

**BTO 2006.034**  
7 juli 2006

# **Integrale Zuivering**

Visie achter het BTO Waterbehandeling

**BTO 2006.034**  
7 juli 2006

# **Integrale Zuivering**

Visie achter het BTO Waterbehandeling

© 2006 Kiwa N.V.  
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.

**Kiwa N.V.**  
**Water Research**  
Groningenhaven 7  
Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein

Tel. 030 606 95 11  
Fax 030 606 11 65  
[www.kiwa.nl](http://www.kiwa.nl)

# Colofon

**Titel**

Integrale Zuivering

**Projectnummer**

11.1510.080

**Projectmanager**

Erwin Beerendonk

**Opdrachtgever**

College van Opdrachtgevers BTO

**Kwaliteitsborger(s)**

René van der Aa (Waternet)

Hans van Dijk (Kiwa, TU Delft)

Jan Hofman (Kiwa)

Peer Kamp (PWN)

Walter van der Meer (Vitens)

Bram van der Veer (Evides)

Guus Ijpelaar (Kiwa)

**Auteur(s)**

Peter Wessels (Kiwa)

# Voorwoord

Deze rapportage is opgesteld in nauw overleg met de experts uit de drinkwatersector in Nederland en Vlaanderen. De basis hiertoe is gelegd in een workshop Waterbehandeling op 22 juni 2005. In vervolg hierop is de programmalijn Waterbehandeling vormgegeven en is deze achterliggende visie daarbij ontstaan.

De expert group Integrale Zuivering is speciaal betrokken geweest bij het tot stand komen en de kwaliteitscontrole van dit rapport. De Programma Begeleidingscommissie (PBC) onderschrijft dit visiedocument.

De hoofdidee achter dit visie rapport is dat deze, indien nodig en wenselijk, jaarlijks wordt geactualiseerd en zo blijft dienen als stevig fundament onder het programma BTO Waterbehandeling.



# Inhoud

	<b>Voorwoord</b>	<b>1</b>
	<b>Inhoud</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Uitdagingen op het gebied van waterbehandeling</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Doelen BTO Waterbehandeling</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Overzicht beschikbare technologie</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Integrale zuiveringschema's</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Visie en richting BTO Waterbehandeling</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>Referenties</b>	<b>25</b>



# 1 Inleiding

Goed onderzoek richt zich op de actuele problemen van vandaag en de uitdagingen voor morgen. In de programmalijn Waterbehandeling, wordt de focus van het onderzoek jaarlijks geïjkt aan de actuele situatie en verwachtingen voor de toekomst. Deze focus, of visie, wordt jaarlijks door de Programma Begeleidingscommissie (PBC) vastgelegd in dit visiedocument en dient als fundament voor de projecten die door de PBC bij het College van Opdrachtgevers worden voorgesteld.

Dit visie rapport begint met het beschrijven van de uitdagingen die de waterleidingbedrijven zien voor het BTO op het gebied van waterbehandeling (hoofdstuk 2). Hiermee zijn de doelen voor het BTO, zoals vastgelegd door het College van Opdrachtgevers in december 2004 [ref 1], vertaald naar de programmalijn Waterbehandeling (hoofdstuk 3). Vervolgens is in hoofdstuk 4 een overzicht gepresenteerd van de huidige technologie en hun effectiviteit om de gestelde doelen te verwezenlijken.

In hoofdstuk 5 is de koppeling met de praktijk gemaakt door de doelen en de technologieën aan elkaar te koppelen. Dit leidt tot integrale zuiveringschema's, welke deels al in de praktijk toegepast kunnen zijn, maar soms ook nog toekomstmuziek zijn.

Uiteindelijk leidt het geheel tot een goeddoordachte visie of richting voor het BTO Waterbehandeling. Dit is beschreven in het laatste hoofdstuk.





## 2 Uitdagingen op het gebied van waterbehandeling

Binnen de drinkwatersector in Nederland is een duidelijk herkenbare tendens zichtbaar van kostenreductie. Tegelijk is de sector zich in de volle breedte bewust van het feit dat de kwaliteit en de veiligheid van het drinkwater, en het vertrouwen dat de consument daarin stelt, onverminderd goed moet blijven. Daarbij worden de drinkwaterbedrijven steeds weer geconfronteerd met tot dan toe nog niet aangetoonde stoffen en pathogene micro-organismen in de bron, en soms in het drinkwater. Deze stoffen roepen nieuwe vragen op met betrekking tot de veiligheid en de kwaliteit van het drinkwater. Het is daarom ook niet uit te sluiten dat nieuwe zuiveringstechnieken en –schema's nodig zijn om de huidige kwaliteit, veiligheid en het consumentenvertrouwen te kunnen blijven garanderen bij een toenemende kennis en voorkomen van allerlei prioritair stoffen zoals Endocrine Disruptoren (EDC's), hormonen, medicijnresten, stoffen zoals MTBE, NDMA, en andere.

Het dilemma, en daarmee samenhangend de Q21 uitdaging, op het terrein van waterbehandeling kan schetsmatig worden weergegeven in onderstaande figuur.

