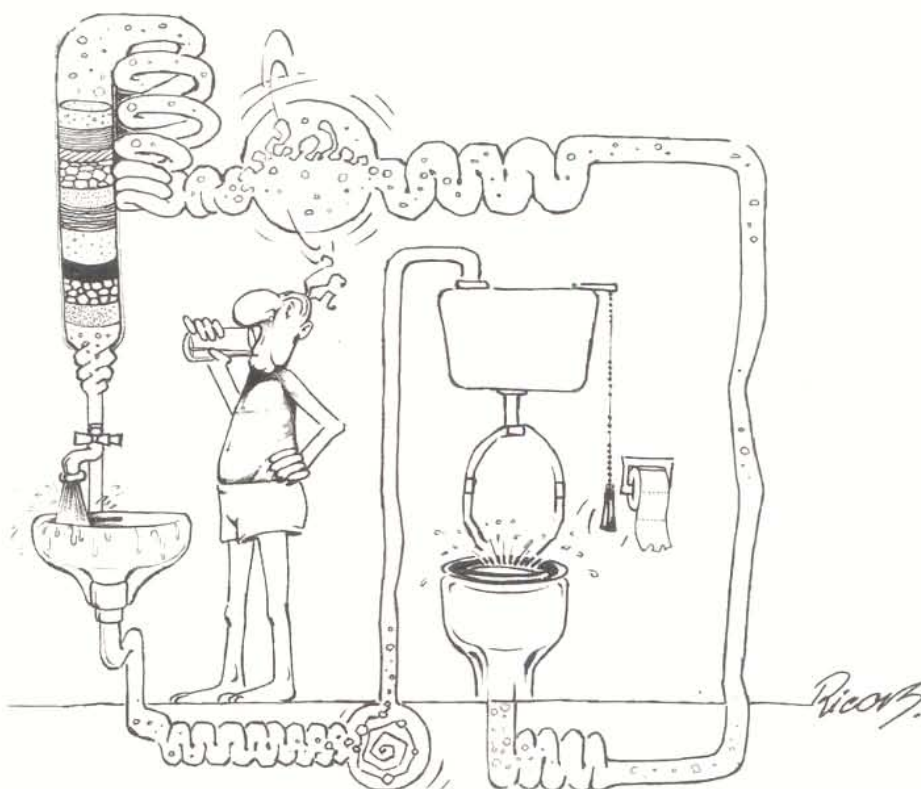


Duurzame bron of onnodig risico?

Verkenndend onderzoek naar de mogelijkheden om het secundair effluent van de nieuwe RWZI Amsterdam-West te gebruiken als bron voor de drinkwaterproductie van Amsterdam

April 2006

Leo Meijer



Department of Water Management
Sanitary Engineering Section

waternet

 TU Delft

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen
Afdeling Watermanagement
Sectie Gezondheidstechniek
Leerstoel Drinkwater

Duurzame bron of onnodig risico?

Verkenkend onderzoek naar de mogelijkheid om het secundair effluent van de nieuwe RWZI Amsterdam-West te gebruiken als bron voor de drinkwaterproductie van WLB Amsterdam

Afstudeeronderzoek ter verkrijging van de ingenieurstitel

Student: L. Meijer
Studie nummer: 1005316
Afstudeerdatum: 21-04-2006

Afstudeerhoogleraar: Prof.Ir. J.C. van Dijk (TU Delft)
Afstudeercommissie: Dr.Ir. A.L.A. Fraaij (TU Delft)
Dr.Ir. J.P. van der Hoek (Waternet)
Dr.Ir. L.C. Rietveld (TU Delft)
Ir. P. Smeets (TU Delft/KIWA)

Voorwoord

Het opmerkelijke van een voorwoord is dat het door de lezer als eerste wordt gelezen, terwijl je het als auteur pas als laatste schrijft. Ik ken daarom de inhoud, de uitkomsten en de resultaten al van dit verslag, terwijl het voor de lezer nog een verrassing is. Deze bevoorrechte positie schept de mogelijkheid om terug te kijken op de totstandkoming.

Toen ik in september 1999 begon aan de studie Civiele Techniek had ik niet kunnen vermoeden dat het zo'n lange, moeilijke en leuke weg zou worden. Het feit dat de mens niet kan kijken in de toekomst is juist datgene wat het leven te leven maakt. Desalniettemin zou een kleine blik in de toekomst op zijn tijd best geruststellend kunnen werken, maar of je dan dezelfde keuzes zou maken is niet te voorspellen. Lao Tse zei rond 600 voor onze jaartelling al dat zelfs de langste reis begint met één enkele stap. Ongeacht of je het doel weet is het nemen van de eerste stap vaak wel het belangrijkste. Dat die eerste stap nooit goed of fout is, is iets wat ik geleerd heb in deze periode.

De interesse voor het gebruik van afvalwater voor de drinkwaterproductie is tijdens de colleges drink- en afvalwater bij mij opgewekt en is sindsdien niet meer verdwenen. Mijn stage in Windhoek was daarom ook een bewuste keuze en het samenvoegen van dit afstudeerwerk met de stage heeft gezorgd voor een betere koppeling tussen theorie en praktijk. Deze koppeling is volgens mij ook datgene waar technisch-wetenschappelijk onderwijs voor moet staan.

Aan de totstandkoming van dit afstudeerwerk hebben vele mensen bijgedragen. Enkelens hebben op specifieke onderwerpen, anderen gedurende het gehele project bijgedragen. Met de zekerheid allicht iemand te vergeten noem ik toch even enkele namen: Gijsbert van Aken (VROM inspectie drinkwater), Ger Ardon (ministerie van VROM, DG milieu) Janet Coenen en Caroline van der Veerdonk (VEWIN), Martijn van Vliet (gemeente Amsterdam), Marcel van Berlo (AEB Amsterdam) en Peter Stokx (RIWA).

Kees de Korte is gedurende dit gehele project steeds mijn contact bij DWR geweest en kon mij steeds de juiste informatie verstrekken of naar de juiste collega binnen DWR verwijzen. Dit is zeer waardevol gebleken en mijn dank hiervoor is groot. Binnen WLB zijn Eric Baars en Yolanda Dullemont fijne collega's gebleken die ook steeds van de hoed en de rand afwisten en mij konden helpen met het verkrijgen van de juiste data. Martin wil ik even in het bijzonder noemen voor zijn creatieve ideeën over waterzuivering (ozon in een langzame zandfilter van 4 meter?), zijn kunsten met het koffiezetapparaat, de leuke afkortingen (niet voor de openbaarheid), de lunches, kikkervisjes en herten op Leiduin. Alle mensen binnen WLB en DWR die hebben meegewerkt aan de enquête of op andere manieren hebben bijgedragen: bedankt!

In de loop van dit project zijn ook de colloquia drinkwater op de TU Delft begonnen. Deze colloquia zijn een perfecte gelegenheid gebleken om kennis en ervaring uit te wisselen en zij hebben, voor mij, hun waarde al bewezen. De discussies met en ideeën van, aanstaande, vakgenoten was zeer prettig en buitengewoon leerzaam. Ook aan iedereen binnen de sectie bij wie ik even tussendoor kon binnenstappen ("Jasper, ik heb even één UF vraagje") ben ik dank verontschuldigt.

De tussenbesprekingen met de afstudeercommissie bleken ook zeer leerzaam. Hoewel ik best wel eens gegromd heb tijdens en na zo'n overleg of gedesillusioneerd was na afloop zou ik anders nu niet met zoveel trots dit verslag hebben afgerond. Luuk wil ik hierbij speciaal bedanken voor zijn vele kritisch opmerkingen en roemen om zijn taalkundige kwaliteiten, Patrick voor de hulp bij de risico analyse en de gezellige lunches bij het KIWA, Jan-Peter voor de contacten binnen en buiten WLB en Prof. van Dijk die als spin in het web van de drinkwaterwereld altijd de juiste contacten heeft. Alex Fraaij wil ik bij deze bedanken voor de aantekening 'duurzaam ingenieur' ("Patrick, een duurzaam ingenieur is niet duurder, maar gaat langer mee").

Tot slot wil ik ook al mijn vrienden en familie bedanken voor alle mogelijke en onmogelijke ideeën en onvoorwaardelijke steun. Van praktische steun ("Ja pap en mam, de geldkraan mag eindelijk echt dicht, de bodemloze put is gevuld") tot aan het leren van de fouten van andere ("Jeroen, ik snap het steeds beter, maar je bent en blijft gek") en de noodzakelijke afleiding. Pappa en mamma, Renske en Joost, Joé (en Jeroen), Wouter, Oma, Job en Pieter, Jeroen, Ronald en ieder ander: jullie zorgen ervoor dat ik kan blijven doen wat ik doe en het steeds beter kan doen.

Leo

PS: Is het echt niet mogelijk om wat volwaardige werkplekken in de Amsterdamse Waterleidingduinen te maken? Uit ervaring kan ik zeggen dat de omgeving erg inspirerend en werkbevorderend kan zijn.

Samenvatting

In dit afstudeerwerk wordt een casestudie gedaan naar het gebruik van secundair effluent van een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) als bron voor de drinkwaterproductie van Amsterdam. In dit gehele onderzoek is steeds de huidige situatie als uitgangspunt genomen.

Afvalwater kan op diverse manieren worden hergebruikt en internationaal zijn er een aantal voorbeelden waaruit dat blijkt. Alleen in Namibië en Singapore wordt het afvalwater direct hergebruikt tot drinkwater. Amsterdam heeft twee route's voor de bereiding van drinkwater. De 'rivier duin' waterleiding haalt het water uit het Lekkanaal en transporteert het naar Vogelenzang alwaar het geïnfiltreerd wordt in het duingebied en nagezuiverd te Leiduin. Deze infrastructuur is 50 jaar oud en het Waternet wordt gesteld voor de vraag of zij überhaupt wel door moet gaan met dit watertransport, of dat er een fundamentele andere keuze moet worden gemaakt. In Amsterdam-West wordt een grote nieuwe rioolwaterzuivering gebouwd en deze standaard biologische zuivering levert een grote hoeveelheid secundair effluent wat nu geloosd zal worden op het Noordzeekanaal. Dit effluent zou ook gebruikt kunnen worden als bron voor de drinkwaterproductie.

Er zijn globaal drie manieren om het afvalwater in de toekomst te gebruiken als bron voor de drinkwater productie: direct gepland hergebruik, indirect gepland hergebruik en ongepland hergebruik. Wanneer het water uit het Lekkanaal gebruikt wordt zit daar ongeveer 4% effluent in. Bij indirect hergebruik (alternatief 2: 'effluent met duinpassage') neemt dit aandeel toe tot 40,5% en bij direct hergebruik (alternatief 3: 'direct hergebruik RWZI effluent') is dit 46%. Dit verschil komt door de menging met natuurlijk duinwater. Er is gemiddeld 10.000 m³/h aan effluent beschikbaar omdat op de RWZI ook het water uit de rivier-plassen waterleiding uitkomt. Bij de productie van infiltraat is er een overschot van 28,9 miljoen m³/jaar. Bij de productie van drinkwater is dit 23 miljoen m³/jaar. Op de maximum dag van de drinkwatervraag is het overschot aan RWZI effluent gedaald tot 430 m³/h voor de productie van drinkwater uit RWZI effluent.

Bij het ontwerpen van een nieuwe voorzuivering in Nieuwegein zijn de organische microverontreinigingen het meest belangrijk om te voldoen aan het infiltratiebesluit bodembescherming. Het is zeer moeilijk om te voorspellen welke organische microverontreinigingen in de toekomst maatgevend zullen zijn. De toepassing van UV/Peroxide is daarom dan de beste keus. Dit proces breekt alle organische microverontreinigingen af, inclusief de polaire, maar heeft ook een hoge mate van flexibiliteit. De dosering van zowel UV licht als peroxide is flexibel in te stellen en af te stemmen op de werkelijke, gemeten vracht aan bestrijdingsmiddelen in het Lekkanaal. Uitgegaan wordt van een voorzuivering die bestaat uit een vlokvorming, lamellenbezinking, snelle zandfiltratie, UV/Peroxide en BACF. Dit water wordt dan geïnfiltreerd in de duinen en nagezuiverd te Leiduin.

Wanneer het effluent voorgezuiverd moet worden tot infiltraat zijn troebelheid, zwevende stof, fosfaat, nitraat, zware metalen en organische microverontreinigingen de stoffen die verwijderd moeten worden. Gekozen is voor een systeem met vlokvorming, flotatie, ultrafiltratie, RO en pH correctie. Dit systeem geeft het beste kwalitatieve resultaat en het is kwantitatief mogelijk wanneer er gekozen wordt voor een keramisch UF membraan en een RO met een recovery van 80%. Het concentraat van de membranen wordt gemengd met het overschot aan effluent en ondergaat een separate nitrificatie en denitrificatie voordat het geloosd kan worden. Ook nu komt het gezuiverde water via de duinpassage op de nazuivering Leiduin uit.

Om het RWZI effluent te zuiveren tot drinkwater is de microbiologie één van de belangrijkste factoren. Het systeem met vlokvorming, flotatie, UF en RO uit het vorige alternatief zou een te groot watertekort opleveren op de maximum dag van de drinkwatervraag. De vlokvorming, lamellenbezinking en UF worden daarom wel op de gehele stroom toegepast, maar de RO moet in een deelstroom opereren. In de andere deelstroom vindt dan achtereenvolgens een biologische nitrificatie (droogfiltratie) en denitrificatie (natfiltratie) plaats. De bacteriën die uit het filterbed wegspoelen worden dan, gezamenlijk met de pathogene micro-organismen en organische microverontreinigingen, afgebroken in de UV/Peroxide. In de BAKF wordt het water dan weer biologisch stabiel en een tweede UF voorziet in voldoende microbiologische zekerheid. Beide deelstromen worden dan weer gemengd en gedistribueerd.

Een verkennende risicoanalyse voor zowel *Cryptosporidium* (als gidsparameter voor de pathogene micro-organismen) als AMPA (als gidsparameter voor de organische microverontreinigingen) is gedaan. Het voorkomen van de stoffen in de bron is beschreven met een gamma-verdeling en de verwijdering in de zuivering met een bètaverdeling. Voor de gammaverdelingen zijn de gemiddelde en de hoogste gemeten waarden als uitgangspunt gekozen. De hoogste gemeten waarde is gelijk gesteld aan het 90 percentiel. Voor de bètaverdeling is ook de gemiddelde verwijdering en de verwijdering die in 90% van de tijd gehaald wordt als uitgangspunt gekozen. Met deze uitgangspunten zijn de karakteristieke verdelingen bepaald en is de faalkans van de ontworpen zuiveringen berekend (Monte-Carlo simulatie). Ter vergelijking is ook steeds de huidige situatie meegenomen.

Uit de analyse blijkt dat onder gemiddelde omstandigheden alle voorgestelde zuiveringen voldoen aan de wettelijke eisen. Voor de microbiologische zekerheid is de gesloten terugwinning essentieel. Wanneer er geen gesloten terugwinning is wordt de microbiologische kwaliteit volledig bepaald door de herbesmetting in het duingebied en zit de eindconcentratie veel dichterbij de wettelijke norm en vinden er veel meer normoverschrijdingen plaats. Wanneer de meest effectieve zuiveringsstap uitvalt voldoen de ontwerpen met een gesloten terugwinning dan ook nog ruimschoots. Wanneer dan de concentratie in de bron ook nog toeneemt naar één miljoen oöcysten/liter dan zou, volgens de simulatie, het RWZI effluent geen bron meer kunnen zijn voor de drinkwaterproductie. De ontwerpkeuzes en gesimuleerde extreme omstandigheid zijn hiervoor debet. Ter vergelijking is de risicoanalyse voor *Cryptosporidium* ook toegepast op de situatie in Windhoek. Onder gemiddelde omstandigheden voldoet ook deze zuivering aan de (Nederlandse) norm, maar bij het testen van de robuustheid met ontwikkelde scenario's worden de normen niet meer gehaald.

De investeringskosten worden in alle varianten primair bepaald door de transportleidingen of de membranen. De kostenbijdrage van de transportleidingen hangt erg af van de uitvoeringsvorm. In de exploitatiekosten zijn het vooral de energiekosten en het vervangen van de membranen die kostenbepalend zijn. De waterfabriek valt zoveel goedkoper uit, omdat de nazuivering Leiduin à 18 miljoen/jaar vervalst.

Tabel 0.1: belangrijkste kostenaspecten

Alternatief	Investeringskosten	exploitatiekosten	Kostprijs in jaar 1
Lekkanaal als bron	229 miljoen	38 miljoen	0,59 €/m ³
Effluent met duinpassage	170 miljoen	44 miljoen	0,67 €/m ³
Direct hergebruik effluent	190 miljoen	25 miljoen	0,38 €/m ³

Om inzicht te krijgen in de duurzaamheid van de alternatieven zijn de in en uitgaande stromen in kaart gebracht. De eco-kosten zijn een kwantificering van de negatieve milieu effecten van de alternatieven en is gebaseerd op bestaande LCA methodieken. Met name de lozing van het RWZI effluent op het oppervlaktewater en de energie voor de zuivering van het drinkwater bepalen de eco-kosten. Opmerkelijk is de geringe bijdrage van het transport op de eco-kosten. De eco-kosten voor alle drie de alternatieven zijn dan respectievelijk 0,14 €/m³ (Lekkanaal als bron), 0,16€/m³ (effluent met duinpassage) en 0,09 €/m³ (direct hergebruik van afvalwater). Wanneer de productie van drinkwater in deze drie alternatieven wordt vergeleken met andere sectoren is de productie van drinkwater maar weinig milieu belastend.

Bij veranderingen in de waterketen zijn vele partijen betrokken die allemaal andere belangen hebben. De burger is hoe dan ook de belangrijkste actor. Hij heeft veel vertrouwen in het waterleidingbedrijf en daarom zou een besluit omtrent hergebruik goed en uitgebreid moeten worden gecommuniceerd. Het feit dat drinkwater een emotioneel product is en in Nederland gepresenteerd wordt als een natuurlijk product staat direct hergebruik in de weg. Wanneer er voordelen te halen zijn uit indirect hergebruik is er een grote kans dat de consument het wel wil accepteren. Binnen 'Waternet' is men positief kritisch over het gebruik van afvalwater als bron voor de drinkwaterzuivering. Wanneer de financiële implicatie's beperkt zijn en/of de gemeente Amsterdam zich meer kan concentreren op haar kerntaken zal de gemeente geen bezwaar aantekenen. De rijksoverheid wil de volksgezondheid van de burger beschermen en is daarom tegenstander van direct hergebruik. Wanneer de te behalen voordelen met indirect hergebruik opwegen tegen het nadeel van de microbiologisch slechtere bron, dan kan de politieke beslissing positief uitpakken voor het hergebruik. Vanuit het voorzorgsprincipe stelt de VROM inspectie dat ieder aanvullend (microbiologisch) risico moet worden ontweken. Dit maakt de inspectie tot de meest kritische actor voor hergebruik. Er zijn een aantal toekomstige ontwikkelingen te noemen die kansen scheppen voor met name het indirecte hergebruik. Of het hergebruik ook uiteindelijk een te prefereren keuze is voor de toekomst van de drinkwaterzuivering van Amsterdam hangt voornamelijk af van de implementatie van de derde zuiveringstrap op de RWZI.

Verantwoording

Dit afstudeerwerk is geschreven in het kader van het afstuderen van Leo Meijer aan de faculteit voor Civiele Techniek en Geowetenschappen, sectie Gezondheidstechniek en de leerstoel drinkwaterbereiding van de TU Delft. Alles in dit verslag is geschreven op persoonlijke titel, maar in opdracht van de TU Delft en Waternet. Gestreefd is om zo volledig mogelijk te zijn in het verwijzen naar bronnen, maar volledigheid kan, helaas, niet worden gegarandeerd. Derden wordt verzocht om contact op te nemen met de auteur of de opdrachtgevers wanneer zij besluiten dit verslag geheel of gedeeltelijk te gebruiken.

Leo Meijer

work@leomeijer.com

www.leomeijer.com

English summary

In this MSc thesis a case study has been carried out about the possibility of re-using the secondary effluent of a waste water treatment plant (WWTP) as a source for the production of drinking water in Amsterdam. The present situation has been chosen as a starting point to look into expected future developments.

Amsterdam has two drinking water production locations. The 'river dune' production line takes water from the Lekkanaal (near Nieuwegein) and transports it to Vogelenzang. The infrastructure of this production line is about 50 years old and Water net is confronted with the question whether or not they should continue with this water transport. A new, large WWTP is being built at the west side of Amsterdam and will start operation in 2006. This WWTP will produce an amount of secondary effluent that will be discharged into the Noordzeekanaal. This secondary effluent could be a source for the drinking water production.

Generally speaking there are three ways to reuse wastewater for drinking water supply: the production of drinking water out of secondary effluent (direct, planned re-use) artificial recharge with waste water effluent (indirect, planned re-use) and the current situation with artificial recharge of surface water (unplanned re-use). The drinking water made out of the Lekkanaal water contains approximately 4% wastewater effluent. In the case of indirect reuse (alternative 2: 'wastewater effluent with dune passage') the reuse percentage is approximately 40.5% and with direct reuse (alternative 3: 'direct reuse of wastewater') this percentage increases to approximately 46%. The difference between these two is caused by the addition of precipitation in the dune area. On average 10.000 m³/h of secondary effluent is available since the WWTP treats the water from both drinking water production lines. The excess of wastewater is 28.9 million m³/year in the case of indirect reuse and 23 million m³/year in the case of direct reuse. On the day of maximum drinking water demand the excess of waste water effluent is lowered to 430 m³/h.

The organic micro pollutants are the most important factor for the design of a new pre-treatment at Nieuwegein (alternative one: 'Lekkanaal as source'). It is hard to predict which organic micro pollutants will be dominant for the design. The use of UV/peroxide seems therefore to be the best choice. This process breaks down all organic micro pollutants, including polar the ones. The dosing of UV-light as well as hydrogen peroxide can be flexible and the dosing can be related to the actual, measured amount of organic micro pollutants in the Lekkanaal. Other processes do not have these advantages to the same extend. The proposed pre-treatment then consists of coagulation, tilted plate settling, rapid sand filtration, UV/peroxide, and activated carbon filtration. This water will then be transported to the dune area and post-treated at WTP Leiduin.

In case of treating waste water to the standards of infiltration the suspended solids, turbidity, nitrate, fosfate, heavy metals and organic micro pollutants have to be removed (alternative 2: 'Secondary effluent with dune passage'). A system with coagulation, flotation, ultra filtration, reverse osmosis and pH correction has been chosen. This system gives the best qualitative results and is possible from a quantitative point of view with ceramic UF membranes and a recovery of 80% in the RO. The excess of waste water effluent and the concentrate from the membrane filtrations will undergo a separate nitrification and denitrification before it will be discharged. This water will also be transported to the dune area, undergo ground passage and end up at WTP Leiduin.

When drinking water is made directly out of the secondary effluent the pathogenic micro organisms are the most important factor in the design (alternative 3: ‘Direct reuse of wastewater effluent’). The same system as in the previous alternative (coagulation, flotation, UF and RO) could not meet the water demand on the maximum day of drinking water supply. Therefore the RO is placed in side stream (6 stacks will produce 2400 m³/h). In the other side stream nitrification (in a dry sand filtration) and denitrification (in a rapid sand filtration) will have to be introduced. The bacteria that leave the sand beds will be, together with the organic micro pollutants, removed from the water with UV/Peroxide. During activated carbon filtration the water will be made biologically stable and a second ultra filtration is added as a final microbiological barrier. The two part streams will be mixed and can then be stored and distributed.

A first risk assessment has been carried out for *Cryptosporidium* (as an indicator for pathogens) and AMPA (as an indicator for organic micro pollutants). The presence of these substances in the source is described with a gamma distribution and the removal in the water treatment plant with a beta distribution. For the gamma distribution the measured average and the measured highest value have been chosen as fitting point. The highest measured value is set as the 90 percentile in the distribution. For the beta distribution the same is done with the treatment efficiencies. The characteristic distributions could then be made and the change of passing the water treatment plant is calculated in a Monte-Carlo simulation. As an illustration the present situation is calculated as well as the three alternative lay-outs.

The risk assessment shows that all the proposed alternative lay-outs can meet the legal demands in average circumstances. A closed abstraction from the dune area is essential for meeting the microbiological standards. When the abstraction from the dune area remains open, the microbiological quality will entirely be determined by the recontamination of animal excretions. In that case the final concentration of pathogens will be higher and close to the legal standards. When the most effective treatment step fails the alternatives with a closed extraction can still operate. When on top of that the concentration of *Cryptosporidium* in the secondary effluent increases to 1 million oocysts/litre, the secondary effluent can’t be used anymore according to the simulation. The chosen design and expected extreme circumstances are the main cause for this. The risk assessment for the Windhoek case showed that this treatment plant can meet the Dutch law under average circumstances. In extreme situations this is not possible anymore.

The investment costs for all three alternatives consist primarily of the transport mains to the dune area and the membranes. The costs for the transport mains are dependent on the way they are built. The exploitation costs are mainly determined by the costs for energy and the replacement of used membranes. The alternative with direct reuse is cheap because the post treatment at Leiduin (18 million €/year) could be stopped in this case.

Table 0.1: Main cost features.

Alternative	Investment costs	Exploitation costs	Price in year 1
Lekkanaal as a resource	229 million	38 million	0,59 €/m ³
Effluent with dune passage	170 million	44 million	0,67 €/m ³
Direct reuse	190 million	25 million	0,38 €/m ³

In order to learn more about the sustainability of the designs the in- and outgoing flows are taken into account. For each alternative the 'eco costs' could then be calculated. The eco cost methodology is based on present LCA methodologies, but transforms the negative environmental effects into currency. The discharge of (treated) waste water to the surface water and the energy needed for water treatment are the main determining factors in the 'eco costs'. Remarkable was the small effect of the transport on the total 'eco costs'. For all three alternatives the 'eco costs' are: 0.14 €/m³ (Lekkanaal as a resource), 0.16 €/m³ (secondary effluent with dune passage) and 0.09 €/m³ (direct reuse). In comparison to other sectors the production of drinking water is in general quite sustainable.

There are many parties with different goals and interests involved in changes in the water chain. The consumers are nonetheless the most important actor. The consumers trust their Water Supply Company. Therefore changes in the water chain and re-use must be communicated to the general public. The fact that drinking water is an emotional product and has the image of a natural product is, a problem for reuse. If indirect water reuse has advantages the consumer might be convinced of its benefits. People within the drinking water and waste water company are critical, but positive towards water reuse. For the city of Amsterdam the financial impacts and/or the concentration on her main, political, tasks are important factors and therefore the city shall not have a principal problem with wastewater re-use. For the central government the protection of public health is a main feature and therefore direct reuse will not be accepted. A political decision on indirect reuse might be positive if the advantages with indirect reuse outnumber the disadvantage of the, microbiological, worse resource.

There are a number of future developments which might increase the opportunities for indirect reuse (or the artificial recharge of groundwater with treated wastewater). Whether or not the indirect reuse is better than the present situation is mainly dependent on the implementation of the third treatment step on the WWTP.

Copyright

This MSc thesis is written by Leo Meijer to get a Master degree in Civil Engineering from Delft University of Technology. Everything in this report is written by Leo Meijer in command of Delft University of technology and Waternet. In this report is striven for a complete accounting of the used literature and sources. Completeness can, unfortunately, not be ensured. Third parties who wish to use (parts of) this report are being asked to contact the author, Delft University of Technology or Waternet.

Leo Meijer

work@leomeijer.com

www.leomeijer.com

Inhoudsopgave

Voorwoord	i
Samenvatting	iii
English summary	vii
Inhoudsopgave	xi
Afkortingen	xv
1. Inleiding	1
1.1 Achtergrond van het verslag	1
1.2 Doelstelling van het verslag	2
1.3 Inhoud van het verslag	2
Referenties	2
2. Afvalwater hergebruik voor Amsterdam	3
2.1 Methoden van het hergebruik van afvalwater	3
2.2 Internationale voorbeelden van gepland hergebruik	5
2.3 Drinkwaterzuivering in Amsterdam	7
2.4 Afvalwaterzuivering in Amsterdam	9
2.5 Samenvatting	10
Referenties	10
3. Analyse van de mogelijke drinkwaterbronnen	11
3.1 Beschrijving alternatieven	11
3.2 Analyse van de waterkwaliteit van het Lekkanaal en het RWZI-effluent	12
3.3 Waterbalans voor de drinkwatervoorziening in Amsterdam	16
3.4 Vergelijking met de watersituatie in Windhoek	19
3.5 Samenvatting	21
Referenties	21
4. Ontwerp van de alternatieven	23
4.1 Uitgangspunten bij de ontwerpen	23
4.2 Bestaande ontwerpen	24
4.2.1 Huidige voorzuivering Nieuwegein	24
4.2.2 Waterzuivering in Wulpen	24
4.2.3 Waterzuivering in Windhoek	25
4.3 Voorzuivering Nieuwegein	27
4.4 Voorzuivering Amsterdam	31
4.5 Waterfabriek Amsterdam	35
4.6 Samenvatting	39
Referenties	40

5.	Het risico van hergebruik	41
5.1	Opzet risicoanalyse	41
5.2	Effecten van recirculatie	43
5.3	Pathogene micro-organismen: cryptosporidium	44
5.3.1	Voorkomen in de bron	44
5.3.2	Verwijdering in de zuivering	44
5.3.3	Faalkansen	47
5.3.4	Normoverschrijdingen	48
5.3.5	Gezondheidskosten	48
5.3.6	Robuustheid van de hergebruik alternatieven tegen Cryptosporidium	49
5.4	Cryptosporidium in Windhoek	51
5.4.1	Voorkomen in de bron	51
5.4.2	Verwijdering in de zuivering	52
5.4.3	Faalkans	52
5.4.4	Robuustheid van de zuivering in Windhoek tegen Cryptosporidium	53
5.5	Organische microverontreinigingen: AMPA	54
5.5.1	Voorkomen in de bron	54
5.5.2	Verwijdering in de zuivering	55
5.5.3	Faalkansen	57
5.5.4	Normoverschrijdingen	57
5.5.5	Gezondheidskosten	57
5.5.6	Robuustheid van de hergebruik alternatieven tegen AMPA	58
5.6	Discussie risicoanalyse	60
5.7	Samenvatting	61
	Referenties	62
6.	Kosten van de alternatieven	63
6.1	Algemene opmerkingen kostenramingen	63
6.2	Vaste kosten	64
6.3	Exploitatie kosten	68
6.4	Totale kosten	73
6.5	Samenvatting	74
	Referenties	74
7.	Duurzaamheid van afvalwater hergebruik	75
7.1	Achtergrond duurzaamheid	75
7.2	In- en uitgaande stromen in de alternatieven	77
7.3	Eco-kosten	79
7.4	Eco-costs/Value Ratio	82
7.5	Samenvatting	82
	Referenties	82

8.	Maatschappelijk kader van hergebruik	83
8.1	Actoren	83
8.2	Waterkwaliteit	84
8.3	Natuur en milieu	84
8.4	Kostprijs	85
8.5	Communicatie en perceptie	85
8.6	Actoren analyse	87
8.7	Samenvatting	87
	Referenties	88
9.	Perspectieven voor hergebruik	89
9.1	Vergelijking van de alternatieven	89
9.2	Conclusies	91
9.3	Aanbevelingen	92
9.4	Discussie	93
9.5	Toekomst perspectief	95
Appendices		
Bij hoofdstuk 2:		
2.1	Rivier-plassen waterleiding	II
Bij hoofdstuk 3:		
3.1	Literatuur per stof	III
3.2	Statistische analyse	IV
3.3	Berekening infectierisico	V
3.4	Werkgebieden van DWR en WLB	VI
3.5	Daganalyse drinkwater en RWZI effluent	IX
Bij hoofdstuk 4:		
4.1	Zuiveringsstappen per stof(groep)	XI
4.2	Blokschema met ingrijpen op de RWZI	XVII
4.3	Ontwerpkeuzes voorzuivering Nieuwegein	XVIII
Bij hoofdstuk 5:		
5.1	Programmatekst Monte-Carlo simulatie	XIV
Bij hoofdstuk 8:		
8.1	Medewerkers enquête	XXI

Afkortingen

Een aantal van de meest voorkomende afkortingen en symbolen staat hier opgesomd.

Bedrijven & instellingen

AGV	waterschap Amstel, Gooi en Vecht
DWR	dienst waterbeheer en riolering (tot 1-1-2006)
GWA	gemeentelijke waterleiding Amsterdam (tot 1 juli 2003)
PWN	provinciaal waterleiding bedrijf Noord-Holland
Waternet	fusiebedrijf van DWR en WLB (vanaf 1-1-2006)
WLB	waterleiding bedrijf Amsterdam (van 1 juli 2003 tot 1-1-2006)
WRK	watertransport maatschappij Rijn-Kennemerland (tot 1 juli 2003)

Technische afkortingen

BAKF	biologisch actieve koolfiltratie
DEC	decimale eliminatie capaciteit. 1 DEC is een verwijdering van 1 logeenheid.
GAC	granular activated carbon (filtration)
MF	micro filtratie
NF	nano filtratie
RSF	rapid sand filtration (snelle zandfiltratie)
RO	reverse osmosis
RWZI	rioolwaterzuivering inrichting
UF	ultra filtratie

Scheikundige symbolen en stoffen

Cl	chloor
FeCl ₃	ijzertrichloride
K	kalium
N	stikstof
Na	natrium
P	fosfor

Wetten en richtlijnen

IB	infiltratiebesluit bodembescherming
KRW	kaderrichtlijn water
WVO	wet verontreinigingen oppervlaktewater

Overige afkortingen

dl	detectielimiet
VZ	voorzuiivering
NZ	nazuivering
DS	deelstroom

Tweederde van het Amsterdamse drinkwater komt nu uit het Lekkanaal bij Nieuwegein. Dit water wordt daar voorgezuiverd en dan getransporteerd naar Vogelenzang. Daar ondergaat het een duinpassage en wordt het water nagezuiverd op 'Productielocatie West' en naar Amsterdam getransporteerd. Deze route die het drinkwater aflegt wordt de 'rivier duin waterleiding' genoemd. In totaal is dit een watertransportroute van 70 kilometer. De voorzuivering in Nieuwegein en de transportleidingen zijn inmiddels 50 jaar oud en er wordt door Waternet gekeken naar renovatie of vervanging.

Tegen deze technische en organisatorische achtergrond is daarom de vraag gerechtvaardigd of het RWZI-effluent niet de huidige 'rivier duin' waterleiding kan gaan vervangen.

1.2 Doelstelling van het verslag

In dit afstudeerwerk wordt een casestudie gedaan naar het gebruik van het biologisch gezuiverd RWZI-effluent van de nieuwe RWZI in het westelijk havengebied als bron voor de drinkwaterproductie van Amsterdam. Voor deze casestudie moeten de volgende vragen worden beantwoord:

'Is het RWZI-effluent een duurzame bron of wordt er een onnodig risico in de drinkwaterzuivering geïntroduceerd? Wat zijn de voor- en nadelen, de mogelijkheden en moeilijkheden bij het gebruik van biologisch gezuiverd RWZI-effluent als bron voor de drinkwaterproductie?'

Voor het beantwoorden van deze vragen zijn de volgende subdoelen te identificeren:

1. Het maken van een voorontwerp met zowel de huidige bronnen als het RWZI-effluent als bron voor drinkwaterproductie.
2. Het doen van een risicoanalyse voor deze voorontwerpen.
3. Onderzoeken wat de kosten en de baten zijn van deze voorontwerpen voor zowel mens als milieu.

1.3 Inhoud van het verslag

Dit verslag is opgebouwd uit in totaal negen hoofdstukken. Gestreefd is om de hoofdstukken als individuele onderdelen te presenteren die los van elkaar te lezen zijn, mits de lezer kennis heeft genomen van de samenvatting. Na dit hoofdstuk wordt als eerste ingegaan op de achtergronden van het (her)gebruik van afvalwater. Zowel internationale voorbeelden als de Amsterdamse situatie worden hierin uitgelicht. In het derde hoofdstuk is een analyse gedaan van zowel de huidige bron voor de drinkwaterproductie als het RWZI-effluent. In hoofdstuk vier worden er drie voorontwerpen gepresenteerd. De processtappen en hoofddimensies van de zuiveringsonderdelen zijn aangegeven. In het vijfde hoofdstuk wordt een verkennende risicoanalyse met behulp van een Monte-Carlo simulatie gepresenteerd. In hoofdstuk zes wordt onderzocht wat de kosten van de drie voorontwerpen zijn. De gekozen alternatieven worden vergeleken op duurzaamheid in hoofdstuk zeven en daarna wordt, in het voorlaatste hoofdstuk, het maatschappelijk kader nader bekeken. Het slot hoofdstuk bevat de voor- en nadelen van de drie alternatieven en er worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan. Bij een aantal hoofdstukken zijn praktijkervaringen uit Namibië, zoals opgedaan tijdens een stage ter plaatse, gevoegd.

Referenties

Gemeenteraad van Amsterdam; raadsbesluit over de samenvoeging DWR en WLB; persbericht, mei 2005

VROM; rijksvisie waterketen; Den Haag, april 2003

2. Afvalwater hergebruik voor Amsterdam

2.1 Methoden van het hergebruik van afvalwater

De waterketen bestaat globaal uit de volgende zeven stappen:

1. Het onttrekken van grondwater of het innemen van oppervlaktewater.
2. Het zuiveren van het water tot een (inter)nationaal geaccepteerde drinkwaterkwaliteit.
3. De opslag en distributie van het gezuiverde drinkwater.
4. Het gebruik van drinkwater in bedrijven en huishoudens.
5. Het transport van het rioolwater.
6. De zuivering van het rioolwater in een afvalwaterzuivering.
7. De lozing van het gezuiverde afvalwater op een ontvangend watersysteem.

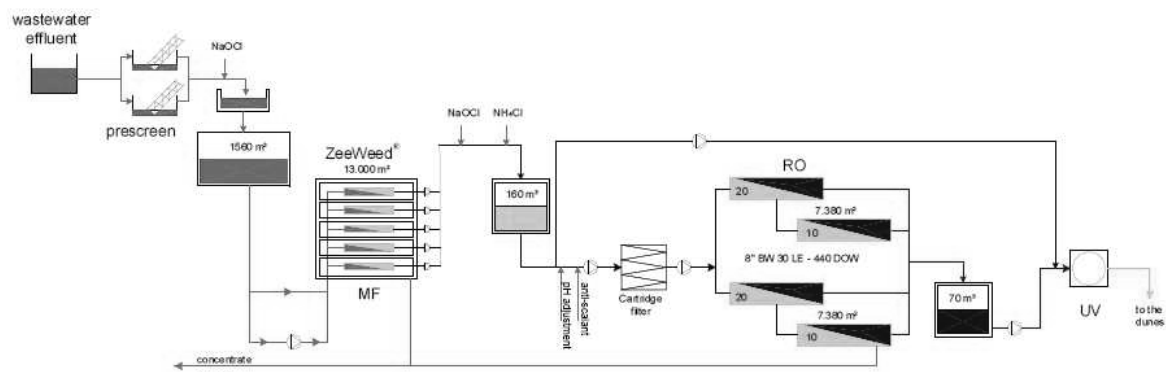
Een alternatief voor het lozen van gezuiverd afvalwater is het hergebruiken ervan. Wanneer er geen andere waterbronnen beschikbaar zijn wordt het afvalwater wel hergebruikt. Een voorbeeld van noodzakelijk hergebruik van het afvalwater is een ruimteschip. Bij het hergebruik van afvalwater kan er een onderscheid gemaakt tussen hoogwaardig en laagwaardig hergebruik. Laagwaardig hergebruik is bijvoorbeeld voor irrigatie in de landbouw of als koelwater in de industrie. Dit laagwaardig hergebruik komt overal ter wereld en in diverse vormen voor. Hoogwaardig hergebruik is het maken en distribueren van drinkwater bereid uit (gezuiverd) afvalwater. Dit hoogwaardig hergebruik kan of op het niveau van één of enkele huishoudens of op een groter schaalniveau in één of meerdere zuiveringsinstallaties.

Bij het grootschalige, hoogwaardig hergebruik zijn de volgende drie parameters van belang:

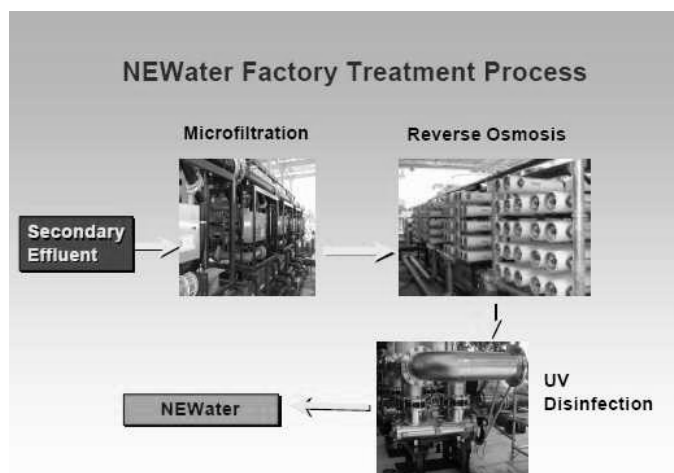
1. Recirculatie tijd: de tijd die het water nodig heeft om één gehele cyclus (zuivering, distributie en gebruik) te doorlopen.
2. Recirculatie percentage: het percentage van het water dat nadat het gebruikt is in de huishoudens of industrie weer terugkomt op de zuivering. Het bijmengen van andere waterbronnen verlaagt dit percentage.
3. Percentage afvalwater: de hoeveelheid ‘echt’ afvalwater in de bron voor de drinkwaterproductie. Dit getal is afhankelijk van de werkwijze van een individuele drinkwaterzuivering en is onafhankelijk van het gehele netwerk.

Op grond van de recirculatietijd wordt er een onderscheid gemaakt tussen direct en indirect hergebruik. Bij indirect hergebruik verblijft het water voor een langere periode in een natuurlijk reservoir. Een ander onderscheid dat wordt gemaakt is tussen gepland en ongepland hergebruik [Nam 2002]. Overal ter wereld wordt afvalwater ongepland hergebruikt. De rivieren zijn hiervan een duidelijk voorbeeld: gezuiverd en ongezuiverd afvalwater wordt erop geloosd en drinkwater wordt eruit ingenomen.

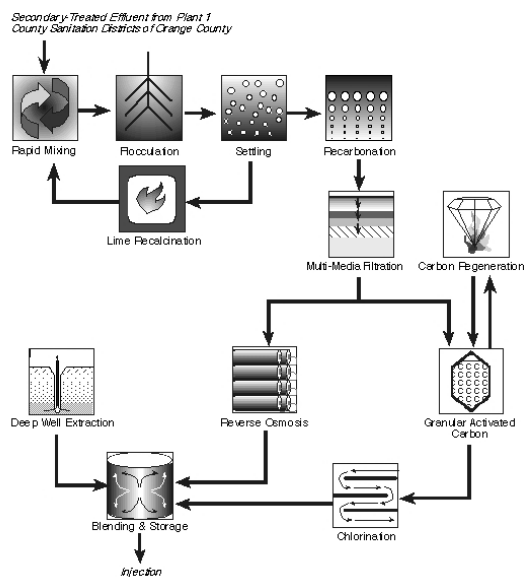
De huidige ‘rivier duin waterleiding’ onttrekt het water uit het Lekkanaal. Het Lekkanaal is een onderdeel van het stroomgebied van de Rijn. Als wordt aangenomen dat in het stroomgebied van de Rijn 100 miljoen mensen wonen die ieder 100 liter afvalwater per persoon per dag produceren dan is dit een debiet van $115 \text{ m}^3/\text{s}$ aan huishoudelijk afvalwater. De Rijn heeft een gemiddelde jaarlijkse afvoer van $2000 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit komt neer op ongeveer 5% huishoudelijk afvalwater in de Rijn. Hier komen industriële lozingen nog bij. Doordat het water weer geïnfiltreerd wordt in het duingebied is de huidige drinkwaterzuivering al een vorm van ongepland, indirect hergebruik.



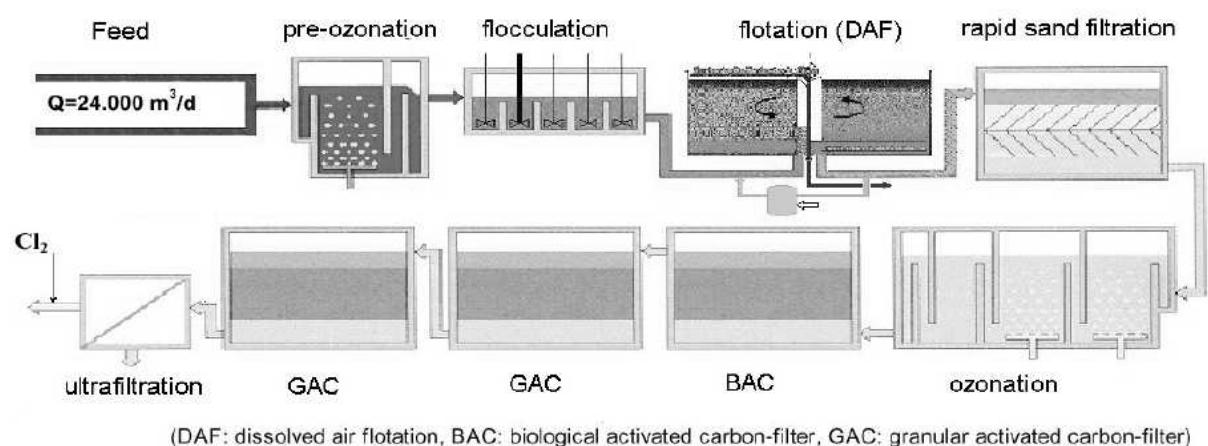
Afbeelding 2.1: Processchema Wulpen [IWVA, .2005]



Afbeelding 2.2: Processchema Singapore. [Nam, 2002]



Afbeelding 2.3: Processchema Water Factory 21 [OCWD, 2005].



Afbeelding 2.4: Processchema Windhoek [NORIT, 2003].

