens deze periode werden er relatief hoge aantallen kleine deeltjes (1-2 μm) gemeten, wat leidde tot hoge totale hoeveelheden deeltjes. De aanwezigheid van deze grote hoeveelheid kleine deeltjes is niet te verkaren vanuit de reguliere bedrijfsvoering. Doordat het om kleine deeltjes gaat, zijn deze onregelmatigheden minder in het oog springend in *Figuur 38* (volumeconcentraties).

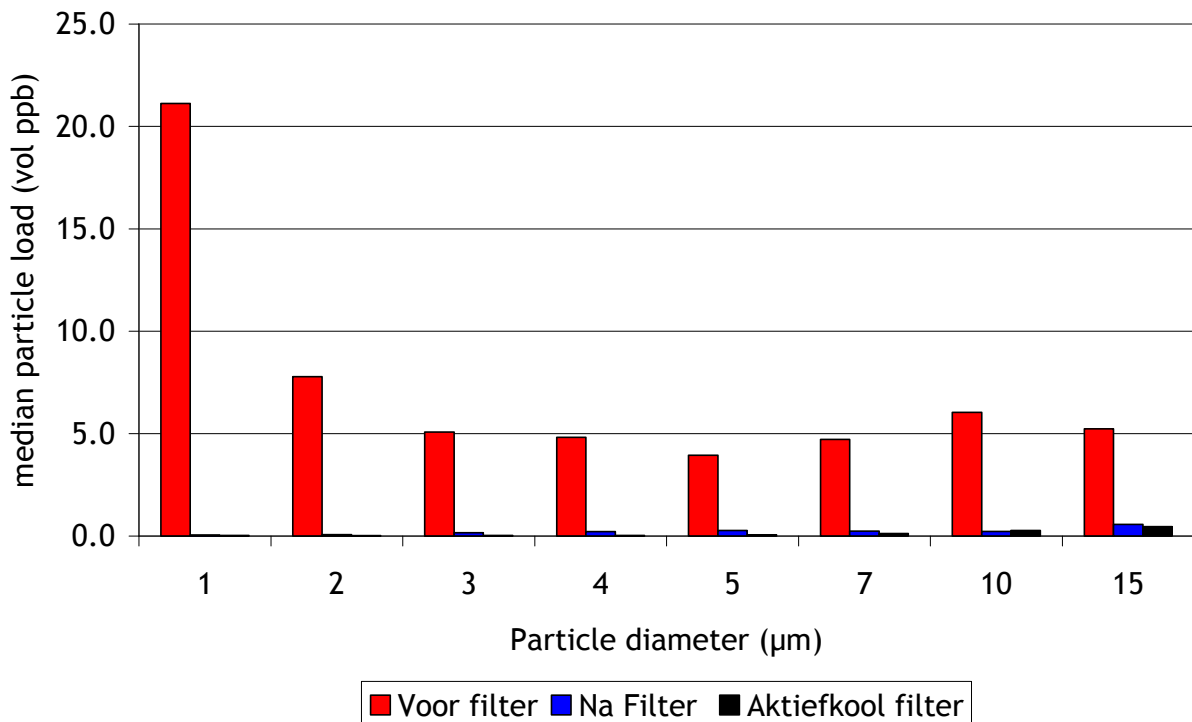
1. In straat 12 (diep gewonnen grondwater) was een filterspoeling waardoor er een snelheidswisseling was in de te onderzoeken staat 11 van het diep gewonnen grondwater.
2. Straat 11 werd afgeschakeld.
3. Straat 11 werd ingeschakeld.
4. Opstart filterstraat 11.

Toelichting reinwater:

5. Wisseling transporttak
6. Opschakelen distributiepomp



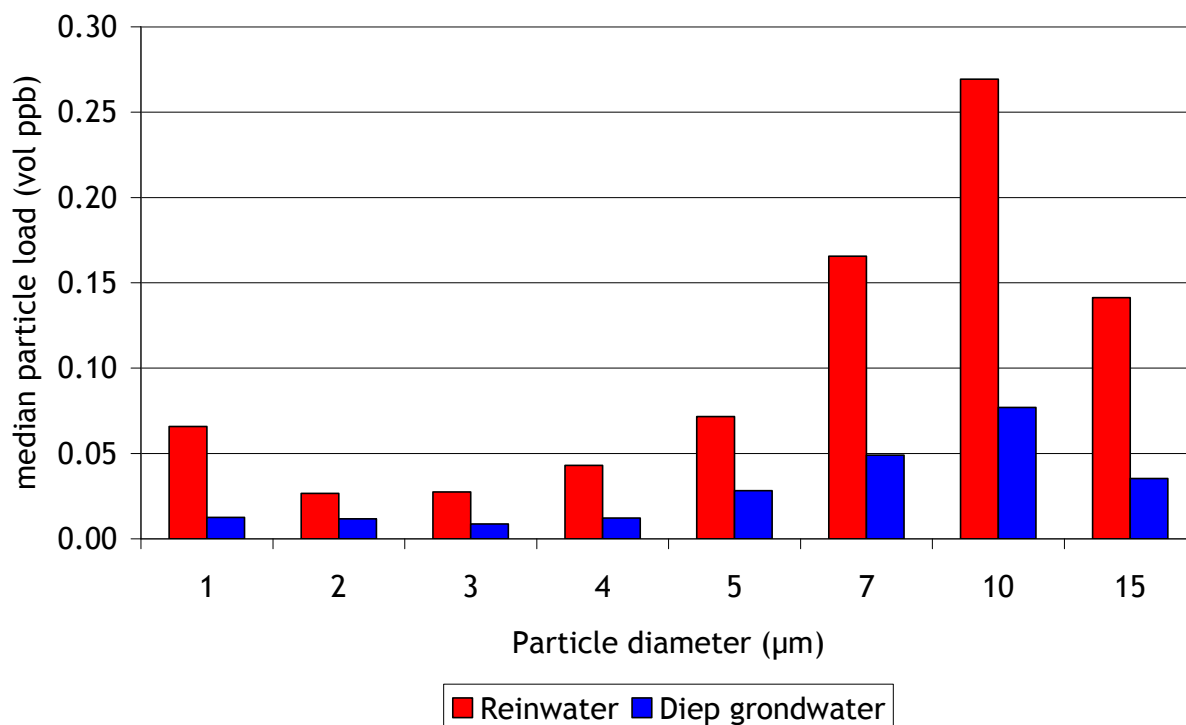
Figuur 38. Deeltjestellingen (volume) na dubbellaagsfilter van het diep gewonnen grondwater en van het gemengde reinwater (augustus 2010).



Figuur 39. Mediaan van de deeltjesconcentratie van de verschillende deeltjesfracties (tweede meetperiode, 7-11 juni 2010) in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater.

Tabel 18. Mediaan van de deeltjesconcentratie van de verschillende deeltjesfracties (tweede meetperiode, 7-11 juni 2010) in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater.

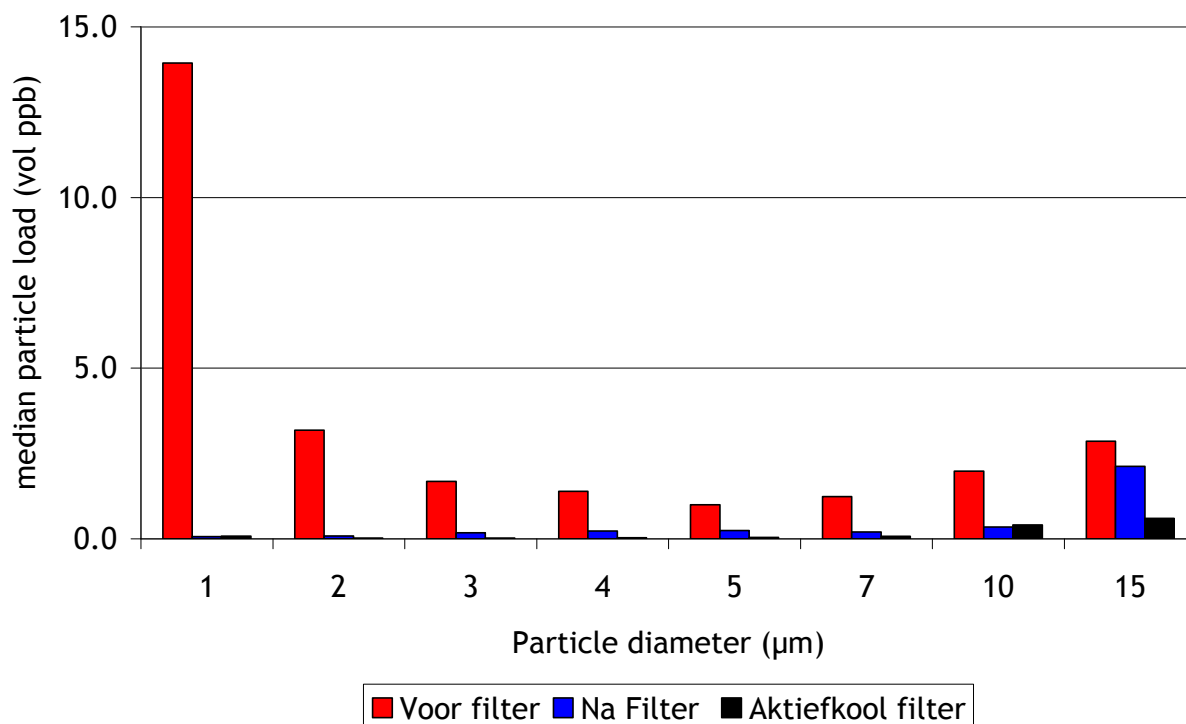
Deeltjesdiameter (µm)	Mediaan van de deeltjesconcentratie (vol ppb)							
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-7	7-10	10-15	15-100
Voorfiltraat	21,13	7,78	5,08	4,81	3,95	4,72	6,04	5,23
Nafiltraat	0,05	0,07	0,16	0,22	0,27	0,24	0,23	0,57
Actiefkool filtraat	0,02	0,02	0,03	0,03	0,06	0,12	0,27	0,46