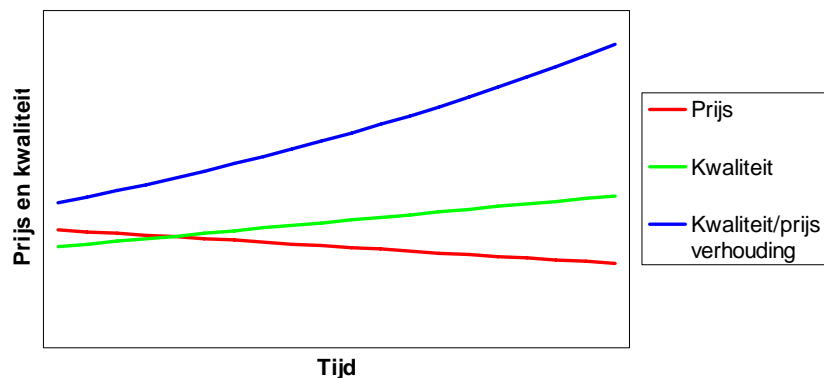
Eenzijds is er mogelijk behoefte aan verbetering van de verwijdering van allerlei stoffen en pathogene micro-organismen, anderzijds is er een blijvende behoefte aan kostenreductie. In het BTO Waterbehandeling dient aan beide behoeften aandacht te worden besteed door:

- onderzoek naar de verwijdering van prioritair stoffen en pathogenen door verschillende zuiveringstechnieken, en;
- technologische ontwikkeling van zuiveringstechnieken en –schema's, waarmee kosten en andere negatieve effecten (energie- en chemicaliënverbruik, afvalstoffen, bijproducten, etc.) worden gereduceerd.

Beide aspecten, effectiviteit en kosten/praktische toepasbaarheid, zijn aan elkaar verbonden. Het heeft immers geen zin om onderzoek te doen naar zuiveringstechnieken die misschien wel heel effectief zijn, maar vervolgens veel te duur blijven om toe te passen.

Afbeelding 1

### Uitdaging BTO Waterbehandeling



De uitdaging voor het BTO Waterbehandeling is dan ook om onderzoek uit te voeren naar de effectiviteit van zuiveringstechnieken en -processen, en deze technieken verder te ontwikkelen teneinde de toepassing daarvan mogelijk te maken en te bevorderen. In feite kan dit worden vertaald naar verbetering van de verhouding prestatie/prijs.

### 3 Doelen BTO Waterbehandeling

De visie van 'Onberispelijke Kwaliteit' is door het Collega van Opdrachtgevers vooral toegespitst op [ref 1]:

- De veiligheid ten aanzien van prioritaire stoffen en pathogene micro-organismen
- Beperking van de nagroei in het distributienet door beperking AOC, deeltjes, NOM en andere potentieel nagroei bevorderende stoffen (van belang in verband met o.a. *Legionella* in combinatie met afwezigheid van chlooring)
- Klantwensen en consumentenvertrouwen

Om de visie Q21 van het College van Opdrachtgevers te verwezenlijken staat het BTO Waterbehandeling de volgende aanpak voor ogen (vragend geformuleerd):

- (i) In welke mate wordt met de bestaande zuiveringen de veiligheid van drinkwater gegarandeerd met betrekking tot prioritaire stoffen en pathogene micro-organismen? Wat is de prestatie van bestaande zuiveringen met betrekking tot beperking nagroei en deeltjes?
- (ii) In hoeverre kan de huidige zuivering worden geoptimaliseerd ten aanzien van verwijdering van prioritaire stoffen, pathogene micro-organismen, deeltjes en nagroei bevorderende stoffen?
- (iii) Welke kwaliteit (ten aanzien van prioritaire stoffen, pathogene micro-organismen, nagroei en deeltjes) is haalbaar met de laatste technologie? (groene weide benadering)
- (iv) In hoeverre is de nieuwe technologie toepasbaar en betaalbaar? Welke ontwikkelingskansen liggen hier?

Steeds zal bij onderzoek naar nieuwe technologie de vergelijking met bestaande technologie, inclusief optimalisatiemogelijkheden, worden gemaakt.



## 4 Overzicht beschikbare technologie

Zonder onderscheid te maken naar bronnen (oppervlaktewater, grondwater, enz.) zijn de belangrijkste technieken voor het verwezenlijken van de Q21 visie, weergegeven in onderstaande tabel (tabel 1).

**Tabel 1: rangschikking technieken naar kosten en kwaliteit**

Techniek	€/m <sup>3</sup>	Voor-behand.	Na-Behand.	Priorit. Stoffen *	Pathog.	Nagroei	Deeltjes
Nanofiltr./ Reverse Osmosis	0,30	Uitgebr. (C)SF-UF-AKF	Conditio-nering	deels effectief	effectief	effectief	effectief
Ultrafiltr.	0,15-0,20	Beperkt (C)SF	-	weinig effectief	effectief	deels effectief	effectief
Actieve koolfiltratie	0,10-0,15	Beperkt (C)SF	UV/LZF	deels effectief	deels effectief	effectief	deels effectief
UV-oxidatie (incl. AKF)	0,20-0,25	Beperkt (C)SF-(IX)	UV/LZF	effectief	effectief	effectief	deels effectief
Ozon (incl. AKF)	0,20-0,25	Beperkt (C)SF-(IX)	UV/LZF	deels effectief	deels effectief	effectief	deels effectief
Langzame zandfiltratie	0,05-0,10	Uitgebr. (C)SF-AKF	-	weinig effectief	deels effectief	effectief	effectief
Snelfiltratie	0,05	Beperkt C	-	weinig effectief	deels effectief	deels effectief	deels effectief
UV-desinfectie	0,02	Beperkt (C)SF		weinig effectief	effectief	weinig effectief	weinig effectief

\* Met prioritaire stoffen zijn bedoeld: EDC's, hormonen, medicijnresten, NDMA, MTBE, polaire organische microverontreinigingen, en (nu) nog onbekende stoffen die mogelijk in de toekomst een probleem kunnen vormen.