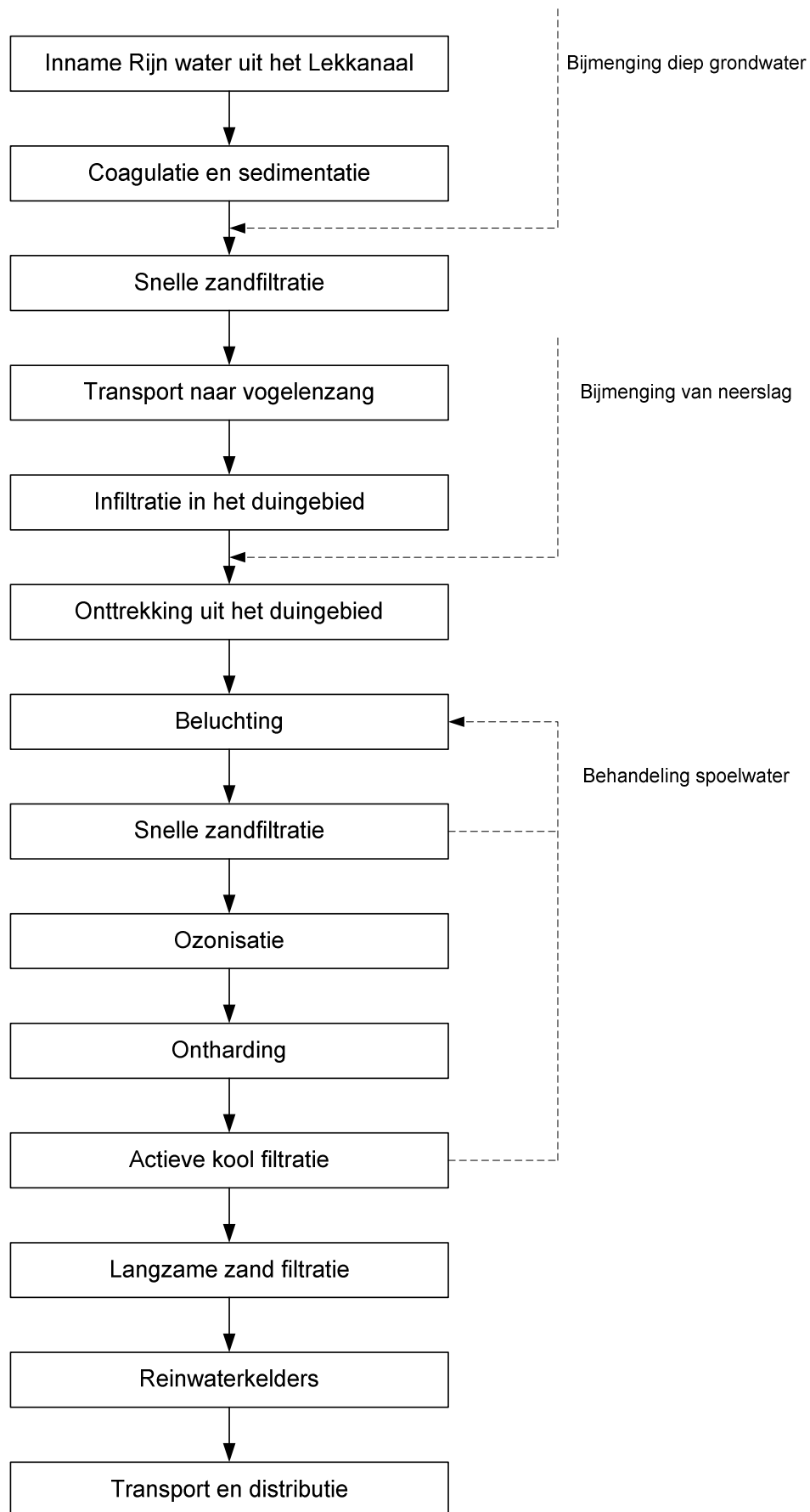
2.2 Internationale voorbeelden van gepland hergebruik

In Wulpen aan de Vlaamse kust kampte men met water tekorten. Het kusttoerisme zorgde voor een zeer wisselende watervraag over het jaar. Hierdoor moest ook de afvalwaterzuivering flink worden uitgebreid. Om de verdroging van de duinen tegen te gaan en in de drinkwatervraag te kunnen blijven voorzien heeft men besloten om afvalwater effluent na te zuiveren en te infiltreren in de duinen. De voorzuivering bestaat uit een ultra filtratie en reverse osmosis. In afbeelding 2.1 staat het processchema van deze zuivering weergegeven [IWVA, 2005] en [Van Houtte, 2004].

Singapore importeert ruw water vanuit Maleisië. Er zijn 2 langlopende contracten waarvan de eerste in 2011 en de tweede in 2061 afloopt. Om onafhankelijk te worden van Maleisië en de bilaterale spanningen wat weg te nemen, is men begonnen met het hergebruiken van afvalwater. Het afvalwater wordt gezuiverd met microfiltratie, Reverse Osmosis en UV (zie afbeelding 2.2). Een gedeelte van dit water wordt direct gebruikt door de industrie en gebotteld voor de consumentenmarkt. Het resterende deel wordt opgeslagen in reservoirs. Deze reservoirs worden gemengd met andere waterbronnen en gebruikt voor de drinkwaterproductie [Nam, 2002].

Eén van de bekendste voorbeelden van gepland indirect hergebruik is Orange County, VS. In Orange County valt relatief weinig regen (350mm/jaar) en werd er teveel grondwater onttrokken. Hierdoor was er sprake van zoutintrusie. Om dit tegen te gaan is men overgegaan tot de injectie van RWZI effluent in de bodem, omdat andere bronnen te ver weg waren. De voorbehandeling bestaat uit vlokvorming, sedimentatie, beluchting en filtratie. Hierna gaat één deelstroom door RO en een andere deelstroom ondergaat een actieve koolfiltratie (zie afbeelding 2.3). Dit gezuiverde afvalwater wordt dan gemengd met diep grondwater en geïnfilteerd in de bovenste watervoerende laag. Een gedeelte wordt dan weer onttrokken voor de drinkwaterbereiding en irrigatie van de landbouw [OCWD, 2005].

Het enige voorbeeld van volledig direct en gepland hergebruik vindt plaats in Namibië. Namibië is het droogste land ten zuiden van de Sahara. Het effluent van de rioolwaterzuivering in Windhoek wordt al voor meer dan 30 jaar gebruikt voor de drinkwaterproductie. Deze afvalwaterzuivering behandelt alleen afvalwater van huishoudelijke oorsprong, industrieel afvalwater wordt elders gezuiverd. Dit effluent kan worden bijgemengd met het water van een dichtbij gelegen stuwmeer, maar ook dit stuwmeer is ernstig vervuild door illegale woningbouw. Deze drinkwaterzuivering is in 2002 vernieuwd en heeft nu een voorbehandeling met ozon, vlokvorming en flotatie. Hierna volgt dan een zandfiltratie, hoofd ozonisatie, een biologisch actieve koolfiltratie en een dubbele actieve koolfiltratie. Om de microbiologische zekerheid te garanderen is er een ultrafiltratie toegevoegd. Voordat het water getransporteerd wordt naar de stad volgt nog een chloor dosering. In afbeelding 2.4 is het processchema weergegeven [NORIT, 2003] en [Rietveld, 2004].



Afbeelding 2.5: Blokschema van de 'rivier duin waterleiding' [Waternet].

2.3 Drinkwaterzuivering in Amsterdam

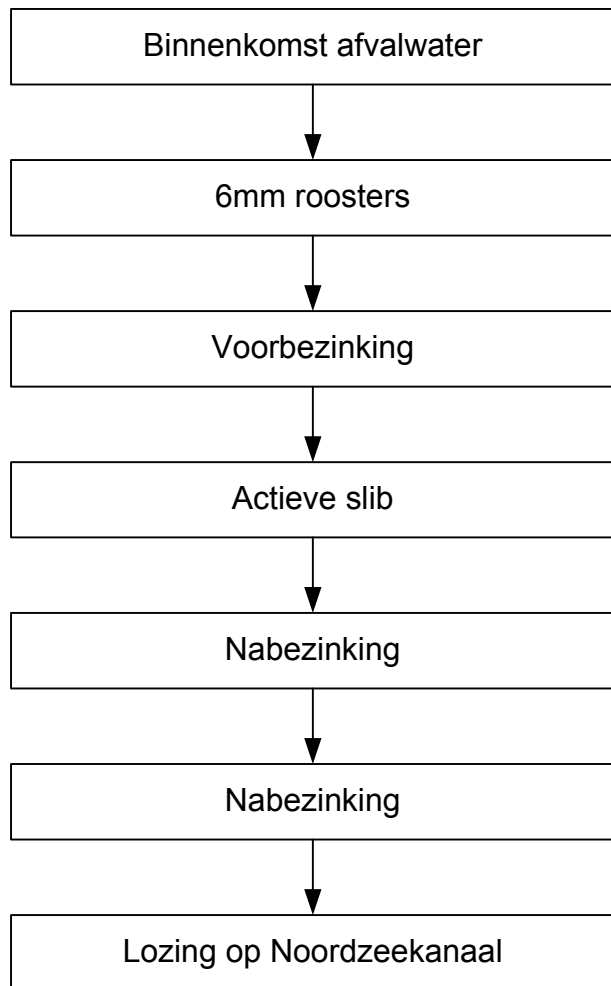
Waternet heeft twee manieren om in de drinkwatervraag van Amsterdam te voorzien. De eerste is de ‘rivier duin’ waterleiding waar het water uit het Lekkanaal in Nieuwegein wordt voorgezuiverd. Het voorgezuiverde water wordt getransporteerd naar het duingebied en dan geïnfiltreerd in de duinen en nagezuiverd op locatie Leiduin. De tweede manier is met de ‘rivier plassen’ waterleiding die het water uit de Bethunepolder en het Amsterdam-Rijnkanaal voorzuivert in Loenderveen, transporteert naar Weesperkarspel en daar nazuivert tot drinkwater. In appendix 2.1 is de ‘rivier plassen’ waterleiding beschreven. Hier wordt verder alleen ingegaan op de ‘rivier-duin’ waterleiding.

In 1851 werd door de schrijver en jurist mr. Jacob van Lennep de Duinwater-Maatschappij opgericht en zo is het eerste drinkwaterbedrijf ontstaan. Dit particuliere initiatief zorgde ervoor dat het water uit de duinen werd onttrokken en getransporteerd werd over 23 kilometer naar Amsterdam. In 1896 heeft de gemeente Amsterdam het bedrijf opgekocht en sindsdien had het de naam Gemeente Waterleidingen Amsterdam (GWA). Na een aantal jaren had men door dat niet in de groeiende drinkwatervraag kon blijven worden voorzien en zijn er plannen gemaakt voor de infiltratie van rivierwater.

Na de tweede wereldoorlog zijn deze plannen concreter geworden en hebben de provincie Noord-Holland en de gemeente Amsterdam gezamenlijk de watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland (WRK) opgericht. De WRK heeft sinds 1957 gezorgd voor het transport van voorgezuiverd oppervlaktewater naar het duingebied en voorziet tevens de hoogovens van proceswater. Naast de voorzuivering in Nieuwegein kreeg de WRK ook een locatie in Andijk. In Andijk wordt het IJsselmeerwater voorgezuiverd en getransporteerd naar het duingebied bij Castricum voor provinciaal waterleidingbedrijf Noord-Holland (PWN). Inmiddels is de bedrijfsvoering van de WRK geïntegreerd in die van Waternet en PWN en is de WRK opgeheven.

In afbeelding 2.6 staan de diverse zuiveringsstappen in het blokschema beschreven. De voorzuivering in Nieuwegein bestaat uit vlokvorming, sedimentatie en een snelle zandfiltratie. Dit water wordt dan getransporteerd naar Vogelenzang en in het duingebied geïnfiltreerd. De in het infiltratiebesluit bodembescherming (IB) gestelde eis voor bestrijdingsmiddelen wordt op het ogenblik niet altijd gehaald. Met de provincie is daarom afgesproken dat het infiltratiebesluit incidenteel mag worden overschreden, omdat een kleine overschrijding van het IB minder natuurschade aanricht dan het niet infiltreren [van der Hoek, 2003].

Na de duinpassage wordt het water op ‘Leiduin’ verder nagezuiverd. Het water wordt dan als eerste belucht en daarna volgt een snelle zandfiltratie. Na deze snelle zandfiltratie volgt de ozonisatie, de ontharding en de actieve koolfiltratie. De laatste zuiveringsstap is de langzame zandfiltratie. Hierna wordt het water opgeslagen en gedistribueerd.



Afbeelding 2.6: Blokschema RWZI Amsterdam West

2.4 Afvalwaterzuivering in Amsterdam

Waternet heeft op het ogenblik drie rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI's) in Amsterdam onder haar beheer. Twee van deze RWZI's (locatie Amsterdam-Zuid en locatie Amsterdam-Oost) zijn inmiddels vanuit stedenbouwkundig oogpunt niet meer gewenst op hun huidige locatie. Ook voldoen zij niet meer aan de wettelijke eisen. Daarom bouwt de gemeente Amsterdam, samen met het hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht, aan een nieuwe zuivering in Amsterdam-West. De huidige zuivering in Amsterdam-Westpoort zal blijven bestaan.

De nieuwe rioolwaterzuivering zal moeten voldoen aan de huidige Nederlandse normen en zal een effluent moeten leveren dat voldoet aan de wet verontreiniging oppervlaktewateren (WVO). Deze wet zal op den duur worden aangepast aan de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). In de huidige wet is de maximum concentratie voor het te lozen effluent gesteld op 10 mg N/l en 1 mg P/l. In de KRW worden deze eisen waarschijnlijk aangescherpt tot 2,2 mg N/l en 0,15 mg P/l. In tabel 2.1 staat de gemiddelde RWZI effluent kwaliteit van de bestaande RWZI's. Te zien is dat de vervanging van de locaties Amsterdam Zuid en Amsterdam Oost ook vanuit een kwalitatief oogpunt noodzakelijk is.

Tabel 2.1: Kenmerken van de huidige RWZI's in Amsterdam (gemiddelde waarden uit 2003).

Parameter	Eenheid	Locatie Zuid	Locatie Oost	Locatie Westpoort
Debiet	Miljoen m ³ /jaar	11.332	45.330	14.722
CZV	mg/l	46	39	32
BZV	mg/l	5,7	5,3	3,0
Stikstof (totaal)	mg N/l	24	25	7,1
Kjehldahl stikstof	mg N/l	3,5	3,7	2,4
Fosfaat (totaal)	mg P/l	3,3	2,9	0,77
Koper	µg/l	<3	4,03	<3
Lood	µg/l	<7	<7	<7
Nikkel	µg/l	3,05	3,15	3,51
Zink	µg/l	22,1	26,6	34,2

De huidige rioolwaterzuiveringsinstallatie's Amsterdam-Zuid en Amsterdam-Oost worden vervangen door pompstations die het afvalwater via nieuwe riolen transporteren naar de nieuwe zuiveringslocatie Amsterdam-West. Daar komen dus twee leidingen vanuit de stad die gemengd worden en dan over 6mm roosters worden geleid. Hierna wordt het water verdeeld over voorbezinktanks. Hierop volgt een laagbelast actief slib proces en nabezinking in twee stappen. Het effluent wordt dan uiteindelijk geloosd op het Noordzeekanaal. De nieuwe zuivering werkt intensief samen met het naastgelegen afval energiebedrijf (AEB). De RWZI zal aan hen biogas en slib leveren en daarvoor krijgt de zuivering elektriciteit terug.

Deze nieuwe zuivering is een standaard secundaire afvalwaterzuivering (een primaire afvalwaterzuivering is alleen een rooster). In de aanloop van het project is een derde zuiveringsstap overwogen in de vorm van ultra filtratie. Dit is niet uitgevoerd, omdat het onnodig kostenverhogend zou werken. Wel is er een terrein reservering van 2 à 3 hectare voor de derde stap gedaan vlakbij de nieuwe RWZI om, wanneer er wel een wettelijke verplichting is, een derde zuiveringsstap te plaatsen.

2.5 Samenvatting

Afvalwater kan op diverse manieren worden hergebruikt en internationaal zijn er een aantal voorbeelden waaruit dat blijkt. Alleen in Namibië en Singapore wordt het afvalwater direct hergebruikt tot drinkwater. Amsterdam heeft twee route's voor de bereiding van drinkwater. De 'rivier duin' waterleiding haalt het water uit het Lekkanaal en transporteert het naar Vogelenzang alwaar het geïnfiltreerd wordt in het duingebied en nagezuiverd te Leiduin. Deze infrastructuur is 50 jaar oud en het Waternet wordt gesteld voor de vraag of zij überhaupt wel door moet gaan met dit watertransport, of dat er een fundamentele andere keuze moet worden gemaakt. In Amsterdam-West wordt een grote nieuwe rioolwaterzuivering gebouwd en deze standaard biologische zuivering levert een grote hoeveelheid secundair effluent wat nu geloosd zal worden op het Noordzeekanaal. Dit effluent zou ook gebruikt kunnen worden als bron voor de drinkwaterproductie.

Referenties

Van der Hoek, J.P. en Mosch, M.J.M; Bestrijdingsmiddelen en infiltratie: Beleid Gemeentewaterleidingen Amsterdam; Amsterdam, april 2003

Van Houtte, E. en Verbouwhede, J.; drinkwaterbereiding uit biologische behandeld afvalwater; IWVA, Gent, 2004

IWVA, Intercommunale Waterleidingsmaatschappij van Veurne-Ambacht; zuivering 'Torreelle'; internet 2003 (<http://www.iwva.be>)

Nam, O.C. *et al*; Singapore water reclamation study, expert panel review and findings; Singapore, juni 2002

NORIT membrane technology B.V; New Goreangab Water Reclamation Plant, Windhoek Namibië; 2003

OCWD, Orange County Water District; water factory 21; internet 2005 (<http://www.ocwd.com>)

Rietveld, L.C. *et al*; Zuidelijk Afrika: een wondere water wereld; TU Delft, 2004

3. Analyse van de mogelijke drinkwaterbronnen

3.1 Beschrijving alternatieven

In het voorgaande hoofdstuk werden (internationale) voorbeelden genoemd van gepland en ongepland, direct en indirect hergebruik. Wanneer deze mogelijkheden vertaald worden naar de Amsterdamse situatie ontstaan er drie alternatieven waarbij RWZI-effluent gezuiverd kan worden tot drinkwater, zoals aangegeven in afbeelding 3.1.

Alternatief 1: Lekkanaal als bron (ongepland, indirect hergebruik)

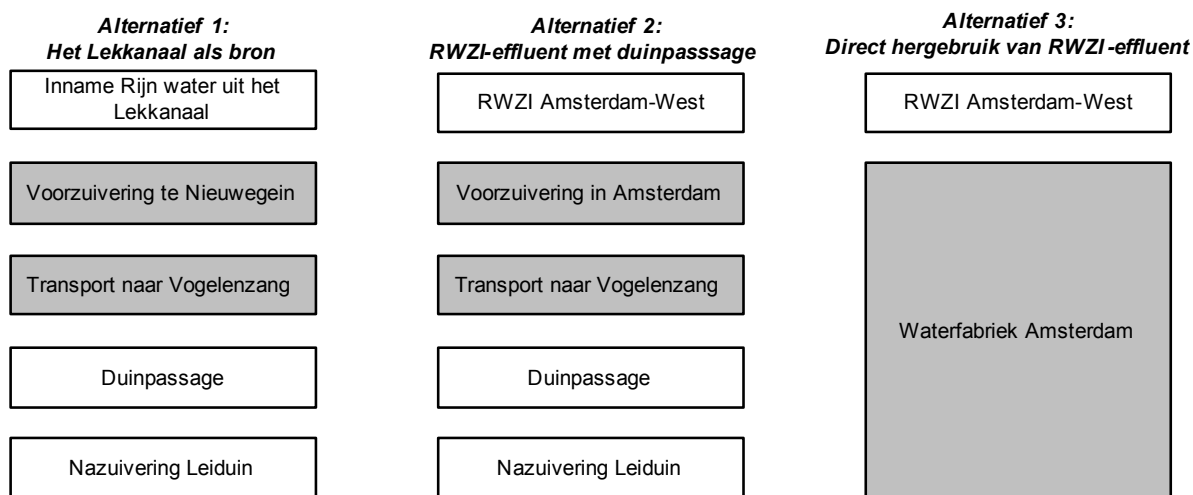
Het eerste alternatief is de vervanging van de huidige situatie: een nieuwe voorzuivering in Nieuwegein en nieuwe transportleidingen. De duinpassage en nazuivering 'Leiduin' blijven bestaan. Wanneer nu de duinpassage wordt overgeslagen is hier sprake van ongepland direct hergebruik. In de huidige situatie komt het incidenteel voor dat de duinpassage, voor korte duur, wordt overgeslagen. Met deze situatie moet ook rekening worden gehouden in het ontwerp.

Alternatief 2: RWZI-Effluent met duinpassage (gepland, indirect hergebruik)

Het effluent van de RWZI wordt in Amsterdam extra gezuiverd en daarna getransporteerd naar het duingebied. Dit is een nazuivering van het afvalwater of een voorzuivering van het drinkwater. De transportafstand is korter dan vanuit Nieuwegein, maar deze zuivering zal uitgebreider moeten zijn, vanwege de andere samenstelling van de bron. De huidige duinpassage en nazuivering Leiduin blijven bestaan.

Alternatief 3: Direct hergebruik van RWZI effluent (gepland, direct hergebruik)

Het effluent van de RWZI wordt ter plekke, in Amsterdam, gezuiverd tot drinkwater. De huidige duinpassage en nazuivering komen te vervallen.



Afbeelding 3.1: Drie mogelijke alternatieven voor de 'rivier duin' waterleiding met daarin aangegeven welk zuiveringsonderdeel dan nieuw is (grijs) en welk onderdeel er al is (wit).

3.2 Analyse van de waterkwaliteit van het Lekkanaal en RWZI-effluent

Voor de vergelijking van de waterkwaliteit is een aantal parameters geselecteerd. De hier genoemde parameters komen hoofdzakelijk voort uit het Infiltratiebesluit bodembescherming (IB) of uit het Waterleidingbesluit. De parameters in het Waterleidingbesluit zijn van belang voor de volksgezondheid terwijl de parameters uit het IB voortkomen uit de bodem- en natuurbescherming. Een ander selectie criterium is dat de stoffen ook daadwerkelijk gemeten zijn in het RWZI effluent en het Lekkanaal. In appendix 3.1 staat per parameter aangegeven welke literatuur is geraadpleegd en op hoeveel metingen de statistische analyse (in appendix 3.2) is gebaseerd. In totaal zijn er vijf groepen met parameters in tabel 3.1 opgenomen:

Algemene parameters

Temperatuur, troebelheid en zuurgraad zijn parameters die veelvuldig gemeten worden en een algemene indruk geven van de waterkwaliteit.

Microbiologie

De bacteriën *Campylobacter*, *E-Coli* en *Entrococcen*, de protozoa *Cryptosporidium* en *Giardia*¹ en de *Entrovirussen* zijn gekozen als microbiologische gidsparameters. Deze micro-organismen worden, met uitzondering van *Campylobacter*, allemaal genoemd in het Waterleidingbesluit. *Campylobacter* is relevant vanwege de fecale herbesmetting bij de bestaande, open terugwinning vanuit het duingebied. Vogels, knaagdieren en herten zijn dragers van deze bacterie.

Biologische stabiliteit

Dit zijn de parameters die de omstandigheden voor bacteriegroei in de zuiveringsinstallaties bepalen. Deze ongecontroleerde bacteriegroei heeft negatieve effecten op het zuiveringsproces. Het zuurstofverbruik (chemisch en biologisch), nutriënten (Kjehldahl stikstof, totaal stikstof en totaal fosfaat), opgeloste koolstof (TOC en DOC) en zwevende stof vallen onder deze groep.

Organische microverontreinigingen

Organische microverontreinigingen zijn koolstofbindingen die in lage concentratie's (micro- of nanogram per liter) in het water voorkomen. Het zijn afvalstoffen uit de maatschappij die in het oppervlaktewater zijn gekomen. In deze groep zitten bestrijdingsmiddelen (Atrazine, AMPA en MCPA), medicijnresten (Carmapezine, Metoprolol en Sulfamethoxazol) hormoonverstorende stoffen (Bisfenol-A en Oestron), het röntgen contrastmiddel Jomeprol en Polychloorbifenyyl (PCB). De bestrijdingsmiddelen zijn nu al opgenomen in het IB, maar de medicijnresten en hormoonverstoorders nog niet. Verwacht wordt dat er in de toekomst, mede door de betere detectiemethoden, ook maxima zullen worden gesteld aan de concentraties van deze stoffen in het (drink)water en/of het infiltraat.

Anorganische stoffen

Deze groep bestaat uit de metalen (koper, lood, nikkel en zink), mineralen (calcium, chloride en natrium) en waterstofcarbonaat. Mineralen beïnvloeden de smaak en de hardheid van het water en wanneer een waterkringloop volledig gesloten is kunnen deze anorganische stoffen zich ophopen in het water. Waterstofcarbonaat is een belangrijke parameter voor de chemische stabiliteit van het water.

¹ De waarden voor *Cryptosporidium* en *Giardia* in het RWZI effluent zijn gecorrigeerd voor de recovery van respectievelijk 26% en 16% [Medema, 2001]

In tabel 3.1 wordt het RWZI-effluent en het water uit het Lekkanaal vergeleken met de wettelijke eisen en de huidige kwaliteit van zowel het infiltraat als het drinkwater. Naast de gemiddelde waarden zijn ook steeds het 10 en 90 percentiel in de tabel opgenomen om inzicht te krijgen in de spreidingen van de meetdata. De waarden voor het huidige drinkwater en het huidige infiltraat zijn de gemeten waarden ‘af pompstation’ bij de voorzuivering in Nieuwegein (voor infiltraat) en de nazuivering Leiduin (voor drinkwater). Deze waarden zijn hoofdzakelijk afkomstig van Het Waterlaboratorium (HWL). De waarden voor het Lekkanaal zijn primair afkomstig van het RIWA. Aangezien de nieuwe RWZI nog niet gebouwd is, zijn de gegevens voor het RWZI-effluent hoofdzakelijk afkomstig uit de literatuur en van de RWZI Amsterdam-Westpoort. Op de afvalwaterzuivering is een incidentele overschrijding van de normen uit de WVO niet erg, zolang er maar op jaarbasis wordt voldaan aan de gestelde wettelijke normen. Hierdoor komen er in het afvalwater relatief grote spreidingen voor in de data.

Wanneer in tabel 3.1 een vraagteken is opgenomen betekent dit dat er geen metingen gevonden zijn voor die parameter. In een enkel geval staat er wel een gemiddelde opgenomen, maar, geen 10 of 90 percentiel. Deze waarde is dan een schatting gebaseerd op de resultaten van de andere parameters. De term ‘<dl’ die in de tabel voorkomt betekent dat er wel gemeten is naar die stof, maar dat het niet gedetecteerd kon worden. Een enkele keer staat er ook een nul in de tabel. Dit wil zeggen dat de stof wel voorkomt in het water, maar dat de concentratie te laag was om een getal weer te geven bij de gekozen eenheid.

Er zijn drie metingen in de tabel die een nadere toelichting vereisen. Een eerste opmerking moet worden gemaakt bij de *E-coli* metingen in zowel het infiltraat als het drinkwater. Hier is gebruik gemaakt van herbevestigde positieve metingen. In werkelijkheid staan er tegenover deze metingen vele analyses waarin geen *E-coli* is gevonden. Deze waarden geven dus een vertekend beeld. Als tweede is het opmerkelijk dat de koperconcentratie in het infiltraat hoger is dan in het Lekkanaal. De oorzaak hiervan is het koperen leidingensysteem op de voorzuivering Nieuwegein. Een laatste opmerking moet gemaakt worden bij de loodconcentratie in het RWZI-effluent. DWR gebruikt op de RWZI Amsterdam Westpoort een analyse voor lood die een detectielimiet heeft van 7µg/l terwijl in het Lekkanaal een andere methode wordt gebruikt waardoor er wel lagere concentraties worden gemeten.

In de afbeelding 3.2 wordt het RWZI-effluent en het Lekkanaal water vergeleken met het infiltratiebesluit en het waterleidingbesluit. Aangegeven zijn de stoffen die dan verwijderd moeten worden om aan de wettelijke eisen te voldoen.

	Infiltratiebesluit	Waterleidingbesluit
Lekkanaal	Indirect ongepland hergebruik Alternatief 1: het Lekkanaal als bron Troebelheid en zwevende stof PAK's Lood	Direct ongepland hergebruik Alternatief 1 zonder duinpassage Troebelheid en zwevende stof PAK's Lood en calcium (hardheid) Micro-organismen
RWZI-Effluent	Indirect gepland hergebruik Alternatief 2: RWZI-effluent met duinpassage Troebelheid en zwevende stof Fosfaat en stikstof Bestrijdingsmiddelen en PAK's	Direct gepland hergebruik Alternatief 3: direct hergebruik RWZI effluent Troebelheid en zwevende stof Fosfaat en stikstof Bestrijdingsmiddelen en PAK's Calcium (hardheid) Micro-organismen

Afbeelding 3.2: Stoffen die verwijderd moeten worden volgens het Infiltratiebesluit en het Waterleidingbesluit. Zowel voor het water uit het Lekkanaal als het RWZI-effluent.

Tabel 3.1: Waterkwaliteit van het effluent en het Lekkanaal vergeleken met het huidige infiltraat en drinkwater en de wettelijke normen

Parameter	Eenheid	Lekkanaal			Effluent			Huidig infiltraat			Huidig drinkwater			Infiltratie- besluit	Waterlei- dingbesluit
		P10	Gem.	P90	P10	Gem.	P90	P10	Gem.	P90	P10	Gem.	P90		
Temperatuur	°C	4,77	12,8	22,0	10	15	20	3	13	25	0,8	12,6	19,9	Geen eis	<25
Troebelheid	FTE	10,8	38,3	57,1	1	7	15	0,01	0,05	0,10	0	0,09	0,27	Geen eis	1
Zuurgraad	pH	7,80	8,10	8,42	7,1	7,8	8,2	7,46	7,59	7,75	8,1	8,4	8,8	Geen eis	7<pH<9,5
Campylobacter	Aantal/l	2,24	8,22	44,7	3,50	100	1400	?	?	?	?	?	?	Geen eis	1,2*10 ⁻⁶ ^A
Cryptosporidium	Oöcysten/l	2,00	6,43	31,6	4,90	340	639	?	?	?	?	?	?	Geen eis	1,2*10 ⁻⁶ ^A
Escherichia Coli	Duizend/l	0,56	2,51	16,6	23,0	101	358	0,2	1,95	7,2	0	0,3	1	Geen eis	0/100ml
Enterococcen	Duizend/l	0,20	0,50	1,51	?	1	?	1	3,6	8	0	0	0	Geen eis	0/100ml
Enterovirussen	Pvp/l	0,30	0,74	4,30	?	?	?	?	?	?	?	?	?	Geen eis	1,2*10 ⁻⁶ ^A
Giardia	Cysten/l	0,70	10,8	140	2,7	55	660	?	?	?	?	?	?	Geen eis	1,2*10 ⁻⁶ ^A
BZV	mg/l	0,50	1,56	3,00	1,4	3,0	4,5	?	?	?	?	?	?	Geen eis	Geen eis
CZV	mg/l	11,0	13,9	17,0	25	32	39	3,0	5,8	14	?	?	?	Geen eis	Geen eis
DOC	mg/l	2,56	2,99	3,44	6,4	7,4	8,4	1,60	2,07	2,60	0,8	1,2	2,6	Geen eis	Stabiel
Fosfaat (totaal)	mg P/l	0,06	0,13	0,23	0,47	0,77	1,2	0	0,02	0,06	0	0,02	0,10	0,4	Geen eis
Kjehldahl stikstof	mg N/l	0,44	0,70	0,96	1,5	2,4	3,6	0,14	0,23	0,40	0	0,16	1,15	2,5 ^B	0,2 ^B
Stikstof (totaal)	mg N/l	2,80	3,54	4,09	4,0	7,4	9,9	2,55	3,16	4,01	0,36	1,12	1,81	8,1 ^C	11,5 ^D
TOC	mg/l	2,60	3,10	3,60	6,9	7,9	8,9	1,8	2,2	2,8	?	?	?	Geen eis	Stabiel
Zuurstof	mg/l	6,70	9,85	12,5	<1	<1	<1	2,47	8,05	13,9	6,1	9,9	13,4	Geen eis	>2
Zwevende stof	mg/l	26,5	40,8	67,2	5	8	18,5	<dl	0,05	0,20	?	?	?	0,5	Geen eis

^A In appendix 3.3 is de wettelijke eis van maximaal 1 infectie per 100.000 inwoners per jaar uitgewerkt tot dit getal. ^B Kjehldahl stikstof is de som van organische stikstof, ammonium en ammoniak (alle stikstofbindingen exclusief nitraat en nitriet). Hier is dit de waarde van ammonium. ^C Som van ammonium en nitraat uit het IB. ^D Som van ammonium, nitraat en nitriet uit de Waterleidingwet.

Tabel 3.1: Waterkwaliteit van het effluent en het Lekkanaal vergeleken met het huidige infiltraat en drinkwater en de wettelijke normen (vervolg)

Parameter	Eenheid	Lekkanaal			Effluent			Huidig infiltraat			Huidig drinkwater			Infiltratie- besluit	Waterlei- dingbesluit
		P10	Gem.	P90	P10	Gem.	P90	P10	Gem.	P90	P10	Gem.	P90		
AMPA	µg/l	0,19	0,46	0,94	2,0	3,7	6,1	?	?	?	?	?	?	Geen eis	Geen eis
Atrazine	µg/l	<dl	<dl	<dl	0,04	0,56	2,80	0	0,01	0,08	<dl	<dl	<dl	0,1	0,1
Bisfenol-A	µg/l	0,01	0,03	0,04	0	0,43	2,7	?	?	?	?	?	?	Geen eis	Geen eis
Carmapezine	µg/l	0,06	0,15	0,22	0,05	0,57	1,30	<dl	0,12	0,24	<dl	<dl	0	Geen eis	Geen eiss
Jomeprol	µg/l	0,06	0,22	0,59	0,05	2,70	9,60	?	?	?	?	?	?	Geen eis	Geen eis
Metoprolol	µg/l	0,02	0,03	0,05	0,34	0,57	0,93	?	?	?	?	?	?	Geen eis	Geen eis
MCPA	µg/l	<dl	0,02	0,02	0,02	0,43	1,50	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	0	0,1	0,1
Oestron	ng/l	0,3	0,4	0,6	1	35	121	?	?	?	?	?	?	Geen eis	Geen eis
PAK's	µg/l	0,10	0,24	0,77	<dl	2,4	9,2	?	?	?	?	?	?	0,76 ^E	0,1
Sulfamethoxazol	µg/l	0,01	0,03	0,06	0,07	0,10	0,13	?	?	?	?	?	?	Geen eis	Geen eis
Calcium	mg/l	65,7	72,4	78,4	?	<70	?	54,1	69,9	86,7	38,8	42,3	50,1	Geen eis ^F	50 ^G
Chloride	mg/l	73,5	97,0	124	63	124	165	57,3	96,5	132	81,3	96,0	112	200	150
Koper	µg/l	<dl	6,6	12,2	<dl	2,65	4,60	5,0	7,9	13	<dl	1,04	3,80	15	2000
Lood	µg/l	2,70	7,30	16,3	<dl	<dl	<dl	1,0	1,2	5,8	<dl	0,1	0,4	15	10
Natrium	mg/l	38,2	53,6	67,0	?	>48	?	27	48	77	64,4	78,7	91,8	120	Geen eis
Nikkel	µg/l	1,0	2,1	3,0	<dl	3,5	6,5	1,0	1,2	2,0	<dl	0,53	1,4	15	20
PCB's	µg/l	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	<dl	?	?	?	?	?	?	Geen eis	0,5 (som)
Waterstofcarbonaat	mg/l	147	169	187	?	164	?	122	164	194	138	155	178	Geen eis ^F	>60
Zink	µg/l	<dl	16	27	12,5	18,0	27,8	5,0	8,8	15,1	<dl	0,2	0,8	65	3000

^E de som van de 10 PAK's die genoemd worden in het IB. ^F Het IB noemt calcium en waterstofcarbonaat als attentiepunt voor de lokale vergunningverlening.

^G Gebaseerd op de eis m.b.t. de hardheid van het drinkwater (1,25 mmol/liter).

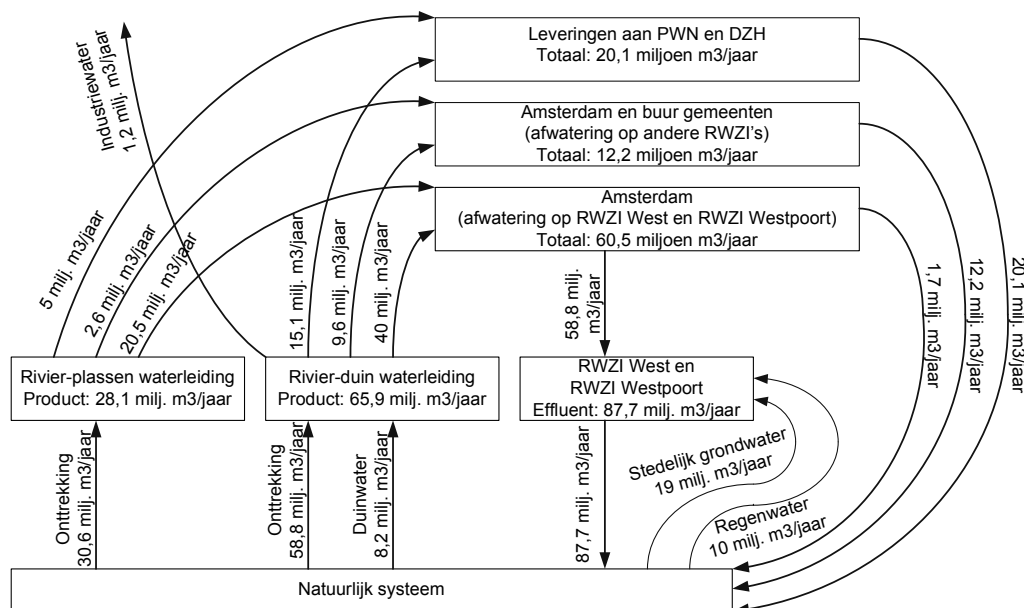
3.3 Water balans voor de drinkwatervoorziening in Amsterdam

Waternet heeft een vergunning voor de onttrekking van water uit het Lekkanaal tot 158 miljoen m³/jaar (5 m³/s). Voor het infiltreren van het water in het duingebied moet het infiltraat voldoen aan de eisen uit het IB en er mag niet meer dan 70 miljoen m³/jaar worden geïnfiltreerd. Het waterleidingbedrijf houdt een minimale verblijftijd van twee maanden aan, maar hiervoor is geen wettelijke eis. Er is een vergunning voor de onttrekking van 70 miljoen m³/jaar. Deze vergunning is verstrekt door de provincies van Noord- en Zuid-Holland. Deze vergunningen lopen in principe voor onbepaalde tijd maar de voorschriften worden gemiddeld eens in de 10 jaar aangepast.

Naast deze wettelijke beperkingen heeft het waterleidingbedrijf ook contractuele verplichtingen. Waternet heeft een contract (tot 2016) met het Duinwaterbedrijf Zuid-Holland (DZH) voor de levering van 1,2 miljoen m³/jaar. In 2003 is er echter aan DZH 2,6 miljoen kubieke meter water geleverd. Met het provinciaal waterleidingbedrijf Noord-Holland (PWN) heeft het WLB twee contracten. Het eerste contract is de levering van 5 miljoen m³/jaar aan 'PWN Noord-Holland Gooi'. Het tweede contract is de levering van 12,5 miljoen m³/jaar aan 'PWN Noord-Holland Zuid'. Beide contracten lopen tot 2027. In 2003 is er ook nog 1,2 miljoen m³ aan industriewater geleverd. Dit industriewater is het voorgezuiverde water uit het Lekkanaal. In afbeelding 3.3 is de waterbalans van Amsterdam getekend.

Voor 2003 levert dit dan de volgende kerngetallen op [WLB, 2003]:

Ruwwater:	96,5 miljoen m ³
Levering industriewater:	1,2 miljoen m ³
Productieverlies:	2,6 miljoen m ³
Totale productie drinkwater:	92,8 miljoen m ³
Aandeel 'Rivier Plassen' waterleiding:	28,1 miljoen m ³
Aandeel 'Rivier Duin' waterleiding:	64,7 miljoen m ³
Leveringen aan DZH en PWN:	20,1 miljoen m ³
Distributie in eigen distributiegebied:	72,7 miljoen m ³



Afbeelding 3.3: Waterbalans voor Amsterdam.

In de waterbalans in afbeelding 3.3 is aangegeven waar het geproduceerde drinkwater heen gaat. Het natuurlijk systeem is hier de verzameling van al het water wat in de natuur voorkomt (de grote water kringloop). Dit is in dit geval:

- Drinkwater dat gebruikt wordt voor o.a. tuinbesproeiing en in de grond infiltreert.
- Onttrokken water uit de Bethunepolder.
- Onttrokken water uit het Amsterdam Rijn Kanaal.
- Onttrokken water uit het Lekkanaal.
- Natuurlijk duinwater (neerslag die valt in de Amsterdamse Waterleidingduinen en onttrokken wordt voor de drinkwaterproductie).
- Het Noordzeekanaal waar het effluent op wordt geloosd.
- Stedelijk grondwater dat infiltreert in de riolering.
- Regenwater dat de riolering instroomt.
- Overig ontvangend oppervlaktewater.

Bij het opstellen van de waterbalans is rekening gehouden met het feit dat het distributie- en afwateringsgebied niet geheel overeen komen. In appendix 3.4 staan de kaarten van beide werkgebieden en is het verschil tussen beide werkgebieden geschat. Het afwateringsgebied van de RWZI is genomen als balansgebied en daarom is er in de waterbalans de distributie aan buitengebieden meegenomen. De leveringen aan DZH en de leveringen aan PWN 'Noord-Holland Zuid' wordt voorzien vanuit de 'rivier duin' waterleiding. De leveringen aan PWN 'Noord-Holland Gooi' worden voorzien vanuit de 'rivier plassen' waterleiding.

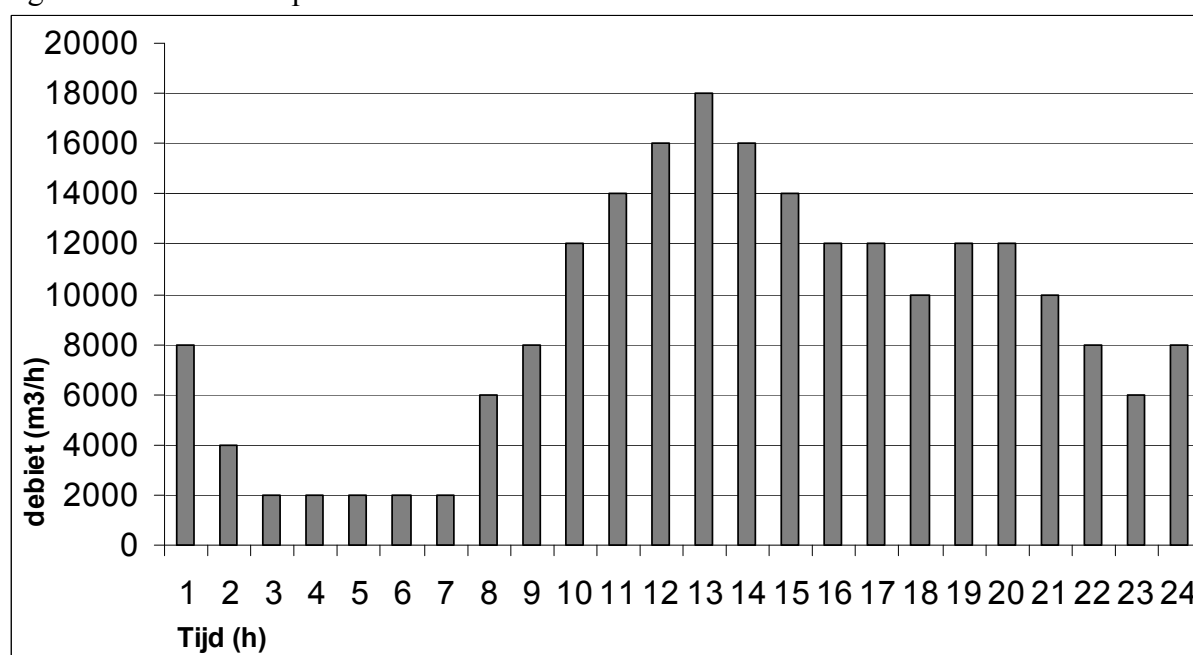
De nieuwe RWZI Amsterdam-West is ontworpen op een jaarproductie aan effluent van 73 miljoen m³. Vlakbij deze nieuwe zuivering ligt de wat oudere zuivering Amsterdam-Westpoort. Deze RWZI voldoet ook aan de eisen uit de WVO en loost jaarlijks 14,7 miljoen m³ effluent. Niet al het water dat gezuiverd wordt is van huishoudelijke of industriële oorsprong. Amsterdam heeft een gemengd rioolstelsel dus een gedeelte van het rioolwater is regenwater. Aangezien het rioolstelsel onder de grondwaterspiegel ligt en al behoorlijk oud is zal er ook zeker grondwater infiltreren in het riool. In appendix 3.5 is beschreven hoe de waarden voor stedelijk grondwater (19 miljoen m³), regenwater (10 miljoen m³) en het drinkwaterverlies (1,7 miljoen m³) zijn berekend.

Wanneer deze getallen worden vertaald naar de drie alternatieven kan de kwantitatieve samenstelling van het water worden achterhaald. In afbeelding 3.4 zijn deze waterglazen weergegeven. Bij het geplande hergebruik is de herkomst van het effluent meegenomen. Bij het indirecte geplande hergebruik circuleert (water dat terug komt op de zuivering) in totaal 40,5% van het water. 16,5% van het geproduceerde water gaat meer dan 2 keer door deze zuivering.

*Afbeelding 3.4:
Herkomst van het
RWZI-effluent en
het kraanwater
voor de drie
alternatieven.*

Herkomst effluent	Indirect ongepland hergebruik (alt. 1: Lekkanaal als bron)	Indirect gepland hergebruik (Alt. 2: effluent met duinpassage)	Direct gepland hergebruik (Alt. 3: Direct hergebruik RWZI-effluent)
Duinwater: 6%	Duinwater: 12,5%	Duinwater: 12,5%	Effluent (regenwater): 11%
Lekkanaal: 40%	Lekkanaal: 83,5%	Effluent (regenwater): 9%	Effluent (stedelijk grondwater): 20%
Bethunepolder en Amsterdam Rijn Kanaal: 23%		Effluent (stedelijk grondwater): 18%	Effluent (Rivier-Plassen waterleiding): 23% 1 keer gebruikt
Stedelijk grondwater: 31%		Effluent (Rivier-Plassen waterleiding): 20% 1 keer gebruikt	Effluent (1 keer gecirculeerd): 25% 2 keer gebruikt
		Effluent (1 keer gecirculeerd): 24% 2 keer gebruikt	Effluent (>1 keer gecirculeerd): 21% >2 keer gebruikt
	Effluent (via Lek): 4%	Effluent (>1 keer gecirculeerd): 16,5% >2 keer gebruikt	

Bij het ontwerp van een drinkwaterzuivering moet ook altijd rekening worden gehouden met de dagspreiding en de spreiding over het jaar. Om de dagspreiding op te vangen moet er op de zuiveringslocatie een opslagcapaciteit van 6 keer de gemiddelde uurproductie zijn. In 2003 bleek de levering op de maximum dag 1,15 keer de levering op een gemiddelde dag te zijn. Voor het ontwerp zal een factor 1,15 worden aangehouden om op de maximum dag in de drinkwatervraag te kunnen voorzien. De eerste twee alternatieven hebben een voorzuivering, een duinpassage en de nazuivering 'Leiduin'. De pieken in de drinkwatervraag kunnen in deze twee alternatieven worden opgevangen door de nazuivering, omdat deze zuivering al is ingericht om aan deze piekfactoren te voldoen.



Afbeelding 3.5: Spreiding van het RWZI-effluent op een gemiddelde dag.

Ook het effluent heeft een wisselende productie over de dag en het jaar. In de afvalwaterzuivering worden de verschillen tussen de aan- en afvoer volledig opgevangen door de verblijftijd te veranderen. De hoeveelheid water die wordt aangevoerd is dus altijd gelijk aan de productie van het effluent. In de alternatieven die gebruik maken van effluent zal dus ook met deze spreiding rekening moeten worden gehouden. In afbeelding 3.5 is de totale effluentproductie (beide RWZI's) per uur uitgezet [van der Graaf, 1995] en in afbeelding 3.6 staan de belangrijkste kwantitatieve uitgangspunten voor de alternatieven. Uit de daganalyse (appendix 3.5) bleek dat er op de maximum dag van de drinkwatervraag nog 9080 m³/h aan RWZI effluent is bij een drinkwatervraag van 8650 m³/h.

	Lekkanaal als bron	Effluent met duinpassage	Direct hergebruik RWZI effluent
Jaar	Beschikbaar: 158 miljoen m³ Nodig: 58,8 miljoen m³	Beschikbaar: 87,7 miljoen m³ Nodig: 58,8 miljoen m³	Beschikbaar: 87,7 miljoen m³ Nodig: 65,9 miljoen m³
Gem. Dag	Beschikbaar: 18000 m³/h Nodig: 6710 m³/h	Beschikbaar: 10000 m³/h Nodig: 6710 m³/h	Beschikbaar: 10000 m³/h Nodig: 7520 m³/h
Max. dag	Beschikbaar: 18000 m³/h Nodig: 6710 m³/h	Beschikbaar: 9080 m³/h Nodig: 6710 m³/h	Beschikbaar: 9080 m³/h Nodig: 8650 m³/h

Afbeelding 3.6: Kwantitatieve uitgangspunten voor de ontwerpen (gebaseerd op waterbalans en appendix 3.5).