Figuur 40. Mediaan van de deeltjesconcentratie van de verschillende deeltjesfracties (tweede meetperiode, 14-18 juni 2010) in het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en in het gemengde reine water.

Tabel 19. Mediaan van de deeltjesconcentratie van de verschillende deeltjesfracties (tweede meetperiode, 14-18 juni 2010) in het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en in het gemengde reine water.

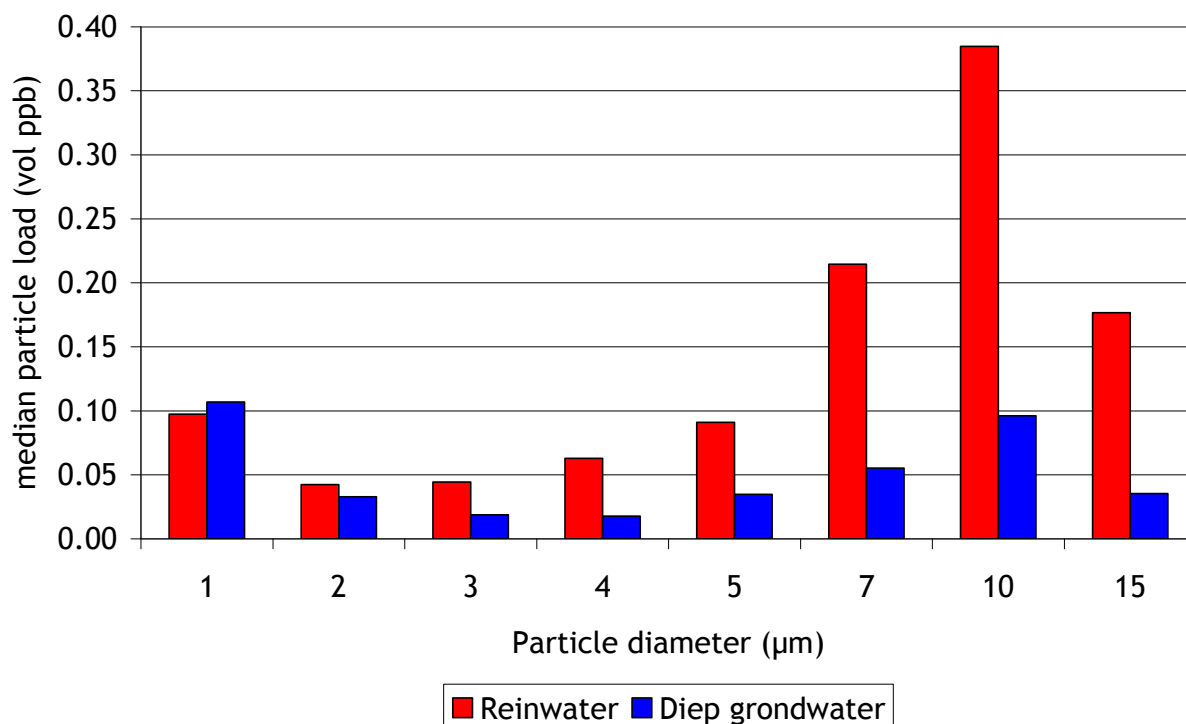
Deeltjesdiameter (µm)	Mediaan van de deeltjesconcentratie (vol ppb)							
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-7	7-10	10-15	15-100
Reinwater	0,07	0,03	0,03	0,04	0,07	0,17	0,27	0,14
Diep grondwater	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05	0,08	0,04



Figuur 41. Mediaan van de deeltjesconcentratie van de verschillende deeltjesfracties (derde meetperiode, 16-20 augustus 2010) in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater.