Voor elk van de technieken is hieronder een toelichtende tekst opgenomen, die van belang is bij lezing en interpretatie van tabel 1.

### Nanofiltratie en Reverse Osmosis

Nanofiltratie en RO kunnen een aanzienlijke barrière leveren voor prioritaire stoffen, pathogene micro-organismen en deeltjes en leveren een aanzienlijke bijdrage in de beperking van nagroei. Toch zijn er nog wel vragen over de effectiviteit t.a.v. verwijdering van specifieke prioritaire stoffen (polaire, laag moleculaire stoffen zoals bijvoorbeeld MTBE en NDMA). Verder kan met nanofiltratie en RO ook ontharding, ontzouting en ontkleuring worden gerealiseerd.

De kosten voor nanofiltratie en RO zijn hoog. Om membraanfiltratie vervuiling te beperken is een uitgebreide voorzuivering nodig (minimaal Coagulatie/Snelfiltratie gevolgd door eventueel Ultrafiltratie en Actieve koolfiltratie), waardoor de kosten meer dan verdubbelen. Tevens is er een nabehandeling nodig in de vorm van opharding en conditionering. Tenslotte moet de concentraatproblematiek worden genoemd, wat een ernstige barrière voor toepassing kan vormen en waardoor de kosten nog verder toenemen.

### **Ultrafiltratie**

Ultrafiltratie is een techniek waarmee deeltjes en pathogene micro-organismen vergaand kunnen worden verwijderd. Hiervoor is wel een goede integriteitsbewaking noodzakelijk. Ten aanzien van beperking van de nagroei, blijkt ultrafiltratie ook een bijdrage te kunnen leveren. In het onderzoek op PS Spannenburg is gebleken dat de biofilmvorming snelheid ongeveer wordt gehalveerd met ultrafiltratie. Ultrafiltratie heeft een te verwaarlozen bijdrage in de verwijdering van prioritaire stoffen en verwijdert geen opgeloste stoffen (kleur, hardheid e.d.).

De kosten voor ultrafiltratie zijn fors. Integriteit en membraanvervuiling zijn belangrijke beheersaspecten teneinde ultrafiltratie effectief te kunnen inzetten. Ook de chemische reiniging en de daarbij vrijkomende afvalstromen kunnen een barrière zijn voor toepassing. Ultrafiltratie vereist daarbij vaak nog een voorbehandeling (Coagulatie/Snelfiltratie en soms aanvullend daarop ion exchange (IX)).

### **Actieve koolfiltratie**

Actieve koolfiltratie is een effectieve zuiveringstap als het gaat om verbetering van de biologische stabiliteit en beperking van de nagroei. Door de normale filterende werking kan actieve koolfiltratie ook een beperkte bijdrage leveren bij het verwijderen van deeltjes en pathogene micro-organismen. Tenslotte is actieve koolfiltratie vooral inzetbaar voor de verwijdering van organische microverontreinigingen, NOM en geur en smaak. Ten aanzien van de polaire organische microverontreinigingen moet worden geconcludeerd dat actieve koolfiltratie geen significante barrière is.

Actieve koolfiltratie is een eenvoudig toe te passen proces. Er zijn geen grote barrières zoals vervuiling, afvalproducten, etc, behalve de regelmatig terugkerende regeneratie en bijbehorende logistiek. De benodigde voorzuivering voor actieve koolfiltratie is beperkt (Coagulatie/Snelfiltratie). Wel zijn er ideeën over optimalisatie van de werking van actieve koolfilters door toepassing van ionenwisselaars (IX). Door met IX het NOM gehalte vóór de actieve koolfiltratie te beperken, kan de actieve koolfiltratie mogelijk efficiënter worden bedreven. Na actieve koolfiltratie wordt vaak UV-desinfectie of langzame zandfiltratie toegepast om koloniegatellen te verlagen.

### **UV-oxidatie + actieve koolfiltratie**

Met UV-oxidatie (of andere geavanceerde oxidatie technieken, waarbij OH-radicalen worden gevormd) kunnen ook de polaire organische microverontreinigingen (naast de andere prioritaire stoffen) effectief worden omgezet. Hierbij worden per definitie omzettingsproducten gevormd (AOC, nitriet en andere) die met een nageschakelde actieve koolfiltratie moeten worden verwijderd. Geavanceerde oxidatie moet daarom altijd worden gezien in combinatie met actieve koolfiltratie en de voordelen van actieve koolfiltratie (biologische stabiliteit, deeltjesverwijdering). Bij geavanceerde

oxidatie met behulp van UV-peroxide wordt ook een goede desinfectie bereikt door de toegepaste UV dosis.