3.4 Vergelijking met de watersituatie in Windhoek

Namibië is het dunst bevolkte land ter wereld en het meest droge land ten zuiden van de Sahara. Namibië heeft een permanent tekort aan water omdat de hoeveelheid regen die valt zeer beperkt is en zo goed als meteen verdamt. De rivieren die er zijn vormen de grens met de buurlanden en zijn te ver van de hoofdstad Windhoek. Het merendeel van het drinkwater voor Windhoek komt uit een reservoir 70km ten noorden van Windhoek. Deze zuivering heet de ‘Von Bach water treatment plant’.

Bijna al het huishoudelijke afvalwater van Windhoek komt uit bij de afvalwaterzuivering ‘Gammams Water Care Works’. Dit afvalwater wordt biologische gezuiverd en verblijft daarna nog zo’n drie à vier dagen in zogeheten ‘maturation ponds’. Hierna wordt het gezuiverde afvalwater hergebruikt om de parken en sportvelden te besproeien en als bron voor de drinkwaterproductie in de ‘New Goreangab Water Reclamation Plant’. Deze drinkwaterzuivering neemt ook nog water in vanuit het vervuilde Goreangab reservoir, maar dit aandeel is beperkt. In tabel 3.2 staan de belangrijkste kenmerken van de waterkwaliteit van zowel de bron (mengsel van het RWZI-effluent en water uit het vervuilde reservoir) als het product [Meijer, 2006].

Tabel 3.2: Belangrijkste water kwaliteitsgegevens van de New Goreangab Water Reclamation Plant [bron: Meijer, 2006].

Parameter	Eenheid	Ruw water			Product		
		P10	Gem.	P90	P10	Gem.	P90
Temperatuur	°C	16.5	20.9	25.2	16.8	21.1	25.3
Troebelheid	NTU	1.25	8.95	22.0	0.04	0.07	0.09
Zuurgraad	pH	7.88	8.26	8.88	7.53	7.92	8.31
Cryptosporidium ²	oocysten/liter	0.4	2.9	6.0	0	0	0
E-coli	#/liter	25	414	1125	0	0	0
Giardia	cysten/liter	0.5	2.0	4.0	0	0	0
Chemisch zuurstof verbruik	mg/liter	20	30	38	4.0	7.8	10
DOC	mg/liter	6.1	8.9	11.3	0.77	1.57	2.40
fosfaat	mg/liter	0.58	3.53	6.91	0.05	0.19	0.32
Totaal Kjehldahl stikstof	mg/liter	0.69	2.29	3.90	0.05	0.40	0.86
Opgeloste zuurstof	mg/liter	5.6	6.8	8.4	6.0	7.1	9.0
Zwevende stof	mg/liter	1.0	3.9	7.6	?	?	?
Calcium	mg/liter	79.1	103	125	77.0	99.1	120
Chloride	mg/liter	98.6	146	187	153	200	233
Koper	mg/liter	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Lood	mg/liter	<0.03	<0.03	0.05	<0.03	<0.03	0.03
Natrium	mg/liter	94.6	154	203	115	181	229
Nikkel	mg/liter	<0.03	<0.03	0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Zink	mg/liter	<0.03	<0.03	0.05	<0.03	0.06	0.08

² Waarden van *Cryptosporidium* en *Giardia* zijn gecorrigeerd voor een recovery van 30%.

Het water van zowel de ‘Von Bach treatment plant’ als de ‘New Goreangab Water reclamation plant’ wordt gepompt naar het ‘western pumpstation’. Daar worden beide bronnen vermengt en verdeeld over de diverse drinkwaterreservoirs in de stad. Rondom Windhoek liggen drie groepen grondwaterputten. Dit water wordt alleen gechloreerd en toegevoegd aan de drinkwaterreservoirs. Dit gebeurt zonder het water uit de drie grondwatergroepen met elkaar te mengen. Alle inwoners van windhoek krijgen dus een mengsel van oppervlaktewater en gezuiverd afvalwater. Voor een aantal stadsdelen wordt er aan dit mengsel nog grondwater toegevoegd. Voor de brouwerijen en frisdrankindustrie is een aparte aftakking gemaakt zodat zij alleen oppervlaktewater krijgen en geen gezuiverd afvalwater. In tabel 2.4 staan de belangrijkste kwantitatieve gegevens over de waterdistributie van Windhoek.

Tabel 3.3: belangrijkste kwantitatieve data over de water cyclus van Windhoek [Bron: Meijer, 2006]

Water zuivering	Hoeveelheid
Productie Von Bach water treatment plant (2003, totaal)	11,3 miljoen m ³
Productie New Goreangab Water Reclamation Plant (2003, totaal)	5,2 miljoen m ³
- Aandeel RWZI effluent	3,6 miljoen m ³
- Aandeel Goreangab Dam	1,6 miljoen m ³
Productie vanuit de grondwaterputten (2003, totaal)	3,7 miljoen m ³
Levering aan irrigatie water (2003, totaal)	1,3 miljoen m ³
Instroom in Gammams Water Care Works (2004, totaal)	11,2 miljoen m ³

De New Goreangab Water Reclamation Plant produceerde 17% van de totale drinkwatervraag van Windhoek in 2003. Van dit water bestond 64% uit hergebruikt afvalwater. Van al het water dat geleverd wordt komt 54% terug op de afvalwaterzuivering en van dit afvalwater wordt 32% hergebruikt voor de drinkwaterproductie. Dit komt neer op een recycling percentage van 3,7%.

3.5 Samenvatting

Er zijn globaal drie manieren om het afvalwater in de toekomst te gebruiken als bron voor de drinkwater productie: direct gepland hergebruik, indirect gepland hergebruik en ongepland hergebruik. Voor de zuivering van water uit het Lekkanaal voor infiltratie wordt met name gekeken naar de organische microverontreinigingen, zware metalen, troebelheid en zwevende stof. Voor het te infiltreren RWZI-effluent komen daar fosfaat en stikstof bij. Wanneer het RWZI-effluent gezuiverd wordt tot drinkwater moet het water ook voldoen aan de eisen m.b.t. hardheid en moeten de pathogene micro-organismen zijn verwijderd.

Wanneer het water uit het Lekkanaal gebruikt wordt zit daar ongeveer 4% effluent in. Bij indirect hergebruik (alternatief 2: ‘effluent met duinpassage’) neemt dit aandeel toe tot 40,5% en bij direct hergebruik (alternatief 3: ‘direct hergebruik RWZI effluent’) is dit 46%. Dit verschil komt door de menging met natuurlijk duinwater. Er is gemiddeld 10.000 m³/h aan effluent beschikbaar omdat op de RWZI ook het water uit de rivier-plassen waterleiding uitkomt. Bij de productie van infiltraat is er een overschot van 28,9 miljoen m³/jaar. Bij de productie van drinkwater is dit 23 miljoen m³/jaar. Op de maximum dag van de drinkwater-vraag is het overschot aan RWZI effluent gedaald tot 430 m³/h voor de productie van drinkwater uit RWZI effluent.

Referenties

- Berbee, R.P.M. *et al*; 'vergeten' stoffen in RWZI-effluenten in het Maasstroomgebied; RIZA, Lelystad 2004
- DWR; meetgegevens van de Amsterdamse RWZI's; DWR, Amsterdam 2004
- Ghijzen, R.T. en Hoogenboezem, W; Endocrine disrupting compounds in the Rhine and Meuse basin, Occurrence in surface, process and drinking water; RIWA , Nieuwegein 2000
- Van der Graaf, J.H.J.M.; Dictaat afvalwater behandeling 1 (CT4480); TU Delft, 1995
- Van der Hoek, J.P. en Mosch, M.J.M; Bestrijdingsmiddelen en infiltratie: Beleid Gemeentewaterleidingen Amsterdam; Amsterdam, april 2003
- Hofman, J. en Scholte P.; Bestrijdingsmiddelen en infiltratie - management samenvatting; Amsterdam, 2004
- Hopman, R. *et al*; Glyphosfaat en AMPA bij de drinkwaterbereiding; KIWA, Nieuwegein 1995
- HWL; het waterlaboratorium; internet 2004
- Staat der Nederlanden; infiltratiebesluit bodem; Den Haag 1993
- De Koning, J.; mondelinge toelichting op aantal stoffen in het RWZI-effluent; Delft, 2005
- Staat der Nederlanden; lozingsbesluit WVO stedelijk afvalwater; Den Haag 1996
- Medema, G.J. *et al*; Cryptosporidium en Giardia: voorkomen in rioolwater, mest en oppervlaktewater met zwem en drinkwaterfunctie; RIWA/RIVM/RIZA/KIWA 2001
- Medema, G.J. Onderliggende meetgegevens en persoonlijke toelichting van Dr. G.J. Medema op [Medema, 2001]
- Meijer, L; Evaluation of the Ultra Filtration: research report; Delft, 2006 (stageverslag)
- RIWA; meetgegevens van het Lekkanaal bij Nieuwegein over 2002 en 2003; RIWA, Nieuwegein 2004
- Roda Husman, A.M. en Medema, G.J.; inspectierichtlijn analyse microbiologische veiligheid drinkwater; KIWA water research, KIWA Nieuwegein 2004
- Ruiter, H. *et al*; Campylobacter in water; RIZA, Lelystad 2004
- Schijven, J.F., *et al*; Enterovirussen in het oppervlaktewater in Nederland – Emissie en verspreiding berekent met PROMISE en WATNAT – pilotstudie; RIVM, Bilthoven 1995
- Sacher, F en Stoks, P.G.; Pharmaceutical residues in waters in the Netherlands, results of a monitoring programme for RIWA; RIWA, Nieuwegein 2003

Schrap, S.M., *et al*; humane en veterinaire geneesmiddelen in Nederlands oppervlakte en afvalwater; RIZA, Lelystad 2003

Scholte, P.W. en Dulllemont, Y.J.; voorlopige risico-analyse Campylobacter en de aantoonbare verwijdering van Coli 44°C in het voorzuiveringsproces van WCB te Nieuwegein en het zuiveringsproces te Leiduin, trendanalyse over de jaren 1997 t/m 2002; WLB, 2003

STOWA; Bestrijdingsmiddelen in communaal afvalwater; STOWA, Utrecht 1997

STOWA, compendium RWZI-effluent als bron voor ander water, STOWA, Utrecht 2001

STOWA, verwijdering van hormoonverstorende stoffen in rioolwaterzuiveringsinstallatie's, STOWA, Utrecht 2003

Theunissen, J.J.H. *et al*; Enterovirusconcentraties bij de innamepunten van oppervlaktewater voor de bereiding van drinkwater; RIVM, Bilthoven 1998

Versteegh, J.F.M. *et al*; Geneesmiddelen in drinkwater en drinkwaterbronnen, Resultaten van het meetprogramma 2002; RIVM, Bilthoven 2003

Vethaak, A.D. *et al*; Estrogens and xeno-estrogens in the aquatic environment of the Netherlands, Occurrence, Potency and Biological Effects (LOES onderzoek); RIZA/RIKZ 2002

Waterbase; Internetsite van RIZA/RIKZ; internet 2004

Staat der Nederlanden; waterleidingbesluit; Den Haag 1960

4. Ontwerp van de alternatieven voor hergebruik

4.1 Uitgangspunten bij de ontwerpen

In het voorgaande hoofdstuk zijn drie alternatieven voor het hergebruik van afvalwater ontwikkeld. In dit hoofdstuk worden deze drie alternatieven uitgewerkt tot een voorlopig ontwerp. In al deze alternatieven wordt rekening gehouden met aanvullende wetgeving voor de organische micro verontreinigingen voor zover die nu nog niet in de het Infiltratie- of Waterleidingbesluit zijn opgenomen. Voor zowel infiltratie als drinkwater wordt een wettelijke eis van 0,1 µg/l voor alle organische micro verontreinigingen aangenomen.

In de eerste twee alternatieven ('Lekkanaal als bron' en 'RWZI-effluent met duinpassage') is de duinpassage opgenomen. Vanuit het oogpunt van de zuivering is een volledig gesloten terugwinning van het geïnfiltreerde water wenselijk, in tegenstelling tot de huidige, open terugwinning. De infiltratie van het water kan open blijven plaatsvinden, omdat dit weinig tot geen effect heeft op de zuivering. In de voorontwerpen worden deze veranderingen in de duinpassage als uitgangspunt genomen zonder verder in te gaan op de details van de infiltratie en de terugwinning.

De huidige waterkwaliteit van het Lekkanaal en de verwachte waterkwaliteit van het RWZI effluent staan in het voorgaande hoofdstuk vermeld. Deze waterkwaliteit is als uitgangspunt genomen voor de voorontwerpen. Door betere analyse- en detectiemethoden zullen er steeds meer stoffen in steeds lagere concentratie's worden gedetecteerd. In het tweede en derde alternatief ('RWZI-effluent met duinpassage' en 'direct hergebruik RWZI-effluent') wordt het RWZI effluent gebruikt als bron voor de drinkwaterbereiding. Het huidige RWZI effluent is het uitgangspunt voor deze voorontwerpen: veranderingen en uitbreiding van de RWZI wordt niet meegenomen in deze voorontwerpen. In appendix 4.1 staan, per te verwijderen stof(groep), mogelijke zuiveringsstappen beschreven met hun voor- en nadelen en in appendix 4.2 is een blokschema voor direct hergebruik opgenomen waarin wel wordt ingegrepen op de RWZI.

De Europese kaderrichtlijn water (KRW) zal in de komende jaren strengere eisen gaan stellen aan het lozen van het effluent. Het zal dan noodzakelijk worden voor de RWZI om een derde zuiveringsstap te gaan bouwen om aan de strengere eisen voor fosfaat (0,15 mg P/l) en stikstof (2,2 mg N/l) te voldoen. In de alternatieven 'effluent met duinpassage' en 'direct hergebruik RWZI effluent' wordt deze lozingseis meegenomen in de voorontwerpen van deze zuiveringen. Aangezien in het eerste alternatief het water uit het Lekkanaal wordt gebruikt en geen RWZI-effluent, wordt de derde zuiveringsstap op de RWZI in dit alternatief buiten beschouwing gelaten.

4.2 Relevante bestaande ontwerpen

4.2.1 Huidige voorzuivering Nieuwegein

In de huidige voorzuivering te Nieuwegein wordt het water, nadat het is ingenomen uit het Lekkanaal, verdeeld over 3 straten. In die drie straten wordt vlokmiddel (FeCl_3) toegevoegd en worden er vlokken gevormd. Deze vlokken nemen allerlei deeltjes en sediment uit het water mee en bezinken in de sedimentatietanks. Op deze manier worden fosfaat, zware metalen, troebelheid en zwevende stof uit het water verwijderd en opgeslagen in de slibvlokken. Hierna wordt het water over snelle zandfilters (1m bedhoogte) geleid en in de filtraatkelders opgeslagen. Het sediment wordt op aparte droogvelden ontwaterd en gaat naar een slibverwerkingsbedrijf. Deze voorzuivering is, net als de transportleidingen inmiddels 50 jaar oud.

4.2.2 Waterzuivering in Wulpen

In Wulpen wordt het RWZI-effluent gezuiverd en geïnfilterd. De afvalwaterzuivering is een standaard biologische, secundaire zuivering met extra fosfaat verwijdering (ijzer dosering). Deze zuivering levert een RWZI-effluent met een constante en goede kwaliteit. In de zomer wordt bijna al het RWZI-effluent gebruikt voor infiltratie en in de winter wordt er een klein overschot geloosd op het oppervlaktewater. Het RWZI-effluent dat wordt ingenomen gaat eerst door een 1mm rooster en dan in een buffertank (met chloordosering tegen de nagroei). Hierna volgt een ultrafiltratie (poriën van $0,1\mu\text{m}$) die outside-in wordt bedreven. De tubilairen krijgen zo aan de binnenkant het filtraat te verwerken en het vuil blijft op de buitenkant achter. Er wordt gedurende 40% van de tijd lucht aan het water toegevoegd en dit zorgt ervoor dat de tubilairen schoon worden geblazen. Terugspoelen gebeurt zomers gemiddeld eens in de 10 minuten en in de wintermaanden gemiddeld eens per 8 minuten. Na 4 uur (zomers na 5 uur) wordt er een uitgebreidere terugspoelen gedaan met een chloor dosering. Maandelijks wordt een uitgebreide chemische reiniging toegepast. Netto wordt een recovery van 86 à 87% gehaald.

Na de ultrafiltratie volgt reverse osmosis (RO) in twee stappen. Om biofouling tegen te gaan wordt er monochlooramine gedoseerd. De RO heeft een recovery van 75%. Het water krijgt dan nog een kleine pH correctie en wordt dan over 2,5km naar het infiltratiegebied getransporteerd. Gemiddeld wordt er $285\text{ m}^3/\text{h}$ geproduceerd en uit het duin wordt $400\text{ m}^3/\text{h}$ onttrokken via een gesloten terugwinning. De totale hardheid is ook gedaald door dit nieuwe systeem.

Het gehele systeem kost $0,15\text{ €/m}^3$ aan bedrijfsvoering, $0,15\text{ €/m}^3$ aan investering en $0,15\text{ €/m}^3$ aan vergunningen (zowel voor lozing van afvalwater als voor de onttrekking van grondwater) [IWVA, 2005 en toelichting Dhr. E. Van Houtte] en [van Houtte, 2003].



Afbeelding 4.1: RO membranen in Wulpen.

4.2.3 Waterzuivering in Windhoek

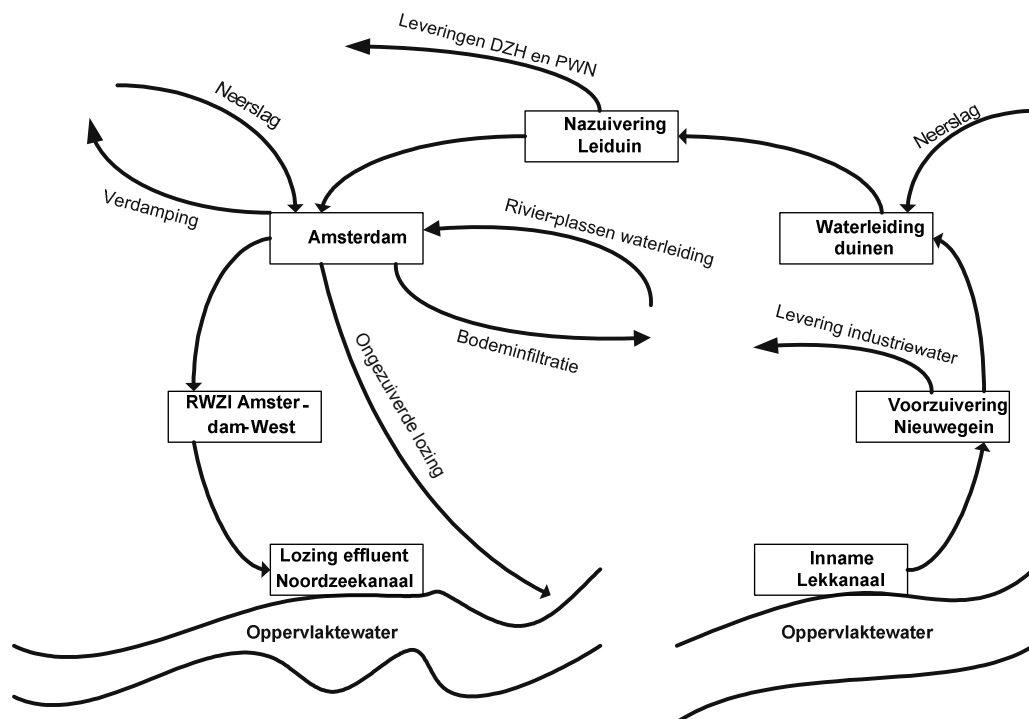
In Windhoek wordt sinds 1968 het RWZI-effluent gebruikt voor de drinkwaterzuivering. Het aandeel van het afvalwater als bron nam geleidelijk aan toe en in december 2002 is de zuivering vernieuwd en wordt het effluent als primaire bron gezien. Deze bron kan gemengd worden met water uit een reservoir, maar dit reservoir heeft ook een slechte waterkwaliteit vanwege illegale woningbouw aan de oevers. Daarbij komt dat door het wisselend en hete klimaat ook de hoeveelheid water in dit reservoir sterk fluctueert. De zuivering is ontworpen op een dagelijks levering van 21.000 m³ drinkwater. Tegelijkertijd met de ingebruikname van deze zuivering zijn er ook veel verordeningen omtrent watergebruik geïntroduceerd en wordt het water progressief geprijsd om het waterverbruik te verminderen [Rietveld, 2004].

De New Goreangab Water Reclamation Plant Kan maximal 1100 m³/h aan water innemen aan gezuiverd afvalwater of water uit het Goreangab reservoir. Aan dit water wordt het gerecyclede water vanuit de ultra filtratie, de zand- en koolfiltratie toegevoegd. Als eerste gaat het water door een pre-ozonisatie en daarna wordt het water chemisch gestabiliseerd. Vlokmiddel wordt aan het water toegevoegd en daarna gaat het door de flotatie. In totaal zijn er vier flotatietanks en wordt de schuimlaag iedere 8 uur automatisch verwijderd. Hierna volgt de snelle zandfiltratie over 5 dubbellaags filterbedden.

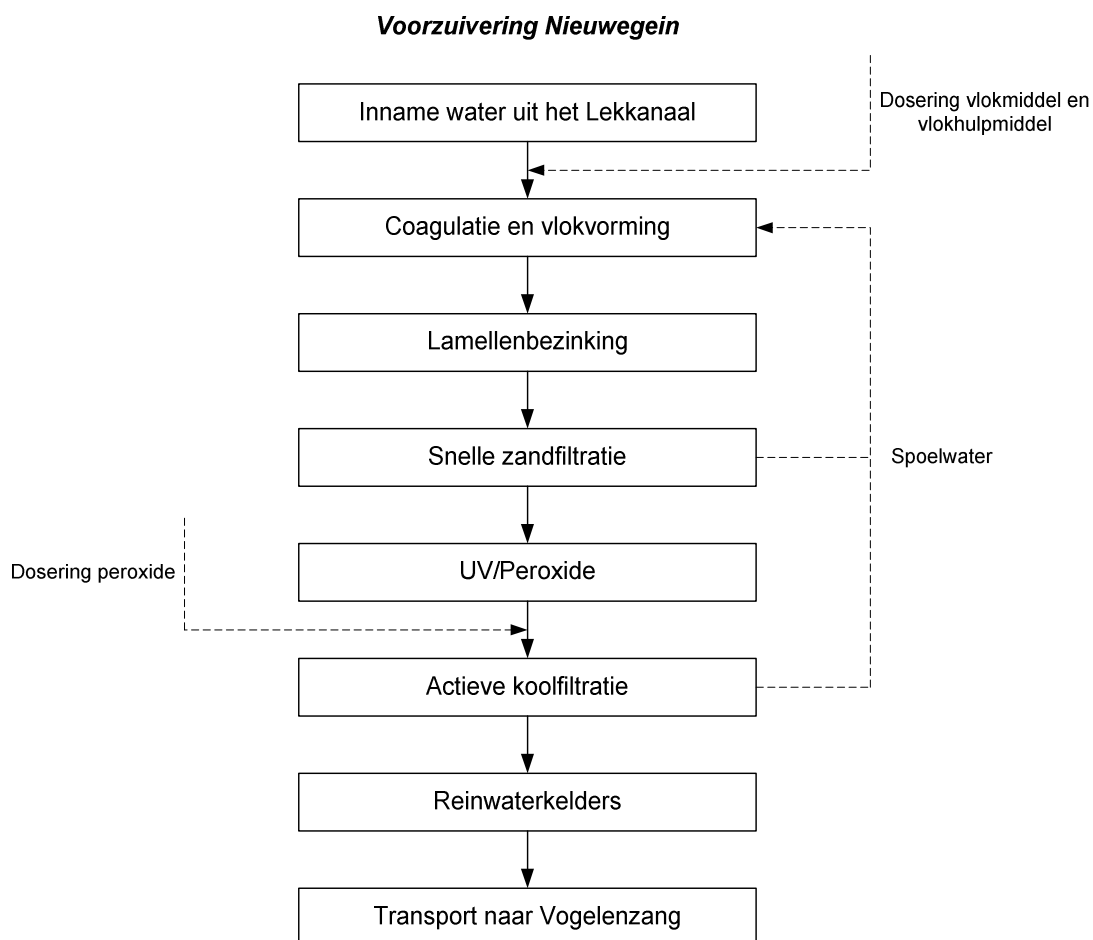
Na de zandfiltratie volgt de hoofdozonisatie. Het ontwerp van de ozonisatie is gebaseerd op een contact tijd van 20 (mg min)/l. De organische microverontreinigingen en NOM worden daarna verwijderd in de actieve koolfiltratie. De actieve kool is opgebouwd uit drie trappen met zeven filters, waarvan de eerst trap biologische groei vertoont. Het ontwerp is gebaseerd op een minimale EBCT van 30 minuten. De laatste zuiveringsstap is de ultrafiltratie (UF). De UF bestaat uit 5 racks, ieder met 14 drukvaten en 4 modules per drukvat. In totaal is er 9800m² aan membraanoppervlak geïnstalleerd. Het systeem is ontworpen op een flux van 107 L/m²h en een recovery van 90%. Als laatste stap gaat het water nog door een chloorcontact-tank met een contacttijd van minimaal één uur. Dit is om nagroei in het leidingnet te voorkomen. Hierna wordt het water opgeslagen en getransporteerd naar Windhoek [Meijer, 2006 en Kivit, 2003]



*Afbeelding 4.2:
New Goreangab
Water Reclama-
tion Plant.*



Afbeelding 4.3: Waterkringloop alternatief 1: het Lekkanaal als bron.



Afbeelding 4.4: Blokschema voorzuivering Nieuwegein.

4.3 Voorzuivering Nieuwegein

In het eerste alternatief worden de bestaande transportleidingen en voorzuivering te Nieuwegein volledig vervangen door nieuwe infrastructuur. De huidige nazuivering te Leiduin blijft ongewijzigd. Het voorgezuiverde water wordt geïnfiltreerd in het duingebied en moet daarom voldoen aan de eisen die gesteld worden in het Infiltratiebesluit Bodembescherming (IB). In afbeelding 4.3 staat de waterkringloop voor dit alternatief.

Troebelheid en zwevende stof moeten verwijderd worden in de voorzuivering om het water te kunnen infiltreren. De concentratie fosfaat moet verlaagd worden om de biologische stabiliteit in de leidingen en infiltratiepanden te garanderen. Om te voldoen aan de in het IB gestelde eisen moeten ook zware metalen en organische microverontreinigingen worden verwijderd.

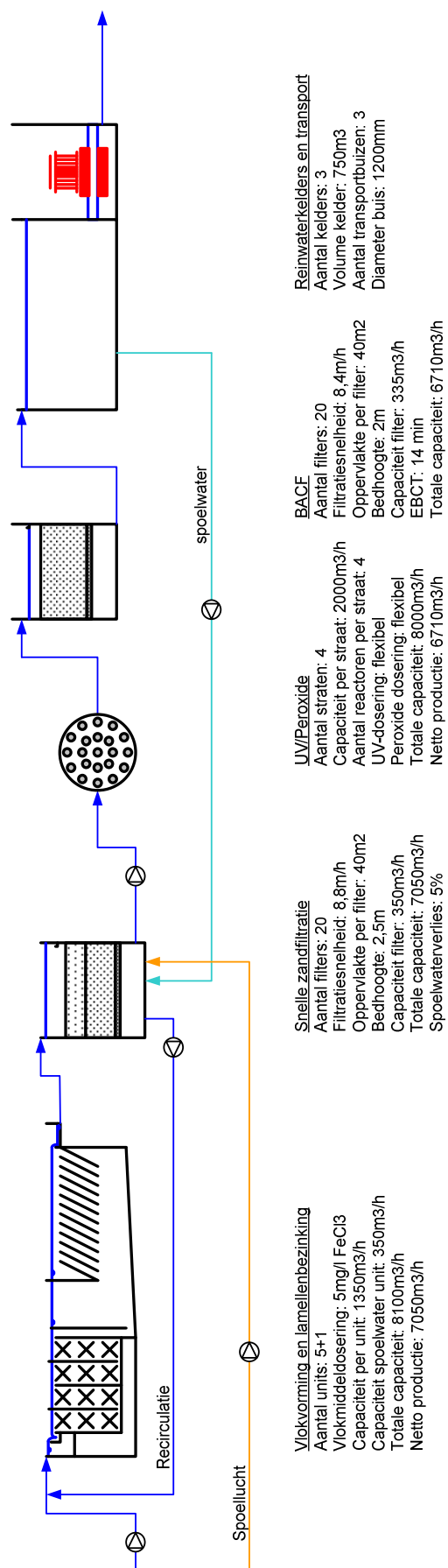
In afbeelding 4.4 is het blokschema weergegeven voor de voorzuivering Nieuwegein. Dit blokschema volgt in hoofdlijnen het bestaande ontwerp van de voorzuivering in Nieuwegein. Er zijn twee belangrijke verschillen met het bestaande ontwerp. Als eerste is er gekozen voor lamellenbezinking in plaats van de traditionele bezinking, omdat een lamellenbezinking tot twintig keer minder ruimte in beslag neemt met hetzelfde zuiveringsrendement [van Dijk, 2001]. Een tweede verschil is de toepassing van UV/Peroxide en biologisch actieve koolfiltratie (BAKF) voor de verwijdering van organische microverontreinigingen.

Voor de verwijdering van fosfaat, zware metalen, troebelheid en zwevende stof is gekozen voor een traditionele voorzuivering met vlokvorming, vlokverwijdering en filtratie. Er zijn diverse andere mogelijkheden voor de verwijdering van deze stoffen en de voor- en nadelen van deze systemen worden behandeld in appendix 4.3.

Na deze eerste stappen moeten dan nog de organische microverontreinigingen worden verwijderd. Indien de stoffen slechts een klein beetje boven de normen uit het IB komen zou een deelstroom toepassing te overwegen zijn, maar in dit ontwerp wordt het zekere voor het onzekere genomen en wordt gekozen voor een oplossing op de gehele stroom. De oplossingen met actieve kool vallen af, omdat zij geen barrière zijn voor polaire stoffen. Voor de verwijdering van organische microverontreiniging blijven dan nanofiltratie en UV/peroxide [Kruithof, 2004] over. In tabel 4.1 staan voor beide processen kort de voor- en nadelen opgesomd. Een belangrijk voordeel van de UV/peroxide is dat de dosering van zowel UV licht als peroxide is af te stemmen op de werkelijke vracht organische microverontreinigingen in de bron en daarom wordt hier voor UV/peroxide gekozen.

Tabel 4.1: vergelijking van nanofiltratie met UV/Peroxide voor de verwijdering van organische microverontreinigingen.

Nanofiltratie	UV/Peroxide
Concentreert organische micro's	Breekt organische micro's echt af
Lozing concentraatstroom	Geen concentraatstroom
Geen bijproducten	Mogelijk ontstaan van bijproducten
Incidenteel chemicaliën dosering (biofouling)	Structureel chemicaliën dosering
Desinfectie	Desinfectie
Ietsje groter en iets duurder (energie, vervanging)	Kleiner en iets goedkoper (energie, chemicaliën)
Geen barrière NDMA	Wel barrière NDMA
Product kalkagressief: pH correctie noodzakelijk	Product biologisch instabiel: filtratie noodzakelijk
Minder flexibel	Flexibiliteit in dosering chemicaliën en UV-licht



Afbeelding 4.5: Processchema voorzuivering Nieuwegein.

Na de UV/peroxide is het water biologisch instabiel en dit kan nagroei in de transportleidingen of infiltratiepanden veroorzaken. Ook mag er geen waterstofperoxide in de infiltratiepanden komen en daarom is het nodig dat er na de UV/peroxide nog een filtratiestap volgt. Het plaatsen van de UV/peroxide na de lamellenbezinking kan niet, omdat de restvlokken het proces zouden verstoren. Een filtratiestap met actieve kool zorgt ervoor dat apolaire stoffen twee barrières hebben in de zuivering en heeft daardoor de voorkeur boven een zandfiltratie. Dit koolfilter zal, door de dosering van peroxide, vermoedelijk biologisch geactiveerd worden.

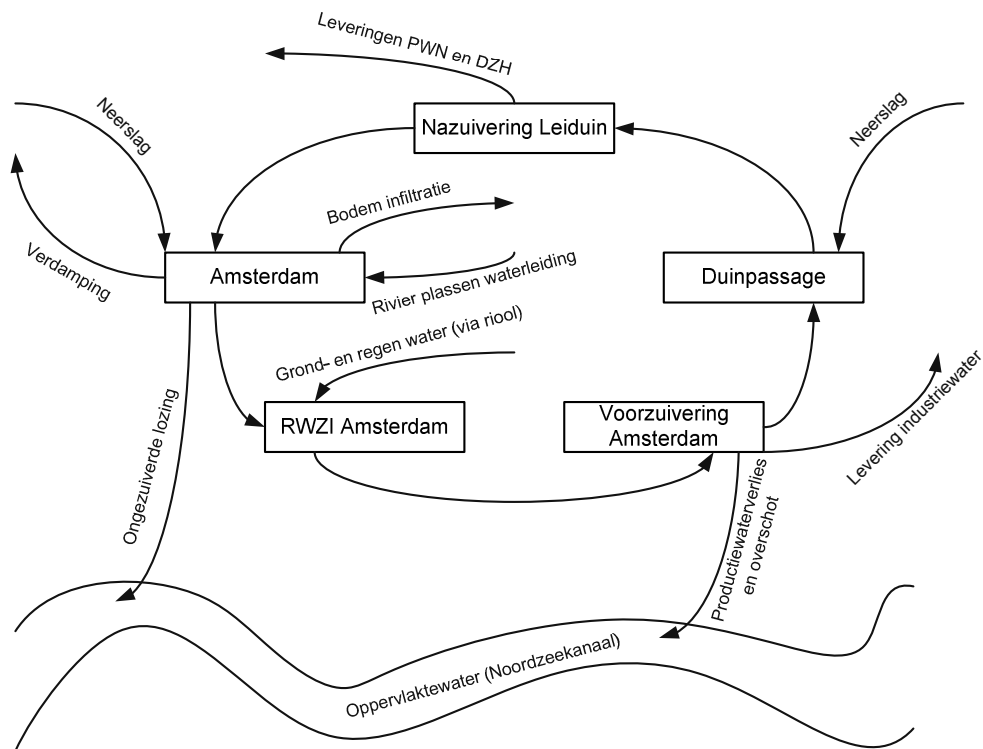
In afbeelding 4.5 is het processchema voor de voorzuivering in Nieuwegein weergegeven. Er wordt $6710\text{ m}^3/\text{h}$ aan water ingenomen uit het Lekkanaal. Vlokmiddel en vlokhelpmiddel wordt gedoseerd bij de overstortdrempel en mengt zich met het water. De vlokvorming vindt dan verder plaats met behulp van de roerwerken. Het water verblijft zo'n 20min in de coagulatie waarna de gevormde deeltjes kunnen bezinken in de sedimentatietank. Een diffusorwand verdeelt het water met de deeltjes over de gehele diepte van de tank. De grotere deeltjes bezinken direct en de kleinere deeltjes bezinken tussen de lamellen. De tank heeft een klein bodemverhang zodat het vuil afrolt naar het diepe stuk. De tanks hebben een oppervlaktebelasting is $0,9\text{ m}^3/\text{h}$ [van Dijk, 2001]. In totaal zijn er zes units met coagulatie en lamellenbezinking. Eén van deze units wordt speciaal ingericht voor de behandeling van spoelwater. In deze unit is de oppervlaktebelasting lager en kan er meer vlokmiddel worden gedoseerd.

Na de lamellenbezinking volgt een snelle zandfiltratie over 20 snelfilters. De filterbedden hebben een oppervlakte van 40 m^2 . Dit oppervlak wordt door Waternet op de nazuivering te Leiduin ook gebruikt en omwille van de eenvoud is ook hier gekozen voor filterbedden van 40 m^2 . De filters worden uitgevoerd als dubbellaags zandfiltratie met een toplaag van 1m antraciet en een onderlaag van 1,5m fijner zand. De filtratiesnelheid is dan $8,8\text{ m}^3/\text{h}$ en het spoelwaterverlies is geschat op 5%.

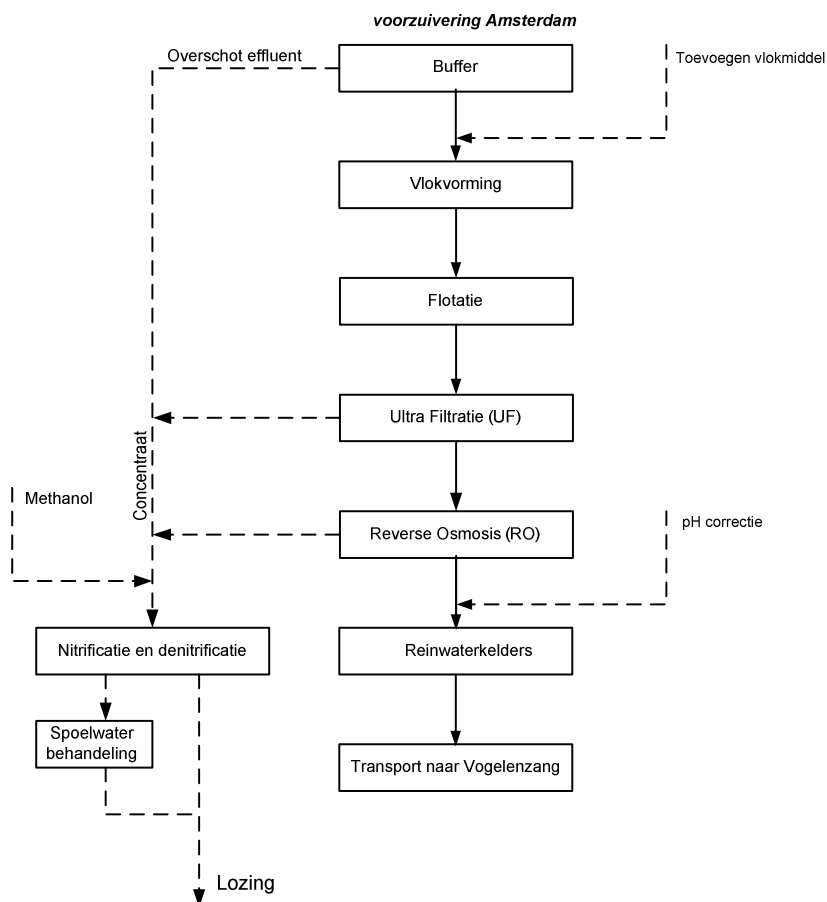
De UV/peroxide is ontworpen met een flexibele dosering van zowel UV licht als peroxide. De UV/peroxide bestaat uit vier straten met vier reactoren. Per straat kan een debiet van $2000\text{ m}^3/\text{h}$ worden behandeld. Deze plaatsing van reactoren is hetzelfde als bij PWN in Andijk [Kruithof, 2004]. Het UV licht zal waarschijnlijk in het water uit het Lekkanaal verder doordringen dan in het IJsselmeerwater van PWN in Andijk. Hierdoor breken de organische microverontreinigingen makkelijker af en kan de dosering van zowel UV licht als peroxide lager worden ingesteld in de voorzuivering Nieuwegein dan in Andijk.

Als laatste zuiveringsstap volgt dan een biologisch actieve koolfiltratie (BAKF). Dit is een tweede barrière voor bestrijdingsmiddelen en na afloop is het water weer biologisch stabiel. In de actieve koolfiltratie worden restproducten van de UV/peroxide en het overschot aan peroxide afgebroken. In totaal zijn er 20 filters met een filtratiesnelheid van $8,4\text{ m}^3/\text{h}$. De filters hebben wederom een oppervlakte van 40 m^2 en een bedhoogte van 2m actieve kool. De EBCT van de koolfiltratie is 14 minuten en dit zal voldoende zijn om de restproducten af te breken.

Indien de innamenpompen een opvoerhoogte hebben van ongeveer vier meter, dan kan het water de vlokvorming, de lamellenbezinking en de snelle zandfiltratie onder vrij verval doorlopen. Het zal niet lukken om het gehele proces onder vrij verval te laten plaatsvinden en daarom wordt er voor de UV/Peroxide een tweede pompfase geplaatst met een opvoerhoogte van ook ongeveer vier meter. Na de zuivering wordt het water opgeslagen in drie reinwaterkelders van 750 m^3 en getransporteerd in drie 1200mm buizen van naar het duingebied. Na de duinpassage en de gesloten terugwinning volgt de nazuivering te Leiduin en de distributie van het water.



Afbeelding 4.6: Waterkringloop alternatief 2: Effluent met duinpassage.



Afbeelding 4.7: Blokschema voorzuivering Amsterdam.

4.4 Voorzuivering Amsterdam

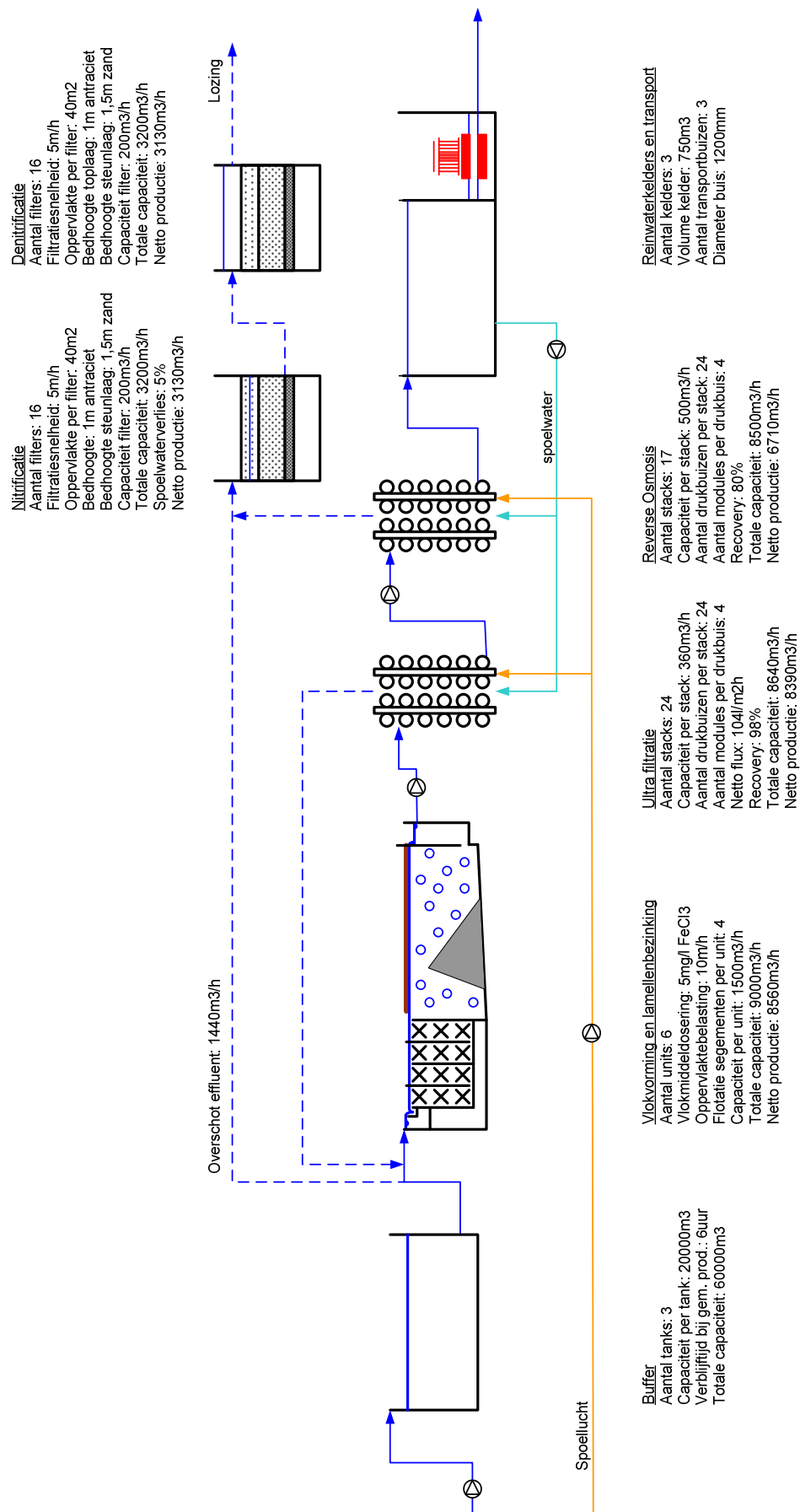
In het tweede alternatief wordt er achter de RWZI Amsterdam-West een nieuwe voorzuivering van drinkwater gebouwd. Ook moeten er transportleidingen naar het duingebied worden aangelegd. De duinpassage en nazuivering te Leiduin blijven ongewijzigd. Het voorgezuiverde water wordt geïnfiltrerd in het duingebied en moet daarom voldoen aan de eisen die gesteld worden in het infiltratiebesluit bodembescherming (IB). Het evenaren van de huidige kwaliteit van het infiltraat is een aanvullend streven. In afbeelding 4.6 is de waterkringloop voor dit alternatief weergegeven.

Evenals in het voorgaande alternatief moeten troebelheid, zwevende stof, fosfaat, nitraat, zware metalen en organische microverontreinigingen worden verwijderd. Tijdens het watergebruik worden er zouten en mineralen toegevoegd aan het water [zie tabel 3.1]. Wanneer het water blijft recirculeren, zoals in dit ontwerp het geval is, zal de concentratie opgeloste zouten steeds verder toenemen. Om de huidige drinkwaterkwaliteit te evenaren is het daarom nodig om een gedeelte van de zouten en mineralen uit het water te verwijderen.

In afbeelding 4.7 is het blokschema voor de voorzuivering Amsterdam weergegeven. Dit ontwerp volgt op hoofdlijnen het ontwerp uit Wulpen, omdat ook daar het water wordt voorgezuiverd en in het duin wordt geïnfiltrerd. Er zijn echter twee belangrijke verschillen. Het eerste verschil is de toevoeging van de vlokvorming en flotatie voor de ultrafiltratie. De flotatie verwijdert al veel van de in de coagulatie gevormde vlokken zodat de ultrafiltratie minder snel zal verstoppert. Op de RWZI vindt na de biologische zuivering nog een bezinkingsproces plaats in twee stappen. De praktijkervaring uit Windhoek laat zien dat de zeer kleine en lichte deeltjes die nog in het RWZI-effluent zitten het beste kunnen worden verwijderd met een flotatie [Kivit, 2003].

Het tweede verschil is de keuze voor een keramisch membraan [Bottino, 2001] in plaats van een traditioneel membraan. Een traditioneel UF membraan heeft een recovery van ongeveer 90% [Gijsbertsen, 2004] terwijl het waterverlies bij een keramisch membraan veel lager is. Wanneer in dit ontwerp traditionele membranen zouden worden toegepast kan deze zuivering onvoldoende infiltraat leveren om aan de huidige drinkwatervraag vanuit de rivier-duin waterleiding te voldoen. Bij de toepassing van een keramisch membraan met een geschatte recovery van 98% ontstaan er geen tekorten.

Het enige proces dat de zouten kan verwijderen is RO. Wanneer de RO een recovery heeft van 80% moet zij op een deelstroom van tenminste 26% worden toegepast (zie appendix 4.1) om de zoutconcentratie gelijk te houden aan het huidige drinkwater. Een bijkomend voordeel van RO is dat ook de stikstofbindingen en organische microverontreinigingen worden verwijderd uit het water. Tot op heden is er slechts één stof bekend die niet verwijderd wordt door RO en dat is NDMA. De concentratie van NDMA is nog erg laag en zal ook nog eens verdund worden in de duinpassage en daarom worden er in dit ontwerp geen aanvullende maatregelen genomen om NDMA te verwijderen. Na de RO is het water kalkagressief en moet zowel de pH als de concentratie waterstofcarbonaat verhoogd worden. Dit kan door kalkmelk toe te voegen aan het water.



Abbeelding 4.8: Processchema voorzuivering Amsterdam.