Tabel 20. Mediaan van de deeltjesconcentratie van de verschillende deeltjesfracties (derde meetperiode, 16-20 augustus 2010) in het voorfiltraat, nafiltraat en AKF-filtraat van het middeldiep gewonnen grondwater.

Deeltjesdiameter (µm)	Mediaan van de deeltjesconcentratie (vol ppb)							
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-7	7-10	10-15	15-100
Voorfiltraat	13,94	3,18	1,68	1,39	1,00	1,24	1,98	2,86
Nafiltraat	0,06	0,08	0,18	0,23	0,24	0,20	0,35	2,12
Actiefkool filtraat	0,08	0,03	0,02	0,03	0,04	0,07	0,40	0,60



Figuur 42. Mediaan van de deeltjesconcentratie van de verschillende deeltjesfracties (derde meetperiode, 23-27 augustus 2010) in het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en in het gemengde reine water.

Tabel 21. Mediaan van de deeltjesconcentratie van de verschillende deeltjesfracties (derde meetperiode, 23-27 augustus 2010) in het gezuiverde diep gewonnen grondwater voor menging en in het gemengde reine water.

Deeltjesdiameter (µm)	Mediaan van de deeltjesconcentratie (vol ppb)							
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-7	7-10	10-15	15-100
Reinwater	0,10	0,04	0,04	0,06	0,09	0,21	0,38	0,18
Diep grondwater	0,11	0,03	0,02	0,02	0,03	0,06	0,10	0,04

8.2 Bijlage 2: ICPMS analyses TILVS- en Hemoflow-concentraat

Tabel 22. Concentratie (semi-kwantitatief) van een aantal (zware) metalen in de deeltjes van het TILVS-concentraat, teruggerekend naar concentraties in het water (eerste meetsessie in april).

Component	Voorfiltraat (µg/l)	Nafiltraat (µg/l)	AKF-filtraat (µg/l)	Diep (µg/l)	Rein (µg/l)
Si	4,6	0,5	0	0	0
Ca	65	1,8	0,4	0,3	1,3
Sc	0,2	0,01	0,007	0,003	0
Ti	0,4	0,01	0,002	0,003	0,004
V	0,1	0,004	0,01	0,004	0,004
Cr	0,09	0,01	0,002	0,003	0,0002
Mn	2,4	4,4	0,3	0,03	0,09
Fe	2185	34	3,2	32	15
Cu	0,1	0,07	0,01	0,01	0,009
As	0,08	0,003	0,0002	0,005	0,002
Sr	0,2	0	0	0,006	0

Tabel 23. Concentratie (semi-kwantitatief) van een aantal (zware) metalen in de deeltjes van het TILVS-concentraat, teruggerekend naar concentraties in het water (tweede meetsessie in juni).

Component	Voorfilter (µg/l)	Nafilter (µg/l)	AKF (µg/l)	Diep (µg/l)	Gemengd (µg/l)
Ca	12	8	0	1,3	0,8
Sc	0,05	0,07	0,05	0,04	0,06
V	0,02	0,01	0,009	0,08	0,02
Cr	0,02	0,01	0,0009	0,001	0,006
Mn	0,7	14	0,16	0,15	0,1
Fe	444	87	22	1,7	141
Cu	0,02	1,3	0,02	0,01	0,02
Sb	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Hf	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03
W	1,5	1,1	0,5	0,3	0,4
Pb	0,01	0,02	0,02	0,0008	0,05

Tabel 24. Concentratie (semi-kwantitatief) van een aantal (zware) metalen in de deeltjes van het TILVS-concentraat, teruggerekend naar concentraties in het water (derde meetsessie in augustus).