De voorzuivering voor geavanceerde oxidatie kan uiteenlopen van beperkte (Coagulatie/Snelfiltratie) tot wat uitgebreidere voorbehandeling inclusief ionenwisseling. Van geavanceerde oxidatie is bekend dat er omzettingsproducten worden gevormd (het is immers een oxidatieproces). Deze omzetting dient zodanig te zijn, dat de omzettingsproducten goed door de nageschakelde actieve koolfiltratie worden verwijderd. Hier is nog niet alles van bekend in het publieke domein. De huidige overheersende mening is dat deze oxidatieve techniek niet leidt tot, voor mens en milieu, schadelijke omzettingsproducten die in het drinkwater terecht komen.

### **Ozon + actieve koolfiltratie**

Ozonisatie is een oxidatieve techniek, waarbij vrijwel geen OH-radicalen worden gevormd. De oxidatieve werking is daarmee anders dan bijvoorbeeld met UV-peroxide, UV-ozon of Ozon-peroxide.

Naast oxidatie biedt ozonisatie ook een zekere desinfectie, hoewel deze desinfectie minder effectief is voor *Giardia* en *Cryptosporidium* dan UV. Na ozonisatie is altijd een actieve koolfiltratie nodig om gevormde AOC af te breken. Deze actieve koolfiltratie levert een grote bijdrage in de biologische stabiliteit en (in mindere mate) ook in de verwijdering van deeltjes.

Bij ozonisatie is de vorming van ongewenste en schadelijke nevenproducten (bromaat) aangetoond. Dit is een serieuze barrière voor toepassing, hoewel recente internationale onderzoek signaleren dat bromaat wordt gereduceerd in de maag en in het bloed, waardoor het effect op de gezondheid kleiner is dan aanvankelijk verondersteld. Ten aanzien van de benodigde voor- en nazuivering is een vergelijkbaar beeld te schetsen als bij toepassing van geavanceerde oxidatie met UV-peroxide (zie boven).

### **Langzame zandfiltratie**

Een oude, robuuste en effectieve techniek voor desinfectie, biologische stabiliteit en deeltjesverwijdering, is langzame zandfiltratie. Ten aanzien van verwijdering/omzetting van prioritaire stoffen is langzame zandfiltratie minder geschikt. Hierbij wordt wel opgemerkt dat door biologische omzetting mogelijk toch enkele prioritaire stoffen zouden kunnen worden verwijderd. Tevens past hierbij de relativering dat langzame zandfiltratie minder effectief wordt in omzetting van stoffen en desinfectie wanneer het proces bij een lage temperatuur plaatsvindt.

De kosten voor langzame zandfiltratie zijn beperkt tot € 0,05-0,10 per kuub. Als nadelen van langzame zandfiltratie worden wel genoemd: een groot ruimtebeslag en het 'low-tech karakter' (handmatige reiniging). Tevens hebben langzame zandfilters een uitgebreide voorzuivering nodig. De afvalproductie en het chemicaliëngebruik is echter weer minimaal.



### **Snelfiltratie**

Met snelfiltratie wordt de kwaliteit van water verbeterd ten aanzien van deeltjes, pathogene micro-organismen en (bij grondwaterzuivering) biologische stabiliteit. De verwijdering van deeltjes en pathogene micro-organismen is echter beduidend minder totaal dan bijvoorbeeld met membraanfiltratie of langzame zandfiltratie. Tevens kan de vraag worden gesteld of snelfiltratie wel in alle gevallen een bijdrage levert in de beperking van de nagroei. In ieder geval lijkt snelfiltratie weinig effectief bij de verwijdering/omzetting van prioritaire stoffen.

De kosten voor snelfiltratie zijn beperkt tot circa € 0,05 per kuub. Snelfiltratie kan worden beschouwd als de basis voor elke zuivering en wordt in nagenoeg geen enkel zuiveringsschema gemist (behalve daar waar directe ultrafiltratie wordt toegepast). Bij de zuivering van oppervlaktewater wordt snelfiltratie meestal vooraf gegaan door coagulatie/sedimentatie (of flotatie).

### **UV-desinfectie**

Met UV-desinfectie wordt geen bijdrage geleverd aan verwijdering van deeltjes, verlaging van de nagroei potentie (eerder verhoging van de nagroei potentie) en nauwelijks aan de omzetting van prioritaire stoffen. UV is wel zeer effectief gebleken als desinfectie techniek, ook ten aanzien van *Giardia* en *Cryptosporidium*. Een punt van onderzoek is de effectiviteit van UV-desinfectie met betrekking tot inactivatie/afdoening van Adeno virussen.

UV-desinfectie is een goedkope techniek met een selectieve werking. De benodigde voorzuivering is beperkt. Met UV-desinfectie worden in beperkte mate omzettingsproducten gevormd (ondermeer AOC, nitriet). De mate van vorming van omzettingsproducten hangt in sterke mate af van de gekozen lampen (golflengte). Als de vorming van omzettingsproducten niet laag genoeg is, kan de UV-desinfectie niet eindstandig worden toegepast.

### **Overige technieken**

In de beschrijvingen hierboven is ionenwisseling genoemd als techniek om NOM te verwijderen. Deze techniek kan ook ingezet worden voor kleurverwijdering.