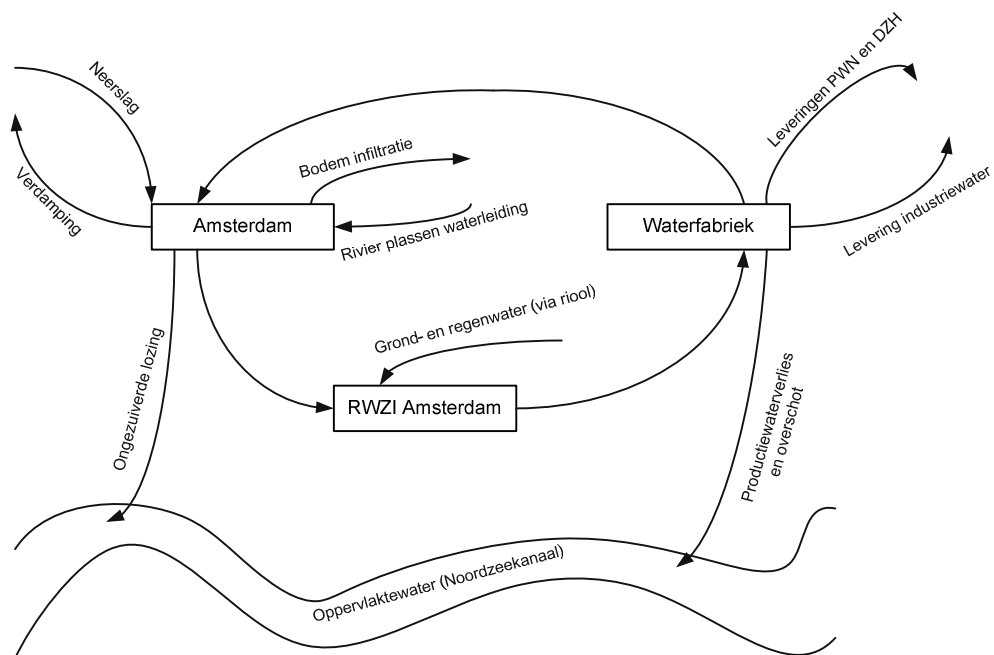
Het concentraat van de RO heeft een hoge concentratie stikstofbindingen, organische microverontreinigingen en zouten. Om dit concentraat te mogen lozen op het oppervlaktewater moet het voldoen aan de in de KRW gestelde eisen. De KRW eist dat de stikstofconcentratie wordt verlaagd tot 2,2mg N/l. De benodigde nitrificatie en denitrificatie kan plaatsvinden in zandfilters [Miska, 2005]. Voor de denitrificatie is het wel noodzakelijk om een extra koolstofbron(bijv. methanol) toe te voegen aan het water. Het overschot aan effluent kan ook aan deze nitrificatie en denitrificatie worden toegevoegd, maar tijdens perioden van extreem hoge aanvoer van RWZI-effluent zal er toch een gedeelte van het water geloosd moeten worden met een beperktere zuivering. De filtratiesnelheden van de nitrificatie en denitrificatie zullen daarom variëren met de aangevoerde hoeveelheid RWZI-effluent. Deze nitrificatie en denitrificatie is feitelijk ook een derde trap zuivering van de RWZI.

In afbeelding 4.8 is het processchema van de voorzuivering Amsterdam weergegeven. Het RWZI-effluent moet worden ingenomen en opgevangen in een buffer om de pieken in het RWZI-effluent op te vangen. Aangezien het RWZI-effluent hetzelfde dagpatroon doorloopt als de drinkwatervraag moet er een opslagcapaciteit worden gecreëerd die gelijk is aan zes keer de gemiddelde uurproductie. Voor dit ontwerp komt dat neer op drie buffers met ieder een volume van 20.000 m³.

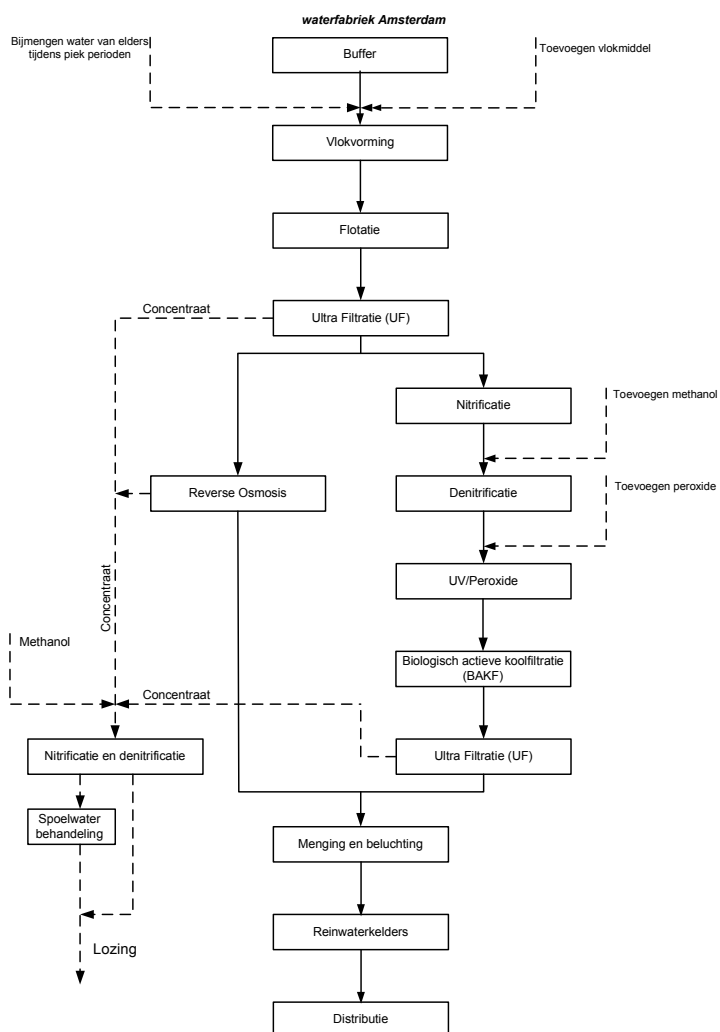
De eerste zuiveringsstappen voor het infiltraat zijn dan de vlokvorming en flotatie. Gekozen is voor zes flotatie units die ieder een debiet van 1500 m³/h hebben en een oppervlaktebelasting van 10m/h. De zes flotatie units worden weer in vier smallere segmenten verdeeld om een propstroom te creëren [van Dijk, 2001]. De restvlokken worden verwijderd in de ultrafiltratie. In totaal zijn er 24 stacks met ieder 24 drukbuizen. Per drukbuis zijn er vier modules geplaatst met ieder een membraanoppervlak van 35m² [Gijsbertsen 2004]. Er worden keramische membranen toegepast zodat de UF kan draaien op een hoge recovery. Hier is een recovery van 98% aangenomen en de membranen zijn ontworpen op een netto flux van 104 l/m²h. Het kleine beetje concentraat dat toch geproduceerd wordt kan worden gerecycled in de flotatie.

Na de UF volgt de reverse osmosis. In totaal zijn er 17 stacks nodig met ieder 24 drukvaten. PWN past in Heemskerk ook RO toe in stacks met 24 drukvaten. De stacks hebben daar ieder een voeding van 500m³/h [van Dijk, 2001]. Voor deze stacks is deze voeding als uitgangspunt genomen. De RO is ontworpen op een recovery van 80% en het concentraat wordt naar de nitrificatie weggepompt. De nitrificatie en denitrificatie die het overschot aan RWZI effluent en het concentraat behandelen zijn hetzelfde ontworpen als de snelle zandfiltratie uit het voorgaande ontwerp. Voor zowel de nitrificatie als de denitrificatie zijn er 16 filters nodig. Onder gemiddelde omstandigheden is de filtratie 5m/h en dit geeft de bacteriën de tijd voor de biologische omzettingen. Periodiek zullen de filters teruggespoeld moeten worden.

Indien er bij de inname van het RWZI-effluent pompen worden geplaatst kunnen de coagulatie en flotatie onder natuurlijk verval plaatsvinden. Deze eerste pompen hebben maar een beperkte opvoerhoogte van twee à drie meter nodig. Voor zowel de UF als de RO moeten pompen worden geplaatst. De pompen voor de UF moeten een opvoerhoogte van ongeveer tien meter hebben terwijl de pompen voor de RO een opvoerhoogte van 400 meter moeten hebben. Voor het transportsysteem wordt ook hier gekozen voor drie filtraat kelders met een volume van 750m³ per stuk en drie transportbuizen met een diameter van 1000mm. Nu liggen er al transportleidingen naar Amsterdam toe om het drinkwater uit Leiduin te transporteren. De nieuwe transportleidingen die het infiltraat vervoeren kunnen dit tracé ook volgen. Voor de duinpassage geldt hetzelfde als in het eerste alternatief. Ook hier vindt de terugwinning uit het duin gesloten plaats en verandert er niets aan de nazuivering Leiduin en de verdere distributie.



Afbeelding 4.9: Waterkringloop alternatief 3: Directe hergebruik van RWZI effluent



Afbeelding 4.10: Blokschema waterfabriek Amsterdam.

4.5 Waterfabriek Amsterdam

In het derde alternatief wordt er achter de RWZI Amsterdam-West een nieuwe drinkwaterzuivering gebouwd die het RWZI-effluent als bron heeft. Deze drinkwaterzuivering krijgt de naam 'waterfabriek Amsterdam' mee. De huidige nazuivering Leiduin, de duinpassage en het transport komen te vervallen. Deze zuivering produceert drinkwater en moet daarom voldoen aan de gestelde eisen in het Waterleidingbesluit en er wordt naar gestreefd om de huidige waterkwaliteit te evenaren. In afbeelding 4.9 is de waterkringloop voor dit alternatief weergegeven.

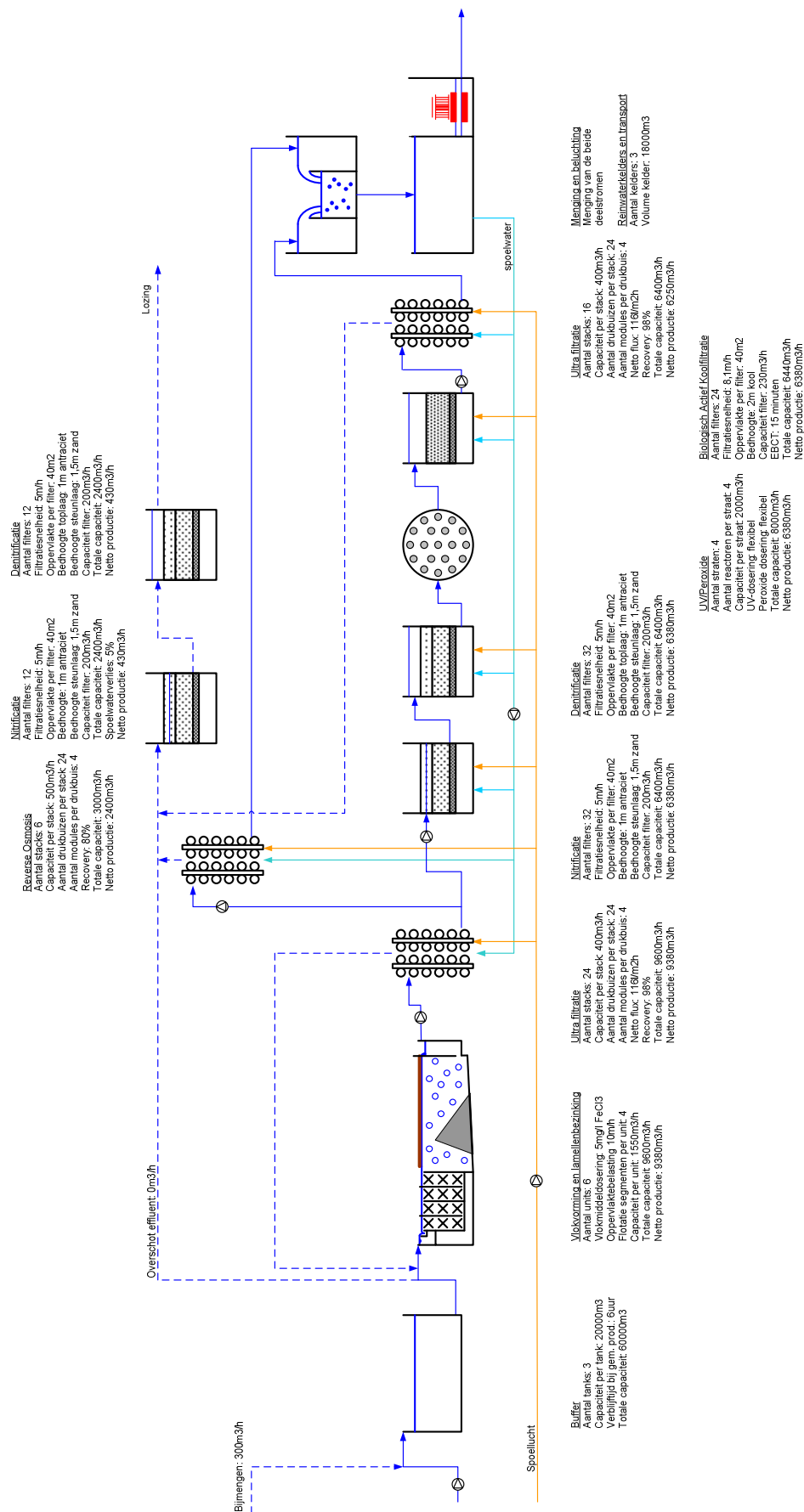
Troebelheid, zwevende stof, zware metalen, stikstof, fosfaat en organische microverontreinigingen moeten, net als in de voorgaande alternatieven, verwijderd worden. De opmerking over de verwijdering van zouten uit de vorige paragraaf geldt ook hier. Omdat dit water direct wordt gebruikt als drinkwater moet ook de hardheid worden gereduceerd, de biologische stabiliteit worden gegarandeerd en moeten de pathogene micro-organismen uit het water worden verwijderd.

In afbeelding 4.10 is het blokschema voor de waterfabriek Amsterdam weergegeven. Het ontwerp volgt op hoofdlijnen het blokschema uit de vorige paragraaf, omdat de bron hetzelfde is en grotendeels dezelfde stoffen moeten worden verwijderd. De toepassing van reverse osmosis op de gehele waterstroom is hier niet mogelijk vanuit een kwantitatief oogpunt. Wanneer RO op de gehele waterstroom wordt toegepast is er op een gemiddelde dag nog een overschot van $320\text{ m}^3/\text{h}$ aan RWZI-effluent, maar op de maximum dag van de drinkwatervraag ontstaat er een tekort van $1530\text{ m}^3/\text{h}$.

Er moet daarom gekeken worden naar deelstroomtoepassingen voor RO. Wanneer het minimale deelstroom percentage van 26% wordt toegepast (bij een recovery van 80% op de RO) zou de concentratie van chloride gelijk blijven ten opzichte van het huidige drinkwater. Als dat wordt toegepast op dit ontwerp ontstaat er op de maximum dag van de drinkwatervraag nog steeds een tekort van $215\text{ m}^3/\text{h}$. Er ontstaat dus hoe dan ook een tekort op de maximum dag van de drinkwatervraag als de huidige drinkwatervraag wordt aangehouden en de huidige waterkwaliteit gehaald moet worden en een externe, extra waterbron is noodzakelijk. Enkele mogelijkheden om het tekort op te lossen zijn:

- Hogere recovery op de RO.
- Productie van de 'Rivier-plassen' waterleiding vergroten.
- Vermindering of stopzetting van de leveringen aan DZH en/of PWN.
- Bijmengen van water uit het Noordzeekanaal.
- Bijmengen van natuurlijk duinwater.

Zowel de toekomstige drinkwatervraag als de RWZI-effluent productie zijn onzekere factoren en maken het moeilijk om te voorspellen of dit tekort daadwerkelijk, en in deze mate, zal ontstaan. In dit ontwerp wordt daarom verder niet ingegaan op dit tekort en wordt de RO met een recovery van 80% in een deelstroom toegepast.



Afbeelding 4.11: processchema waterfabriek Amsterdam

In de andere deelstroom moeten dan ammonium, nitraat, organische microverontreinigingen en pathogene micro-organismen worden verwijderd, net als in de RO. Voor de verwijdering van ammonium en nitraat wordt er gekozen voor een biologische verwijdering in zandfilters. Omdat het water voor deze zandfilters al door een UF installatie is gegaan is het water al vrij van troebelheid en zwevende stof. De zandfilters zullen daarom niet snel verstoppert en het terugspoelen zal slechts incidenteel plaatsvinden. Tijdens de nitrificatie (in een droogfiltratie) wordt er zuurstof aan het water toegevoegd, terwijl de denitrificatie (in een natfiltratie) in zuurstofarme omstandigheden plaatsvindt. Ammonium en nitraat kunnen ook chemisch worden verwijderd, maar dat brengt grote nadelen vanwege de enorme doseringen die dan noodzakelijk zijn.

Na de nitrificatie en denitrificatie volgt UV/Peroxide en biologische actieve koolfiltratie. Het water dat de denitrificatie verlaat zal ook veel biologische activiteit vertonen. Naast de verwijdering van de organische microverontreinigingen worden ook (pathogene) micro-organismen gedood door het UV licht. Dit zorgt ervoor dat de biologische activiteit uit het water verdwijnt. UV/peroxide is het enige proces dat ook de polaire stoffen uit het water verwijdert zonder een vuilwaterstroom. Voor de polaire stoffen zijn er dan twee barrières in de vorm van vlokvorming en de UV/Peroxide; voor de apolaire stoffen zijn dan zowel de UV/peroxide als de BAKF een barrière. Om voldoende microbiologische zekerheden in te bouwen wordt er aan deze deelstroom nog een tweede ultrafiltratie toegevoegd [EPA, 2003]. Pathogene micro-organismen hebben dan in deze deelstroom drie barrières (UF, UV/Peroxide en UF) en in de andere deelstroom twee (UF en RO).

In afbeelding 4.11 is het processchema voor de waterfabriek Amsterdam weergegeven. In tabel 4.2 staan de belangrijkste kerntallen van de processen bij een gemiddelde en een maximum dag van drinkwaterlevering.

Tabel 4.2: Belangrijkste kerntallen voor een gemiddelde en maximum dag van drinkwatervraag.

Parameter	Gemiddelde dag	Maximum dag
Tekort/overschot aan RWZI effluent	1610 m ³ /h overschot	300 m ³ /h tekort
Flux eerste UF installatie	102 l/m ² h	116 l/m ² h
Debiet door RO (bruto)	3000 m ³ /h	3000 m ³ /h
Contact tijd in (de)nitrificatie	37 minuten	30 minuten
Contact tijd in BAKF	22 minuten	15 minuten
Flux tweede UF installatie	95 l/m ² h	116 l/m ² h
Chloride concentratie	85 mg/l	90 mg/l
Nitraat concentratie	1,7 mg N/l	1,8 mg N/l

Net als in het voorgaande alternatief is het nodig om een buffer te plaatsen om de fluctuaties in de aanvoer van RWZI-effluent op te vangen. Ook hier is gekozen voor drie tanks van 20.000m³. De coagulatie en flotatie is hetzelfde als in het voorgaande ontwerp. Door de fluctuaties in de watervraag zal ook de oppervlaktebelasting enigszins variëren met de drinkwatervraag. Een extra vlokmiddel dosering bij slibuitspoeling zal af en toe noodzakelijk zijn. De ultrafiltratie die volgt op de flotatie bestaat ook nu uit 24 membraan stacks met 24 drukbuizen. De UF heeft op de maximum dag van drinkwatervraag een flux van 116 l/m²h.

Na de UF gaat er 3000 m³/h door de RO met een recovery van 80%. Deze 6 stacks met 24 drukbuizen zorgen er voor dat ook op de maximum dag van de drinkwatervraag de concentratie chloride bijna gelijk is aan de huidige concentratie chloride in het drinkwater. Wanneer de deelstroom met RO vergroot wordt zal het tekort op de maximum dag van de drinkwatervraag toenemen, maar de concentratie's nitraat en chloride afnemen en bij een kleinere deelstroom geldt de omgekeerde redenatie. Het gekozen deelstroom percentage is een compromis dat dicht bij de huidige waterkwaliteit komt en het tekort op de maximum dag van de drinkwatervraag beperkt houdt.

De andere deelstroom van 6380 m³/h gaat door de nitrificatie en denitrificatie. Beide processen zijn ontworpen als een snelfiltratie. Voor de nitrificatie zal dit gebeuren als een droogfiltratie en in de denitrificatie zal dit gebeuren als een snelle, natte zandfiltratie. De filtratiesnelheden zijn voor beide processen laag gehouden (5m/h) zodat er de tijd is voor een biologische afbraak van ammonium en nitraat. Ook hebben de denitrificerende bacteriën een extra koolstofbron nodig en daarom wordt methanol gedoseerd. Verwacht wordt dat de concentratie nitraat na de denitrificatie zo rond de 2,5 mg N/l zal zijn [Miska, 2004]. De snelfilters zijn hetzelfde ontworpen als in de voorgaande alternatieven qua filtratieoppervlak en bedopbouw. Hier zijn er dan 32 filters nodig voor de nitrificatie en 32 voor de denitrificatie.

De bacteriën die dan uit het filterbed wegspoelen worden gedood door het UV licht. Ook de pathogene microverontreinigingen worden geïnactiveerd en de organische microverontreinigingen worden afgebroken in de UV/peroxide. In totaal zijn er vier straten met vier reactoren [Kruithof, 2004]. De dosering van zowel het UV licht als peroxide wordt ook hier flexibel gehouden zodat ze aangepast kan worden aan de concentratie's in de bron en de penetratiediepte van het UV licht in het water. De restproducten worden dan weer afgebroken in de biologisch actieve koolfiltratie. In totaal zijn er 24 koolfilters met een oppervlakte van 40m² en een bedhoogte van twee meter. De contacttijd van het water met de actieve kool is dan 15 minuten.

De laatste zuiveringsstap in deze deelstroom is een tweede UF. Deze installatie bestaat uit 16 membraan stacks met 24 drukbuizen en is ontworpen op een netto flux van 116 l/m²h. Hierna worden beide deelstromen gemengd. Het water moet na de zuivering worden opgeslagen in reinwaterkelders. Deze reinwaterkelders krijgen een volume van zes keer de gemiddelde uurproductie van de maximum dag van de drinkwatervraag. Drie reinwaterkelders met een volume van 18.000m³ per stuk zullen daarvoor nodig zijn.

Het overschot aan RWZI-effluent wordt gemengd met de concentraatstromen van de RO en de tweede UF en geloosd. Deze lozing zal moeten voldoen aan de KRW en daarom is er een separate nitrificatie en denitrificatie nodig, gelijk aan het voorgaande ontwerp. In totaal zijn er nu 12 nitrificatie en 12 denitrificatie filters nodig. Deze filters moeten los staan van de zandfilters in de drinkwaterzuivering, omdat er in deze waterstroom veel meer pathogene micro-organismen voorkomen. Deze zuiveringsstappen zijn de derde trap voor de RWZI.

Bij de inname van het RWZI-effluent moeten pompen geplaatst worden die het water twee à drie meter opvoerhoogte geven. Aangezien de ultrafiltratie en reverse osmosis onder druk plaatsvinden moeten er voor deze installaties pompen worden geplaatst die een opvoerhoogte hebben van 10m voor de UF en 400m voor de RO. Voor de nitrificatie in de zuivering worden dan weer pompen geplaatst die het water een opvoerhoogte geven van vijf à tien meter zodat de nitrificatie, denitrificatie, UV/peroxide en BAKF verder onder vrij verval kunnen werken.

4.6 Samenvatting

Bij het ontwerpen van een nieuwe voorzuivering in Nieuwegein zijn de organische microverontreinigingen het meest belangrijk om te voldoen aan het infiltratiebesluit bodembescherming. Het is zeer moeilijk om te voorspellen welke organische microverontreinigingen in de toekomst maatgevend zullen zijn. De toepassing van UV/Peroxide is daarom dan de beste keus. Dit proces breekt alle organische microverontreinigingen af, inclusief de polaire, maar heeft ook een hoge mate van flexibiliteit. De dosering van zowel UV licht als peroxide is flexibel in te stellen en af te stemmen op de werkelijke, gemeten vracht aan bestrijdingsmiddelen in het Lekkanaal. Uitgegaan wordt van een voorzuivering die bestaat uit een vlokvorming, lamellenbezinking, snelle zandfiltratie, UV/Peroxide en BACF. Dit water wordt dan geïnfiltreerd in de duinen en nagezuiverd te Leiduin.

Wanneer het effluent voorgezuiverd moet worden tot infiltraat zijn troebelheid, zwevende stof, fosfaat, nitraat, zware metalen en organische microverontreinigingen de stoffen die verwijderd moeten worden. Gekozen is voor een systeem met vlokvorming, flotatie, ultrafiltratie, RO en pH correctie. Dit systeem geeft het beste kwalitatieve resultaat en het is kwantitatief mogelijk wanneer er gekozen wordt voor een keramisch UF membraan en een RO met een recovery van 80%. Het concentraat van de membranen wordt gemengd met het overschot aan effluent en ondergaat een separate nitrificatie en denitrificatie voordat het geloosd kan worden. Ook nu komt het gezuiverde water via de duinpassage op de nazuivering Leiduin uit.

Om het RWZI effluent te zuiveren tot drinkwater is de microbiologie één van de belangrijkste factoren. Het systeem met vlokvorming, flotatie, UF en RO uit het vorige alternatief zou een te groot watertekort opleveren op de maximum dag van de drinkwatervraag. De vlokvorming, lamellenbezinking en UF worden daarom wel op de gehele stroom toegepast, maar de RO moet in een deelstroom opereren. In de andere deelstroom vindt dan achtereenvolgens een biologische nitrificatie (droogfiltratie) en denitrificatie (natfiltratie) plaats. De bacteriën die uit het filterbed wegspoelen worden dan, gezamenlijk met de pathogene micro-organismen en organische microverontreinigingen, afgebroken in de UV/Peroxide. In de BAKF wordt het water dan weer biologisch stabiel en een tweede UF voorziet in voldoende microbiologische zekerheid. Beide deelstromen worden dan weer gemengd en gedistribueerd. Op de maximum dag van de drinkwatervraag ontstaat er, met de cijfers van 2003, een tekort van 300 m³/h.

Referenties

Bottino, A, *et al*; water treatment for drinking purpose: ceramic microfiltration application; desalination, December 2001

Van Dijk, J.C. *et al*; Dictaat drinkwater 1: technologie (CT4470); TU Delft, 2001

EPA; The long term 2 enhanced surface water treatment rule; Washington, 2003

Gijsbertsen, A; Inventarisatie UF-installaties in Nederland; KIWA Nieuwegein, 2004

Kivit, C.F.T; Plant overview NNGWRP (part of internship report); December 2003

Kruithof, J.C.; UV/H₂O₂ retrofit of PWN's water treatment plant Andijk for primary disinfection and organic contaminant control; Vakantiecursus drinkwater TU Delft, 2004

Meijer, L; Evaluation of the Ultra Filtration: research report; Delft, 2006 (stageverslag)

Miska, V., van der Graaf, J.H.J.M., de Koning, J.; Influence of denitrification on suspended solids and phosphorus removal in multi media filters; TU Delft, 2005

Van Houtte, E. en Verbouwhede, J.; drinkwaterbereiding uit biologische behandeld afvalwater; IWVA, Gent, 2004

IWVA, Intercommunale Waterleidingsmaatschappij van Veurne-Ambacht; zuivering 'Torreelle'; internet 2003 (<http://www.iwva.be>)

5. Het risico van hergebruik

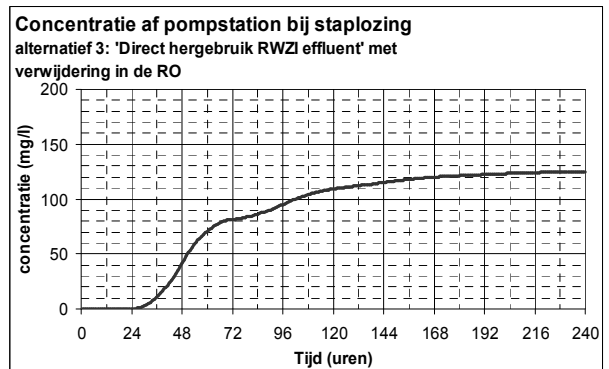
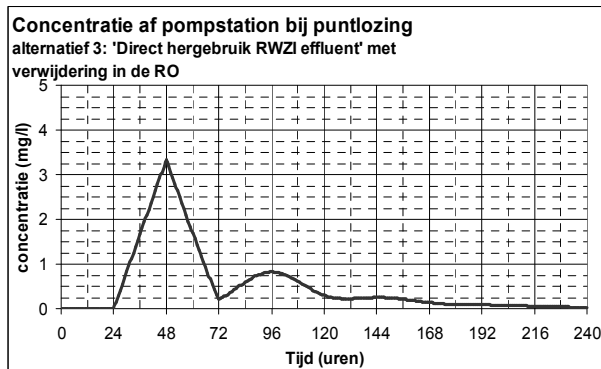
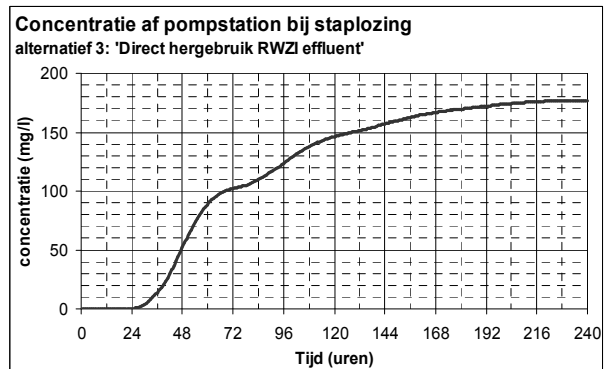
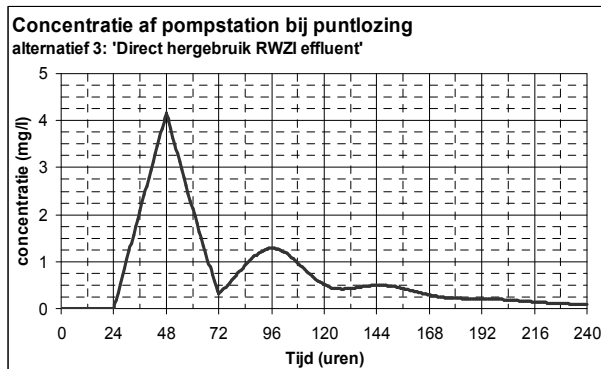
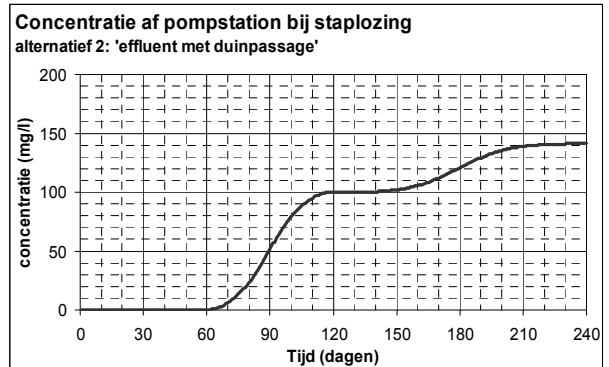
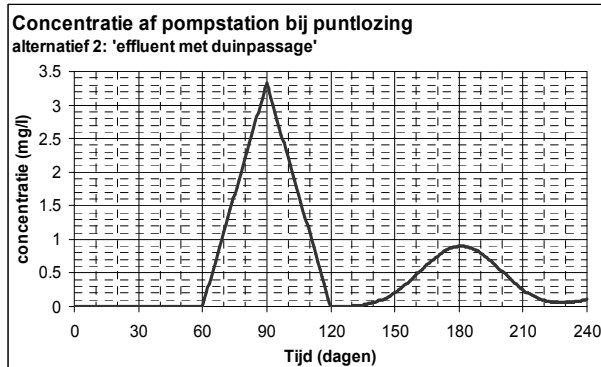
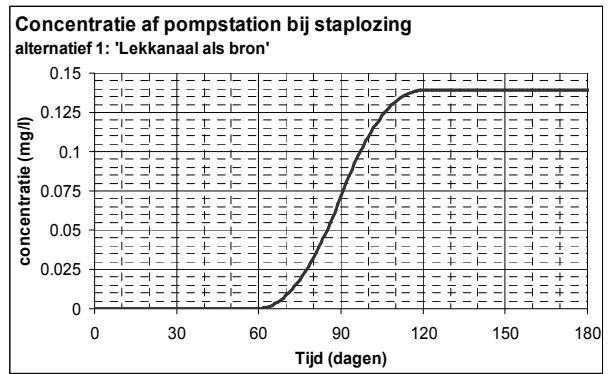
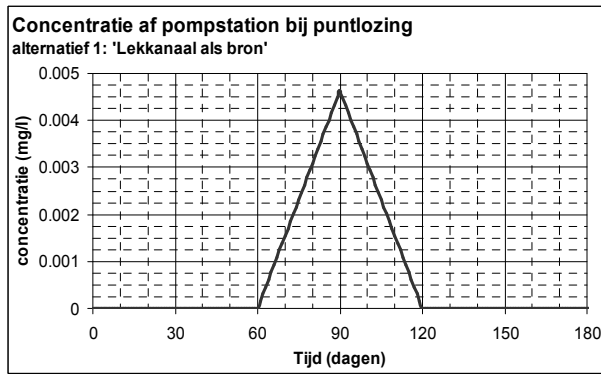
5.1 Opzet risicoanalyse

Risico bestaat uit de kans op een bepaalde onwenselijke gebeurtenis en het schadelijke gevolg dat het met zich mee brengt [Vrijling, 1997]. Hier komt de menselijke interpretatie van het risico nog bij. Bij de menselijke interpretatie speelt heel vaak de invloed die we hebben op het risico en de mate van collectiviteit een belangrijke rol. Over het algemeen ervaart de mens een grote kans met een klein effect als minder erg dan een kleinere kans met een groter effect. Hoewel het risico van overlijden in een vliegtuigongeluk kleiner is dan in een auto-ongeluk, ervaren vele mensen vliegen als risicovoller dan autorijden. Dit komt doordat men in een vliegtuig overgeleverd is aan de capaciteiten van een ander, terwijl men in de auto persoonlijk invloed kan uitoefenen. Hier wordt ervoor gekozen om deze menselijke interpretatie van de gevolgen buiten beschouwing te laten.

Om een drinkwaterzuivering goed te kunnen analyseren is het noodzakelijk om alle mogelijke risico's die de waterkwaliteit kunnen beïnvloeden in kaart te brengen. Dit is in deze verkennende studie onmogelijk en daarom wordt de analyse beperkt tot twee parameters: *Cryptosporidium* en AMPA. Deze parameters representeren respectievelijk de pathogene micro-organismen en de organische microverontreinigingen. De redenen om juist deze twee parameters te kiezen zijn:

- Voorkomen in de bron: voor beide parameters is er een dataset met gemeten waarden in zowel het Lekkanaal als het RWZI effluent.
- Beide parameters zijn relevant voor de drinkwaterzuivering: *cryptosporidium* is een protozoa dat lastig te verwijderen is in de drinkwaterzuivering. In het verleden zijn er in het buitenland uitbraken geweest van *Cryptosporidium* in het drinkwater die ziekte onder de bevolking hebben veroorzaakt. De bekendste uitbraak is die in Milwaukee in het begin van de jaren negentig [Mackenzie, 1994]
- AMPA is een afbraakproduct van het bestrijdingsmiddel glyfosaat, maar dit is niet de enige bron. Glyfosaat komt weer voor in het populaire bestrijdingsmiddel 'Round-up'. AMPA is een sterk polaire stof en wordt slecht verwijderd in de drinkwaterzuivering. Inname van AMPA geeft gezondheidsklachten [WHO, 1998].
- De verwijdering van beide parameters in de drinkwaterzuivering is bestudeerd en gerapporteerd in de (internationale) literatuur.

Er wordt steeds eerst gekeken naar het voorkomen van de parameter in de bron (Lekkanaal of RWZI-effluent) en daarna wordt de verwijdering in de zuivering gekarakteriseerd. Voor de individuele onderdelen in de zuivering wordt steeds een kansverdeling aangenomen die is opgesteld in overleg met experts en komt overeen met literatuur [o.a. Dullemont, 2004; EPA, 2003; Hijnen, 2004; Siegers, 1997]. Voor het voorkomen van beide stoffen in de bronnen bleek een gamma verdeling de data het beste te beschrijven (zie statistische analyse in appendix 3.2) en voor de verwijdering in de zuiveringsstappen is een bètaverdeling aangenomen. Deze individuele kansverdelingen worden dan gecombineerd en een Monte-Carlo analyse geeft de faalkans van het gehele systeem [Haas, 1998]. Tot slot wordt deze faalkans dan vertaald naar de gezondheidskosten voor de maatschappij.

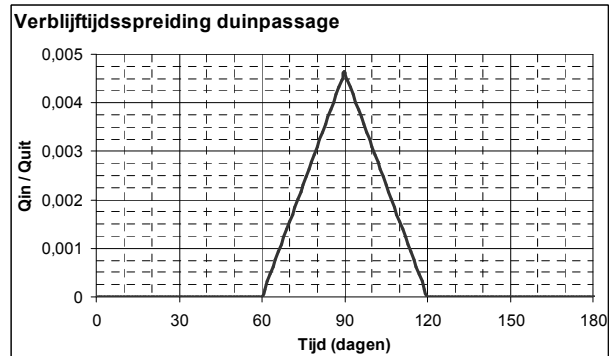


Afbeelding 5.1: Effecten van een punt- en staplozing die niet verwijderd wordt in de drinkwaterzuivering. De concentratie van deze fictieve stof staat aangegeven op de y-as. De linker kolom betreft de puntlozing en de rechter kolom betreft de staplozing. Voor het derde alternatief is ook een situatie meegenomen waarin is aangenomen dat de niet afbreekbare stof wel verwijderd wordt in de RO.

5.2 Lozing van een niet afbreekbare stof

Zowel *Cryptosporidium* als AMPA zijn stoffen die verwijderd worden in de zuivering, maar er bestaan ook stoffen die niet verwijderd worden in de zuivering. Deze situatie wordt nu eerst bekeken. Gekeken is naar het effect van een fictieve lozing van 1000 kg/h van een niet afbreekbare stof op de zuiveringsystemen. Aangenomen wordt dat wanneer deze stof aankomt bij het innamepunt van de drinkwaterzuivering zij volledig gemengd is zodat de concentratie van de stof bij inname uit het Lekkanaal 0,14 mg/l is. Bij inname van RWZI-effluent is dit 100 mg/l.

In de eerste twee alternatieven is de duinpassage opgenomen. De verblijftijd in de duinpassage wordt vereenvoudigd tot figuur 5.3. Er is een minimale verblijftijd van 60 dagen, een maximale verblijftijd van 120 dagen en een gemiddelde verblijftijd van 90 dagen.

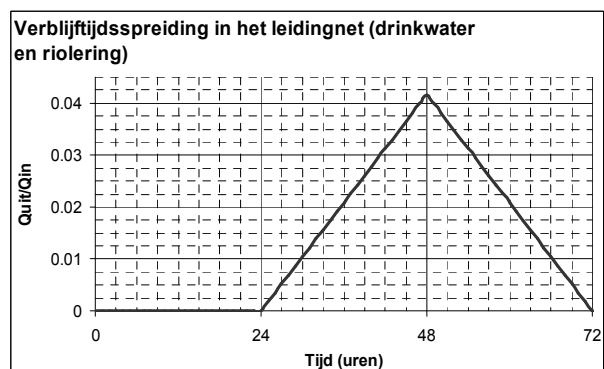


Afbeelding 5.3: Verbliftijdspreiding van de duinpassage.

De effecten van de fictieve lozing worden voor de hierop volgende 240 dagen berekend voor de alternatieven met een duinpassage ('Lekkanaal als bron' en 'RWZI-effluent met duinpassage'). Bij de puntlozing wordt de fictieve stof gedurende één dag in het duin geïnfiltreerd; bij de staplozing wordt deze hoeveelheid 240 dagen lang in het duin geïnfiltreerd. In het tweede alternatief is het RWZI-effluent de bron voor de drinkwaterproductie en recirculeert 40,5% van het water. Bij de puntlozing zorgt dit ervoor dat een gedeelte van de initiële puntlozing na het watergebruik weer in het duin wordt geïnfiltreerd en voor een tweede keer wordt gedistribueerd. Bij de staplozing zorgt de recirculatie ervoor dat de concentratie van de fictieve stof in het drinkwater steeds verder toeneemt.

In het derde alternatief wordt het RWZI-effluent direct gebruikt als bron voor de drinkwaterzuivering. De verblijftijd in het gehele systeem (afvalwaterzuivering, drinkwaterzuivering, drinkwaterleidingnet en riolering) is vereenvoudigd tot figuur 5.3. Voor dit alternatief worden de effecten van de lozing voor 240 uren berekend. De puntlozing duurt in dit systeem slechts één uur.

In afbeelding 5.1 staan de concentraties van de fictieve, niet afbreekbare stof in het gedistribueerde drinkwater aangegeven wanneer zij niet verwijderd wordt in de zuivering. Te zien is dat de begin concentraties al sterk verschillen tussen het RWZI-effluent en het water uit het Lekkanaal en dat er bij het hergebruik van afvalwater sprake is van nadel effecten bij een puntlozing en verhoging van de concentratie bij de staplozingen.



Afbeelding 5.3: verbliftijdspreiding in het leidingnet.

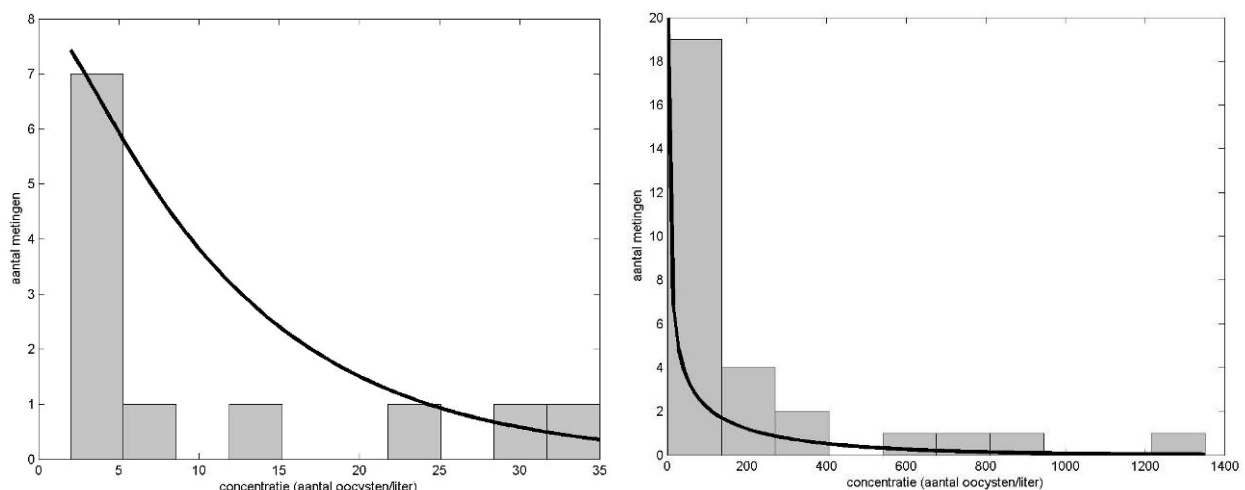
5.3 Pathogene micro-organismen: *Cryptosporidium*

5.3.1 Voorkomen in de bron

In het Lekkanaal varieert de concentratie *Cryptosporidium* tussen de 2 en de 35 oöcysten per liter en in het RWZI-effluent varieert de concentratie *Cryptosporidium* tussen de 2 en de 1350 oöcysten per liter (zie tabel 5.1). Om een gammaverdeling van de concentraties te kunnen maken zijn twee ijkpunten nodig. Voor het eerste ijkpunt is het gemiddelde aantal oöcysten/liter gebruikt en het tweede ijkpunt is de hoogste gemeten concentratie *Cryptosporidium* gekozen. Voor de kansverdeling is deze hoogst gemeten waarde gelijk gesteld aan het 90 percentiel. In onderstaande tabel staan de kenmerken voor het Lekkanaal, het RWZI effluent en de herbesmetting door zoogdieren³ in het duingebied weergegeven. In de figuren is de gammaverdeling toegepast op de metingen uit het Lekkanaal en de metingen in het RWZI effluent.

Tabel 5.1: Kenmerken van de gammaverdeling voor *Cryptosporidium* in de bronnen.

Bron	a	B	Gem.	P90	Literatuur
Lekkanaal	0,2	57,5	11	35	[Medema, 2001]
RWZI effluent	0,2	2235	202	1350	[Medema, 2001]
Herbesmetting in het duin	0,2	1,43	0,3	1	[Dullemont, 2004]



Afbeelding 5.4: Gammaverdeling van het voorkomen van *Cryptosporidium* in het Lekkanaal (links, gebaseerd op 12 metingen) en het RWZI effluent (rechts, gebaseerd op 29 metingen).

5.3.2 Verwijdering in de zuivering

In alle drie de alternatieven zijn er slechts een beperkt aantal zuiveringsstappen die invloed hebben op de verwijdering van micro organismen. Voor deze zuiveringsprocessen wordt een verwijdering volgens een bètaverdeling aangenomen. Een bètaverdeling heeft altijd waarden tussen nul en één. De inkomende concentratie verdeling wordt dan vermenigvuldigd met de aangenomen bètaverdeling. De bètaverdeling beschrijft de kans van het passeren van een micro-organisme door de individuele zuiveringsstap.

³ Zoogdieren zijn ook dragers van *cryptosporidium*. De zoogdieren in het duingebied besmetten het water weer via hun uitwerpselen.

De verwijdering van micro-organismen in een zuiveringsstap wordt uitgedrukt in de decimale eliminatie capaciteit (DEC), waarmee de logaritmische verwijdering wordt bedoeld. De kans van het passeren van een individuele zuiveringsstap (π) is daarom gedefinieerd als:

$$\pi = \frac{1}{10^{DEC}}$$

In onderstaande tabel is de gemiddelde DEC en de DEC bij het 90 percentiel voor verschillende zuiveringsprocessen aangegeven. De bètaverdeling wordt beschreven door de parameters a en b. Het gemiddelde is gedefinieerd als $a/(a+b)$. Bij de initiële toepassing van de bètaverdeling op het gestelde gemiddelde en p90 bleek dat, voor de processen met een groot verschil tussen het gemiddelde en de p90, de bètaverdeling niet toepasbaar was. Er kon wel voldaan worden aan het gemiddelde of aan de p90, maar niet aan beide. Er is voor gekozen om de gemiddelde verwijdering dan te verlagen zodat het verschil tussen de p90 en het gemiddelde kleiner werd. Dit leidt tot een onderschatting van de werkelijke prestatie van de zuiveringsstap (veilige aanname).

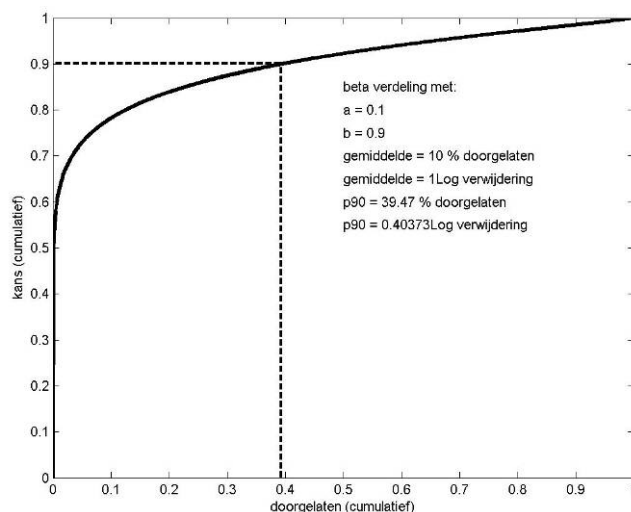
Tabel 5.2: kenmerken van de zuiveringsstappen op de microbiologie. Aangenomen is dat alle processen voldoen aan een bètaverdeling.