Component	Voorfilter (µg/l)	Nafilter (µg/l)	AKF (µg/l)	Diep (µg/l)	Gemengd (µg/l)
Ca	14	0,2	0	1,0	0,9
Sc	0,04	0	0	0,005	0,002
Ti	0,07	0	0	0	0
V	0,04	0,002	0,002	0,004	0,003
Cr	0,02	0,003	0	0,003	0,0008
Mn	1,0	2,9	0,05	0,02	0,08
Fe	788	11	0,4	23	9
Cu	0,03	0,04	0,005	0,005	0,006
Sb	0,04	0,005	0,005	0,005	0,005
Hf	0,08	0,008	0,008	0,009	0,008
W	7	0,7	0,4	0,3	0,4

Tabel 25. Concentratie (semi-kwantitatief) van een aantal (zware) metalen in de deeltjes van het Hemoflow-concentraat, teruggerekend naar concentraties in het water (eerste meet sessie in april).

Component	Voorfiltraat (µg/l)	Nafiltraat (µg/l)	AKF-filtraat (µg/l)	Diep (µg/l)	Rein (µg/l)
B	2	0	1	0	2
Al	0,3	0	0,03	0	0,02
Si	14	2	3	2	4
K	0,2	0,04	0,8	0	0,7
Ca	24	0	0	0	0
Sc	0,2	0,02	0,06	0,02	0,03
Ti	0,4	0,06	0,09	0,02	0,07
V	0,08	0,002	0,02	0,002	0,006
Cr	0,04	0,0007	0,002	0	0
Mn	4,5	1,3	0,3	0,02	0,07
Fe	1488	9	5	8	5
Cu	0,2	0,07	0,09	0,05	0,1
Zn	0,2	0,003	0,03	0,01	0,1
Sr	0,7	0,1	0,2	0,09	0,2
Ba	0,5	0,03	0,07	0,009	0,04
Pb	0,05	0,008	0,07	0,009	0,02

Tabel 26. Concentratie (semi-kwantitatief) van een aantal (zware) metalen in de deeltjes van het Hemoflow-concentraat, teruggerekend naar concentraties in het water (tweede meet sessie in juni).

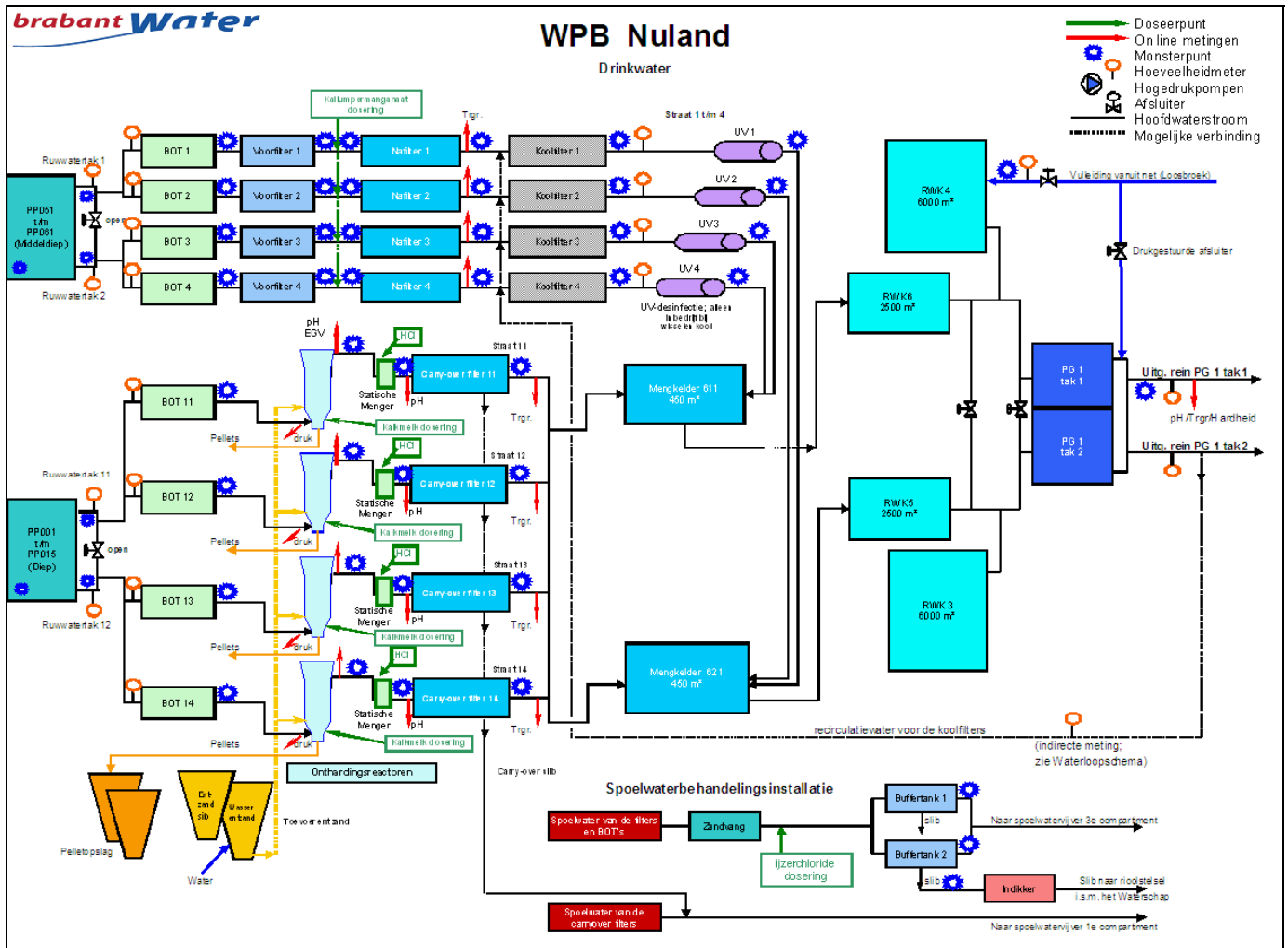
Component	Voorfiltraat (µg/l)	Nafiltraat (µg/l)	AKF (µg/l)	Diep (µg/l)	Rein (µg/l)
Ca	12	0	0	15	0
B	0,01	0,02	0,02	0,1	0,2
Al	0,1	0,01	0	0,03	0,03
Si	7	2,5	2,0	2,4	4,3
Sc	0,1	0,03	0,02	0,02	0,04
Ti	0,2	0,06	0,05	0,04	0,08
Mn	3,2	1,6	0,01	0,05	0,09
Fe	653	11	1,0	3,7	7,7
Cu	0,1	0,2	0,02	0,03	0,03
Zn	0,1	0,03	0,01	0,03	0,04
Sr	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3
Ba	0,3	0,04	0,02	0,02	0,05
W	1,8	0,4	0,6	0,2	0,5
Pb	0,03	0,01	0,003	0,01	0,01