Verder is in bovenstaande beschrijvingen van technieken, niet expliciet ingegaan op ontharding. In Nederland wordt voor ontharding veel gebruik gemaakt van pelletreactoren. Met nanofiltratie, Reverse Osmosis of ionenwisseling kan echter ook ontharding worden bereikt.

Tenslotte wordt in het BTO Waterbehandeling verkennend onderzoek gedaan naar nieuwe technologie. Hierbij kan in 2006 bijvoorbeeld worden gedacht aan toepassing van zeolieten en ferraat.

## 5 Integrale zuiveringschema's

Bij alle oppervlaktewaterzuiveringen zijn de technieken gericht op prioritaire stoffen, pathogene micro-organismen, nagroei en deeltjes van bijzonder belang. Daarnaast spelen andere kwaliteitsdoelstellingen een rol, zoals: ontharding en conditionering, ontkleuring, ammoniumverwijdering, reuk en smaak, temperatuur, etc.

Bij grondwaterzuivering zijn de technieken gericht op nagroei en deeltjes (beperking) van bijzonder belang op alle grondwaterlocaties. Daarnaast zijn ook ontharding en conditionering bij grondwater van belang. Uit verkennend onderzoek blijkt bovendien dat een fors aantal grondwaterwinningen in Nederland mogelijk ook kampt met hoge gehalten (vooral polaire) microverontreinigingen. Om welke microverontreinigingen het gaat is nog onderwerp van nader onderzoek, maar er zijn wel gehalten aangetroffen die aandacht hiervoor rechtvaardigen. Bij een aantal grondwaterwinningen is daarom ook aandacht nodig voor verwijdering van prioritaire stoffen.

### 5.1. Oppervlaktewaterbehandeling

#### **Huidige stand der techniek oppervlaktewaterzuivering**

Circa eenderde van het Nederlandse drinkwater wordt geproduceerd uit oppervlaktewater. Er is dus veel ervaring opgebouwd en ook hebben er veel ontwikkelingen in de voorbije jaren plaatsgevonden. Dat alles heeft geleid tot de huidige stand der techniek, zoals weergegeven in afbeelding 2.

Uit afbeelding 2 blijkt dat de Nederlandse waterleidingbedrijven op geavanceerde wijze drinkwater produceren uit oppervlaktewater. Zo is bijvoorbeeld centrale ontharding in alle huidige zuiveringen opgenomen. Ook kan worden gewezen op de toepassing van innovatieve technologie zoals membraanfiltratie en UV-peroxide.

Afbeelding 2: Huidige stand der techniek oppervlaktewaterzuivering (enkele schema's)

Oppervlakte water	Oppervlakte water	Oppervlakte water	Oppervlakte water	Oppervlakte water
Spaarbekken	Spaarbekken met onthard.	Doorstroom bekken	Spaarbekken met onthard.	Coagulatie
Coagulatie/ Vlokverw.	Coagulatie/ Vlokverw.	Snelfiltratie	Coagulatie/ Vlokverw.	Spaarbekken
Snelfiltratie	Snelfiltratie	Infiltratie/ terugwinning	Snelfiltratie	Snelfiltratie
Actieve koolfiltratie	UV-desinfectie	Poederkool dosering	UV-peroxide	Ozonisatie
Ultrafiltratie	Actieve koolfiltratie	Pellet ontharding	Actieve koolfiltratie	Pellet ontharding
Reverse Osmosis	Chloor dioxide	Snelfiltratie	Chloor dioxide	Actieve koolfiltratie
Menging/ opharding		Langzame zandfiltr.		Langzame zandfiltr.

Als we de huidige integrale zuivering schema's van afbeelding 2 naast tabel 1 leggen, kunnen we vier van de vijf schema's kwalificeren als 'deels effectief' met betrekking tot de verwijdering van prioritaire stoffen. Slechts één schema (met UV-peroxide) krijgt op grond van tabel 1 de kwalificatie 'effectief'. Van belang is derhalve om verder inzicht te krijgen in de mate van effectiviteit voor de verwijdering van prioritaire stoffen met membranen, actieve koolfiltratie en de combinatie ozon en actieve koolfiltratie. Ook is van belang om onderzoek te doen naar evt. ongewenste en resterende omzettingsproducten na UV-peroxide-actieve koolfiltratie.

Ten aanzien van verwijdering van pathogenen, mag worden verwacht dat alle schema's van afbeelding 2 een voldoende scoren. Alle schema's maken gebruik van één of twee technieken die volgens tabel 1 gekwalificeerd worden als 'effectief'.

Beperking van nagroei bevorderende stoffen mag voor alle genoemde schema's eveneens geen probleem zijn. De mate van verwijdering van deeltjes is volgens de kwalificaties van tabel 1 wel verschillend. Twee van de 5 schema's hebben actieve koolfiltratie als laatste stap in de zuivering, met als kwalificatie 'deels effectief'. Nader inzicht in de problematiek met betrekking tot deeltjes en een eventuele relatie met biologische stabiliteit, is derhalve gewenst.

## Onderzoek oppervlaktewaterzuivering

Bekend is dat verschillende bedrijven onderzoeken of hun zuiveringschema's eventueel in de toekomst moeten worden aangepast, of in hoeverre ze kunnen worden geoptimaliseerd. Het BTO Waterbehandeling sluit daar deels bij aan. Hierna worden de belangrijkste onderzoeken genoemd.