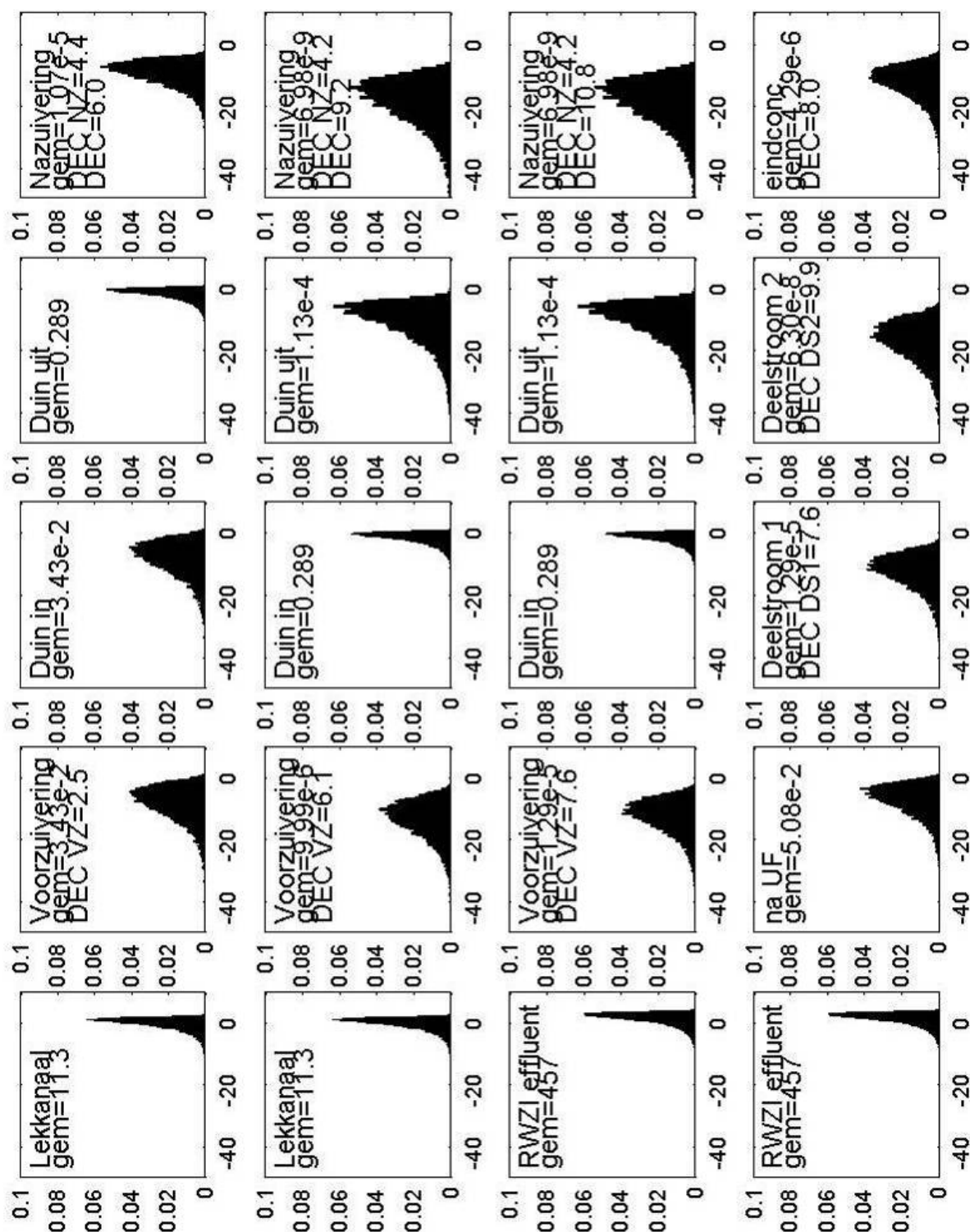
Zuiveringsproces	A	B	Gem.	P90	Literatuur
Vlokvorming/vlokverwijdering	0,1	0,9	1Log	0,4Log	[Hijnen, 2004]
Snelle zand filtratie	0,13	3,98	1,5Log	1Log	[Dullemont, 2004]
UV/Peroxide	0,2	632	3,5Log	3log	[Kruithof, 2005]
Ultra Filtratie	0,2	200	3Log	2,5Log	[EPA, 2003]
Reverse Osmosis	0,2	632	3,5Log	3Log	[Haas, 1998]
Duinpassage	0,06	190	3,5Log	3,3Log	[Hijnen, 2004]
Ozon	0,3	2,7	1Log	0,5Log	[Dullemont, 2004]
Langzame zandfiltratie	5,2	515	2Log	1,8Log	[Dullemont, 2004]

Voor de bepaling van de parameters a en b uit de bètaverdeling is gebruik gemaakt van de statistics toolbox uit het computerprogramma Matlab. In figuur 5.5 is dit uitgewerkt voor de vlokvorming en vlokverwijdering. Met behulp van de ingevoerde gemiddelde en p90 verwijdering kunnen, door middel van iteratie, de parameters a en b worden gevonden. In het figuur is te zien dat bij de cumulatieve kans van negentig procent (p90) veertig procent van de ‘stof’ wordt doorgelaten, ofwel een verwijdering van 0,4Log.

Aangezien het gehele proces wordt bekeken moet er ook een waarde worden aangenomen voor de duinpassage. Uit metingen is gebleken dat een gemiddelde verwijdering van 3,5Log reëel is [Hijnen, 2004].

Afbeelding 5.5: Cumulatieve bètaverdeling voor vlokvorming en vlokverwijdering.





Afbeelding 5.6: Monte-Carlo analyse voor *Cryptosporidium* van de huidige situatie (bovenste rij) en alle drie de alternatieven bij 10.000 trekkingen. Op de x-as staat de uitgaande concentratie in logeenheden. Op de y-as staat de kans.

5.3.3 Faalkansen

In afbeelding 5.6 zijn de resultaten van de Monte-Carlo analyse weergegeven (10.000 trekkingen). In de bovenste rij staat de huidige situatie, in de tweede rij staat alternatief 1: 'Lekkanaal als bron', in de derde rij staat het tweede alternatief: 'RWZI-effluent met duinpassage' en in de onderste rij staat het derde alternatief: 'direct hergebruik RWZI effluent'. Op de y-as staat de kans en op de x-as is de concentratie in logeenheden weergegeven.

In de huidige situatie zitten er gemiddeld 11,3 *Cryptosporidium* oöcysten/liter in het Lekkanaal en deze oöcysten gaan de voorzuivering in. Na de voorzuivering is de concentratie gezakt tot een gemiddelde van $3,43 \cdot 10^{-2}$ oöcysten/liter. Dit is een DEC van 2,5 in de voorzuivering. Dit komt overeen met de aangenomen gemiddelde waarden voor de vlokvorming en vlokverwijdering (1Log) en de snelle zandfiltratie (1,5Log).

Na de voorzuivering wordt het water naar het duin getransporteerd en daar geïnfilteerd. Bij de onttrekking uit het duin vindt er herbesmetting plaats en dit wordt opgeteld bij de concentratie die uit het duin wordt onttrokken. In de nazuivering wordt *Cryptosporidium* verder verwijderd tot een gemiddelde concentratie van $1,07 \cdot 10^{-6}$ oöcysten/liter. In de nazuivering wordt een DEC van 4,5 gehaald. Over de gehele zuivering is de DEC dan 6. Als de duinpassage niet plaats zou vinden zou de DEC gelijk zijn aan de DEC van de voor- en nazuivering tezamen en 7 zijn. Deze waarde wordt niet gehaald door de herbesmetting in het duin.

In het eerste alternatief is de voorzuivering uitgebreider en blijven er van de 11,3 oöcysten in het Lekkanaal slechts gemiddeld $9,99 \cdot 10^{-6}$ oöcysten/liter over. Dit is een DEC van 6,1 voor de voorzuivering. In dit alternatief is de onttrekking uit het duin gesloten. De herbesmetting vindt daarom plaats bij de infiltratie. De verwijdering van pathogene micro organismen in de voorzuivering wordt hier weer ongedaan gemaakt. Wanneer het water uit het duin wordt onttrokken met de gesloten terugwinning is het effect van de herbesmetting gecompenseerd. De nazuivering is hetzelfde gebleven en de gemiddelde eindconcentratie wordt dan $6,98 \cdot 10^{-9}$. De DEC over het gehele systeem is dan 9,2

In het tweede alternatief wordt de gemiddelde concentratie *Cryptosporidium* in de voorzuivering teruggebracht van 442 oöcysten/liter naar $1,29 \cdot 10^{-5}$ oöcysten/liter. Dit is een DEC van 7,6 in de voorzuivering. Bij de infiltratie vindt dan weer de herbesmetting plaatst zodat de gemiddelde concentratie *Cryptosporidium* weer toeneemt naar 0,289 oöcysten/liter. Vanaf dit moment is het microbiologisch hetzelfde als in het voorgaande alternatief. De eindconcentratie en de DEC in de nazuivering zijn ook hetzelfde.

In het derde alternatief wordt het RWZI-effluent direct tot drinkwater gezuiverd. Na de vlokvorming en de eerste ultrafiltratie is de gemiddelde concentratie gedaald tot 0,05 oöcysten/liter. In de eerste deelstroom wordt dan eenderde behandeld met RO. In de andere deelstroom zijn alleen de UV/peroxide en de tweede UF meegenomen als zuiveringsstappen die *Cryptosporidium* verwijderen. In deze risicoanalyse worden aan de snelle zandfiltraties voor nitrificatie en denitrificatie geen extra verwijdering toegekend. De gemiddelde eindconcentratie wordt dan $4,3 \cdot 10^{-6}$ en de DEC over de gehele zuivering is dan 8.

5.3.4 Normoverschrijdingen

In appendix 3.3 is berekend dat de maximaal toelaatbare concentratie *Cryptosporidium* in drinkwater $3,1 \cdot 10^{-4}$ oöcysten/liter is. In de simulaties wordt het aantal trekkingen boven deze grens geteld en meegenomen. In onderstaande tabel staat het aantal trekkingen boven deze wettelijke norm. In totaal zijn er voor ieder alternatief één miljoen trekkingen gedaan.

Tabel 5.3: Aantal normoverschrijdingen per alternatief.

Alternatief	Gemiddelde concentratie	Aantal overschrijdingen	Overschrijdingskans
Huidige situatie	$9,5 \cdot 10^{-6}$	6111	0,6%
Lekkanaal als bron	$3,0 \cdot 10^{-9}$	0	<0,0001%
Effluent met duinpassage	$3,0 \cdot 10^{-9}$	0	<0,0001%
Direct hergebruik effluent	$4,8 \cdot 10^{-6}$	2511	0,25%

In de Waterleidingwet wordt een eis gesteld van maximaal één infectie per jaar in de distributie van drinkwater aan 10.000 mensen. Alle alternatieven voldoen aan deze eis, maar het aantal normoverschrijdingen verschilt per alternatief. De gesloten terugwinning zorgt voor de zeer lage concentraties in de eerste twee alternatieven.

5.3.5 Gezondheidskosten

Een andere manier om de gevolgen van een microbiologische besmetting van het drinkwater in kaart te brengen is met de gezondheidskosten. Hiervoor wordt uitgegaan van de gemiddelde blootstelling zoals berekend in de Monte-Carlo simulaties. Hiervoor wordt een consumptie aangehouden van 0,22 liter per persoon per dag [Roda Husman, 2004] en een kans op infectie bij inname van 4‰ [Theunis, 1996]. Verder is aangenomen dat 1 op de 3 mensen ziek wordt na infectie [Theunis, 1996]. Er wordt verder aangenomen dat ieder ziektegeval 5 dagen duurt en €500 per dag de maatschappij kost. Dit zijn kosten voor de gezondheidszorg en kosten voor de verminderde arbeidsproductiviteit. De kans op overlijden wordt hier buiten beschouwing gelaten. Voor de berekening wordt er vanuit gegaan dat ieder mens 80 jaar oud wordt en dat het distributiegebied bestaat uit één miljoen klanten. In tabel 5.4 staan de gezondheidskosten voor de huidige situatie en de drie alternatieven weergegeven.

Tabel 5.4: Gezondheidskosten verbonden aan *Cryptosporidium* (voor het gehele distributiegebied).

Alternatief	Gemiddelde concentratie	Aantal infecties/jaar	Kosten/jaar
Huidige situatie	$9,5 \cdot 10^{-6}$	3,1	2600€
Lekkanaal als bron	$3,0 \cdot 10^{-9}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	0,81€
Effluent met duinpassage	$3,0 \cdot 10^{-9}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	0,81€
Direct hergebruik effluent	$4,8 \cdot 10^{-6}$	1,6	1300€

5.3.6 Robuustheid van de hergebruik alternatieven tegen *Cryptosporidium*

Om de robuustheid van de zuivering in kaart te brengen worden nu drie scenario's doorberekend. In het eerste scenario neemt de concentratie in de bron toe, in de tweede situatie faalt de meest effectieve zuiveringsstap. In het derde scenario worden de eerste twee scenario's gecombineerd.

Scenario 1: verhoogde concentratie in de bron

De eerste hittegolf van het jaar komt. Ineens begint de temperatuur op te lopen tot in de 30 graden op een donderdag. Half Amsterdam neemt de vrijdag vrij om een lang weekend te hebben met zon, strand, zee en barbecue. Er wordt veel gezwommen in oppervlaktewater en veel gegeten. Hierdoor stijgt de inname van *Cryptosporidium* en ontwikkelt een groot deel van de Amsterdammers gastro-enteritis. Na deze warme dagen volgt ineens, een enorm heftige regenbui. Het bezonken rioolslib, met een verhoogde concentratie aan micro-organismen, komt weer in oplossing en wordt met het regen en afvalwater getransporteerd naar de RWZI. Door de enorme hoeveelheid water die de RWZI moet verwerken kunnen de gebruikelijke verblijftijden niet worden gehaald en kan de biologische zuivering maar zeer beperkt plaats vinden. De drinkwaterzuivering krijgt dus RWZI-effluent met een behoorlijk verhoogde concentratie *Cryptosporidium*.

De hoogste gemeten concentratie *Cryptosporidium* in het influent van een RWZI is 29.000 oöcysten/liter [Medema, 2001]. Deze waarde is gemeten begin juni. Voor dit scenario wordt een aanname gedaan van een 1 miljoen oöcysten/liter in het RWZI-effluent. Wanneer een heftige regenbui volgt op een droge periode zal er ook vanuit de landbouw uitspoeling plaatsvinden van micro-organismen. De hoogste gemeten concentratie in het Lekkanaal in 2003 is 35 oöcysten/liter. Als worst case scenario voor het Lekkanaal wordt een concentratie van 1000 oöcysten/liter genomen. In onderstaande tabel zijn de effecten van dit eerste scenario op de waterkwaliteit te zien.

Tabel 5.5: Effecten van verhoogde concentratie in de bron op het drinkwater (100.000 trekkingen).

Alternatief	Concentratie in de bron	Concentratie in het drinkwater	Overschrijdingskans
Huidige situatie	1000 oöcysten/liter	$8,9 \cdot 10^{-6}$ oöcysten/liter	0,6%
Lekkanaal als bron	1000 oöcysten/liter	$2,6 \cdot 10^{-9}$ oöcysten/liter	<0,001%
Effluent met duinpassage	1000.000 oöcysten/liter	$2,7 \cdot 10^{-9}$ oöcysten/liter	<0,001%
Direct hergebruik effluent	1000.000 oöcysten/liter	$1,0 \cdot 10^{-2}$ oöcysten/liter	14,5%

De afvlakking in de duinpassage zorgt er voor dat het effect van de verhoogde concentraties in de bronnen op de huidige situatie en de alternatieven met duinpassage nauwelijks doorwerken. In het alternatief met direct hergebruik wordt de wettelijke norm niet meer gehaald. De deelstroom met alleen RO levert in dit alternatief een onvoldoende product, de andere deelstroom voldoet nog wel.

Scenario 2: uitvallen meest kritieke zuiveringsstap

Naast een verhoogde concentratie in de bron kan ook een zuiveringsstap uitvallen door een stroomstoring of menselijk falen en onder die omstandigheid moet er nog steeds betrouwbaar drinkwater kunnen worden geleverd [Haas, 1998]. Ook zou het kunnen gebeuren dat de duinpassage tijdelijk moet worden overgeslagen door een falen of technisch onderhoud. In dit scenario wordt de meest effectieve zuiveringsstap en de duinpassage overgeslagen.

Voor de verschillende ontwerpen gelden de volgende hypothetische situatie's:

- Huidige situatie: wanneer de duinpassage niet kan plaatsvinden kan er ook geen herbesmetting in het duin plaatsvinden en dit is, vanuit de microbiologie bezien, een gunstigere situatie dan met een duinpassage. Een situatie waarin de langzame zandfiltratie uitvalt is dus belangrijker en wordt bekeken.
- Lekkanaal als bron: door een (stroom)storing valt de UV/Peroxide uit en de duinpassage moet worden overgeslagen.
- RWZI-effluent met duinpassage: de meest ongunstige situatie is hier het falen van de RO en het tijdelijk overslaan van de duinpassage.
- Direct hergebruik RWZI-effluent: de situatie met het uitvallen van de RO levert het slechtste product op.

Tabel 5.6: Effecten van het uitvallen van de meest kritieke zuiveringsstap op het drinkwater (100.000 trekkingen).

Alternatief	Uitgevallen Zuiveringsstap	Conc. in het drinkwater	Overschrijdingskans
Huidige situatie	Langzame zandfiltratie	$9,2 \cdot 10^{-4}$ oöcysten/liter	10,4%
Lekkanaal als bron	UV/peroxide + duinpassage	$8,1 \cdot 10^{-6}$ oöcysten/liter	0,3%
Effluent met duinpassage	RO + duinpassage	$1,9 \cdot 10^{-6}$ oöcysten/liter	0,07%
Direct hergebruik effluent	RO	$1,4 \cdot 10^{-2}$ oöcysten/liter	17%

In tabel 5.6 staan de resultaten weergegeven. In de huidige situatie wordt de wettelijke eis in 10 procent van de trekkingen overschreden. Ondanks dat de duinpassage wordt overgeslagen in de eerste twee alternatieven geven zij nog wel een goed product. Dit komt onder andere door de uitgebreidere voorzuivering. Bij het directe hergebruik blijkt dat het uitvallen van de RO een onvoldoende product oplevert.

Scenario 3: verhoogde concentratie in de bron en het uitvallen van de meest kritieke zuiveringsstap

De effecten van de eerste twee scenario's worden gecombineerd en geven het resultaat zoals vermeld in tabel 5.7. Geen van de alternatieven voldoet nu nog aan de wettelijke norm. Bij het directe hergebruik blijkt de deelstroom met nitrificatie, denitrificatie, UV/peroxide, BACF en ultrafiltratie nog wel water te kunnen leveren volgens de wettelijke norm ($3,1 \cdot 10^{-4}$ oöcysten/liter). De concentratie in deze deelstroom is $2,0 \cdot 10^{-4}$ oöcysten/liter.

Tabel 5.7: Effecten van verhoogde concentratie in de bron en het uitvallen van de meest kritieke zuiveringsstap op het drinkwater (100.000 trekkingen).

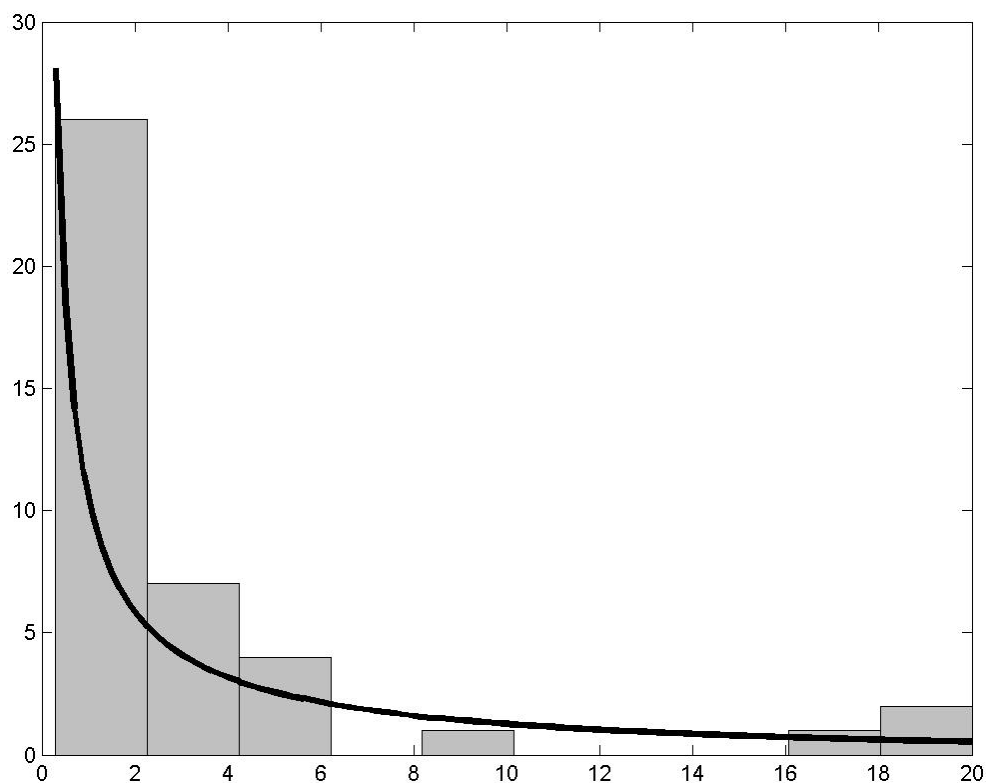
Alternatief	Concentratie in de bron	Concentratie in het drinkwater	Overschrijdingskans
Huidige situatie	1000 oöcysten/liter	$9,7 \cdot 10^{-4}$ oöcysten/liter	10,6%
Lekkanaal als bron	1000 oöcysten/liter	$6,6 \cdot 10^{-4}$ oöcysten/liter	3,8%
Effluent met duinpassage	1000.000 oöcysten/liter	$3,5 \cdot 10^{-3}$ oöcysten/liter	5,8%
Direct hergebruik effluent	1000.000 oöcysten/liter	32,9 oöcysten/liter	59,2%

5.4 *Cryptosporidium* in Windhoek⁴

5.4.1 Voorkomen in de bron

Windhoek is, samen met Singapore, de enige plaats ter wereld waar direct hergebruik van afvalwater voor de productie van drinkwater plaatsvindt. Om deze reden is het interessant om de risicoanalyse ook op deze zuivering toe te passen. De zuivering heeft twee bronnen voor de drinkwaterproductie: water vanuit het vervuilde Goreangab reservoir en RWZI-effluent. Het afvalwater van Windhoek wordt eerst biologisch gezuiverd en verblijft daarna nog 3 à 4 dagen in bezinkingsvijvers (Engels: maturation ponds). Zowel het RWZI-effluent als het water uit het Goreangab Reservoir is sinds 1996 regelmatig getest op *Cryptosporidium* en *Giardia*. De analyse bestaat uit een microscopische telling. De recovery ligt tussen de 30% en 70% en is geverifieerd door andere, gecertificeerde laboratoria.

Voor de analyse van het risico met betrekking tot *Cryptosporidium* wordt gebruik gemaakt van de dataset van het RWZI-effluent (165 waarden, 41 positieve resultaten), omdat dit de grootste, beschikbare dataset is. De resultaten van het Goreangab reservoir liggen in dezelfde orde van grootte als in het RWZI-effluent. De hoogst gemeten concentratie in het RWZI-effluent is 1000 oöcysten/100 liter. Met een aangenomen gemiddelde recovery van 50% geeft dit een waarde van 20 oöcysten/liter. Deze waarde wordt gekozen als 90 percentiel. De gamma distributie die de concentratie oöcysten in de bron beschrijft kan beschreven worden met de parameters a en b van respectievelijk 0,2 en 33.



Afbeelding 5.7: Gammaverdeling op de concentratie *Cryptosporidium* in het RWZI-effluent van Windhoek.

⁴ Deze gehele paragraaf is gebaseerd op [Meijer, 2006]

5.4.2 Verwijdering in de zuivering

In Windhoek is, analoog aan de situatie voor Amsterdam, geschat wat de individuele zuiveringsstappen zouden presteren. Dit is gedaan in overleg met de experts van de zuivering en in overeenstemming met literatuur. De verwijdering in de vlokvorming en vlokverwijdering is lager geschat dan in de alternatieven voor Amsterdam. De verwijdering van troebelheid is lager dan de eis die de US EPA [EPA, 2003] stelt. Dit komt met name door de lagere troebelheid in de bron. Aangezien de verblijftijd in de zandfilters lager is dan in de alternatieven voor Amsterdam is ook deze verwijdering lager ingeschat.

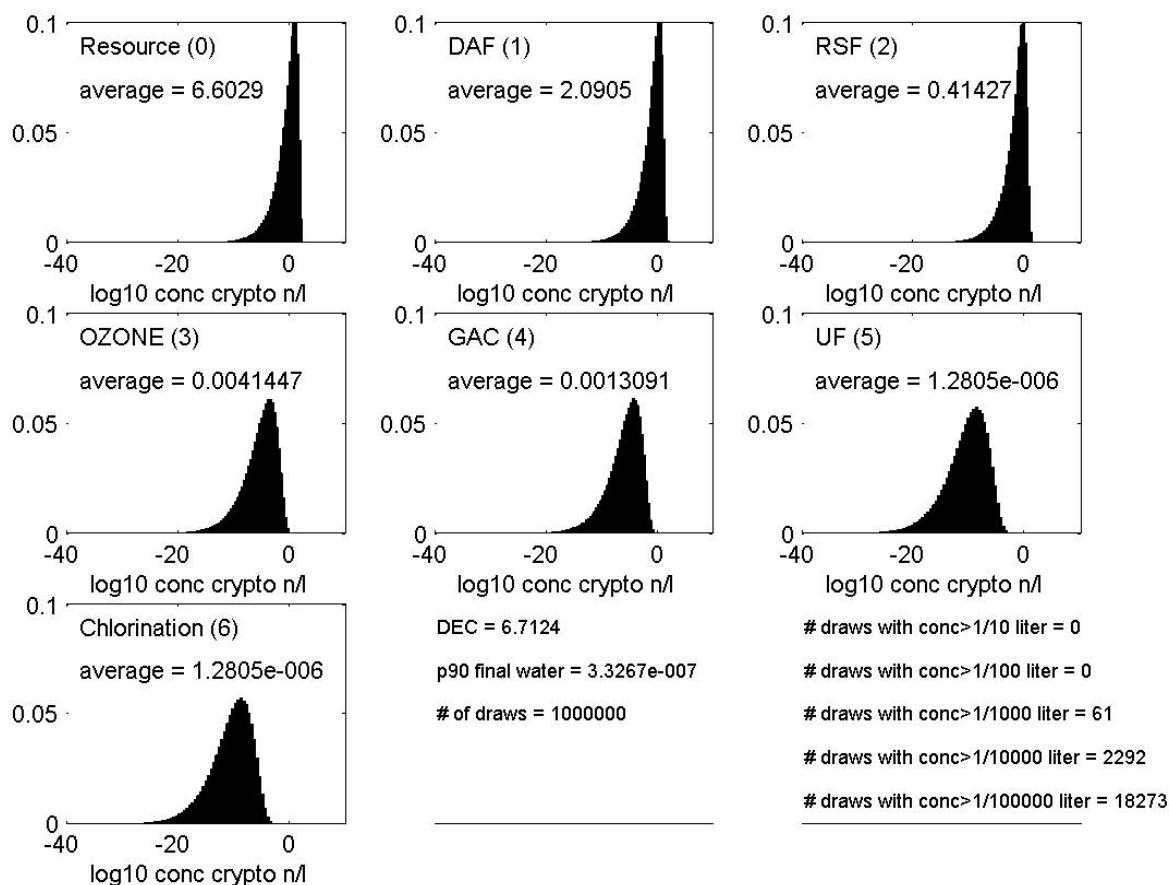
De ozonisatie in Windhoek werkt volgens het propstroom principe en uit tracerproeven is gebleken dat de propstroom goed functioneerde. Aangezien ook de temperatuur van het water in Windhoek hoger is dan in Amsterdam wordt de verwijdering in de ozonisatie hoger geschat dan in Amsterdam. In Windhoek wordt een drietraps actief kool filtratie toegepast met een verblijftijd van minimaal een half uur. Een verwijdering van *Cryptosporidium* in de actieve koolfilters leek daarom aannemelijk. Voor de ultrafiltratie zijn dezelfde waarden aangenomen als voor Amsterdam. De chlorering na de ultrafiltratie heeft geen effect op de verwijdering van *Cryptosporidium*, omdat de contacttijd (1 uur) en dosering (1,5 mg/l) te laag is.

Tabel 5.8: Kenmerken van de individuele zuiveringsstappen in Windhoek

Zuiveringsstap	A	b	gemiddelde	P90
Vlokvorming en vlokverwijdering	19	41	0.5Log	0.4Log
Snelle zandfiltratie	4.2	17	0.7Log	0.5Log
Ozon	0.2	20	2.0Log	1.5Log
Actieve kool	3.4	7.4	0.5Log	0.3Log
Ultra Filtratie	0.2	200	3.0Log	2.5Log
Chloor	-	-	0.0Log	0.0Log

5.4.3 Faalkans

Afbeelding 5.15 op de volgende pagina laat de resultaten van de Monte-Carlo analyse zien voor de zuivering in Windhoek. De concentratieverdeling in de bron is te zien in het eerste plaatje (links bovenin). De gemiddelde concentratie is 6,6 oöcysten/liter. De afbeeldingen hierna laten de effecten van de opeenvolgende zuiveringsstappen zien. De uiteindelijke verdeling heeft een gemiddelde concentratie aan *Cryptosporidium* van $1,28 \cdot 10^{-6}$ oöcysten/liter. Bij negentig procent van de trekkingen ligt de concentratie beneden de $3,33 \cdot 10^{-7}$ oöcysten/liter. Het aantal trekkingen was één miljoen en het aantal trekkingen boven een van tevoren gezette norm staat in het laatste plaatje. Wanneer we de Nederlandse norm aanhouden met een maximum concentratie van $3,1 \cdot 10^{-4}$ oöcysten per liter, dan zijn er 1043 normoverschreidingen in 1 miljoen trekkingen, wat neerkomt op 0,1%.



Afbeelding 5.8: resultaten van de Monte-Carlo analyse (1 miljoen trekkingen). Op de x-as staat de uitgaande concentratie in logeenheden. Op de y-as staat de kans.

5.4.4 Robuustheid van de zuivering in Windhoek tegen *Cryptosporidium*

De robuustheid van de zuivering in Windhoek wordt ook nu bekeken aan de hand van een aantal scenario's. De drie scenario's die worden toegepast zijn: piek concentratie in de bron van één miljoen oöcysten/liter, het falen van de ultra filtratie en een combinatie van deze beide scenario's. De resultaten staan in tabel 5.9. Bij de berekeningen is rekening gehouden met de menging van het geproduceerde drinkwater met de andere bronnen. Deze zuivering levert ongeveer 25% van de totale drinkwatervraag en aangenomen wordt dat de andere bronnen volledig vrij zijn van *Cryptosporidium*. De infectie- en ziektekans is hetzelfde aangenomen als in de alternatieven voor Amsterdam. De waterconsumptie wordt iets hoger geschat met 0,25 liter per persoon per dag en aangenomen wordt dat het distributiegebied bestaat uit 250.000 inwoners. Te zien is dat de zuivering in geen van de geschetste scenario's de Nederlandse norm nog haalt. Met name de verhoogde concentratie in de bron leidt tot hoge infectie aantallen.

Tabel 5.9: resultaten van de verschillende scenario's voor de zuivering in Windhoek (1 miljoen trekkingen).

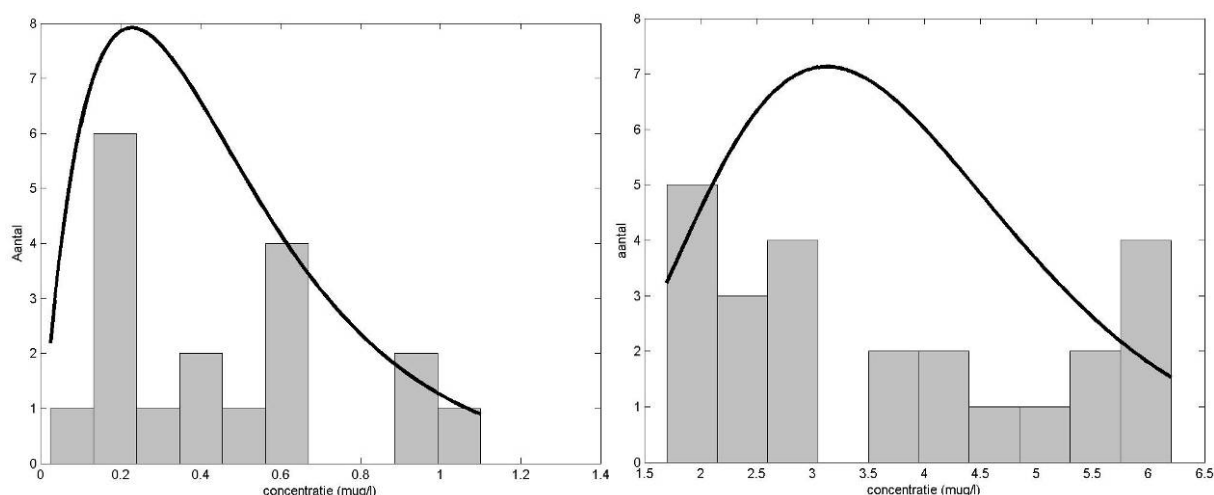
Scenario	Concentratie in drinkwater	Aantal infecties
Basis situatie	$3,2 \cdot 10^{-7}$ oöcysten/liter	0,03 per jaar
Verhoogde concentratie in de bron	$5,0 \cdot 10^{-2}$ oöcysten/liter	11 per dag
Falen van de UF	$5,3 \cdot 10^{-4}$ oöcysten/liter	42 per jaar
Verhoogde concentratie bron en falen UF	50 oöcysten/liter	11004 per dag

5.5 Organische microverontreinigingen: AMPA

5.5.1 Voorkomen in de bron

In het waterleidingbesluit geldt een norm voor bestrijdingsmiddelen en hun afbraakproducten van 0,1 µg/l (individueel) mits ‘humaan toxicologisch relevant’. Er worden een paar bestrijdingsmiddelen genoemd die een lagere concentratie moeten hebben. In het infiltratiebesluit bodembescherming worden een groot aantal bestrijdingsmiddelen genoemd, maar noch AMPA noch glyfosaat worden expliciet genoemd. Naast de individuele eisen wordt er gesteld dat de som van de genoemde bestrijdingsmiddelen niet boven de 0,5 µg/l mag komen. Voor de risicoanalyse op AMPA wordt een (wettelijke) grenswaarde van 0,1 µg/l aangenomen. Deze grenswaarde wordt aangenomen voor zowel het infiltraat als het drinkwater.

De analyse van het voorkomen van AMPA in de bron gebeurt hetzelfde als met *Cryptosporidium*. Voor het Lekkanaal zijn er 18 metingen en varieert de concentratie AMPA tussen de 0,03 µg/l en de 1,1 µg/l. Een gammaverdeling met de parameters $a=0,89$ en $b=0,52$ geeft de beste beschrijving van de concentratie AMPA in de bron. Ook hier is de hoogst gemeten waarde als p90 gesteld. Voor het RWZI-effluent geldt een analoge benadering. In totaal zijn er hier 24 AMPA metingen met concentraties tussen de 1,7 µg/l en 6,2 µg/l. Een gammaverdeling met $a=3,95$ en $b=0,94$ geeft hier de beste fit. In afbeelding 5.9 is de gammaverdeling weergegeven en in tabel 5.10 staan de belangrijkste getallen weergegeven.



Afbeelding 5.9: Gammaverdeling van het voorkomen van AMPA in het Lekkanaal (links, 18 metingen) en het RWZI effluent (rechts, 24 metingen).

Tabel 5.10: Kenmerken van de gammaverdeling voor AMPA in de bronnen.

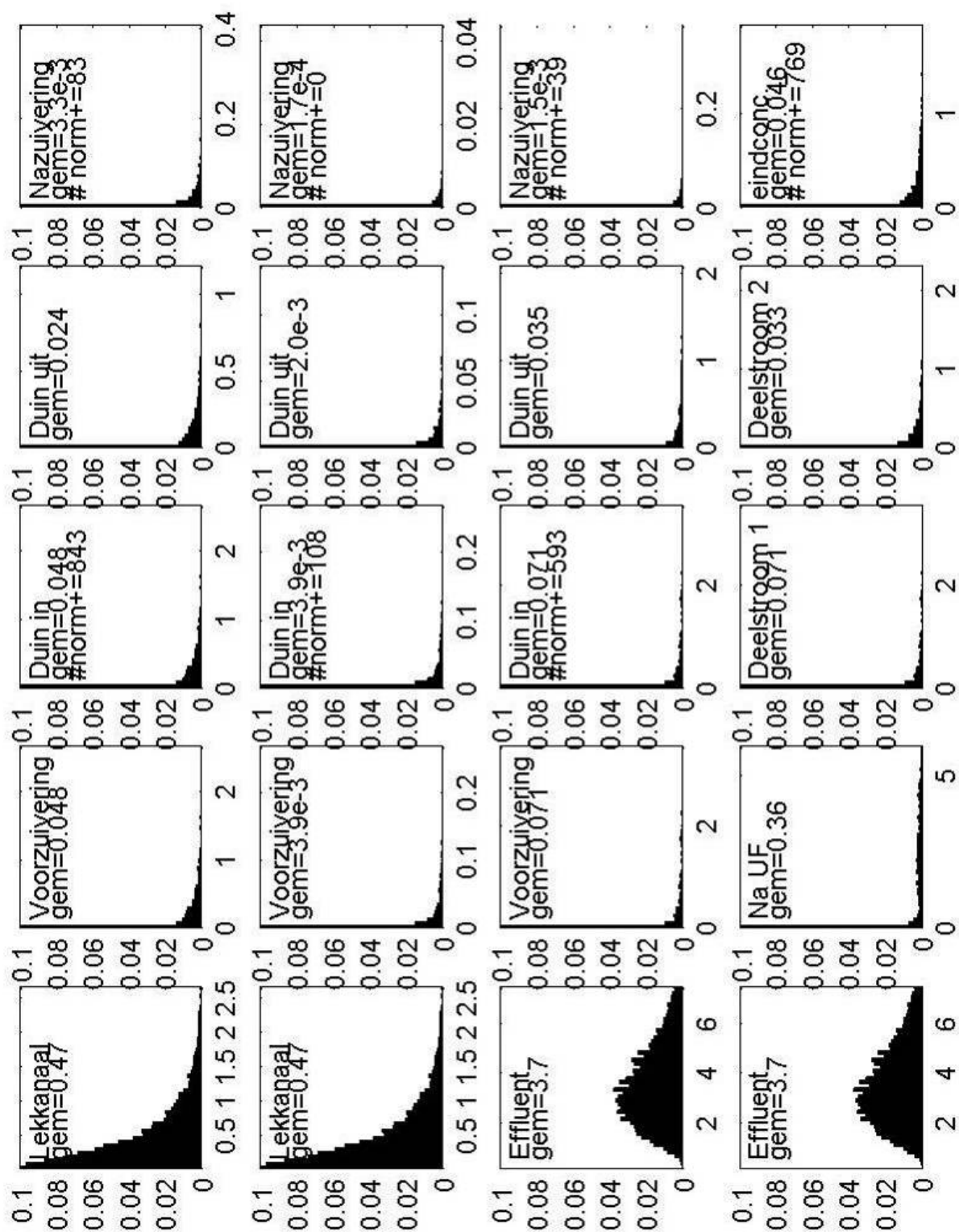
Bron	a	B	Gem.	P90	Literatuur
Lekkanaal	0,89	0,52	0,46	1,1	[RIWA, 2003], [Hopman, 1995]
RWZI effluent	3,95	0,94	3,7	6,2	[STOWA, 1997]

5.5.2 Verwijdering in de zuivering

In tegenstelling tot *Cryptosporidium* is de verwijdering van AMPA veel minder goed bestuurd. Daar komt nog bij dat bij een aantal processen de verwijdering sterk varieert met de procesomstandigheden. De waarden in onderstaande tabel zijn een globale schatting. In [Siegers, 1997] en [Beerendonk, 1995] zijn metingen gedaan naar de verwijdering van AMPA. Voor RO, ozon en UV/peroxide is er een aanname gedaan aan de hand van de verwijdering van andere bestrijdingsmiddelen [Huiting, 1993], [Kruithof, 2005]. Voor de duinpassage is een aanname gedaan gebaseerd op de verwijdering in de andere processen. De waarden van de bètaverdeling zijn verkregen op een analoge wijze als met *Cryptosporidium*. Hier wordt de verwijdering in percentages weergegeven. In tabel 5.11 staat de verwijdering per zuiveringsstap opgenomen.

Tabel 5.11: Kenmerken van de zuiveringsstappen op de verwijdering van AMPA. Aangenomen is dat alle processen voldoen aan een bètaverdeling.

Zuiveringsproces	A	b	Gem.	P90	Literatuur
Vlokvorming/vlokverwijdering	0,01	0,09	90%	50%	[Siegers, 1997]
UV/Peroxide	2,8	6,5	70%	50%	[Kruithof, 2005]
Reverse Osmosis	0,21	0,84	80%	30%	[Huiting, 1993]
Duinpassage	21	21	50%	40%	Aanname
Ozon	0,4	0,93	70%	20%	[Huiting, 1993]
BACF	2,8	6,5	70%	50%	[Beerendonk, 1995]
Langzame zandfiltratie	1	1	50%	10%	[Beerendonk, 1995]



Afbeelding 5.10: Monte-Carlo analyse voor AMPA van de huidige situatie (bovenste rij) en alle drie de alternatieven bij 10.000 trekkingen. Op de x-as staat de uitgaande concentratie in microgrammen per liter. Op de y-as staat de kans.

5.5.3 Faalkansen

In afbeelding 5.17 zijn de resultaten van de Monte-Carlo analyse voor AMPA weergegeven (10.000 trekkingen). In de bovenste rij staat de huidige situatie, in de tweede rij staat alternatief 1: 'Lekkanaal als bron', in de derde rij staat het tweede alternatief: 'effluent met duinpassage' en in de onderste rij staat het derde alternatief: 'direct hergebruik RWZI effluent'. Op de y-as staat de kans en op de x-as is de concentratie in µg/liter.

In het Lekkanaal zit gemiddeld 0,47 µg/l aan AMPA. Dit wordt in de voorzuivering vermindert tot 0,048 µg/l door de vlokvorming. Hierna wordt dit water getransporteerd naar het duin en ondergaat het de bodempassage. Herbesmetting zoals bij *Cryptosporidium* zal nu niet plaatsvinden. In de duinbodem blijft ongeveer de helft van de vracht AMPA achter. In de nazuivering wordt AMPA verder verwijderd door de ozon, de actieve kool en de langzame zandfiltratie zodat de eindconcentratie $3,3 \cdot 10^{-3}$ µg/l AMPA wordt. In het eerste alternatief (regel 2 in figuur 5.17) is aan de voorzuivering UV/Peroxide en actieve koolfiltratie toegevoegd. Dit zorgt voor een verwijdering tot $3,9 \cdot 10^{-3}$ µg/l. In de duinpassage en de nazuivering gebeuren dezelfde processen als in de huidige situatie en de eindconcentratie wordt dan $1,7 \cdot 10^{-4}$ µg/l.

In het tweede alternatief (regel 3 in figuur 5.17) wordt het RWZI effluent gebruikt als bron voor het infiltraat. In de voorzuivering wordt deze concentratie door de vlokvorming en de RO teruggebracht van 3,7 µg/l tot 0,071 µg/l in de duinbodem blijft dan weer de helft achter en in de nazuivering wordt de concentratie verder teruggebracht tot $1,5 \cdot 10^{-3}$ µg/l. In het derde alternatief (onderste regel in figuur 5.17) wordt het RWZI effluent direct tot drinkwater gezuiverd. Na de vlokvorming is de concentratie gedaald tot 0,36 µg/l. In de deelstroom met RO wordt dit teruggebracht tot 0,071 µg/l; in de andere deelstroom verlagen de UV/peroxide en de actieve kool de concentratie AMPA tot 0,033 µg/l. Deze deelstromen mengen zich dan weer zodat de eindconcentratie 0,046 µg/l is.

5.5.4 Normoverschrijdingen

Ook bij AMPA is gekeken naar de normoverschrijdingen. Ook de normoverschrijdingen bij de duininfiltratie zijn meegenomen (norm van 0,1 µg/l). In de onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven. Gemiddeld gesproken wordt de wettelijke norm steeds gehaald, maar het aantal normoverschrijdingen verschilt per alternatief.

Tabel 5.15: Normoverschrijdingen van AMPA voor zowel het IB als het waterleidingbesluit.

Alternatief	Aantal trekkingen	Aantal overschrijdingen	Overschrijdingskans
Huidige situatie	1.000.000	Drinkwater: 9219 Infiltraat: 84514	Drinkwater: 0,9% Infiltraat 8,4%
Lekkanaal als bron	1.000.000	Drinkwater: 105 Infiltraat: 11252	Drinkwater: 0,01% Infiltraat 1,1%
Effluent met duinpassage	1.000.000	Drinkwater: 4057 Infiltraat: 62127	Drinkwater: 0,4% Infiltraat 6,2%
Direct hergebruik effluent	1.000.000	Drinkwater: 79063	Drinkwater: 7,9%

5.5.5 Gezondheidskosten

De gevonden concentraties zijn dusdanig laag dat er geen gevolgen voor de gezondheid kunnen worden verwacht [WHO, 1998]. Zelfs bij het derde alternatief is de consumptie in een leven minder dan 1mg.

5.5.6 Robuustheid van de hergebruik alternatieven tegen AMPA

Om ook de robuustheid van het systeem tegen AMPA in kaart te brengen worden drie scenario's toegepast. Deze scenario's zijn hetzelfde als bij de analyse van de robuustheid van de alternatieven voor hergebruik tegen *Cryptosporidium*, maar hebben een andere uitwerking voor AMPA.

Scenario 1: verhoogde concentratie in de bron

Zoals eerder gesteld kan er na een heftige regenbui ook een behoorlijke uitspoeling vanuit de landbouw plaatsvinden. De hoogste gemeten concentratie AMPA in het Lekkanaal is 1,1 µg/l. Stel dat er nu ook een ongeluk op de Rijn plaatsvindt waarbij een schip met glyfosaat is betrokken. Dit glyfosaat kan dan in het water afbreken tot o.a. AMPA. Dit zorgt voor een 'worst case' scenario met een toename van AMPA tot 15 µg/l.

Een verhoging van de concentratie AMPA in het effluent kan ook voorkomen. Een voorbeeld hiervan kan zijn dat de Nederlandse Spoorwegen het onkruid op de spoorwegemplacements wil bestrijden. Een bestrijdingsmiddel als 'roundup' heeft AMPA als afbraakproduct. Als dit flink gebruikt wordt en afstroomt naar het gemengde rioolstelsel zal er zeker een verhoogde concentratie in het RWZI effluent optreden. De hoogste gemeten concentratie AMPA is 6,2 µg/l. Als worst case scenario wordt een verhoging tot 15 µg/l bekeken.

In tabel 5.16 staan de resultaten van deze verhoogde concentratie in de bron. Het water uit geen van de alternatieven zou nog geïnfiltreerd mogen worden en alleen het drinkwater uit de eerste twee alternatieven voldoet nog aan de wettelijke norm. Het percentage normoverschrijdingen is laag, terwijl de gemiddelde concentratie's boven de norm uit komt. Dit kan alleen verklaard worden door enkele zeer hoge concentraties en veel trekkingen onder de norm.

Tabel 5.16: Effecten van een verhoogde concentratie in de bron.