Tabel 27. Concentratie (semi-kwantitatief) van een aantal (zware) metalen in de deeltjes van het Hemoflow-concentraat, teruggerekend naar concentraties in het water (derde meet sessie in augustus).

Component	Voorfiltraat (µg/l)	Nafiltraat (µg/l)	AKF (µg/l)	Diep (µg/l)	Rein (µg/l)
B	0,04	0	0	0,04	0
Al	0,07	0	0	0,02	0,05
Si	2,7	1,4	1,3	2,0	2,4
Ti	0,06	0,02	0	0	0,02
Mn	1,2	1,0	0,01	0,01	0,2
Fe	272	5	0,5	13	9
Cu	0,04	0,07	0,02	0,02	0,08
Zn	0,04	0,02	0	0,02	0,07

Sr	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
Ba	0,1	0,02	0,01	0,01	0,02
W	4,8	1,0	0,6	0,6	0,8
Pb	0,01	0,01	0,001	0,01	0,05

8.3 Bijlage 3: Zuiveringsproces wpb Nuland



8.4 Bijlage 4: IJzerconcentraties in de zuivering van wpb Nuland

Tabel 28. IJzerconcentraties in de zuivering van wpb Nuland.

Processtap	april			juni			augustus		
	Fe(II)	Fe(II+III)	% Fe(II)	Fe(II)	Fe(II+III)	% Fe(II)	Fe(II)	Fe(II+III)	% Fe(II)
Ruw water	9,2	9,2	100	8,9	9,1	98	9	9,1	99
Na BOT	6,1	6,2	98	5,4	5,5	98	5,3	5,4	98
Voorfiltraat	0,11	0,14	79	0,12	0,13	92	0,1	0,12	83
Nafiltraat	0,015	0,03	50	0	0	nvt	0	0,003	0
AKF-filtraat	0	0,009	0	0	0	nvt	0	0	nvt
Diep voor menging	0,009	0,015	60	0	0,003	0	0	0,015	0
Gemengd na kelders	0,003	0,009	33	0	0	nvt	0,003	0,003	100