### MIEX

PWN en VMW doen op dit moment onderzoek naar Magnetische Ionenwisselaars (MIEX). Het betreft hier afzonderlijk onderzoek, niet gekoppeld aan het BTO.

MIEX is een geschikte techniek voor verwijdering van NOM uit ruw oppervlaktewater. PWN onderzoekt in hoeverre MIEX voordelen biedt in combinatie met UF en UV-peroxide (Andijk). Mogelijk blijkt dat het zinvol is om de huidige zuivering om te vormen naar een geheel nieuw zuiveringschema, waarbij:

- bespaard wordt op vlokmiddel dosering en waarbij minder slib wordt gevormd (MIEX in plaats van Coagulatie-Vlokverwijdering)
- de vervuiling van ultrafiltratiemembranen wordt beperkt, waarbij een hogere opbrengst van de ultrafiltratie wordt verkregen en in-line coagulatie vóór de Ultrafiltratie achterwege kan worden gelaten
- de UV-peroxide nog efficiënter kan worden ingezet als gevolg van een verhoging van de UV transmissie van de matrix door verlaging van het NOM/DOC gehalte

Het project van PWN wordt uitgevoerd met IS subsidie van Senter/NOVEM.

VMW onderzoekt MIEX als voorzuivering voor Ultrafiltratie-Ozonisatie-Actieve koolfiltratie (pompstation Kluzen). In 2005 is voor VMW een flankerend onderzoek uitgevoerd naar NOM-Calcium complexvorming in relatie tot vervuiling van de Ultrafiltratie.

### Integrale aanpak NOM

Waternet en Vitens participeren, samen met TU Delft, Unesco-IHE en Kiwa-BTO, in een project 'Integrale aanpak NOM'. Dit project wordt mede gefinancierd vanuit IS subsidie (Senter/NOVEM) en uit het BTO (550 k€ behandeling). In het project staan de volgende vragen centraal:

- In hoeverre kan verwijdering van NOM uit ruw oppervlaktewater bijdragen tot een betere prestatie (lagere kosten, betere kwaliteit) van de nageschakelde zuiveringstappen? Welk type NOM moet dan worden verwijderd?
- In hoeverre kan verwijdering van NOM bijdragen aan de verbetering van de biologische stabiliteit in het distributienet? Welk type NOM veroorzaakt evt. verslechtering van de biologische stabiliteit?

In het project moet de nodige aandacht worden besteed aan karakterisering (analysemethoden) van NOM. Tevens is het van belang om verschillende NOM fracties te kunnen verwijderen. NOM zal worden verwijderd met ionenwisseling, waarbij gebruik gemaakt wordt van Fluidized Bed Reactoren (FIX). Met FIX kunnen alle denkbare typen ionenwisselingsharsen worden gebruikt, waaronder ook de hars die in MIEX wordt gebruikt.

Naast de FIX zelf, is ook de regeneraatverwerking een integraal onderdeel van het project.

Het NOM onderzoek zal grotendeels plaatsvinden op de locatie Weesperkarspel (Waternet).

#### UV-peroxide

Duinwaterbedrijf Zuid-Holland gaat, in samenwerking met Kiwa-BTO (1000 k€) en Philips Lighting, onderzoek doen naar optimalisatie van UV-peroxide. Dit project, eveneens ondersteund met IS subsidie, wordt mede financieel ondersteund door AwwaRF en Greater Cincinnati Water Works.

DZH gaat onderzoeken in hoeverre invoegen van UV-peroxide vóór de duinpassage een verbetering in waterkwaliteit zal geven. Met name zal worden gekeken naar de verwijdering van polaire micro verontreinigingen en de (wijziging in) genotoxiciteit van het reine water. Ook wordt getracht om door technologische ontwikkeling de kosten en het energieverbruik te verlagen.

#### Membraanfiltratie

Membraanfiltratie dient te worden onderscheiden in lage druk en hoge druk toepassingen. Voor de lage druk toepassingen (microfiltratie en ultrafiltratie) wordt een gouden toekomst verwacht, vooral als alternatief voor het klassieke coagulatie/sedimentatie/snelfiltratie proces. Hoge druk toepassingen (nanofiltratie en Reverse Osmosis) kunnen een grote bijdrage leveren in het verwijderen van allerlei opgeloste stoffen.

Een hardnekkig probleem bij hoge druk membraanfiltratie vormt de membraanvervuiling en de daarmee gepaard gaande hoge kosten. Niet alleen het reinigen met chemicaliën, maar vooral ook de voorzuivering van Reverse Osmosis kost veel geld (ca € 0,15-0,25 per kuub). Uiteindelijk heeft de hoge kostprijs als gevolg van (preventiemaatregelen voor) vervuiling, ertoe geleid dat hoge druk membraanfiltratie in Nederland maar beperkte toepassing heeft gevonden, terwijl Reverse Osmosis voor heel veel stoffen een goede tot zeer goede barrière vormt.

In het BTO is daarom nog steeds een focus op vermindering van de vervuilingproblematiek, vanuit de stellige overtuiging dat er mogelijkheden zijn om de vervuiling effectiever aan te pakken en daarmee Reverse Osmosis weer volop aantrekkelijk te maken qua kosten. In het BTO is daarom een project opgenomen, dat zich richt op significante reductie van de kosten gerelateerd aan membraanvervuiling. Hierbij zijn er contacten gelegd met de Nederlandse Antillen en Evides, met als doel een intensieve samenwerking op te zetten en aanvullende financiering te realiseren naast het BTO budget (200 k€).