Alternatief	Concentratie in de bron	Concentratie in het water	Overschrijdingskans
Huidige situatie	15 µg/l	Drinkwater: 0,11 µg/l Infiltraat: 1,49 µg/l	Drinkwater: 7,1% Infiltraat 13,8%
Lekkanaal als bron	15 µg/l	Drinkwater: $5,9 \cdot 10^{-3}$ µg/l Infiltraat: 0,13 µg/l	Drinkwater: 1,1% Infiltraat 7,9%
Effluent met duinpassage	15 µg/l	Drinkwater: $7,6 \cdot 10^{-3}$ µg/l Infiltraat: 0,31 µg/l	Drinkwater: 1,0% Infiltraat 7,5%
Direct hergebruik effluent	15 µg/l	Drinkwater: 0,19 µg/l	Drinkwater: 9,5%

Scenario 2: uitvallen meest kritieke zuiveringsstap

Net als bij *Cryptosporidium* wordt gekeken naar een situatie waarin de meest effectieve zuiveringsstap wordt overgeslagen. In alle gevallen is de vlokvorming de meest effectieve zuiveringsstap. Het kan zijn dat door het uitvallen van een pomp of door technisch onderhoud ook de duinpassage tijdelijk moet worden overgeslagen. Deze situatie wordt gecombineerd met het uitvallen van de vlokvorming.

Tabel 5.17: Effecten van het uitvallen van de meest effectieve zuiveringsstap(pen).

Alternatief	Uitgevallen zuiveringsstap	Concentratie in het water	Overschrijdingskans
Huidige situatie	Vlokvorming en duinpassage	Drinkwater: $7,0 \cdot 10^{-2}$ µg/l Infiltraat: 0,46 µg/l	Drinkwater: 19% Infiltraat 78%
Lekkanaal als bron	Vlokvorming en duinpassage	Drinkwater: $3,8 \cdot 10^{-3}$ µg/l Infiltraat: $4,2 \cdot 10^{-2}$ µg/l	Drinkwater: 0,5% Infiltraat 12%
Effluent met duinpassage	Vlokvorming en duinpassage	Drinkwater: $3,3 \cdot 10^{-2}$ µg/l Infiltraat: 0,74 µg/l	Drinkwater: 7% Infiltraat 54%
Direct hergebruik effluent	Vlokvorming	Drinkwater: 0,47 µg/l	Drinkwater: 73%

In de bovenstaande tabel staan de resultaten bij het uitvallen van de meest effectieve zuiveringsstap(pen). Alleen het alternatief met direct hergebruik levert drinkwater dat niet voldoet aan de wettelijke normen. Het water uit het eerste alternatief ('Lekkanaal als bron') zou nog wel geïnfiltreerd mogen worden in het duingebied.

Scenario 3: verhoogde concentratie in de bron en het uitvallen van de meest kritieke zuiveringsstap

De effecten van de eerste twee scenario's worden gecombineerd en geven het resultaat zoals vermeld in tabel 5.18. Het water van geen van de alternatieven voldoet nog aan de wettelijke normen.

Tabel 5.18: Effecten van een verhoogde concentratie in de bron en het uitvallen van de meest effectieve zuiveringsstap(pen).

Alternatief	Concentratie in de bron	Concentratie in het water	Overschrijdingskans
Huidige situatie	15 µg/l	Drinkwater: 2,2 µg/l Infiltraat: 15 µg/l	Drinkwater: 71% Infiltraat 99%
Lekkanaal als bron	15 µg/l	Drinkwater: 0,12 µg/l Infiltraat: 1,36 µg/l	Drinkwater: 16% Infiltraat 68%
Effluent met duinpassage	15 µg/l	Drinkwater: 0,14 µg/l Infiltraat: 3,0 µg/l	Drinkwater: 14% Infiltraat 61%
Direct hergebruik effluent	15 µg/l	Drinkwater: 1,91 µg/l	Drinkwater: 81%

5.6 Discussie risicoanalyse

Bij de Monte-Carlo analyses zijn de volgende kritische opmerkingen te plaatsen:

- De gemeten concentratie in de bron wordt gesimuleerd als een groot aantal onafhankelijke trekkingen. In werkelijkheid zal de ontwikkeling van een concentratie van een bepaalde stof in de bron door een groot aantal factoren worden beïnvloed. Het is erg onwaarschijnlijk dat er in een klein volume en in een kort tijdsbestek zulke grote variaties plaatsvinden als nu in de bron is gesimuleerd.
- De zuiveringsprocessen zijn gesimuleerd als volledig onafhankelijke processen. Dit is niet altijd het geval. De verwijdering van een stof gebeurt chemisch, biologisch of fysisch. Bij alle processen zijn er duidelijke factoren te noemen waarvan de verwijdering afhangt. Ook zal bij een aantal processen de mate van verwijdering afhangen van de hoeveelheid in het aangevoerde water. In de simulatie is de verwijdering gesimuleerd met een kansverdeling. Het kan dus zo zijn dat er in één trekking een hoge concentratie in de bron voorkomt en een slechte verwijdering in de zuiveringsstap, terwijl in de volgende trekking het omgekeerde kan voorkomen. Dit is in de praktijk onlogisch.
- Bij een aantal processen is ook de samenwerking met andere processen van belang. Een voorbeeld hiervan is de UV/peroxide en BACF. Deze processen presteren waarschijnlijk beter in combinatie dan los van elkaar.
- De belangrijkste vraag bij de monte-carlo analyses is wat is één trekking? De gegevens in de bron en in de zuivering zijn gebaseerd op metingen in een liter. De simulatie zou dus correct zijn wanneer de zuivering plaats vindt in losse propstromen van 1 liter. In werkelijkheid treedt er menging op tussen de onafhankelijke liters. Deze menging vindt plaats tussen de zuiveringsstappen, in de buffers en in de reinwaterkelders. De menging in het zuiveringsproces is meegenomen in de metingen van de verwijdering. Vaak zijn dit wel metingen over slechts één procesonderdeel en niet de gehele zuiveringsstap. Bij de alternatieven met effluent begint de zuivering met een effluent buffer. Ook de afvlakking in deze buffers is niet meegenomen.

De in de waterleidingwet geformuleerde normen voor pathogene micro-organismen zijn absolute maxima waar geen enkele overschrijding op mag plaatsvinden. De uitmiddeling die in de reinwaterkelders plaatsvinden zijn daarom belangrijk voor de voorkoming van normoverschrijdingen. Hierbij moet worden opgemerkt dat het alleen nog gaat om theoretische normoverschrijdingen die in de praktijk niet kunnen voorkomen.

De berekening van het infectierisico is ook gebaseerd op een groot aantal aannamen. Uiteindelijk is er ook nog de praktische vraag of een infectie wordt opgemerkt en terug te herleiden is naar een infectie vanuit de drinkwaterzuivering.

Hoewel er in deze risicoanalyse slechts twee stoffen zijn bekeken geven zij wel al een goed beeld van hoe de zuivering zal werken. Voor zowel oppervlaktewater als RWZI-effluent is het heel moeilijk om de bron goed te beschermen en te voorkomen dat bepaalde stoffen de drinkwaterzuivering bereiken.

5.7 Samenvatting

Een verkennende risicoanalyse voor zowel *Cryptosporidium* (als gidsparameter voor de pathogene micro-organismen) als AMPA (als gidsparameter voor de organische microverontreinigingen) is gedaan. Het voorkomen van de stoffen in de bron is beschreven met een gamma-verdeling en de verwijdering in de zuivering met een bètaverdeling. Voor de gammaverdelingen zijn de gemiddelde en de hoogste gemeten waarden als uitgangspunt gekozen. De hoogste gemeten waarde is gelijk gesteld aan het 90 percentiel. Voor de bètaverdeling is ook de gemiddelde verwijdering en de verwijdering die in 90% van de tijd gehaald wordt als uitgangspunt gekozen. Met deze uitgangspunten zijn de karakteristieke verdelingen bepaald en is de faalkans van de ontworpen zuiveringen berekend (Monte-Carlo simulatie). Ter vergelijking is ook steeds de huidige situatie meegenomen.

Uit de analyse blijkt dat onder gemiddelde omstandigheden alle voorgestelde zuiveringen voldoen aan de wettelijke eisen. Voor de microbiologische zekerheid is de gesloten terugwinning essentieel. Wanneer er geen gesloten terugwinning is wordt de microbiologische kwaliteit volledig bepaald door de herbesmetting in het duingebied en zit de eindconcentratie veel dichterbij de wettelijke norm en vinden er veel meer normoverschrijdingen plaats. Wanneer de meest effectieve zuiveringsstap uitvalt voldoen de ontwerpen met een gesloten terugwinning dan ook nog ruimschoots. Wanneer dan de concentratie in de bron ook nog toeneemt naar één miljoen oöcysten/liter dan zou, volgens de simulatie, het RWZI effluent geen bron meer kunnen zijn voor de drinkwaterproductie. De ontwerpkeuzes en gesimuleerde extreme omstandigheid zijn hiervoor debet. Ter vergelijking is de risicoanalyse voor *Cryptosporidium* ook toegepast op de situatie in Windhoek. Onder gemiddelde omstandigheden voldoet ook deze zuivering aan de (Nederlandse) norm, maar bij het testen van de robuustheid met ontwikkelde scenario's worden de normen niet meer gehaald.

Voor de organische microverontreiniging geldt dat onder gemiddelde omstandigheden alle alternatieven voldoen, maar bij toepassing van de extreme scenario's worden de wettelijke eisen niet meer gehaald. De eerste twee alternatieven ('Lekkanaal als bron' en 'effluent met duinpassage') scoren aanmerkelijk beter onder de extreme omstandigheden dan de bestaande situatie met open terugwinning en het directe hergebruik van RWZI effluent.

Referenties

- Beerendonk, E.F. et al; Verwijdering van bestrijdingsmiddelen door een integraal zuivering-systeem: Capaciteit ten aanzien van piekbelastingen; KIWA, Nieuwegein, 1995
- Dullemont, Y.J. en Scholte, P.W.; voorlopige risicoanalyse *Cryptosporidium* en giardia in de voorzuivering te Nieuwegein en het zuiveringsproces te Leiduin, trendanalyse over de jaren 1997 t/m 2002; WLB, Amsterdam 2004
- United States environmental protection agency; Long term 2 enhanced surface water treatment rule, toolbox guidance manual; US EPA, Washington, 2003
- Haas, C.N. en Trussell, R.R.; Frameworks for assessing reliability of multiple, independent barriers in potable water reuse; water science and technology, vol. 38, no 6, 1998
- Hijnen, W.A.M. et al; Elimination of micro-organisms by drinking water treatment process; KIWA, Nieuwegein 2004, BTO 2003.013
- Hopman, R. et al; Glyfosfaat en AMPA bij de drinkwaterbereiding; KIWA, Nieuwegein 1995
- Huiting, H et al; verwijdering van bestrijdingsmiddelen in de proefinstallatie van GWA te Leiduin; KIWA, Nieuwegein 1993
- Kruithof, J.C.; UV/H₂O₂ retrofit of PWN's water treatment plant Andijk for primary disinfection and organic contaminant control; TU Delft, vakantiecursus in drink- en afvalwater, 2005
- MacKenzie, W.R. et al; A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply; New England journal of Medicine 1994
- Medema, G.J. et al; *Cryptosporidium* en Giardia: voorkomen in rioolwater, mest en oppervlaktewater met zwem en drinkwaterfunctie, RIWA/RIVM/RIZA/KIWA 2001
- Meijer, L; Evaluation of the Ultra Filtration: research report; Delft, 2006 (stageverslag)
- RIWA; meetgegevens van het Lekkanaal bij Nieuwegein over 2002 en 2003; RIWA, Nieuwegein 2004
- Siegers, W.G en Hopman, R.; Verwijdering AMPA door coagulatie, bekerglasproeven en proefinstallatie-onderzoek; KIWA Nieuwegein, 1997
- STOWA, verwijdering van hormoonverstorende stoffen in rioolwaterzuiveringsinstallatie's, STOWA, Utrecht 2003
- Theunis, P.F.M. et al; The dose-respons relation in human volunteers for gastro-intestinal pathogens, RIVM, Bilthoven, 1996, rapport nummer 284550002
- Vrijling, J.K. et al; probabilities in civil engineering, part 1: probabilistic design in theory; maart 1997, stichting CUR, Gouda
- World Health Organization; guidance for drinking water quality; Geneva 1998

6. Kosten van de alternatieven

6.1 Algemene opmerkingen kostenramingen

Om de drie alternatieven met elkaar te vergelijken worden de kosten geraamd. Eerst worden de vaste kosten van de ontwerpen uit hoofdstuk vier berekend en daarna de exploitatiekosten per alternatief. Dit is gedaan met behulp van het kostenboekje van DHV [DHV, 2002]. In dit boekje staan formules voor zuiveringsonderdelen gebaseerd op de nacalculaties van een aantal gerealiseerde projecten. Deze berekeningen worden omgerekend naar het bedrag per m³ drinkwater en geëxtrapoleerd voor de komende vijftig jaar. Doordat het kostenboekje van DHV is gebruikt zijn alle kostenberekeningen gebaseerd op het prijspeil van 2002.

De ontwerpen uit hoofdstuk vier zijn slechts een gedeelte van het totale alternatief. Om de alternatieven goed te vergelijken moeten behalve de kosten van het ontwerp ook de kosten van de bestaande duinpassage (met open terugwinning) en de nazuivering Leiduin worden meegenomen bij de eerste twee alternatieven. Graveland [Graveland, 1998] heeft de totale zuivering van WLB per zuiveringsonderdeel uitgedrukt in dollar centen. Dit is omgerekend naar euro centen en gecorrigeerd voor de inflatie.

In het ‘Lekkanaal als bron’ alternatief is geen verdere behandeling van het RWZI-effluent opgenomen. Dit RWZI-effluent voldoet nog niet aan de strengere lozingseisen uit de kader-richtlijn water. De andere twee alternatieven voldoen wel aan deze strengere lozingseisen. Om de kostenraming representatief te maken is voor dit alternatief een derde zuiveringsstap op de RWZI meegenomen in de vorm van een nitrificatie en denitrificatie in snelle zandfilters.

In het ‘Lekkanaal als bron’ alternatief is de sloop van de huidige voorzuivering in Nieuwegein en de transportleidingen naar het duingebied wel opgenomen en in de andere alternatieven niet. Om de alternatieven representatief te maken is bij de twee alternatieven met RWZI-effluent ook de sloop van de huidige infrastructuur meegenomen.

In de kostenraming is de bijdrage van het transportsysteem erg groot. Om de invloed van het gekozen transportsysteem duidelijk te maken is voor zowel het ‘Lekkanaal als bron’ als het ‘effluent met duinpassage’ alternatief dezelfde kostenraming gedaan met slechts één transportbuis in plaats van drie. In het eerste alternatief worden daarom de drie buizen met een diameter van 1,2 meter vervangen door één buis met een diameter van 1,5 meter en is er slechts één reinwaterkelder ($V=2250\text{m}^3$) en één booster pompstation. Voor het ‘effluent met duinpassage’ alternatief geldt hetzelfde, alleen worden de drie buizen met 1 meter diameter vervangen door één buis met een diameter van 1,2 meter.

6.2 Vaste kosten van de ontwerpen

In de tabellen op de volgende pagina's zijn de vaste kosten voor de drie ontwerpen geraamd. Deze kosten zijn berekend met behulp van het kostenboekje van DHV [DHV, 2002]. Bij deze kostenramingen worden de volgende opmerkingen worden geplaatst.

1. De grondkosten bij het eerste ontwerp vallen hoger uit dan bij de andere twee ontwerpen, omdat er hier meer sloopwerkzaamheden nodig zijn, terwijl het terrein voor de andere twee ontwerpen braak ligt.
2. In alle drie de ontwerpen is een inname pompstation voor oppervlaktewater opgenomen. Alleen in het eerste ontwerp wordt er ook daadwerkelijk oppervlaktewater ingenomen, in de andere alternatieven is dit RWZI-effluent. Het inname pompstation voor RWZI-effluent zal in werkelijkheid goedkoper zijn door de kleine afstand en andere waterkwaliteit.
3. De buffertank voor het effluent is berekend met de kostenformule van een reinwaterkelder. In werkelijkheid zal het buffer goedkoper zijn dan een reinwaterkelder.
4. Voor de UV/Peroxide is de kostenformule van een traditionele, medium pressure, UV desinfectie met lagere UV doseringen gebruikt. In deze formule is ook geen rekening gehouden met aanpassingen in de installatie voor de dosering van peroxide.
5. De nitrificatie en denitrificatie zijn ontworpen en berekend als een snelle zand filtratie.
6. Er zijn geen kosten opgenomen voor de behandeling van het spoelwater van de nitrificatie en denitrificatie voor lozing.
7. De kosten voor het sluiten van de terugwinning uit het duin zijn niet opgenomen in de kostenramingen van alternatief één en twee, maar zijn wel een belangrijke kostenbijdrage.

In de kostenramingen valt op dat de vaste kosten primair bepaald worden door de transportleidingen en de membranen. De kosten van de membranen worden gerelateerd aan het ingaande (bij UF) of uitgaande (bij RO) debiet. Wanneer de kosten bij de membranen worden omgerekend naar de kosten per membraan stack dan is RO iets duurder dan UF. In de onderstaande tabel zijn de effecten van een aantal (aanvullende) maatregelen op de totale kosten meegenomen.

Tabel 6.1: Effecten van aanvullende, individuele maatregelen op de totale vaste kosten en de wijzigingen in het transport systeem.

	Lekkanaal als bron	Effluent met duinpassage	Direct hergebruik RWZI effluent
Vaste kosten bij het ontwerp	229 miljoen euro	170 miljoen euro	190 miljoen euro
Sloop huidige voorziening en transport	Meegenomen in de kostenraming van het ontwerp	+ 21 miljoen euro = 191 miljoen euro	+ 22 miljoen euro = 212 miljoen euro
Nitrificatie en denitrificatie van RWZI effluent	+ 26 miljoen euro = 255 miljoen euro	Meegenomen in de kostenraming van het ontwerp	Meegenomen in de kostenraming van het ontwerp
1 transportbuis i.p.v. 3	-82 miljoen euro 147 miljoen euro	- 32 miljoen euro = 143 miljoen euro	Geen invloed

Tabel 6.2: Vaste kosten voorzuivering Nieuwegein.

Kostenpost		Bedrag (miljoen euro)
A	Grondkosten	
1	Verwerving	0
2	Infrastructuur buiten het terrein	0
3	Bouwrijp maken	
	- klaar maken van het terrein	1
	- grondwerk	2
	- verleggen van kabels en leidingen	3
	- sloop huidige gebouwen	5
	- sloop huidige transportleidingen	10
4	Terreinonderhoud tijdens de bouw	0
		20 miljoen
B1	Bouwkosten zuivering	
1	Inname pompstation ($Q=6710\text{m}^3/\text{h}$)	3,3
2	Microzeving ($A=225\text{m}^2$)	2,4
3	Coagulatie ($V=2400\text{m}^3$)	5,8
4	Lamellenbezinking ($A=7500\text{m}^2$)	7,8
5	Snelfiltratie ($A=800\text{m}^2$)	5,0
6	UV/Peroxide ($Q=8000\text{m}^3$)	1,1
7	Biologisch actieve koolfiltratie ($V=1600\text{m}^3$)	7,7
		33 miljoen
B2	Bouwkosten opslag en transportleidingen	
8	Reinwaterkelders ($V=750\text{m}^3$, 3 stuks)	1,3
9	Reinwaterpomp ($Q=2250\text{m}^3/\text{h}$, 3 stuks)	7,2
10	Transportleidingen ($D=1,2\text{m}$, $L=50\text{km}$, 3 stuks)	108
11	Booster pompstation ($Q=2250\text{m}^3/\text{h}$, 3 stuks)	1,9
		118 miljoen
B3	Toeslag	
12	5% toeslag voor algemene gebouwen	7,6
		7,6 miljoen
C	Inrichtingskosten	
1	3% van totaal B1+B3	1,2
		1,2 miljoen
D	Bijkomende kosten	
1	Voorbereiding en begeleiding zuivering (20% van A+B1+B3+C)	12
2	Voorbereiding en begeleiding transport (10% van B2)	12
3	Overige bijkomende kosten (2% van A+B+C)	3,6
		28 miljoen
E	Bouwrente	
	10% van A+B+C+D	21
		21 miljoen
F	Totaal vaste kosten (investeringskosten)	229 miljoen euro

Tabel 6.3: Vaste kosten voorzuivering Amsterdam.

Kostenpost		Bedrag (miljoen euro)
A	Grondkosten	
1	Verwerving	0
2	Infrastructuur buiten het terrein	1
3	Bouwrijp maken	
	- klaar maken van het terrein	2
	- grondwerk	6
	- verleggen van kabels en leidingen	1
	- sloop huidige gebouwen	0
	- sloop huidige transportleidingen	0
4	Terreinonderhoud tijdens de bouw	0
		10 miljoen
B1	Bouwkosten zuivering	
1	Inname pompstation ($Q=10000\text{m}^3/\text{h}$)	4,6
2	Microzeving ($A=350\text{m}^2$)	3,4
3	Buffer tank ($V=20.000$, 3 stuks)	8,9
4	Coagulatie ($V=2400\text{m}^3$)	5,8
5	Flotatie ($A=2250\text{m}^2$)	6,2
6	Ultra filtratie ($Q_{\text{in}}=8640\text{m}^3/\text{h}$)	17
7	Reverse Osmosis ($Q_{\text{uit}}=6800\text{m}^3/\text{h}$)	13
8	Voor lozing: Nitrificatie ($A=640\text{m}^2$)	4,4
9	Voor lozing: Denitrificatie ($A=640\text{m}^2$)	4,4
		67 miljoen
B2	Bouwkosten opslag en transportleidingen	
10	Reinwaterkelders ($V=750\text{m}^3$, 3 stuks)	1,3
11	Reinwaterpomp ($Q=2250\text{m}^3/\text{h}$, 3 stuks)	7,2
12	Transportleidingen ($D=1,0\text{m}$, $L=20\text{km}$, 3 stuks)	36
		45 miljoen
B3	Toeslag	
13	5% toeslag voor algemene gebouwen	5,8
		5,6 miljoen
C	Inrichtingskosten	
1	3% van totaal B1+B3	2,2
		2,2 miljoen
D	Bijkomende kosten	
1	Vorbereiding en begeleiding zuivering (20% van A+B1+B3+C)	17
2	Vorbereiding en begeleiding transport (10% van B2)	5,7
3	Overige bijkomende kosten (2% van A+B+C)	2,6
		25 miljoen
E	Bouwrente	
	10% van A+B+C+D	16
		16 miljoen
F	Totaal vaste kosten (investeringskosten)	170 miljoen euro

Tabel 6.4: Vaste kosten waterfabriek Amsterdam.

Kostenpost		Bedrag (miljoen euro)
A	Grondkosten	
1	Verwerving	0
2	Infrastructuur buiten het terrein	1
3	Bouwrijp maken	
	- klaar maken van het terrein	2
	- grondwerk	6
	- verleggen van kabels en leidingen	1
	- sloop huidige gebouwen	0
	- sloop huidige transportleidingen	0
4	Terreinonderhoud tijdens de bouw	0
		10 miljoen
B1	Bouwkosten zuivering	
1	Inname pompstation ($Q=10.000\text{m}^3/\text{h}$)	4,6
2	Microzeving ($A=350\text{m}^2$)	3,4
3	Buffer tank ($V=20.000$, 3 stuks)	8,9
4	Coagulatie ($V=3200\text{m}^3$)	7,4
5	Flotatie ($A=2500\text{m}^2$)	6,6
6	Ultra filtratie ($Q_{\text{in}}=9600\text{m}^3/\text{h}$)	18
7	Deelstroom 1: Reverse Osmosis ($Q_{\text{uit}}=2400\text{m}^3/\text{h}$)	7,9
8	Deelstroom 2: Nitrificatie zuivering ($A=1280\text{m}^2$)	6,5
9	Deelstroom 2: Denitrificatie zuivering ($A=1280\text{m}^2$)	6,5
10	Deelstroom 2: UV/Peroxide ($Q=8000\text{m}^3/\text{h}$)	1,1
11	Deelstroom 2: Biologisch actieve koolfiltratie ($V=1920\text{m}^3$)	8,8
12	Deelstroom 2: Ultra filtratie 2 ($Q_{\text{in}}=6400\text{m}^3/\text{h}$)	14
13	Voor lozing: Nitrificatie en denitrificatie (2 keer 12 filters $A=2$ keer 480m^2)	7,4
		102 miljoen
B2	Bouwkosten opslag en transportleidingen	
14	Mengunit en Reinwaterkelders ($V=18.000\text{m}^3$, 3 stuks)	10
15	Reinwaterpomp ($Q=3000\text{m}^3/\text{h}$, 3 stuks)	8,8
16	Aansluiten en veranderingen distributienet	2
		21 miljoen
B3	Toeslag	
17	5% toeslag voor algemene gebouwen	6,1
		6,1 miljoen
C	Inrichtingskosten	
1	3% van totaal B1+B3	3,2
		3,2 miljoen
D	Bijkomende kosten	
1	Voorbereiding en begeleiding zuivering (20% van A+B1+B3+C)	25
2	Voorbereiding en begeleiding transport (10% van B2)	3,4
3	Overige bijkomende kosten (2% van A+B+C)	2,9
		31 miljoen
E	Bouwrente	
	10% van A+B+C+D	17
		17 miljoen
F	Totaal vaste kosten (investeringskosten)	190 miljoen euro

6.3 Exploitatiekosten

In de tabellen op de volgende pagina's zijn de exploitatiekosten voor alle drie de alternatieven uitgewerkt. Waternet maakt gebruik van een lineaire afschrijving met 5% rente. Alle investeringen uit de kostenraming zijn onderverdeeld in civiele techniek, werktuigbouwkunde en elektrotechniek. Alledrie de investeringen hebben een verschillende afschrijvingstermijn. Als deze termijn gehaald is moet er een herinvestering worden gedaan om de oude investering te vervangen. Deze herinvestering is meegenomen in deze kostenraming en gecorrigeerd met een inflatiepercentage van 2%. De waarden die hier vermeld staan gelden allemaal voor het eerste jaar van exploitatie. Bij de raming van de exploitatiekosten worden de volgende opmerkingen gemaakt:

1. Bij de vaste kosten wordt alleen de afschrijving van de bouwkosten en inrichtingskosten meegenomen.
2. De berekening van kosten voor de vervanging van UV lampen is gebaseerd op de traditionele UV desinfectie.
3. De ontwatering en afvoer van zuiveringsslib kan in de alternatieven met afvalwater goedkoper dan in het 'Lekkanaal als bron' alternatief, omdat het gecombineerd kan worden met de afvoer van zuiveringsslib van de RWZI en kan verbrand worden bij het afval energie bedrijf Amsterdam.
4. Voor de membranen is de post incidenteel chemisch zuiveren meegenomen. Dit is een schatting.

De energiekosten van de zuivering zijn, naast de vaste kosten, het meest kostenbepalend. Een ontwerp met membraanfiltratie verbruikt meer energie dan een ontwerp zonder. Dit verklaart ook het verschil in de exploitatiekosten tussen het 'Lekkanaal als bron' en 'effluent met duinpassage' alternatief. Doordat in het 'direct hergebruik RWZI effluent' alternatief de nazuivering Leiduin wegvalt is dit alternatief ook een stuk goedkoper. In onderstaande tabel staan de effecten van een aantal aanvullende maatregelen op de exploitatiekosten. De financiering van de grondkosten zijn niet meegenomen in de exploitatiekosten waardoor de sloop van de huidige voorzuivering Nieuwegein en transportleidingen geen effect heeft op de exploitatiekosten. De exploitatiekosten van het transport bestaan uit de investering in de infrastructuur en de energie die nodig is voor het transport. Tegenover de kostenwinst die behaald wordt door slechts één transportbuis te gebruiken in plaats van drie staat het nadeel van hogere energiekosten voor het transport.

Tabel 6.5: Effecten van een aantal aanvullende, individuele maatregelen op de exploitatiekosten.

	Lekkanaal als bron	Effluent met duinpassage	Direct hergebruik RWZI effluent
Exploitatiekosten bij gekozen ontwerp	38 miljoen euro/jaar	44 miljoen euro/jaar	25 miljoen euro/jaar
Sloop huidige voorzuivering en transport	Meegenomen in de kostenraming van het ontwerp	Geen invloed	Geen invloed
Nitrificatie en denitrificatie van RWZI effluent	+1,7 miljoen euro/jaar =39,7 miljoen euro/jaar	Meegenomen in de kostenraming van het ontwerp	Meegenomen in de kostenraming van het ontwerp
1 transportbuis i.p.v. 3	-4,6 miljoen euro/jaar =33,4 miljoen euro/jaar	-0,7 miljoen euro/jaar =43,3 miljoen euro	Geen invloed

Tabel 6.6: Exploitatiekosten Alternatief 1: 'het Lekkanaal als bron'.

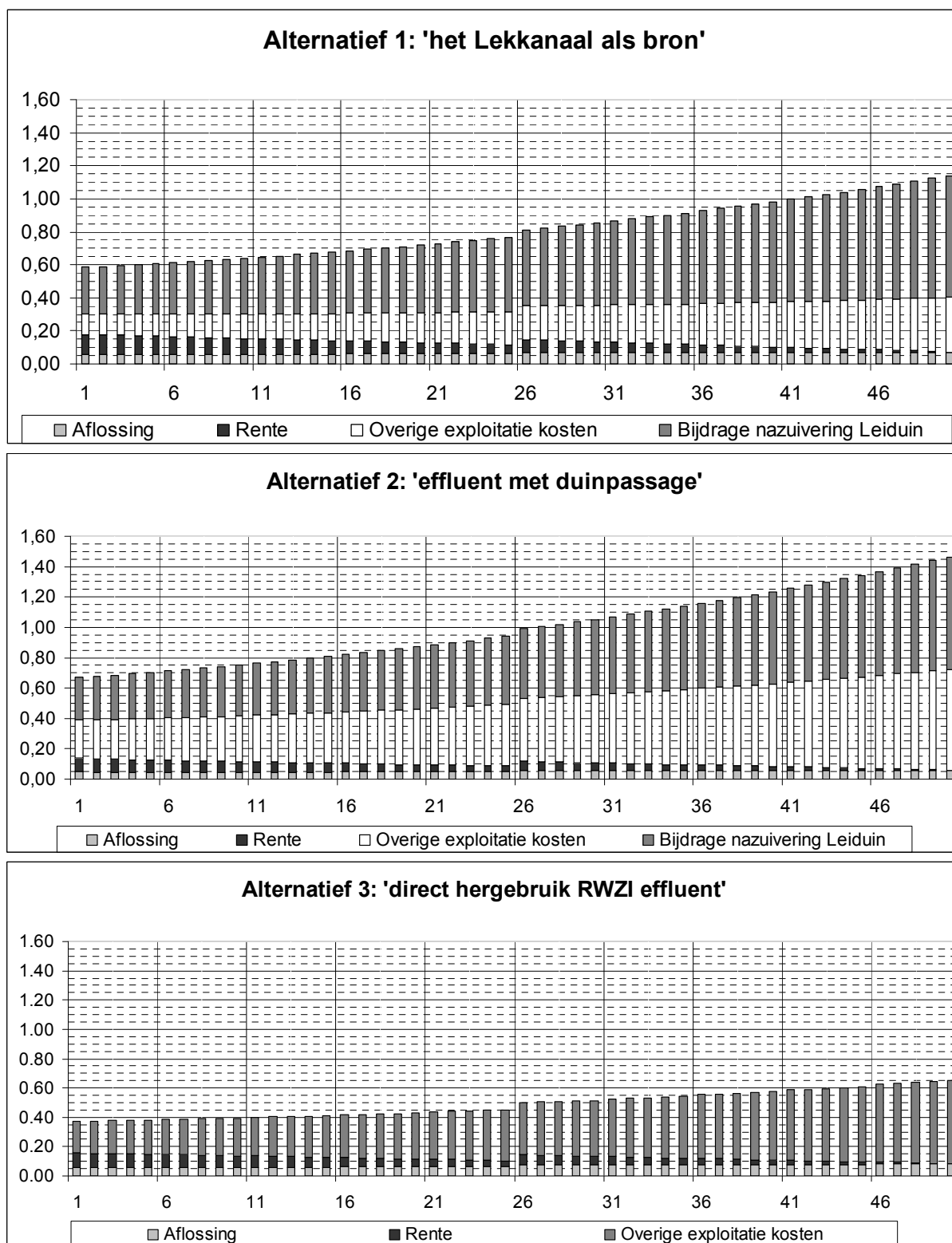
Kostenpost		Bedrag (miljoen euro)
A	Vaste kosten (lineaire afschrijving, bedragen in het eerste jaar)	
1	Bouwkosten civieltechnisch (71 miljoen, 5% rente, afschrijving 50 jaar)	5,0
2	Bouwkosten werktuigbouwkundig (68 miljoen, 5% rente, afschrijving 50 jaar)	4,8
3	Bouwkosten elektrotechnisch (20 miljoen, 5% rente, afschrijving 25 jaar)	1,8
4	Inrichtingskosten (1,2 miljoen, 5% rente, afschrijving 5 jaar)	0,3
		12 miljoen euro
B	Verbruikskosten	
1	Energiekosten zuivering (13 mwk, 8ct/kWh)	0,2
2	Energiekosten transport (3 leidingen, 10mwk, 8ct/kWh)	0,2
3	IJzerchloride (5mg/l, 0,0045 €/m ³)	0,3
4	Peroxide (5mg/l, 0,005 €/m ³)	0,3
5	Filterzanden (vervanging eens in de 10 jaar)	0,1
6	Actieve kool (vervanging eens in de 2,5 jaar)	0,3
7	Vervanging UV lampen (1100 €/lamp per jaar)	0,4
8	Ontwatering en afvoer zuiveringsslib (schatting)	1
		2,7 miljoen euro
C	Onderhoudskosten	
1	Civiele bouwkosten (0,5%)	0,4
2	Werktuigbouwkundig (2%)	1,4
3	Elektrotechnisch (4%)	0,8
4	Inrichting (10%)	0,1
		2,6 miljoen euro
D	Specifieke bedrijfskosten	
1	Bediening (40FTE à €55000)	2,2
2	Kwaliteitsbewaking	0,1
		2,3 miljoen euro
E	Administratie kosten	
1	20% van de bedieningskosten	0,4
		0,4 miljoen
F	Exploitatiekosten voorzuivering per jaar	20 miljoen euro
G	Exploitatiekosten nazuivering	
1	Onttrekking uit het duin	2,2
2	Nazuivering Leiduin	10,5
3	Opslag Leiduin, transport naar Amsterdam en aansluiting op distributienet	2,5
4	Personele en laboratorium kosten	3,1
		18 miljoen euro
H	Totale exploitatiekosten per jaar	38 miljoen euro

Tabel 6.7: Exploitatiekosten alternatief 2: 'effluent met duinpassage'.

Kostenpost		Bedrag (miljoen euro)
A	Vaste kosten (lineaire afschrijving, bedragen in het eerste jaar)	
1	Bouwkosten civieltechnisch (50 miljoen, 5% rente, afschrijving 50 jaar)	3,5
2	Bouwkosten werktuigbouwkundig (49 miljoen, 5% rente, afschrijving 50 jaar)	3,4
3	Bouwkosten elektrotechnisch (20 miljoen, 5% rente, afschrijving 25 jaar)	1,8
4	Inrichtingskosten (2,2 miljoen, 5% rente, afschrijving 5 jaar)	0,6
		9,2 miljoen euro
B	Verbruikskosten	
1	Energiekosten zuivering (415 mwk, 8ct/kWh)	7,8
2	Energiekosten transport (3 leidingen, 10mwk, 8ct/kWh)	0,2
3	IJzerchloride (5mg/l, 0,0045 €/m ³)	0,3
4	Filterzanden (vervanging eens in de 10 jaar)	0,1
5	Vervanging UF membranen (20€/jaar/m ²)	1,6
6	Vervanging RO membranen (5€/jaar/m ²)	1,1
7	Incidenteel chemisch reinigen membranen (schatting)	0,1
8	Ontwatering en afvoer zuiveringsslib (schatting)	0,1
		11 miljoen euro
C	Onderhoudskosten	
1	Civiele bouwkosten (0,5%)	0,3
2	Werktuigbouwkundig (2%)	1,0
3	Elektrotechnisch (4%)	0,8
4	Inrichting (10%)	0,2
		2,2 miljoen euro
D	Specifieke bedrijfskosten	
1	Bediening (40FTE à €55000)	2,2
2	Kwaliteitsbewaking	0,1
		2,3 miljoen euro
E	Administratie kosten	
1	20% van de bedieningskosten	0,4
		0,4 miljoen
F	Exploitatiekosten voorzuivering per jaar	26 miljoen euro
G	Exploitatiekosten nazuivering	
1	Onttrekking uit het duin	2,2
2	Nazuivering Leiduin	10,5
3	Opslag Leiduin, Transport naar Amsterdam en aansluiting op distributienet	2,5
4	Personele en laboratorium kosten	3,1
		18 miljoen euro
H	Totale exploitatiekosten per jaar	44 miljoen euro

Tabel 7.8: Exploitatiekosten Alternatief 3: 'direct hergebruik RWZI effluent'.

Kostenpost		Bedrag (miljoen euro)
A	Vaste kosten (lineaire afschrijving, bedragen in het eerste jaar)	
1	Bouwkosten civieltechnisch (58 miljoen, 5% rente, afschrijving 50 jaar)	4,0
2	Bouwkosten werktuigbouwkundig (50 miljoen, 5% rente, afschrijving 50 jaar)	3,5
3	Bouwkosten elektrotechnisch (25 miljoen, 5% rente, afschrijving 25 jaar)	2,2
4	Inrichtingskosten (3,3 miljoen, 5% rente, afschrijving 5 jaar)	0,8
		10 miljoen euro
B	Verbruikskosten	
1	Energiekosten zuivering (415 mwk en 33mwk, 8ct/kWh)	3,9
2	IJzerchloride (5mg/l, 0,0045 €/m ³)	0,3
3	Peroxide (5mg/l, 0,005 €/m ³)	0,2
4	Filterzanden (vervanging eens in de 10 jaar)	0,2
5	Actieve kool (vervanging eens in de 2,5 jaar)	0,3
6	Vervanging UV lampen (1100 €/lamp per jaar)	0,4
7	Vervanging UF membranen (20€/jaar/m ²)	2,6
8	Vervanging RO membranen (5€/jaar/m ²)	0,4
9	Incidenteel chemisch reinigen membranen (schatting)	0,1
10	Ontwatering en afvoer zuiveringsslib (schatting)	0,1
		8,6 miljoen euro
C	Onderhoudskosten	
1	Civiele bouwkosten (0,5%)	0,3
2	Werktuigbouwkundig (2%)	1,0
3	Elektrotechnisch (4%)	1,0
4	Inrichting (10%)	0,3
		2,6 miljoen euro
D	Specifieke bedrijfskosten	
1	Bediening (45FTE à €55000)	2,5
2	Kwaliteitsbewaking	0,1
		2,6 miljoen euro
E	Administratie kosten	
1	20% van de bedieningskosten	0,5
		0,5 miljoen
F	Exploitatiekosten voorzuivering per jaar	25 miljoen euro



Afbeelding 6.1: Kostprijsontwikkelingen van de drie alternatieven voor de komende 50 jaar. Jaar 1 is het jaar van investering (2002).

6.4 Totale kosten

In afbeelding 6.1 is de kostprijs van het drinkwater per m³ geëxtrapoleerd voor de komende 50 jaar. De aflossing van de investering blijft gelijk in de loop der tijd, maar de renteaftocht neemt af. Doordat er rekening is gehouden met 2% inflatie nemen de kosten van de exploitatie sterk toe in de tijd. De exploitatiekosten van de nazuivering Leiduin zijn in de eerste twee alternatieven apart meegenomen. Te zien is dat onder invloed van de jaarlijkse inflatie van 2% dit een grote bijdrage levert aan de kostprijsontwikkeling in de eerste twee alternatieven. Het is moeilijk te voorspellen of de exploitatie van de nazuivering Leiduin daadwerkelijk jaarlijks met 2% stijgt, gelijk aan de andere exploitatiekosten. In de onderstaande tabel staan de exploitatiekosten per m³ weergegeven. Ook het effect van één transportbuis in plaats van drie is opgenomen in de tabel.

Tabel 6.9: Exploitatiekosten per m³ drinkwater.

	Lekkanaal als bron	Effluent met duin- passage	Direct hergebruik RWZI effluent
Exploitatiekosten in jaar 1	0,59 €/m ³	0,67 €/m ³	0,38 €/m ³
Exploitatiekosten in jaar 50	1,14 €/m ³	1,47 €/m ³	0,66 €/m ³
Gemiddelde exploitatiekosten	0,81 €/m ³	1,00 €/m ³	0,50 €/m ³
Gemiddelde exploitatiekosten over de periode van 50 jaar bij 1 transportbuis i.p.v. 3	0,77 €/m ³	1,02 €/m ³	Niet van toepassing

Boven op deze bedragen komen dan nog de kosten voor de verandering van de duinpassage, de infiltratie en het duinbeheer. Dit geldt in principe alleen voor de eerste twee alternatieven, omdat ervan uit wordt gegaan dat in het derde alternatief het duinbeheer volledig is afgestoten. Bij het derde alternatief komen nog kosten voor de aanpassing van het distributienet. Ook zijn er voor dit alternatief geen kosten ingecalculeerd voor het bijmengen van een andere bron tijdens de perioden van schaarste op de maximum dag van de drinkwatervraag. Een ander belangrijk punt is het ontbreken van een kostenpost voor het sluiten van de terugwinning uit de duinen. Om de werkelijke kostprijs van het drinkwater dan te berekenen moeten ook de kosten voor de distributie en de overhead worden meegenomen.

6.5 Samenvatting

De investeringskosten worden in alle varianten primair bepaald door de transportleidingen of de membranen. De kostenbijdrage van de transportleidingen hangt erg af van de uitvoeringsvorm. In het ontwerp is gekozen voor drie onafhankelijke transportsystemen vanuit het veiligheidsoogpunt, maar dat wil niet zeggen dat ze onafhankelijk van elkaar moeten worden aangelegd. In deze kostenraming is dat wel het geval en worden deze kosten waarschijnlijk overschat. Om wat meer inzicht daarin te krijgen is ter vergelijking ook de situatie met één transportleiding bekeken. In de exploitatiekosten zijn het vooral de energiekosten en het vervangen van de membranen die kostenbepalend zijn. De waterfabriek valt zoveel goedkoper uit, omdat de nazuivering Leiduin à 18 miljoen/jaar vervalt.

Referenties

DHV, standaardisatie van kosten, DHV water BV, 2002

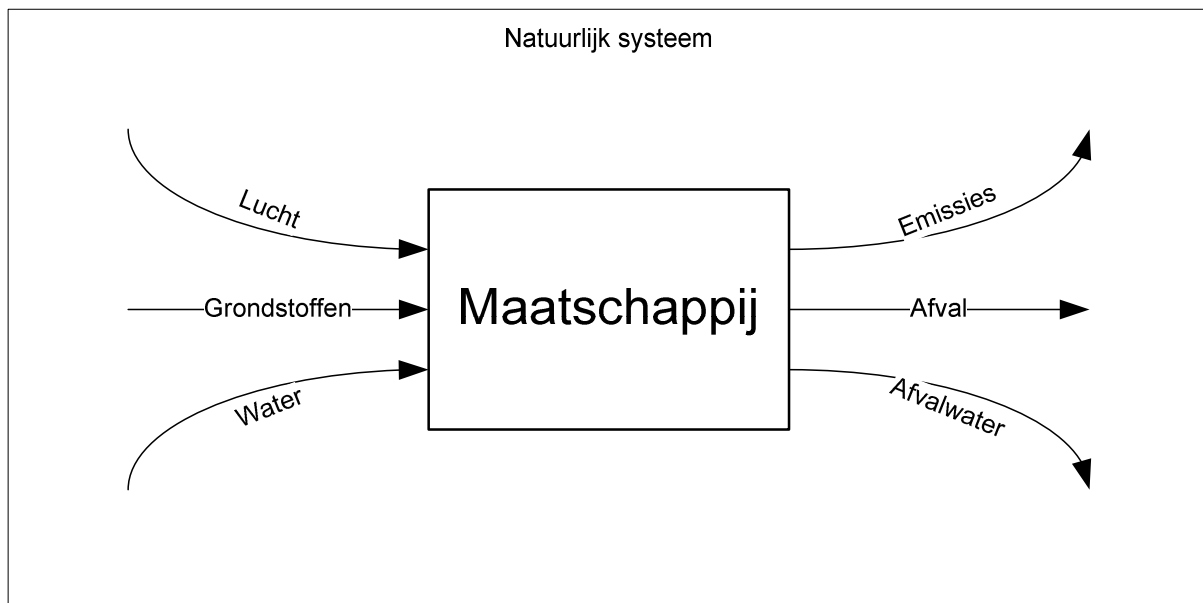
Graveland, A.; Particle and micro-organism removal in conventional and advanced treatment technology; water science and technology, vol. 37, no. 10, 1998

7. Hergebruik en duurzaamheid

7.1 Achtergrond

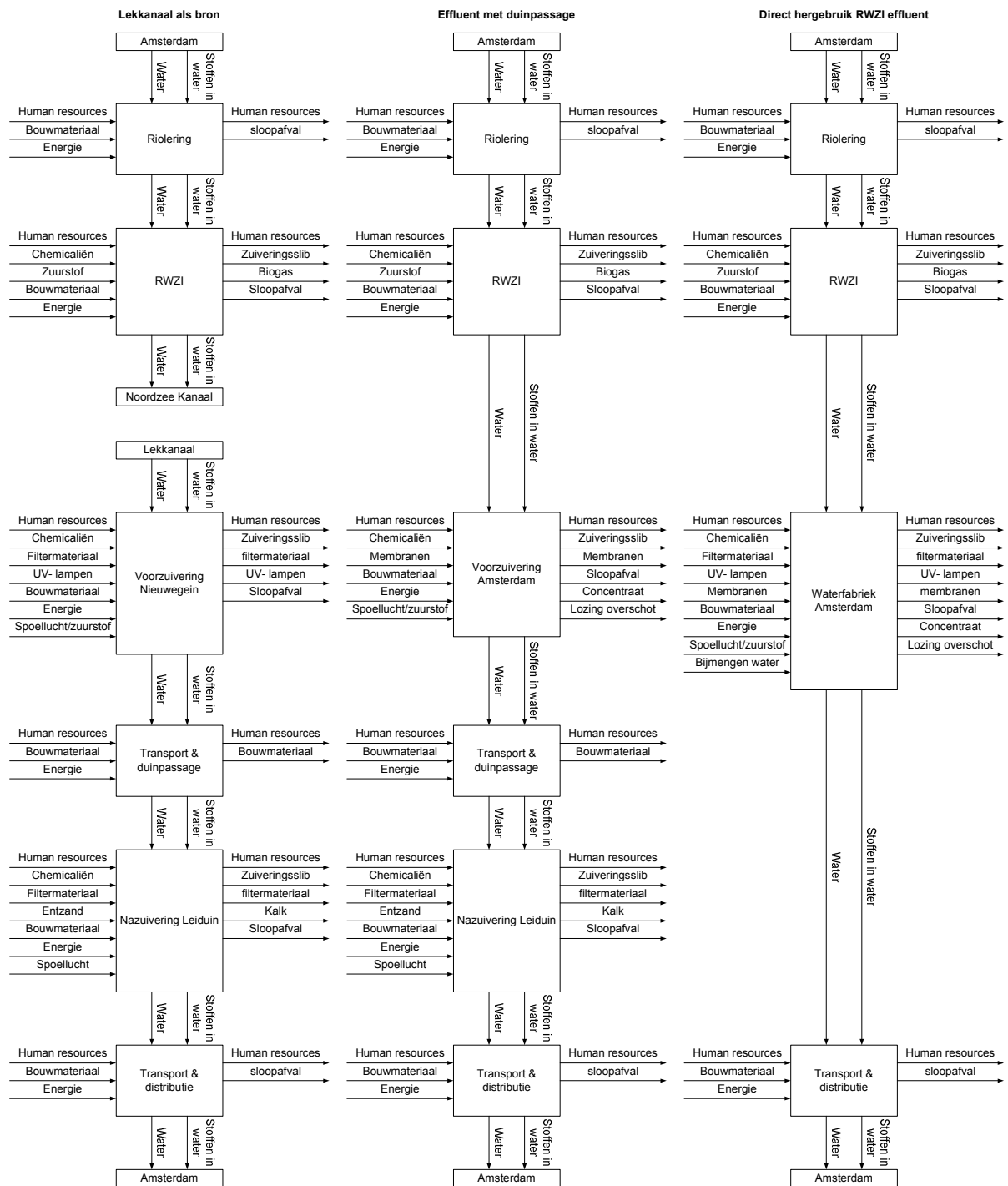
Het begrip duurzaam heeft in onze taal diverse betekenissen. Van Dale geeft bij duurzaam twee betekenissen. 'Langdurig, bestemd voor langdurig gebruik' (in het Engels: '(en)durable') is de eerste betekenis. Als tweede betekenis geeft van Dale: 'weinig tot geen belasting voor het milieu'. Dit is het beste te omvatten met het begrip hernieuwbaar (in het Engels: sustainable). Wanneer in deze studie gesproken wordt over de duurzaamheid worden beide begrippen bedoelt: iets dat relatief lang mee gaat en/of hernieuwbaar is.