Concreet wordt in het BTO Waterbehandeling ingezet op hydraulische reiniging van de spiraalgewonden Reverse Osmosis membranen (AiRO: RO met lucht/water spoeling), waardoor ze beter bestand zijn tegen vervuiling

door deeltjes en biomassa. Mogelijk kan hierdoor in de toekomst worden volstaan met een coagulatie-snelfiltratie als voorzuivering.

Daarnaast vormen de effectiviteit van nanofiltratie en lage druk RO voor de verwijdering van prioritare stoffen een belangrijk onderzoeksitem. Een PhD van TU Delft doet hiernaar fundamenteel onderzoek.

Tenslotte wordt in het BTO onderzoek gedaan naar de beperking/oplossing van het concentraatprobleem. Hierbij wordt het onderzoek gericht op technologische oplossingen (beperking en verwerking) en wetgeving (verbeteren lozingsmogelijkheden).

### Innovatief onderzoek integrale zuivering oppervlaktewater

Een overzicht van belangrijk onderzoek inzake integrale zuiveringschema's is weergegeven in afbeelding 3. Hierbij zijn, ter vergelijking met afbeelding 2, de potentiële wijzigingen aangegeven in een groen vlak.

Afbeelding 3: Mogelijk toekomstige integrale zuiveringschema's oppervlaktewater

Oppervlakte water	Oppervlakte water	Oppervlakte water	Oppervlakte water	Oppervlakte water
Spaarbekken	Spaarbekken met onthard.	Doorstroom bekken	Spaarbekken met onthard.	FIX Fluidized Ion Exchange
Coagulatie/Vlokverw.	Coagulatie/Vlokverw.	Snelfiltratie	MIEX	Coagulatie
Snelfiltratie	Snelfiltratie	UV-peroxide	Ultrafiltratie	Spaarbekken
AiRO Reverse	UV-desinfectie	Infiltratie/terugwinning	UV-peroxide	Snelfiltratie
Menging/opharding	Actieve koolfiltratie	Poederkool dosering	Actieve koolfiltratie	Ozonisatie
	Chloor	Pellet ontharding	Chloor	Pellet ontharding
		Snelfiltratie		Actieve koolfiltratie
		Langzame zandfiltr.		Langzame zandfiltr.

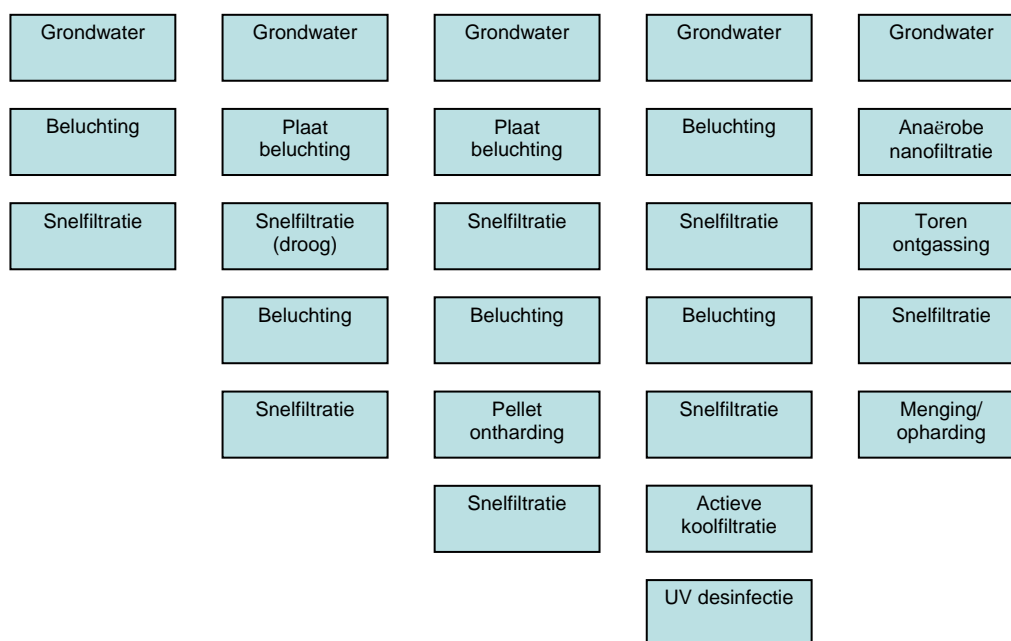
Ook zijn varianten op deze schema's denkbaar, zoals een schema bestaande uit Fluidized Ion Exchange gevolgd door Ultrafiltratie, Nanofiltratie en Actieve Koolfiltratie met een korte verblijftijd. Een dergelijk schema wordt bij de TU Delft onderzocht, in samenwerking met het BTO.

## 5.2. Grondwaterbehandeling

### Huidige stand der techniek grondwaterzuivering

Het overgrote deel van het Nederlandse drinkwater wordt bereid uit grondwater. Grondwater komt voor in veel verschillende kwaliteiten, wat leidt tot uiteenlopende zuiveringschema's. Parameters die bij grondwater in belangrijke mate bepalen hoe de zuiveringsopzet wordt vormgegeven, zijn het methaangehalte, het ijzer- en mangaangehalte, het ammoniumgehalte, de hardheid en het kleurgehalte. Daarnaast zijn er ook grondwaterwinningen die kampen met micro verontreinigingen en geur- en smaakproblematiek. In afbeelding 4 zijn een aantal typische zuiveringschema's gegeven.

Afbeelding 4: Huidige stand der techniek grondwaterzuivering (enkele schema's)



De eenvoudige grondwaterzuivering bestaat uit beluchting-snelfiltratie. Hierbij gaat het alleen om ijzer- en mangaanverwijdering en ammoniumomzetting. De gehalten ijzer, mangaan en ammonium zijn echter zo laag dat kan worden volstaan met een enkele snelfiltratie. Op sommige locaties wordt een dergelijk zuiveringschema nog wel gecombineerd met pelletontharding.

Wanneer het ammoniumgehalte en/of het ijzergehalte hoog is, kan niet meer worden volstaan met een enkele filtratiestap. Wanneer het gehalte ammonium erg hoog is (> 4 mg/l), wordt zelfs wel een droogfiltratie toegepast. Ook schema's met dubbele snelfiltratie komen voor in combinatie met pelletontharding en ook met actieve koolfiltratie wanneer men te maken heeft met geur/smaak problemen of verontreiniging met organische micro verontreinigingen.

Op sommige locaties in Nederland komen hoge methaangehalten voor in het grondwater. Dit methaan wordt meestal door middel van plaatbeluchting verwijderd vóór de eerste filtratiestap.

Ook bij grondwaterzuiveringen vinden we membraanfiltratie toepassingen. Op verschillende locaties wordt anaërobe nanofiltratie toegepast voor een combinatie van ontharding en/of kleurverwijdering en/of verwijdering organische microverontreinigingen en/of sulfaatverwijdering.

Tenslotte kan als bijzonderheid nog worden genoemd de grondwaterzuivering Oldeholtpade (Vitens), waar voor ontharding en ontkleuring geen anaërobe nanofiltratie, maar een combinatie van pelletontharding en ionenwisseling wordt toegepast.

### **Oevergrondwater**

Oevergrondwater en oeverfiltraat kan worden gekenmerkt als een tussenvorm tussen oppervlaktewater en grondwater. Afhankelijk van de herkomst en verblijftijd in de bodem, kan oevergrondwater meer worden gekenmerkt als oppervlaktewater of grondwater.

### **Onderzoek grondwaterzuivering**

Hoewel grondwaterzuivering eenvoudig lijkt, blijken er toch veel (al of niet locatie specifieke) problemen of uitdagingen te liggen. Daarom is in het BTO voor 2006-2008 ook een budget Klassieke zuivering opgenomen.

De problematiek/uitdagingen bij grondwaterzuivering betreft:

- Optimalisatie ontijzing/ontmanganing (verwijdering deeltjes)
- Biologische stabiliteit (in relatie tot deeltjes, ammoniumverwijdering en NOM)
- Uitloging distributienet (conditionering, buffering reine water)
- Moeizame ammoniumverwijdering
- Polaire organische microverontreinigingen

In het programma Klassieke zuivering wordt op alle bovenstaande punten ingespeeld en worden, samen met waterleidingbedrijven, plannen voorbereid voor projecten van collectief belang.





## 6 Visie en richting BTO Waterbehandeling

Op basis van voorliggende notitie denkt de PBC Waterbehandeling dat onderzoek nodig is op de volgende aspecten:

- Inzicht verbreden in effectiviteit (prioritaire stoffen, pathogene microverontreinigingen, deeltjes, biologische stabiliteit) versus kosten voor genoemde processen/zuiveringschema's
- IX/FIX/MIEX + integrale optimalisatie zuivering t.a.v. NOM/biologische stabiliteit
- Vorming omzettingsproducten bij geavanceerde oxidatie processen, beperking van de aanwezigheid van omzettingsproducten in reinwater (LD UV-oxidatie, FIX/MIEX/IX voorzuivering, nageschakelde AKF)
- Membraanfiltratie: voorzuivering + vervuiling (kostenreductie), nabehandeling permeaat, concentraatoplossingen.
- Wat kan er met klassieke zuiveringsmethoden? Onderzoek naar verbetering zandfiltratie, ontharding, actieve koolfiltratie, etc., en alternatieven daarvoor.

In de eerder gehouden workshop dd 22 juni 2005 jl. is een vergelijkbare onderzoeksbehoefte vastgesteld en geprioriteerd [ref 2]:

35%	verwijdering prioritaire stoffen
20%	desinfectie
20%	NOM/biologische stabiliteit/IX
10%	klassieke zuivering
10%	vrije ruimte
5%	kennisoverdracht

Op basis van de geschetste visie is aan het College van Opdrachtgevers in januari 2006 een pakket aan onderzoeksprojecten voorgesteld, die alle zijn goedgekeurd door het College [ref 3].



## 7 Referenties

- [1] Onderzoeksvisie Drinkwater 2004
- [2] Verslag workshop Waterbehandeling dd 22 juni 2005
- [3] College van Opdrachtgevers, vergadering dd 26 januari 2006, stuk nr. CvO 06-01-05