Nadat de club van Rome aan het einde van de jaren 70 haar doemscenario's met betrekking tot het milieu en de natuurlijke hulpbronnen de wereld in bracht is wereldwijd natuur en milieu tot een belangrijk agenda punt gemaakt. In 1987 is aan het einde van een VN conferentie het rapport 'Our common future' verschenen. Hierin wordt de volgende definitie van duurzame ontwikkeling gegeven: 'een duurzame ontwikkeling is een ontwikkeling die voorziet in de behoefte van de huidige generatie, zonder daarmee voor toekomstige generaties de mogelijkheden in gevaar te brengen om ook in hun behoeften te voorzien.' [Brundtland, 1987]



Afbeelding 7.1: Het gebruik van het natuurlijk systeem door de maatschappij.

Onze maatschappij doet een beslag op de natuurlijke hulpbronnen. Lucht, water en grondstoffen zijn in de eerste plaats nodig om te (over)leven. In onze maatschappij wordt er aan bijna al deze hulpbronnen kennis, arbeid en kapitaal toegevoegd om er producten van te maken. Tijdens de productie, het gebruik en het afdanken van de producten komen emissie's, afval en afvalwater vrij die uiteindelijk weer in het natuurlijk systeem terechtkomen (zie figuur 7.1). In 1900 waren er nog iets minder dan twee miljard wereldburgers en kon het natuurlijk systeem dit nog aan. Inmiddels bewonen ruim zes miljard mensen onze aardbol. Deze explosieve bevolkingsgroei is samen gegaan met een groei in welvaart en welzijn, met name in de Westerse wereld. Ons natuurlijke systeem wordt tot op de dag van vandaag uitgeput. Het hervinden van het evenwicht tussen de mens, haar wensen en behoeften aan de ene kant en het natuurlijk systeem aan de ander kant is een bittere noodzaak.



Afbeelding 7.2: In- en uitgaande stromen in de drie alternatieven.

7.2 In- en uitgaande stromen in de alternatieven

Om het duurzame karakter van de alternatieven voor het gebruik van afvalwater voor Amsterdam te onderzoeken is er gekeken naar de stromen die de zuivering in en uit gaan. In figuur 7.2 is dit gedaan voor alle drie de alternatieven.

In deze stromingsanalyse is ook de stroom 'human resources' meegenomen. Dit is een grondstof die de maatschappij zelf genereert zonder daarbij direct natuurlijke hulpstoffen te gebruiken. Voorbeelden van deze 'human resources' zijn kennis, arbeid en kapitaal. Tegelijkertijd zijn de 'human resources' ook weer een afvalproduct van de zuivering in de vorm van opgedane kennis en ervaring. 'Human resources' zoals kennis en arbeid krijgen pas waarde als ze bij de zuivering zijn. Deze grondstoffen moeten dus wel getransporteerd worden naar de zuiveringslocatie en dit is ook weer een belasting voor het milieu. Ook het ruimtebeslag en de menselijke waardering van die ruimte wordt meegenomen in de term 'human resources'.

Het water komt uit Amsterdam via de riolering naar de rioolwaterzuivering. De input voor het rioolsysteem is bouw materiaal, energie (pompen) en 'human resources'. De output van het rioolsysteem is het sloopafval van de buizen en de kennis en ervaring die wordt opgedaan. De rioolwaterzuiveringsinstallatie heeft als input de 'human resource', bouw materiaal, (pomp)-energie, chemicaliën en zuurstof. De afvalproducten biogas en zuiveringsslib worden verbrand in het naastgelegen afvalenergiebedrijf en worden zo gebruikt voor de opwekking van elektriciteit. Hierbij wordt CO₂ uitgestoten. Ook de RWZI heeft weer de output sloopafval en opgedane kennis.

In geen enkel van de alternatieven wordt er ingegrepen in het rioolstelsel of in de RWZI. Voor alle drie de alternatieven zijn deze stromen hetzelfde en daarom kunnen ze voor het vergelijken van de alternatieven worden weggelaten. Een cruciaal verschil is echter wel de lozing van het effluent. In het 'Lekkanaal' alternatief wordt al het effluent geloosd met een gemiddelde stikstof concentratie van 10 mg/l en een fosforconcentratie van 1 mg/l (conform WVO). In de andere alternatieven wordt het effluent doorgezuiverd en wordt er slechts een overschot geloosd met een stikstofconcentratie van 2,2 mg/l en een fosforconcentratie van 0,15 mg/l (conform Europese kaderrichtlijn water). Wel is in deze alternatieven de concentratie van mineralen en opgeloste vervuilingen groter, maar de totale vracht is kleiner. Deze vracht is kleiner doordat een gedeelte van deze opgeloste stoffen (in figuur 'stoffen in water') in andere zuiveringsprocessen (bijvoorbeeld zuiveringsslib of in de verzadigde actieve kool) worden afgevoerd of afgebroken of, in het geval van mineralen, in het water blijven zitten en wordt gedistribueerd.

De stromen die verschillen in de zuiveringsstappen zijn in tabel 7.1 samengevat. Bij de lozing van het effluent moet worden opgemerkt dat de samenstelling van het te lozen water per alternatief verschilt. In de tabel is alleen de stikstof en fosforconcentratie opgenomen. De vracht bestrijdingsmiddelen zal groter zijn bij de alternatieven met RWZI-effluent, maar is niet meegenomen in de berekeningen. Voor de UV lampen is met een levensduur van 1 jaar gerekend. Voor de UF en RO membranen wordt gerekend met een levensduur van respectievelijk 5 en 6 jaar. De oppervlakten voor constructie van de ontworpen zuiveringen zijn schattingen. De gegevens voor deze tabel zijn afkomstig uit [Barrios, 2004], [Kumar, 2000] en [Tapia, 2005].

Tabel 7.1: Belangrijkste verschillen tussen de alternatieven voor het bepalen van de eco-kosten. (VZ=voorzuivering, NZ=nazuivering).

Alternatief	Lekkanaal als bron	Effluent met duinpassage	Direct hergebruik effluent
Lozing afvalwater	87,7 miljoen m ³ /jaar	28,9 miljoen m ³ /jaar	22 miljoen m ³ /jaar
Kwaliteit lozing	N=7,4mg/l en P=0,8mg/l	N=2,2mg/l en P=0,15mg/l	N=2,2mg/l en P=0,15mg/l
Inname van water	58,8 miljoen m ³ /jaar	-	0,15 miljoen m ³ /jaar
Constructie	5760m ² voorzuivering 41500m ² nazuivering	6000m ² voorzuivering 41500m ² nazuivering	17500m ²
Transport	3x50km naar het duin 2x20km naar Amsterdam	3x20km naar het duin 2x20km naar het duin	-
Energie zuivering	3059 MWh/jaar (VZ) 23528 MWh/jaar (UV) 8533 MWh/jaar (NZ) 659 MWh/jaar (ozon)	97641 MWh/jaar (VZ) 8533 MWh/jaar (NZ) 659 MWh/jaar (ozon)	48885MWh/jaar 17953MWh/jaar (UV)
Energie transport	2415 MWh/jaar 8113 MWh/jaar	2404 MWh/jaar 8113 MWh/jaar	-
Werknemers	40 FTE op voorzuivering 45 FTE op nazuivering	40 FTE op voorzuivering 45 FTE op nazuivering	45 FTE
Filterzanden	200 m ³ /jaar (VZ) 3500 m ³ /jaar (NZ)	320 m ³ /jaar (VZ) 3500 m ³ /jaar (NZ)	880 m ³ /jaar
Entzand (ontharding)	438000 kg/jaar (NZ)	438000 kg/jaar (NZ)	-
Pellets (ontharding)	7596 ton/jaar	7596 ton/jaar	-
Actieve kool	640 m ³ /jaar (VZ) 2900 m ³ /jaar (NZ)	2900 m ³ /jaar (NZ)	770 m ³ /jaar
Membranen	-	115 drukbuizen/jaar	192 drukbuizen/jaar
UV lampen	384 Lampen/jaar	-	384 Lampen/jaar
FeCl ₃	5 mg/l	5 mg/l	5 mg/l
H ₂ O ₂	5 mg/l	-	5 mg/l (in deelstroom)
Zuurstof	13,57 mg/l in nazuivering	13,57 mg/l in nazuivering	-
NaOH	42,94 mg/l in nazuivering	42,94 mg/l in nazuivering	-
HCl	20,6 mg/l in nazuivering	20,6 mg/l in nazuivering	-
Incidenteel chemisch reinigen membranen	-	4,6 mg/l in voorzuivering	4,6 mg/l in voorzuivering
zuiveringsslib	3000 ton/jaar	3000 ton/jaar	3000 ton/jaar

7.3 Ecokosten

Voor het vergelijken van de alternatieven is gebruik gemaakt van de 'eco-costs' methode [Vogtländer, 2004]. Dit is een uitbreiding van de bestaande LCA methodieken. In de tabellen 7.2 tot en met 7.4 zijn de eco-kosten berekend voor alle drie de alternatieven. De bijdrage aan de eco-kosten van het leidingnet, de riolering en overhead is niet meegenomen. De alternatieven zijn daarom onderling wel vergelijkbaar, maar er kunnen geen uitspraken worden gedaan over het gehele systeem of de bijdrage van deze onderdelen aan het gehele systeem: er is alleen gekeken naar de lozing van afvalwater en de zuivering van drinkwater.

In alle drie de alternatieven is de eutrofiëring van het oppervlaktewater door de lozing van RWZI-effluent meegenomen. De bijdrage van deze parameter op de totale eco-kosten is groot en wordt beïnvloed door het te lozen debiet en de concentratie's van stikstof, fosfor en chemisch zuurstof verbruik (CZV). Voor het 'Lekkanaal als bron' alternatief zijn de concentratie's van RWZI Amsterdam-Westpoort als uitgangspunt genomen. Voor de lozingen in de andere twee alternatieven is uitgegaan van een lozing conform de verwachte eisen uit de KRW wat betreft stikstof en fosfor. De eutrofiëring heeft een grote bijdrage op de eco-kosten. Het effect van het toevoegen van een nitrificatie en denitrificatie op de RWZI op de eco-kosten van alternatief één staat in tabel 7.3 uitgewerkt.

De eco-kosten van eutrofiëring voor het 'Lekkanaal als bron' alternatief zijn opgebouwd uit stikstof, fosfor en CZV. De concentratie's voor deze stoffen zijn respectievelijk 7,4 mg/l, 0,8 mg/l en 31,8 mg/l. Met de jaarproductie van 87,7 miljoen m³/jaar aan RWZI-effluent kunnen de jaarvrachten voor deze stoffen worden berekend. Aangezien niet iedere stof hetzelfde schadelijke effect heeft op het milieu moeten de lozingen worden vermenigvuldigd met weegfactoren. De weegfactoren zijn dan respectievelijk 0,42, 3,06 en 0,022 [Vogtländer, 2004] voor stikstof, fosfor en CZV. De som van deze gewogen jaarvrachten wordt vermenigvuldigd met 3,05 euro/kg [Vogtländer, 2004]. Het resultaat van deze berekening is 1,67 miljoen euro/jaar.

Ook (RWZI) lozingen van zware metalen (koper, lood en zink) heeft hoge eco-kosten. Voor het 'Lekkanaal als bron' alternatief is uitgegaan van een gemiddelde RWZI-effluent lozing van 10.000 m³/h met een concentratie zware metalen gelijk aan die van RWZI Amsterdam-Westpoort. In de alternatieven met RWZI-effluent als bron voor de drinkwaterproductie worden de zware metalen uit het RWZI-effluent verzameld in het slib in de coagulatie. Het water dat dan geloosd wordt heeft daarom dezelfde concentratie koper, lood en zink als het drinkwater. De verwerking van het zuiveringsslib en de regeneratie van de actieve kool brengt natuurlijk ook eco-kosten met zich mee, maar dat valt buiten het balansgebied.

De eco-kosten van de constructie van een kantoorpand zijn 24 euro/m²/jaar [Vogtländer, 2004]. Een drinkwaterzuivering heeft een langere levensduur dan een kantoorpand en ook de inrichting is niet hetzelfde. Daarom is in de berekeningen uitgegaan van 20 euro/m²/jaar en is het aantal vierkante meters aan gebouwen voor de drinkwaterzuivering geschat. Vanwege de vele vierkante meters aan langzame zandfilters op de nazuivering pakt dit bedrag op de nazuivering hoger uit. Dit geeft een vertekening van de daadwerkelijke eco-kosten.

De belangrijkste bijdrage aan de eco-kosten is de energie. De ecokosten van energie zijn 0,07 €/kWh [Vogtländer, 2004] terwijl de prijs van energie 0,08 €/kWh is [DHV, 2002]. De bijdrage van deze post verschilt ook sterk per alternatief. De toepassing van UV/peroxide en membranen in de waterzuivering zorgen voor een grote bijdrage op alle ontwerpen. Ook de productie van ozon uit zuurstof op de nazuivering kost energie.

Voor de eco-kosten van arbeid is gerekend met 1939 €/FTE/jaar [Vogtländer, 2004]. Deze berekening is representatief voor kantoorpersoneel. Hierin is uitgegaan van een 20km reizen per werknemer per dag en is het gebruik van de kantoorruimte meegerekend. Opvallend is de geringe bijdrage van het transport. Gerekend is hier met 0,414 €/km aan eco-kosten [Vogtländer, 2004]. Opgemerkt moet worden dat voor alle transporten gerekend is met de enkele reisafstand.

In deze gehele analyse is alleen gekeken naar het transport van de verbruiksgoederen (chemicaliën, filterzand etc.). Om de eco-kosten echt goed in beeld te brengen zou er ook gekeken moeten worden naar de winning en/of fabricage van deze gebruiksgoederen. Ook de effecten tijdens en na het gebruik zijn nog lang niet volledig in beeld gebracht. Aangezien de nazuivering al in gebruik is kunnen de eco-kosten van deze zuivering veel beter in kaart worden gebracht dan de eco-kosten van de ontworpen (voor)zuiveringen. Dit is een belangrijk verschil tussen beide.

Tabel 7.2: Eco-kosten van alternatief 1: 'Lekkanaal als bron'

Eco-kostenpost		Miljoen €/jaar
A	Lozing RWZI Effluent	
1	Eutrofiëring (N, P en CZV, Q=10.000m ³ /h)	1,67
2	Zware metalen (Lood, koper en zink, Q=10.000m ³ /h)	2,23
		3,9
B	Voorzuivering Nieuwegein	
1	Constructie (5670m ² à 20 €/m ² /jaar)	0,11
2a	Energie zuivering water (3059MWh/jaar à 0,07 €/kWh)	0,21
2b	Energie UV lampen (0,4kWh/m ³ à 0,07€/kWh)	1,65
3	Arbeid (40 FTE à 1939 €/FTE/jaar)	0,08
4	Transport (244.000 ton*km à 0,01725 €/ton*km)	0,004
		2,06
C	Transport naar het duingebied	
1	Constructie (150 km betonnen buis à 0,4 euro/kg)	0,33
2	Energie (2415MWh/jaar à 0,07 €/kWh)	0,17
		0,50
D	Nazuivering Leiduin	
1	Constructie (41500m ² à 20 €/m ² /jaar)	0,83
2a	Energie zuivering water (8533MWh/jaar à 0,07 €/kWh)	0,60
2b	Energie bereiden ozon (659MWh/jaar à 0.07 €/kWh)	0,05
3	Arbeid (45 FTE à 2731 €/FTE/jaar)	0,09
4	Transport (4660.000 ton*km à 0,01725 €/ton*km)	0,08
		1,64
E	Transport naar Amsterdam	
1	Constructie (40 km betonnen buis à 0,4 euro/kg)	0,07
2	Energie (8113MWh/jaar à 0,07 €/kWh)	0,57
		0,64
F	Totaal	8,74 miljoen €
	Totaal per m³ drinkwater	0,135 €/m ³

Tabel 7.3: Eco-kosten van alternatief 1: 'Lekkanaal als bron' met denitrificatie

Ecokostenpost		Miljoen €/jaar
A	Lozing RWZI Effluent	
1	Eutrofiëring (N, P en CZV; Q=10.000m ³ /h)	0,56
2	Zware metalen (Lood, koper en zink Q=10.000m ³ /h)	2,23
3	Constructie (6000m ² à 20€/m ² /jaar)	0,12
4	Energie (1753MWh à 0,07€/kWh)	0,12
5	Transport (501.000 ton*km à 0,01725€/ton*km)	0,009
		3,04
B	Voorzuivering Nieuwegein	2,1
C	Transport naar het duingebied	0,50
D	Nazuivering Leiduin	1,64
E	Transport naar Amsterdam	0,64
F	Totaal	7,87 miljoen €/jaar
	Totaal per m³ drinkwater	0,122 €/m ³

Tabel 7.4: Eco-kosten van alternatief 2: 'effluent met duinpassage'

Ecokostenpost		Miljoen €/jaar
A	Voorzuivering Amsterdam	
1	Eutrofiëring (N, P en CZV, Q=3390m ³ /h)	0,19
2	Zware metalen (Lood, koper en zink, Q=3390m ³ /h)	0,14
3	Constructie (17500m ² à 20 €/m ² /jaar)	0,35
4	Energie zuivering water (97641MWh/jaar à 0,07 €/kWh)	6,83
5	Arbeid (40 FTE à 1939 €/FTE/jaar)	0,08
6	Transport (102.000 ton*km à 0,01725 €/ton*km)	0,008
		7,59
B	Transport naar het duingebied	
1	Constructie (60 km betonnen buis à 0,4 euro/kg)	0,11
2	Energie (2404MWh/jaar à 0,07 €/kWh)	0,17
		0,28
C	Nazuivering Leiduin	1,64
D	Transport naar Amsterdam	0,64
E	Totaal	10,2 miljoen €/jaar
	Totaal per m³ drinkwater	0,157 €/m ³

Tabel 7.5: Eco-kosten van alternatief 3: 'Direct hergebruik RWZI effluent'

Ecokostenpost		Miljoen €/jaar
A	Waterfabriek Amsterdam	
1	Eutrofiëring (N, P en CZV, Q=2480m ³ /h)	0,14
2	Zware metalen (Lood, koper en zink, Q=2480m ³ /h)	0,10
3	Constructie (35873m ² à 20 €/m ² /jaar)	0,72
4a	Energie zuivering water (48885MWh/jaar à 0,07 €/kWh)	3,42
4b	Energie UV-Lampen (0,4kWh/m ³ à 0,07€/kWh)	1,26
5	Arbeid (45 FTE à 1939 €/FTE/jaar à 45FTE)	0,09
6	Transport (553000 ton*km à 0,01725 €/ton*km)	0,01
B	Totaal	5,73 miljoen €/jaar
	Totaal per m³ drinkwater	0,089 €/m ³

7.4 Eco-cost/Value Ratio

Om het drinkwater te vergelijken met andere sectoren moet de waarde van het water bepaald worden. De waarde van het water is voor alle drie de alternatieven gelijk, ondanks dat de prijs waarvoor het gemaakt kan worden verschilt: het is immers hetzelfde product. In Nederland ligt de prijs van één m³ drinkwater tussen de één en de twee euro. De verhouding tussen de eco-kosten en de waarde van het water (EVR) komt dan in deze alternatieven uit tussen de 0,04 en de 0,16 voor de productie van het drinkwater. Om het gehele systeem te bekijken zou ook de riolering, het drinkwaterleidingnet en de overhead moeten worden meegenomen.

De productie van drinkwater kan dan vergeleken worden met andere sectoren. De EVR voor een luxe kantoorgebouw is ongeveer 0,3, voor het transport van groente over 600km ligt het rond het rond de 0,55, voor energie (productie en distributie) is het 0,88 en voor de winning van zeezand is ze zelfs 2,06 [Vogtländer, 2004]. De productie van drinkwater is dus, in vergelijking tot deze sectoren, zeer weinig milieu belastend, ook wanneer de distributie en overhead zou worden meegerekend.

7.5 Samenvatting

Om inzicht te krijgen in de duurzaamheid van de alternatieven zijn de in en uitgaande stromen in kaart gebracht. Voor ieder alternatief zijn de eco-kosten berekend. De eco-kosten zijn een kwantificering van de negatieve milieu effecten van de alternatieven en is gebaseerd op bestaande LCA methodieken. Met name de lozing van het RWZI effluent op het oppervlaktewater en de energie voor de zuivering van het drinkwater bepalen de eco-kosten. Opmerkelijk is de geringe bijdrage van het transport op de eco-kosten. De eco-kosten voor alle drie de alternatieven zijn dan respectievelijk 0,14 €/m³ (Lekkanaal als bron), 0,16€/m³ (effluent met duinpassage) en 0,09 €/m³ (direct hergebruik van afvalwater). Wanneer de productie van drinkwater in deze drie alternatieven wordt vergeleken met andere sectoren is de productie van drinkwater maar weinig milieu belastend.

Referenties

- Barios, R; Environmental and financial impact assessment of two plants of Amsterdam water Supply; MSc Thesis, IHE, Delft 2004
- Brundtlandt, G.H. *et al*; Our common future; VN wereldcommissie voor milieu en ontwikkeling, 1987
- DHV, standaardisatie van kosten, DHV water BV, 2002
- Kumar, P; Reduction of environmental impact of Amsterdam water treatment plant at Leiduin; MSc Thesis, IHE, Delft 2000
- Miska, V., van der Graaf, J.H.J.M., de Koning, J.; Influence of denitrification on suspended solids and phosphorus removal in multi media filters; TU Delft, 2005
- Tapia, M. A.; Environmental, financial and quality assessment of drinking water process at Amsterdam water supply; MSc Thesis, Delft 2005
- Vogtländer, Dr.Ir J.G. en Hendriks, Prof.Dr.Ir. Ch.F.; The Eco-Costs/Value Ratio (EVR), materials and ecological engineering; Aeneas, Technical Publishers, Boxtel 2004.

8. Maatschappelijk kader van hergebruik

8.1 Actoren

Het gebruik van afvalwater voor de productie van drinkwater is behalve een technische uitdaging ook een maatschappelijk onderwerp. Er zijn een groot aantal actoren betrokken bij de besluitvorming rond hergebruik, maar de belangrijkste actor is hoe dan ook de consument. In opdracht van de VEWIN is onderzocht hoe de consument denkt over het drinkwater en haar drinkwaterbedrijf [PQR, 2004]. Hergebruik kwam niet aan de orde in dit onderzoek, maar het geeft wel een globaal beeld over de mening van de drinkwaterconsument. In een gesprek met twee medewerkers van de VEWIN is hergebruik wel besproken. Ook de communicatie naar de consument was een onderwerp in dit gesprek [VEWIN, 2005].

Een tweede belanghebbende is Waternet zelf. Voor hen is het onderzoek naar het gebruik van afvalwater als bron voor de drinkwaterproductie één van de mogelijke toekomstvisie's op het primaire drinkwaterproces [WLB, 2005]. Een kleine enquête is verstuurd naar negen werknemers die betrokken zijn bij de studie naar en beslissing over de toekomst van het primaire drinkwaterproces. De enquête is opgenomen in appendix 8.1.

De gemeente Amsterdam is, samen met het waterschap Amstel, Gooi en Vecht, de eigenaar van Waternet en wordt daarom gezien als een uitvoerende, gemeentelijke dienst. Om de belangen en wensen van de gemeente Amsterdam te peilen en meer inzicht te krijgen in het bestuurlijk proces is er een gesprek geweest met een beleidsambtenaar van de gemeente Amsterdam [gemeente Amsterdam, 2005]. Het toezicht op de drinkwatersector wordt verricht door de VROM inspectie. De VROM inspectie is een autonome dienst en de inspecteur generaal rapporteert direct aan de minister van VROM. De opvattingen van de inspectie over het hergebruik zijn aan de orde gekomen in een gesprek [VROM inspectie drinkwater, 2005].

De rijksoverheid is een andere belangrijke actor in de drinkwatersector. In Nederland is het meeste toezicht gedelegeerd naar lagere overheidsorganen, maar drinkwater en kernenergie vormen hier een uitzondering op. Het beleid van de rijksoverheid voor de waterketen is geformuleerd in de rijksvisie waterketen [VROM, 2003]. De eindverantwoordelijkheid voor het beleid in de waterketen ligt bij de staatssecretaris van milieu, maar de ministeries van VROM, V&W, BZK, economische zaken en financiën zijn er ook bij betrokken. Om de positie van de rijksoverheid omtrent het hergebruik van afvalwater voor de productie van drinkwater te verkennen is er een gesprek geweest met iemand van het DG milieu van het ministerie van VROM [VROM, 2005].

Andere betrokken actoren zijn de natuur- en milieu beweging, de provincie's van Noord en Zuid Holland en EUREAU. EUREAU is een Europees samenwerkingsorgaan tussen de waterleidingbedrijven en een adviseur van de Europese Commissie. De doelen van de Europese Commissie, de provincie's en de natuur- en milieu beweging zijn vooral gericht op het verbeteren van de oppervlakte- en grondwaterkwaliteit.

8.2 Waterkwaliteit

Het enige alternatief voor kraanwater is het water uit de winkel. De kwaliteitseisen voor deze natuurlijke (mineraal)waters staan in de warenwet. De eisen in het waterleidingbesluit zijn strenger dan die in de waterwet. Alle andere typen verkocht water moeten ook voldoen aan de in het waterleidingbesluit gestelde eisen. In 2002 is er in totaal voor 40 miljoen euro aan gebotteld water verkocht [CBS, 2005]. Wanneer aangenomen wordt dat het gebottelde water gemiddeld 0,50€ per liter kost, dan komt dit overeen met een consumptie van 5 liter per persoon per jaar aan gebotteld water. De consumentenbond heeft het gebottelde water vergeleken met het kraanwater en kwam tot de conclusie dat de kwaliteit gelijk is, maar dat de prijs en belasting van het milieu van het kraanwater vele malen lager is [consumentenbond, 2005]. Het is daarom in ieders belang (consument, waterleidingbedrijf en burger) dat voorkomen wordt dat er overgestapt wordt op gebotteld water.

Uit onderzoek [PQR, 2004] is gebleken dat de consument van kraanwater de leveringszekerheid veruit het belangrijkste vond. De kwaliteit van het water en de dienstverlening werd als ruim voldoende beoordeeld. In dit onderzoek bleek ook dat bij de waterkwaliteit primair gedacht wordt aan hardheid. Andere aan waterkwaliteit gerelateerde onderwerpen zoals smaak en microbiologische zekerheid spelen nauwelijks een rol voor de consument.

Voor de medewerkers van Waternet was de waterkwaliteit wel een belangrijk punt. Uitgebreid (laboratorium)onderzoek werd gezien als een noodzakelijkheid. Bij het overtuigen van de consument van de kwaliteit van het product worden moeilijkheden voorzien. Opmerkelijk was dat de medewerkers hierin nauwelijks een verschil aangaven tussen het directe en het indirecte hergebruik van afvalwater.

Vanuit de filosofie van de bescherming van de volksgezondheid en het voorzorgsprincipe stelt de VROM inspectie dat ieder aanvullend (microbiologisch) risico moet worden ontweken. Dit argument geldt voor zowel het directe als het indirecte hergebruik. Om die reden adviseerde de inspectie ook negatief op het voorstel van WLB en DWR om een gezamenlijk magazijn te gaan bouwen en beheren [VROM inspectie drinkwater, 2005]. De rijksoverheid volgt deze lijn grotendeels, maar kijkt ook iets breder naar potentiële voordelen. Het directe hergebruik wordt daarom direct verworpen, maar tegen het indirecte hergebruik van afvalwater, mits het voldoet aan de wettelijke kaders, is weinig bezwaar. De kunstmatige infiltratie van (oppervlakte)water in de bodem is door de rijksoverheid zeker gesteld door dit onderdeel uit de Europese Kader Richtlijn Water te halen [VROM, 2005].

8.3 Natuur en milieu

In de gepresenteerde alternatieven spelen voor natuur en milieu twee vragen een belangrijke rol: duinbeheer en lozing van gezuiverd afvalwater. Wanneer gekozen wordt voor direct hergebruik vervalt de duinpassage. De gemeente Amsterdam beschouwt dit als positief, omdat zij zich dan meer kan concentreren op haar kerntaken [gemeente Amsterdam, 2005]. Het duinbeheer moet dan bij een andere partij worden ondergebracht. Ook zullen de provincies' een actiever grondwaterbeheer moeten toepassen. Geen van de actoren noemde dit onoverkomelijk. Het veranderen van een open naar een gesloten winning in het duingebied zal uiteraard wel vragen (en eventueel ook protesten) vanuit de natuurbeweging oproepen.

Wanneer de lozingen van afvalwater afnemen en/of van kwaliteit verbeteren zal dit op zich een positief effect hebben op natuur en milieu. Er zal niemand zijn die daar bezwaar tegen heeft, alleen de vraag is wat er aan de andere kant van de balans staat in de vorm van kosten en risico voor de bevolking. De afweging hiervan zal verschillen per actor.

8.4 Kostprijs

Voor de consument is de kostprijs maar marginaal van belang. Wanneer consumenten gevraagd wordt wat de prijs van het drinkwater is zitten zij er vaak heel ver naast [PQR, 2004]. Een element wat hierbij speelt is dat de consument ook diverse ‘water rekeningen’ krijgt. De rekening van het drinkwaterbedrijf is vaak nog de kleinste en wordt ook lang niet altijd door het waterleidingbedrijf geïnd. Dit draagt ook niet bij aan de naamsbekendheid van het waterleidingbedrijf. Een gezamenlijke, geïntegreerde waterrekening en klantenservice kan hier veel aan verbeteren en is de beleidswens van de rijksoverheid [VROM, 2003].

De kostprijs is voor de VROM inspectie drinkwater niet van belang. De meeste medewerkers van Waternet vonden de kostprijs van het drinkwater een ondergeschikt argument in de afweging over hergebruik. Voor de gemeente Amsterdam is de kostprijs wel een belangrijk argument. Doordat drinkwater en afvalwater een natuurlijk monopolie hebben is concurrentie voor gebonden klanten onmogelijk. Om die reden is er een publieke controle en wordt er gekeken naar de doelmatigheid van de organisatie. Bij de gemeente is weinig technische kennis aanwezig en men heeft een groot vertrouwen in de uitvoerende dienst. Wanneer een dienst met een veranderingsvoorstel komt wordt er vooral gekeken naar de financiële implicaties van het voorstel. Bij de gemeente komt dan de vraag op of het voorstel reëel is of dat er spraken is van een nieuw ‘speeltje’ van de uitvoerende dienst [gemeente Amsterdam, 2005].

8.5 Communicatie en perceptie

Wanneer de bron voor het drinkwater veranderd wordt in RWZI-effluent moet de consument hierover geïnformeerd worden. Het niet informeren van de klant zou het vertrouwen in het bedrijf ernstig schaden. De communicatie van zo’n verandering is erg moeilijk omdat bij drinkwater het gevoel een belangrijke rol speelt. De waterleidingbedrijven presenteren zich als verbonden met de natuur en goed voor de gezondheid. De reclame voor het verpakte water doet exact hetzelfde. Dit gevoel slaat daardoor ook over bij de klant. Bij het gebruik van een duinpassage (alternatief twee) kan de verbinding met de natuur nog wel benadrukt worden, maar met het directe hergebruik niet meer. In Singapore is dit opgelost door het drinkwater te presenteren als ‘hightech’ [WLB, 2005].

Een dusdanige verandering vraagt om een lange adem. Er zal een langdurige communicatiestrategie moeten worden ontworpen die regelmatige, positieve berichtgeving naar de burger initieert. Deze communicatie moet open, helder en duidelijk zijn zonder daarbij in te gaan op technische details. Dit soort details kunnen het beste als achtergrondinformatie via een website worden verstrekt aan de geïnteresseerde burger. Het gebruik van de media en bekende Nederlanders (Z.K.H. prins Willem-Alexander) kan daar een hulpmiddel bij zijn. Dit communicatietraject moet plaatsvinden door Waternet zelf, omdat zij diegene is die het dichtste bij de klant staat. De brancheorganisatie en derden kunnen het bedrijf hierin ondersteunen, maar de uitvoering zal bij het bedrijf zelf moeten liggen [VEWIN, 2005].

Het kernprobleem is hoe dan ook de perceptie die de burger heeft van het afvalwater. De gedachte dat afvalwater vies is en drinkwater een natuurlijk product is maakt een combinatie van beide erg moeilijk. In Windhoek is het hergebruik van afvalwater begonnen in de jaren 60 met het irrigeren van parken en sportvelden. Op deze manier is de perceptie van de bevolking over het afvalwater langzaam veranderd. De bevolking van Windhoek beseft ook de fysieke noodzaak van het hergebruik en er is daarom ook enige trots over het hergebruik. Ook de medewerkers van Waternet gaven in de enquête aan een systeem met hergebruik vol trots te willen uitdragen aan de buitenwereld.

Tabel 8.1: Actoren analyse

Actor	Belang	Doel	Criteria	Beïnvloeding	Perceptie/kernvraag	Alternatieven
Consument	Zekerheid van voldoende drinkwater van goede kwaliteit	Geen verslechtering in de levering (kwaliteit en kwantiteit)	Waterkwaliteit, leveringszekerheid	Kopen van flessenwater, inspraak/protesteren	Waarom veranderen? Afvalwater is vies	Hergebruik alternatieven
Waternet	Bestaansrecht	Vertrouwen van de consument behouden	Waterconsumptie	Media, onderzoek, advies, beleid, imago drinkwater	Is het een verbetering? Accepteert de klant het?	Alle drie de alternatieven betrokken
Gemeente Amsterdam	Voorzien in de behoeften van de burger	Goede prijs kwaliteitsverhouding	Bedrijfsresultaten	Besluitvorming en financiën?	Wat kost het? Wat is het effect? Wil de burger het?	Alle drie de alternatieven betrokken
Provincie (Noord en zuid Holland)	Waterhuishouding	Burger beschermen tegen (grond)wateroverlast	Klachten over (grond)wateroverlast	Vergunning verlening	Wat zijn de veranderingen in de waterhuishouding (duin)	Alle drie de alternatieven betrokken
Inspectie drinkwater	Geen direct belang	Garanderen drinkwaterkwaliteit voor consument	Waterleidingbesluit	Advisering en onderzoek, via de minister	Kan de veiligheid gegarandeerd worden?	Hergebruik alternatieven
Rijksoverheid – ministerie van VROM	Garanderen goed en veilig drinkwater	Drinkwater van een zo hoog mogelijke kwaliteit	Waterleidingbesluit	Ministeriele aanwijzing	Is het veilig? Accepteert de klant het?	Alle drie de alternatieven betrokken
VEWIN	Geen direct belang:: Amsterdamse aanwezigheid	Ondersteunen van de drinkwaterbedrijven	Probleem dat de individuele bedrijven overstijgt	Advisering en ondersteuning	Specifiek voor Amsterdam. Acceptatie van de klant	Alle drie de alternatieven betrokken
EUREAU / Europese unie	Geen direct belang	Verbeteren waterkwaliteit binnen Europa	(drink)waterkwaliteit	Wetgeving: KRW, Via politiek proces	Acceptatie van de klant	Hergebruik alternatieven
Natuur en milieu beweging	Oppervlaktewater kwaliteit en duin beheer	Verbeteren opp. Water kwaliteit / natuurlijk duin	Biodiversiteit, oppervlakte water kwaliteit	Onderzoek, Advies en protest	Is het beter voor natuur en milieu?	Alle drie de alternatieven

8.6 Actoren analyse

In tabel 8.1 zijn de belangrijkste actoren, hun belangen en doelen weergegeven. Wanneer er gekozen zou worden voor het 'Lekkanaal als bron' alternatief zal de gemeente Amsterdam een kritische actor zijn omdat de drinkwaterprijs zal toenemen. Voor de gemeente is dan de vraag of deze aanvullende kosten opwegen tegen de kwaliteitsverbetering. Een kwaliteitsverbetering van het infiltraat zal positief beoordeeld worden door de rijksoverheid, de inspectie, de provincie en de natuurbeweging. De consument en 'Waternet' staan tussen deze twee actoren in. Voor de EUREAU en de VEWIN is dit een lokale, Amsterdamse zaak waar zij zich niet of nauwelijks mee zullen bemoeien.

Voor het indirecte hergebruik (alternatief twee: 'effluent met duinpassage') is deze verdeling van de actoren grotendeels hetzelfde, zij het dat de verschillen sterker zullen zijn vanwege de hogere, verwachte kostprijs en de hogere kwaliteit van het infiltraat (demiwater). De consument zal moeten wennen aan het idee, maar vanwege het positieve en natuurlijke imago van de duinpassage kan dit slagen. De VEWIN zou dit proces kunnen ondersteunen [VEWIN, 2005].

Bij het directe hergebruik gaan veel actoren een ander standpunt innemen. De gemeente Amsterdam zou hier voorstander van kunnen zijn als het goedkoper is en het duinbeheer kan worden afgestoten [Gemeente Amsterdam, 2005]. De natuur- en milieubeweging zullen het stoppen van de infiltratie en onttrekkingen uit het duin als positief ervaren, mits de bescherming van het duin gegarandeerd kan worden. Voor de provincie's zou dit betekenen dat ze zelf een actiever (grond)waterbeheer moeten gaan toepassen om wateroverlast te voorkomen. Of zij dit als positief zal ervaren is moeilijk te zeggen. Vanuit VROM en de VROM inspectie zal er heftig geprotesteerd worden tegen direct hergebruik. Hun streven is om de burger te beschermen en men heeft de positie ingenomen dat dit met direct hergebruik niet kan. Ook EUREAU heeft het standpunt ingenomen dat de consument moet worden beschermd tegen direct hergebruik [EUREAU, 2001]. Het overtuigen van de consument van de kwaliteit van het product zal echter nog moeilijker zijn dan de rijksoverheid, omdat bij de consument de emotie die zij heeft bij het drinkwater een belangrijke rol speelt.

8.7 Samenvatting

Bij veranderingen in de waterketen zijn vele partijen betrokken die allemaal andere belangen hebben. De burger is hoe dan ook de belangrijkste actor. Hij heeft veel vertrouwen in het waterleidingbedrijf en daarom zou een besluit omtrent hergebruik goed en uitgebreid moeten worden gecommuniceerd. Het feit dat drinkwater een emotioneel product is en in Nederland gepresenteerd wordt als een natuurlijk product staat direct hergebruik in de weg. In Singapore is dit opgelost door de productie van drinkwater te positioneren als 'hightech'. Wanneer er voordelen te halen zijn uit indirect hergebruik is er een grote kans dat de consument het wel wil accepteren. Binnen 'Waternet' is men positief kritisch over het gebruik van afvalwater als bron voor de drinkwaterzuivering. Wanneer de financiële implicatie's beperkt zijn en/of de gemeente Amsterdam zich meer kan concentreren op haar kerntaken zal de gemeente geen bezwaar aantekenen. De rijksoverheid wil de volksgezondheid van de burger beschermen en is daarom tegenstander van direct hergebruik. Wanneer de te behalen voordelen met indirect hergebruik opwegen tegen het nadeel van de microbiologisch slechtere bron, dan kan de politieke beslissing positief uitpakken voor het hergebruik. Vanuit het voorzorgsprincipe stelt de VROM inspectie dat ieder aanvullend (microbiologisch) risico moet worden ontweken. Dit maakt de inspectie tot de meest kritische actor voor hergebruik.

Referenties

CBS; Website van het centraal bureau voor de statistiek; Internet, 2005

Consumentenbond; consumentengids; juni 2005

EUREAU, Position paper, water reuse EU1-01-A63(3), 2003

Gemeente Amsterdam; persoonlijk gesprek met Dhr. van Vliet; Amsterdam, september 2005

PQR; Nederlands kraanwater, een kwalitatief en kwantitatief onderzoek, management summary, in opdracht van VEWIN; Amsterdam, 2004

VEWIN; persoonlijk gesprek met Mevr. Coenen en Mevr. van der Veerdonk; Rijswijk, september 2005

VROM; rijksvisie waterketen; Den Haag, april 2003

VROM; persoonlijk gesprek met Dhr. Ardon; Den Haag, september 2005

VROM inspectie drinkwater; persoonlijk gesprek met Dhr. van Aken; Haarlem, september 2005

WLB; persoonlijk gesprek met Dhr. van der Hoek; Amsterdam, september 2005

9. Perspectieven voor hergebruik

9.1 Vergelijking van de alternatieven

In de onderstaande tabel zijn de belangrijkste kenmerken van de drie alternatieven opgesomd. Op deze manier kunnen de voor- en nadelen van de alternatieven met elkaar worden vergeleken. Er wordt hier bewust geen keuze gemaakt voor één van de alternatieven, omdat de grote onzekerheden in deze verkennende studie dat niet toelaten.

Tabel 9.1: Belangrijkste verschillen en overeenkomsten tussen de alternatieven (VZ=voorzuiivering, NZ=nazuivering, DS=deelstroom).

Kenmerk	Lekkanaal als bron	Effluent met duinpassage	Direct hergebruik effluent
Wijze van hergebruik (inter)nationaal voorbeeld	Ongepland (indirect) hergebruik Huidige situatie 'rivier duin' waterleiding	Gepland indirect hergebruik Wulpen, België	Gepland direct hergebruik Windhoek, Namibië
Bronnen	Lekkanaal Natuurlijk duinwater	RWZI effluent Natuurlijk duinwater	RWZI effluent
Onderdelen waaruit de zuivering bestaat	Inname Lekkanaal, VZ Nieuwegein, Transport naar duin, Duinpassage (gesloten) NZ Leiduin Transport naar A'dam	Inname RWZI effluent VZ Amsterdam Transport naar duin, Duinpassage (gesloten) NZ Leiduin Transport naar A'dam	Inname RWZI effluent Waterfabriek Amsterdam
Ontwerp van nieuwe zuiveringsonderdelen	VZ Nieuwegein Transport naar duin	VZ Amsterdam Transport naar duin	Waterfabriek Amsterdam
Te verwijderen stoffen in de nieuwe zuivering	Troebelheid Zwevende stof Zware metalen Organische micro's	Troebelheid Zwevende stof Zware metalen Organische micro's Nutriënten Zouten en mineralen	Troebelheid Zwevende stof Zware metalen Organische micro's Nutriënten Zouten en mineralen Micro organismen
Vraag en aanbod water (gemiddelde dag)	Beschikbaar: 18.000 m ³ /h Nodig: 6710 m ³ /h	Beschikbaar: 10.000 m ³ /h Nodig: 6710 m ³ /h	Beschikbaar: 10.000 m ³ /h Nodig: 7520 m ³ /h
Vraag en aanbod water (maximum dag)	Beschikbaar: 18.000 m ³ /h Nodig: 6710 m ³ /h	Beschikbaar: 9080 m ³ /h Nodig: 6710 m ³ /h	Beschikbaar: 9080 m ³ /h Nodig: 8650 m ³ /h
Ontwerp	Vlokvorming Lamellenbezinking Snelle zandfiltratie UV/Peroxide Actieve koolfiltratie	Buffer Vlokvorming Flotatie Ultrafiltratie Reverse Osmosis pH correctie	Buffer Vlokvorming Flotatie Ultrafiltratie DS1: Reverse Osmosis DS2: Nitrificatie DS2: Denitrificatie DS2: UV/Peroxide DS2: Actieve koolfiltratie DS2: Ultrafiltratie Menging deelstromen
Kenmerken ontwerp	UV/Peroxide is flexibel Dubbele barrière voor organische micro's	Keramische UF membranen. Infiltratie van demi-water	RO zorgt voor ontharding, nitrificatie en denitrificatie Meerdere barrière's microbiologie
Vuilwater stromen	Recycling spoelwater in vlokvorming	Nitrificatie en denitrificatie van concentraatstromen en overschot RWZI effluent	Nitrificatie en denitrificatie van concentraatstromen en overschot RWZI effluent

Tabel 9.1: Belangrijkste verschillen en overeenkomsten tussen de alternatieven (vervolg).

Kenmerk	Lekkanaal als bron	Effluent met duinpassage	Direct hergebruik effluent
Opslag en transport	3 reinwaterkelders van 750m ³ per stuk. 3 transportbuizen van 50km met D=1,2m en een boosterpompstation.	3 buffers voor RWZI effluent van 20.000m ³ per stuk. 3 reinwaterkelders van 750m ³ per stuk. 3 transportbuizen van 20km met D=1m.	3 buffers voor RWZI effluent van 20.000m ³ per stuk. 3 reinwaterkelders van 18.000m ³ per stuk. Tekort van 300 m ³ /h op de maximum dag.
Concentratie cryptosporidium (gemiddelde omstandigheden)	3,0*10 ⁻⁹ oöcysten per liter Geen normoverschrijdingen in 1 miljoen trekkingen	3,0*10 ⁻⁹ oöcysten per liter Geen normoverschrijdingen in 1 miljoen trekkingen	4,8*10 ⁻⁶ oöcysten per liter Overschrijdingskans van 0,25%
Extreme omstandigheid	1000 oöcysten/liter Uitvallen van UV/Peroxide en duinpassage	1000.000 oöcysten/liter Uitvallen van RO en duinpassage	1000.000 oöcysten/liter Uitvallen van RO
Concentratie cryptosporidium (extreme omstandigheden)	6,6*10 ⁻⁴ oöcysten/liter Overschrijdingskans van 3,8%	3,5*10 ⁻³ oöcysten/liter Overschrijdingskans van 5,8%	32,9 oöcysten/liter Overschrijdingskans van 59,2% ⁵
Vaste kosten ontwerp (excl. BTW)	229 miljoen euro (excl. gesloten terugwinning)	175 miljoen (excl. sloop huidige voorzuivering en transport en gesloten terugwinning)	195 miljoen (excl. sloop huidige voorzuivering en transport)
Exploitatiekosten alternatief (excl. BTW)	38 miljoen euro per jaar	44 miljoen euro per jaar	25 miljoen euro per jaar
Gemiddelde prijs over een periode van 50jaar ⁶	0,81 €/m ³	1,00 €/m ³	0,50 €/m ³
Bepalende factoren	Transportsysteem, twee keer zuiveren van het water	Membranen, transportsysteem, energie zuivering, twee keer zuiveren van het water	Membranen, energie zuivering
Eco-kosten	0,14 €/m ³	0,16 €/m ³	0,09 €/m ³
Bepalende factoren	Lozing van afvalwater, energie	Energie	Energie
Consument	Vermoedelijk geen bezwaren.	Met goede communicatie en appelleren aan natuurlijke zuivering van het duin te overtuigen	Zeer moeilijk. Langdurig proces, het onderbuikgevoel van afvalwater is vies zal moeten worden overwonnen.
Overheid	Gaat door op de bestaande situatie. Laagwaardig hergebruik van afvalwater zal gestimuleerd worden.	Bij goede voorzuivering geen bezwaren te verwachten.	(Microbiologische) veiligheid aantonen zal kernzaak worden.

⁵ Doordat de deelstroom met de RO uitvalt wordt deze hoge eindconcentratie gehaald. De concentratie in de andere deelstroom is in deze extreme omstandigheid 2,0*10⁻⁴ oöcysten/liter. Zie hoofdstuk 5.

⁶ Kostprijs voor de productie en het transport van drinkwater. Gesloten terugwinning, distributie en overhead zijn niet meegenomen in deze prijs.

9.2 Conclusies

Conclusies met betrekking tot het risico

1. Gezien het feit dat er in Nederland geen noodzaak is voor het hergebruik van afvalwater, zou er bij het gebruik van gezuiverd afvalwater als bron voor de drinkwaterbereiding een onnodig risico in de drinkwaterzuivering worden geïntroduceerd. Nieuwe (meet)technieken maken het wel mogelijk om het risico beter te calculeren.
2. Wanneer een bepaalde stof niet wordt verwijderd of afgebroken in een afval- of drinkwaterzuivering zal deze stof zich blijven ophopen in een systeem met hergebruik. Dit nadeel is inherent aan het gebruik van afvalwater als bron voor de drinkwaterzuivering.
3. De open terugwinning van het geïnfiltreerde water uit het duingebied bepaalt de eindconcentratie pathogene micro-organismen in het drinkwater. Vanuit het oogpunt van de microbiologie zou deze terugwinning gesloten moeten worden. Tot die tijd is de functie van het duingebied, vanuit het oogpunt van de drinkwaterzuivering, beperkt tot buffervorming en piekafvlakking.

Conclusies met betrekking tot de duurzaamheid

4. Het gebruik van afvalwater voor de bereiding van drinkwater is niet per definitie duurzamer. Hoewel de bron, afvalwater, er altijd zal zijn en het verminderen van RWZI-effluent lozingen een positief effect heeft op het milieu, vraagt de zuivering van afvalwater tot drinkwater veel energie en heeft om die reden een negatieve impact op het milieu.
5. De lozing van het gezuiverde afvalwater en het energieverbruik zijn de belangrijkste indicatoren voor de mate van duurzaamheid. Omdat bij het direct hergebruik van afvalwater het minste RWZI effluent geloosd wordt en er geen watertransport meer is heeft dit alternatief, in deze studie, de laagste eco-kosten. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de keuze van het balansgebied en de selectie van de berekende parameters hier een belangrijke invloed op uitoevend.
6. In vergelijking met andere economische activiteiten is de productie van drinkwater maar weinig milieu belastend.

Conclusies met betrekking tot de ontwerpen

7. Onder gemiddelde omstandigheden kan er met de gekozen ontwerpen drinkwater worden geproduceerd dat voldoet aan de wettelijke eisen. Onder extreme omstandigheden bewijst de duinpassage met gesloten terugwinning haar waarde.
8. Het is onmogelijk om bij het gekozen ontwerp voor directe hergebruik volledig in de huidige drinkwatervraag te voorzien. De gekozen uitgangspunten voor dit ontwerp dragen hier ook aan bij.
9. De belangrijkste kostenbepalende factoren zijn het watertransport en de toepassing van membraanfiltratie. Omdat bij het direct hergebruik van afvalwater er geen watertransport meer is en de zuivering van het water op één locatie gebeurt pakt dit alternatief goedkoper uit. Hierbij moet worden opgemerkt dat de inflatie van 2% op de exploitatiekosten van nazuivering Leiduin het eindresultaat sterk beïnvloeden.

Conclusies met betrekking tot het kader waarin deze studie is gedaan

10. Het fuseren van het waterleidingbedrijf Amsterdam (WLB) met de dienst waterbeheer en riolering (DWR) tot 'Waternet' schept een bestuurlijk en organisatorisch kader waarin de omstandigheden voor het hergebruik van afvalwater optimaal zijn. Dit is uniek in Nederland.
11. Naar de daadwerkelijke wensen van de drinkwaterconsument en de acceptatie van hergebruikt afvalwater is geen onderzoek gedaan. Dit staat een objectieve discussie over het gebruik van afvalwater voor de drinkwaterbereiding in de weg.
12. Wanneer de bestaande RWZI's worden uitgebreid met een derde zuiveringsstap wordt het hergebruik van afvalwater aanzienlijk vergemakkelijkt. Het infiltreren van het afvalwater in de bodem wordt dan een goede mogelijkheid.

9.3 Aanbevelingen

1. De kwaliteit van afvalwater zou beter moeten worden onderzocht. Hiervoor is het noodzakelijk om in zowel het gezuiverde als het ongezuiverde afvalwater betere en uitgebreidere kwalitatieve analyses uit te voeren. Er is aan dit soort uitgebreidere analyses een grote behoefte binnen de gehele waterketen. De publieke kosten die dit met zich meebrengt staan in geen verhouding tot de baten die deze kennis kan opleveren.
2. Waterleidingbedrijven zouden de ontwikkelingen omtrent een derde zuiveringsstap op de RWZI's nauwgezet moeten volgen. Wanneer het besluit om deze derde trap op de RWZI te plaatsen wordt genomen zou in een gezamenlijk onderzoek tussen het drinkwater- en het afvalwaterbedrijf moeten worden gekeken naar verdere toepassingen van dit RWZI-effluent. Er kan dan een objectieve keuze worden gemaakt tussen enerzijds het lozen van het RWZI-effluent en anderzijds het verder zuiveren en hergebruiken.
3. Het in kaart brengen en kwantificeren van de extreme omstandigheden, binnen de reguliere bedrijfsvoering, waaraan een drinkwaterzuivering nog moet voldoen is nodig. Op deze manier kan er meer en meer een gecalculeerd risico worden genomen. De risicomijdende houding van de (drink)waterbedrijven kan dan worden omgezet in een, gecalculeerd, risiconemend gedrag.
4. Er kan proefinstallatie onderzoek gedaan worden met gezuiverde afvalwater van RWZI Amsterdam-West op de nazuivering Leiduin. Op deze manier kan bekeken worden welke stoffen echt problematisch zijn voor het hergebruik en kunnen de aanvullende zuiveringsstappen beter worden ontworpen worden. Waternet heeft hier de mogelijkheden en de middelen voor.
5. Waternet zou moeten onderzoeken hoe de microbiologische zekerheid op de langere termijn te garanderen is voor de 'rivier-duin' waterleiding. Aanvullende maatregelen hiervoor kunnen zijn een gesloten terugwinning, extra desinfectie in de nazuivering of veranderingen in het duinbeheer.

9.4 Discussie

Een van de discussiepunten in deze studie betreft de nieuwe RWZI in Amsterdam-West. De gegevens over waterkwaliteit zijn gebaseerd op andere RWZI's en literatuur en niet op de daadwerkelijke prestaties van deze RWZI, omdat zij nog maar net is opgestart. De nieuwe RWZI is ontworpen op een effluentproductie van 73 miljoen m³ per jaar, maar over de daadwerkelijke hoeveelheid RWZI-effluent is nog weinig bekend. Een ander punt is dat er op de RWZI niet alleen afvalwater wordt gezuiverd, maar dat er in het afvalwater ook grond- en regenwater zit. Er is nog weinig bekend over de hoeveelheden en verdeling van regen- en grondwater in het afvalwater en deze hoeveelheden zijn in deze studie dan ook geschat.

Bij de ontwerpen is het huidige, secundaire, RWZI-effluent als uitgangspunt genomen. Aanpassingen op de RWZI zijn uitgesloten in het ontwerp, omdat de RWZI net nieuw gebouwd is. Dit uitgangspunt zorgt ervoor dat de voorontwerpen vanuit het perspectief van de drinkwaterzuivering zijn gemaakt. In de alternatieven met het gebruik van RWZI-effluent zijn membranen opgenomen. De concentraatstromen van deze membraanfiltraties moeten weer geloosd worden op het oppervlaktewater. Aangenomen is dat deze lozingen moeten voldoen aan de Europese kaderrichtlijn water. De concentraatstromen ondergaan daarom nog een aparte nitrificatie en denitrificatie voordat het water geloosd kan worden. De derde trap voor de afvalwaterzuivering is op deze manier geïntegreerd in deze voorontwerpen.

In de ontwerpen met RWZI-effluent zijn grote buffers voor het afvalwater opgenomen om de fluctuaties in de hoeveelheid RWZI-effluent op te vangen. Voor deze buffers is aangenomen dat de aanvoer van RWZI-effluent gelijk is aan het dagpatroon van de drinkwaterconsumptie. Aangezien Amsterdam een grote stad is met een groot rioolnetwerk is het te verwachten dat de aanvoer van rioolwater naar de RWZI niet zo sterk fluctueert als de drinkwatervraag. De reinwaterkelders in het ontwerp met direct hergebruik van afvalwater zijn ook erg groot. Wanneer de 'en-gros' leveringen aan PWN en DZH direct gedistribueerd worden, zou dit leiden tot kleinere reinwaterkelders.

In de risicoanalyse bleek met name dat de gesloten terugwinning uit het duingebied een belangrijke bijdrage leverde aan de microbiologische kwaliteit van het water. Dit geldt natuurlijk alleen als de terugwinning van het water uit het duingebied volledig gesloten is, de kleinste herbesmetting kan het gehele effect van de gesloten terugwinning al weer teniet doen. Een ander belangrijk punt zijn de toegepaste scenario's voor het testen van de robuustheid. Deze scenario's waren hypothetisch van aard en of ze in werkelijkheid kunnen optreden is moeilijk te stellen. De wettelijke norm mag dan erg duidelijk zijn, maar het zal in de praktijk erg moeilijk blijven om een besmetting van een pathogeen micro-organisme te herleiden tot de drinkwaterzuivering. Dit is desalniettemin geen reden voor laksheid voor de drinkwaterzuivering.

In de kostenramingen is ook een arbitraire selectie gemaakt van onderdelen die wel en niet zijn meegenomen. Een belangrijk onderdeel dat niet is meegenomen zijn de kosten voor een gesloten terugwinning van het drinkwater uit het duingebied. Ook zijn er van een aantal nieuwe processen nog geen kostenformules beschikbaar. De kosten voor deze processen zijn geraamd met kostenformules voor traditionelere processen. De investering- en exploitatiekosten worden sterk beïnvloedt door de keuze van het transportsysteem. Het alternatief met direct hergebruik ('Waterfabriek Amsterdam') valt uiteindelijk goedkoper uit omdat de nazuivering te Leiduin komt te vervallen. Het water wordt in dit alternatief maar op één locatie gezuiverd en dat scheelt in de kosten. Het is wel de vraag of de berekende bijdrage van nazuivering Leiduin niet te hoog is ingeschat. Deze nazuivering heeft haar technische levensduur al bereikt en de aangenomen jaarlijkse inflatie van 2% op de exploitatiekosten van deze locatie is discutabel.

De berekening van de eco-kosten wordt primair bepaald door de lozing van het RWZI-effluent en de energie. De hoeveelheid water dat geloosd wordt is in de alternatieven met hergebruik van afvalwater veel kleiner. De bijdrage van de energie wordt primair bepaald door de membraanfiltraties en het watertransport. Het watertransport is bij het directe hergebruik het kleinste, maar de membraanfiltratie is hier het grootste. In de alternatieven met de duinpassage wordt het water op twee locaties gezuiverd en daardoor moeten de eco-kosten van locatie Leiduin worden opgeteld bij deze alternatieven. Belangrijk is wel om op te merken dat ook de keuze van het balansgebied de resultaten beïnvloedt. Organische microverontreinigingen zijn niet meegenomen, maar zij belasten het milieu ook. De alternatieven met RWZI-effluent zullen juist op dit punt slecht scoren, omdat de vracht organische microverontreinigingen in het RWZI-effluent hoger is dan in het water uit het Lekkanaal. Er moet ook opgemerkt worden de onderlinge verschillen maar klein zijn in vergelijking met andere economische activiteiten.

Bij de bestudering van het maatschappelijk kader is ook een arbitraire selectie gemaakt. Belanghebbenden als de natuur- en milieuorganisatie en de provincie zijn niet benaderd. Een ander belangrijk punt is of de collega waterleidingbedrijven PWN en DZH het zullen accepteren als hun bestaande 'en-gros' leveringen voortaan worden bereid uit RWZI-effluent. Opmerkelijk is dat alle actoren zich bijna direct verschuilen achter het argument dat de consument het niet zou willen. Dit beïnvloedt de discussie over hergebruik van afvalwater erg sterk. Opmerkelijk hierbij is dat de directe medewerkers, met name indirect, hergebruik van afvalwater positief kritisch benaderen, dit in tegenstelling tot de andere belanghebbenden.

9.5 Toekomst perspectief

Het doel van deze gehele studie was om te kijken of er een toekomst is voor het hergebruik van afvalwater. In Nederland is er tot op heden geen noodzaak voor het hergebruik van afvalwater. Wanneer de verwachte klimaatsveranderingen doorzetten zullen we meer extremen in ons weer krijgen: langere droogteperioden en meer, korte, hevige regenbuien. Deze klimaatveranderingen vragen ook om veranderingen in de waterketen. Om de droogteperioden op te vangen zal er meer water moeten worden opgeslagen en om te voorkomen dat hevige neerslag leidt tot rioolwater overstortingen moet er meer verhard gebied worden afgekoppeld. Deze elementen zijn maar beperkt relevant voor de Amsterdamse situatie.

Het hergebruik van afvalwater kan een aantal van de problemen in de waterketen tegen gaan. Wanneer het gezuiverde afvalwater weer in de bodem wordt geïnfiltreerd kan dit als een buffer functioneren voor perioden van waterschaarste. Wanneer het gezuiverde afvalwater niet meer geloosd wordt maar geïnfiltreerd in de bodem verschuift de milieuproblematiek zich ook van het oppervlaktewater naar de bodem. Aangezien de wetgever het infiltreren van water in de bodem aan strenge eisen heeft verbonden (strenger dan de lozingen op het oppervlaktewater) kan hiervoor gewaakt worden.

De steeds strenger wordende eisen voor het lozen van het gezuiverde afvalwater zorgen ervoor dat het in de bodem infiltreren van RWZI-effluent een haalbaar alternatief wordt. Wanneer de noodzakelijke uitbreidingen op de RWZI's worden geïntroduceerd (om aan de eisen in de kaderrichtlijn water te voldoen) zijn de nutriënten geen bezwaar meer voor infiltratie. Alleen de concentratie's organische microverontreinigingen vormen dan nog een belemmering voor bodeminfiltratie. Het nadeel van deze extra technische ingrepen is dat zij over het algemeen veel energie verbruiken en daardoor de kostprijs verhogen en het milieu extra belasten. Het 'oplossen' van het ene milieu probleem geeft dan weer een ander milieuprobleem. Het oude adagium van voorkomen is beter dan genezen blijkt ook hier weer te gelden.

De vraag of het hergebruik van gezuiverd afvalwater uiteindelijk voordelen oplevert is pas definitief te beantwoorden als een situatie met hergebruik en een situatie zonder hergebruik, integraal, kunnen worden vergeleken. Ook de implementatie van de derde zuiveringstrap op de RWZI's is een onzekere factor die de balans kan beïnvloeden. Hoewel afvalwater altijd beschikbaar zal zijn, heeft een drinkwaterzuivering die deze bron gebruikt niet per definitie duurzamer te zijn dan één die het niet gebruikt. Er zijn meerdere factoren die de duurzaamheid van een (drink)waterzuivering bepalen. Een drinkwaterzuivering die gezuiverd afvalwater als bron gebruikt is daarom niet per definitie duurzamer.

Het gebruik van gezuiverd afvalwater voor de drinkwaterzuivering levert een aanvullend microbiologisch risico op. Zolang er andere waterbronnen beschikbaar zijn zullen zij vanuit de microbiologie bezien te prefereren zijn. Binnen de drinkwatersector is men van nature risicomijdend. Dit is vanuit haar lange geschiedenis ook zeer goed te begrijpen en te verdedigen. Ons huidige kennisniveau staat het echter toe om meer en meer een gecalculeerd risico te nemen. Bij het overschakelen van grondwaterwinningen naar oppervlaktewaterwinningen is dit in het verleden ook gebeurd. Wanneer het RWZI-effluent in de bodem wordt geïnfiltreerd en na verloop van tijd weer wordt onttrokken, worden de kwalitatieve voordelen van grondwater gecombineerd met het 'oplossen' van een aantal problemen in de waterketen. Alleen de toekomst zal leren of dit ook echte oplossingen zijn. Laten we alleen hopen dat het nobele werk van John Snow niet nogmaals gedaan moet worden.

Appendices

Bij hoofdstuk 2:

2.1	Rivier-plassen waterleiding	II
-----	-----------------------------	----

Bij hoofdstuk 3:

3.1	Literatuur per stof	III
3.2	Statistische analyse	IV
3.3	Berekening infectierisico	V
3.4	Werkgebieden van DWR en WLB	VI
3.5	Daganalyse drinkwater en RWZI effluent	IX

Bij hoofdstuk 4:

4.1	Zuiveringsstappen per stof(groep)	XI
4.2	Blokschema met ingrijpen op de RWZI	XVII
4.3	Ontwerpkeuzes voorzuivering Nieuwegein	XVIII

Bij hoofdstuk 5:

5.1	Programmatekst Monte-Carlo simulatie	XIX
-----	--------------------------------------	-----

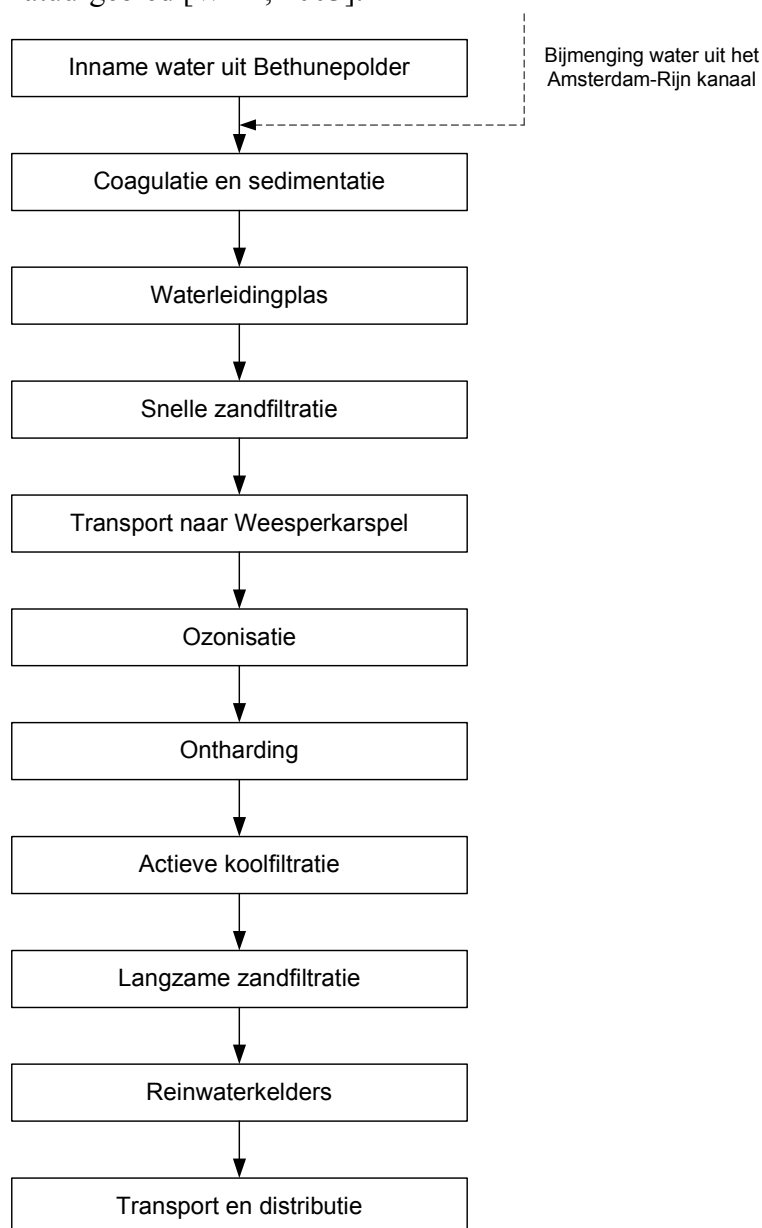
Bij hoofdstuk 8:

8.1	Medewerkers enquête	XXI
-----	---------------------	-----

2.1 Rivier-plassen waterleiding

In 1888 begon de gemeentewaterleiding Amsterdam met de levering van ‘schrobwater’. Dit water was afkomstig uit de Vecht en niet bedoelt als drinkwater. Om in de toenemende vraag te kunnen blijven voldoen is vanaf 1930 begonnen met de bereiding van drinkwater uit het kwelwater van de Bethunepolder. Deze polder is een drooggelegde plas bij Maarssen en levert water van een goede en stabiele kwaliteit. Vanaf de jaren 80 is hier water uit het Amsterdam-Rijnkanaal aan toegevoegd om in de drinkwatervraag te kunnen blijven voorzien.

De Bethunepolder wordt in de stroomgebiedvisie van Amstelland van de provincie Utrecht als bron voor drinkwater ter discussie gesteld. Deze polder zou in deze visie permanent onder water moeten staan. De gemeente Amsterdam heeft hiertegen geprotesteerd, omdat zij niet slechts van één bron afhankelijk wil zijn. Dit heeft geresulteerd in gelden die beschikbaar zijn gesteld om gronden in de polder aan te kopen van de provincie Utrecht en in te richten als natuurgebied [WLB, 2003].



Afbeelding B.1: blokschema rivier-plassenwaterleiding

3.1 Literatuur per stof

In onderstaande tabel is aangegeven welke literatuur is geraadpleegd voor de verschillende parameters. Ook is aangegeven hoeveel metingen er zijn van iedere parameter om de statistische relevantie aan te geven.

Tabel B.1: Literatuurverwijzingen en aantal metingen per parameter voor de bronnen Lekkanaal en RWZI effluent.

Parameter	Lekkanaal	metingen	Effluent	Metingen
Temperatuur	[RIWA, 2003]	12	[Koning, 2005]	?
Troebelheid	[RIWA, 2003]	12	[Koning, 2005]	?
Zuurgraad	[RIWA, 2003]	12	[STOWA, 2001]	Onbekend
Campylobacter	[HWL, 2004]	6	[Ruiter, 2004]	16
Cryptosporidium	[Medema, 2001]	12	[Medema, 2001]	29
Escherichia Coli	[RIWA, 2003]	13	[Ruiter, 2004]	14
Entrococcen	[RIWA, 2003]	12	[Roorda, 2004]	?
Entrovirussen	[Theunissen, 1998]	10	Geen literatuur gevonden	
Giardia	[Medema, 2001]	12	[Medema, 2001]	29
BZV	[WaterBase, 2004]	8	[DWR, 2004]	331
CZV	[RIWA, 2003]	10	[DWR, 2004]	350
DOC	[RIWA, 2003]	11	[Koning, 2005]	?
Fosfaat (totaal)	[RIWA, 2003]	11	[DWR, 2004]	346
Kjehldahl-N	[RIWA, 2003]	9	[DWR, 2004]	345
Stikstof (totaal)	[RIWA, 2003]	9	[DWR, 2004]	343
TOC	[RIWA, 2003]	11	[Koning, 2005]	?
Zuurstof	[RIWA, 2003]	12	[Koning, 2005]	?
Zwevende stof	[RIWA, 2003]	12	[Medema, 2001b]	28
AMPA	[RIWA, 2003]; [Hopma, 1995]	18	[STOWA, 1997]	24
Atrazine	[RIWA, 2003]	12	[STOWA, 1997]	13
Bisfenol-A	[Ghijsen, 2000]	3	[Berbee, 2004]; [Vethaak, 2002]	19
Carmapezine	[RIWA, 2003]; [Schrapp, 2003]	14	[Berbee, 2004]; [Schrapp, 2003]; [Versteegh, 2003]	22
Jomeprol	[Sacher, 2003]	12	[Schrapp, 2003]	6
Metoprolol	[Schrapp, 2003]; [Sacher, 2003]	14	[Schrapp, 2003]; [Versteegh, 2003]	7
MCPA	[RIWA, 2003]	4	[STOWA, 1997]	10
Oestron	[Ghijsen, 2000]	3	[Vethaak, 2002]	8
Sulfamethoxazol	[Schrapp, 2003]; [Sacher, 2003]	14	[Schrapp, 2003]; [Versteegh, 2003]	7

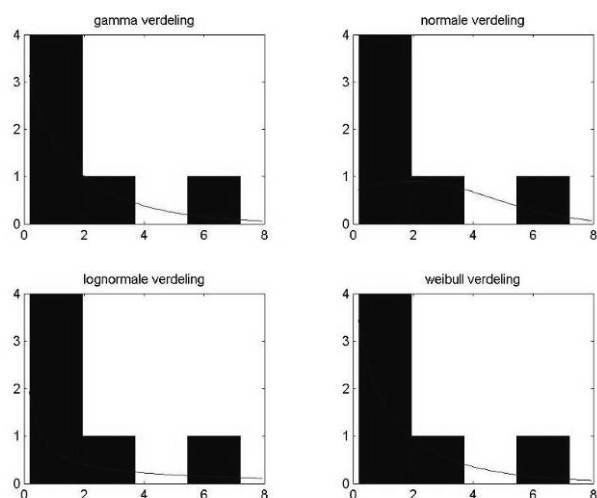
Tabel B.1: Literatuurverwijzingen en aantal metingen per parameter voor de bronnen Lekkanaal en RWZI effluent (vervolg).

Parameter	Lekkanaal	metingen	Effluent	Metingen
Calcium	[RIWA, 2003]	12	[Koning, 2005]	?
Chloride	[RIWA, 2003]	12	[Medema, 2001b]	15
Koper	[RIWA, 2003]	7	[DWR, 2004]	33
Lood	[RIWA, 2003]	7	[DWR, 2004]	33
Natrium	[RIWA, 2003]	12	[Koning, 2005]	?
Nikkel	[RIWA, 2003]	7	[DWR, 2004]	33
PAK's	[RIWA, 2003]	6	[DWR, 2004]	4
PCB's	[RIWA, 2003]	4	[DWR, 2004]	?
Waterstofcarbonaat	[RIWA, 2003]	12	[Koning, 2005]	?
Zink	[RIWA, 2003]	5	[DWR, 2004]	32

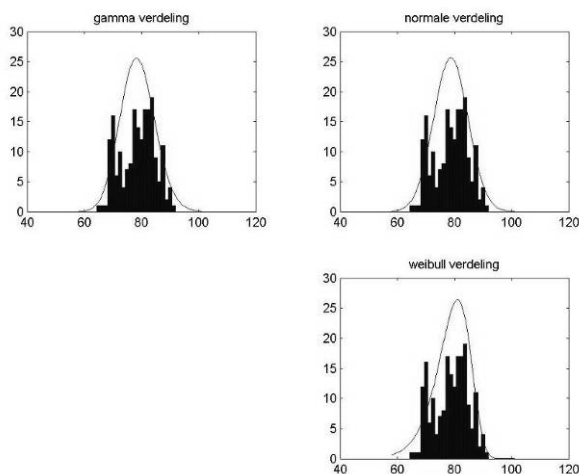
3.2 Statistische analyse

Met behulp van de in Matlab geprogrammeerde Kolmogorov-Smirnov test is steeds gekeken of een bepaalde statistische verdeling toepasbaar was op de dataset. Deze test werkt met een significantieniveau van 5% en onderzoekt of de voorgestelde statistische verdeling toepasbaar is op de dataset of niet. Op deze manier is er bij alle datasets onderzocht of een gamma, een Weibull, een normale of een lognormale verdeling toepasbaar was. Enkele datasets gaven aan dat met dit significantieniveau er geen enkele verdeling toepasbaar was en andere datasets hadden zo weinig metingen (<6 metingen) dat er niet veel waarde gehecht kan worden aan de uitkomst van de test.

De lognormale verdeling bleek slechts in een incidenteel geval toepasbaar te zijn, de normale en de Weibull verdeling bleken vaak van toepassing te zijn, maar op bijna iedere dataset kon de gammaverdeling worden toegepast. Er wordt daarom ook verder steeds vanuit gegaan dat alle concentraties van stoffen in de bronnen voldoen aan een gammaverdeling. Hieronder staan twee voorbeelden van de uitvoer. Hierin is in ieder subplot een histogram te zien met daar doorheen getekend de voorgestelde verdeling. Indien er geen subplot te zien is was die verdeling niet mogelijk.



Afbeelding B.2: E-Coli concentraties in het Lekkanaal. Op de y-as staat het aantal metingen (totaal 6) en op de x-as staat de concentratie. Op de achtergrond is de kansverdeling te zien.



Afbeelding B.3: natriumconcentratie in het drinkwater. Op de y-as staat het aantal metingen en op de x-as staat de concentratie. Op de achtergrond is de kansverdeling geschetst. Hier was de lognormale verdeling niet van toepassing.

3.3 Berekening infectierisico

Het waterleidingbesluit eist dat er maximaal 1 infectiegeval per 10.000 mensen per jaar plaats vindt. Er is uitgebreid onderzoek gedaan naar hoeveel water er per persoon wordt gedronken en daaruit bleek dat er 0,2223l per persoon per dag wordt gedronken [Roda Husman, 2004]. Dit betekent dat er 1 infectiegeval mag plaatsvinden in de distributie van 0,2223 liter pppd * 365,25 dagen * 10.000 mensen = 812 m³.

Een dosis-respons relatie is afgeleid voor *Cryptosporidium*, *Giardia* en *Campylobacter* [Theunissen, 1996]. In het ergste geval geeft ieder aanwezig micro-organisme een infectie; in het beste geval geen enkele. Er is steeds aan vrijwilligers een verschillende dosis micro-organismen toegediend en na afloop is het aantal infectiegevallen gemeten. Een bèta-poisson model is ontwikkeld waarin deze resultaten pasten. Hieruit is vervolgens de relatie tussen de dosis en de infectie afgeleid en voor lage dosis samengevat in één parameter: r . Wanneer deze r een waarde van 1 heeft wil het zeggen dat iedere dosis ook een infectie ten gevolg heeft.

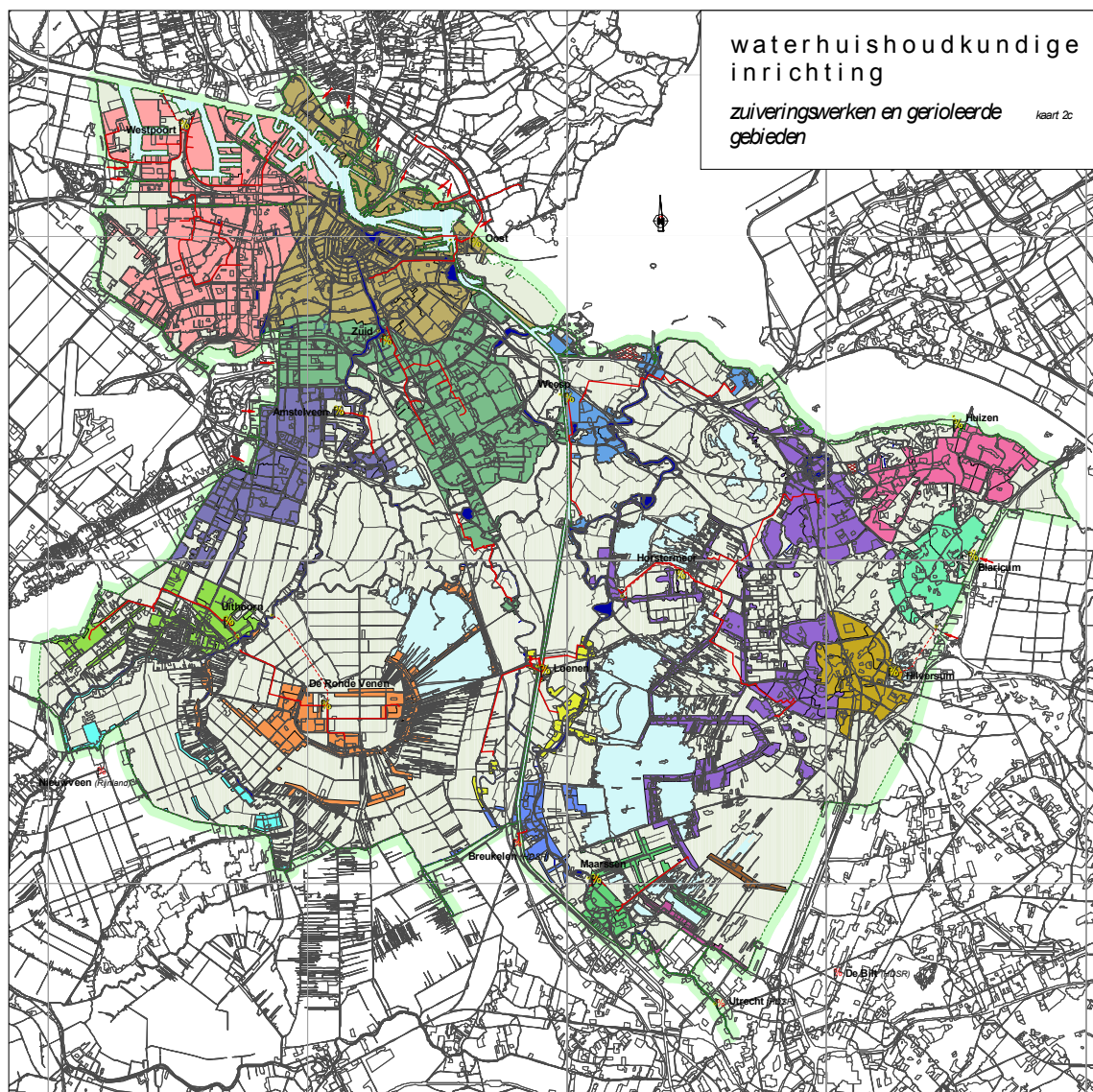
De concentratie in het drinkwater is dan vervolgens: $concentratie = \frac{1}{r * V}$ met het volume van 812 m³ om aan de wettelijke eis te voldoen.

Tabel B.2: Berekening van maximale concentraties micro-organismen in drinkwater.

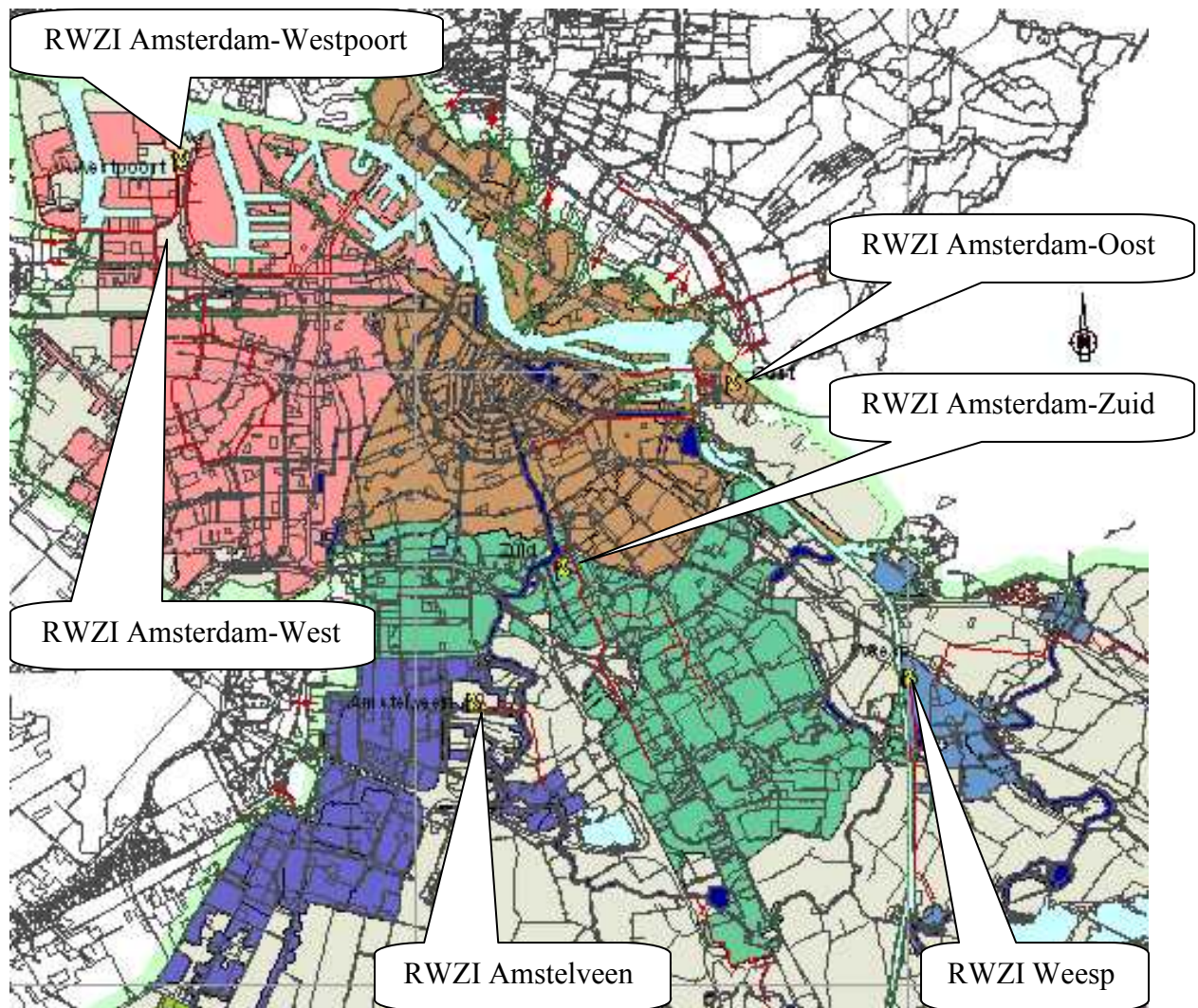
Parameter	Eenheid	R	Concentratie
Rotavirus	Aantal/liter	0,6	$2,1 * 10^{-6}$
<i>Cryptosporidium</i>	öocysten/l	$4,0 * 10^{-3}$	$3,1 * 10^{-4}$
<i>Giardia</i>	cysten/l	$1,99 * 10^{-2}$	$6,2 * 10^{-5}$
<i>Campylobacter</i>	Aantal/liter	$1,91 * 10^{-2}$	$6,5 * 10^{-5}$
Theoretisch geval	Aantal/liter	1	$1,2 * 10^{-6}$

Dit betekent dat wanneer voor alle pathogene micro-organismen een maximum concentratie van $1,2 * 10^{-6}$ (1 beest in 812m³) wordt aangehouden er altijd aan de wettelijke eiss wordt voldaan. In de praktijk is dit ook de eis (zie noot 2 in [Roda Husman, 2004]), tenzij met een Monte-Carlo analyse kan worden aangetoond dat de zuivering ook voldoet aan het wettelijk maximum van 1 infectie per 10.000 inwoners per jaar.

3.4 Distributiegebieden van DWR en WLB

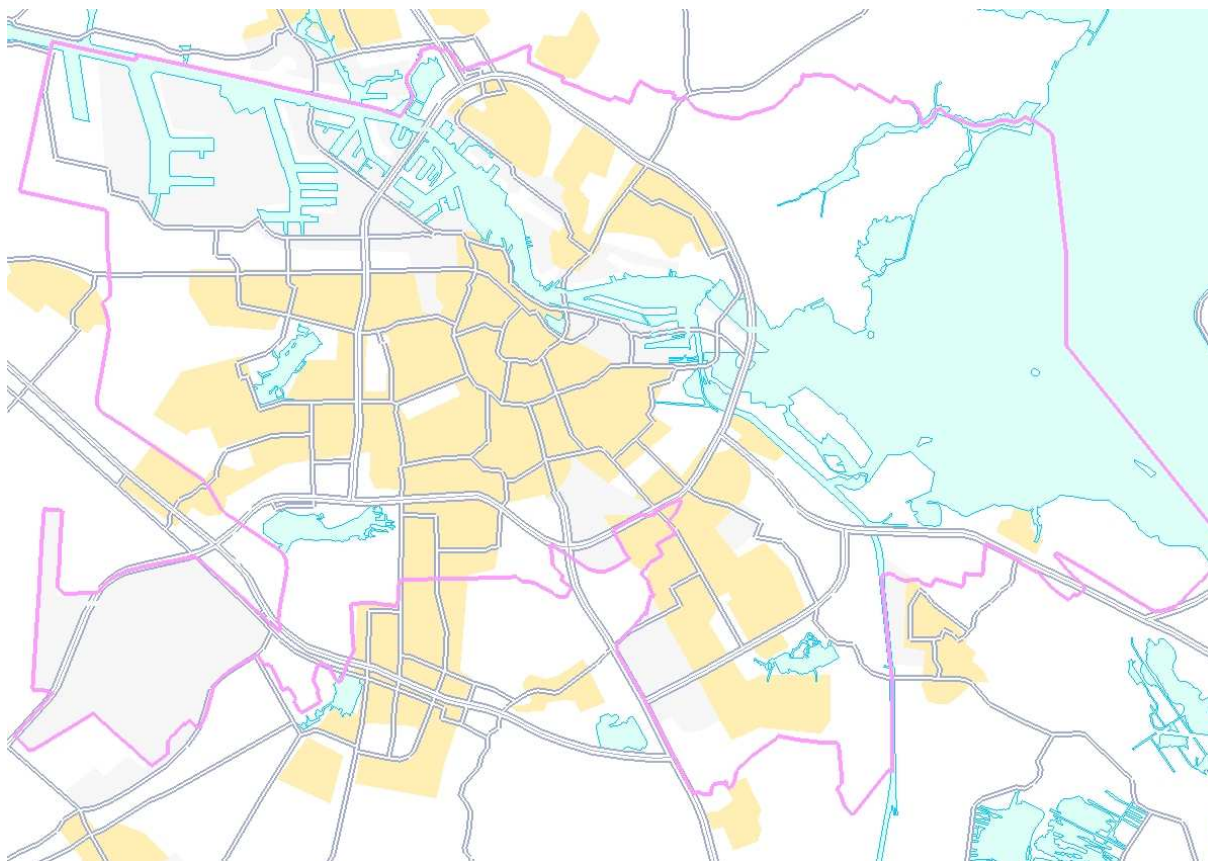


Afbeelding B.4: Het werkgebied van DWR met de afwateringsgebieden per RWZI.



Afbeelding B.5: Het werkgebied van DWR met de afwateringsgebieden per RWZI, uitvergroot voor Amsterdam.

Dit is de huidige situaties met de drie RWZI's: Westpoort (roze afwateringsgebied), zuid (groen afwateringsgebied) en oost (oranje afwateringsgebied). Ook staan de RWZI's van Amstelveen en Weesp aangegeven. De locaties zuid en oost worden vervangen voor een nieuwe zuivering in Amsterdam-West. De huidige locaties zullen worden vervangen voor een pompstation, de afwateringsgebieden blijven onveranderd.



Afbeelding B.6: Het distributiegebied van WLB. In tegenstelling wat op deze kaart staat valt de gemeente Amstelland (Amstelveen, Ouderkerk aan de Amstel en Duivendrecht) wel onder het distributiegebied van WLB.

Gebieden die wel door WLB worden verzorgd maar niet afwateren op de RWZI's:

Heemstede:	1,6 miljoen m ³ jaar
Schiphol en Amsterdamse bos	4,4 miljoen m ³ jaar
Muiden en Muiderberg (ongeveer 7000inw à 125lppd)	0,3 miljoen m ³ jaar
Amstelland (90.000inw à 125lppd)	4,1 miljoen m ³ jaar
<u>Amsterdam-Noord en landelijk noord (40000inw⁷ a 125lpppd)</u>	<u>1,8 miljoen m³ jaar</u>
Totaal:	12,2 miljoen m ³ jaar

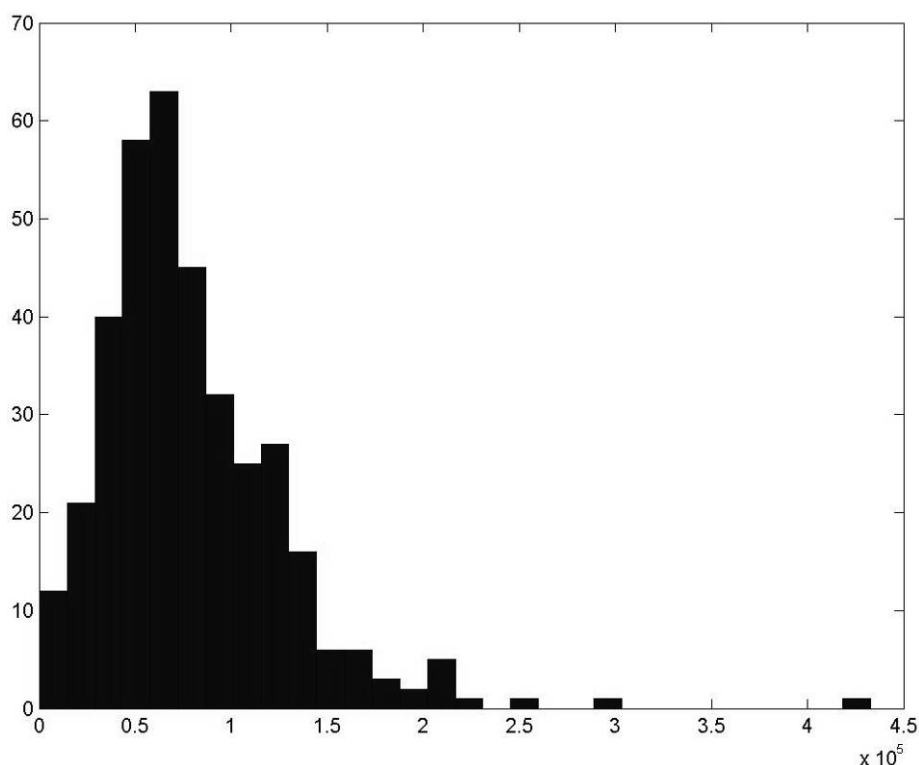
In Muiden en Muiderberg wordt 'rivier plassen' water geleverd. In Heemstede, schiphol en het Amsterdamse Bos wordt 'rivier duin' water geleverd. In Amstelland, Amsterdam-Noord en landelijk noord wordt aangenomen dat er mengwater wordt geleverd. Dit betekent dat er in totaal 9,6 miljoen m³/jaar uit de 'rivier duin' waterleiding niet afwatert op de RWZI's Amsterdam-west en Amsterdam-Westpoort en dat er in totaal 2,6 miljoen m³/jaar uit de 'rivier plassen' waterleiding niet afwatert op de RWZI's Amsterdam-West en Amsterdam-Westpoort.

⁷ In totaal heeft het stadsdeel Amsterdam-Noord 88 duizend inwoners. Op de kaart van DWR is te zien dat slechts een gedeelte afwatert op de RWZI Amsterdam-Oost. Geschat wordt dat 40.000 inwoners wel door WLB, maar niet door DWR worden bediend.

3.5 Daganalyse drinkwater en RWZI effluent

Om inzicht te krijgen in de drinkwaterdistributie en RWZI effluent productie zijn de cijfers van 2003 beter onderzocht. In deze analyse zijn achtereenvolgens de volgende stappen ondernomen:

- De dagdistributie van drinkwater van pompstation Leiduin is verzameld. Deze getallen zijn vermenigvuldigd tot de totale drinkwatervraag.
- Voor iedere dag is de verhouding tot het gemiddelde aangegeven. Voor iedere dag is een verlies van 1% aangenomen. Indien er meerdere dagen achter elkaar waren met een gebruik van meer dan 5% boven het gemiddelde is deze factor verhoogd tot 3% in de maanden april tot en met augustus en 2% in de overige maanden.
- De RWZI effluent hoeveelheden van RWZI Amsterdam-Westpoort zijn omgerekend naar de verwachte hoeveelheid RWZI effluent van RWZI Amsterdam-West. Deze waarden zijn gesommeerd zodat de totale effluent productie ontstaat. Gedurende 14 dagen (verdeeld over het gehele jaar) was de effluentproductie zo laag dat de oorspronkelijke waarden vervangen zijn voor een waarde uit de omringende dagen. Deze lage productie zal komen door onderhoudswerkzaamheden aan de RWZI Westpoort.
- Van de totale effluentproductie is de bijdrage uit het drinkwater afgetrokken. Wat overblijft is dan een gedeelte effluent dat niet van huishoudelijke oorsprong is. Op jaarbasis is dit 29 miljoen m³. Deze overgebleven hoeveelheden zijn uitgezet in histogram 3.10.



Afbeelding B.7: histogram van het niet huishoudelijke effluent in 2003. Op de y-as staat het aantal dagen, op de x-as staat de hoeveelheid effluent.

- Het niet huishoudelijk effluent bestaat of uit regenwater of uit grondwater dat de riole-ring instroomt. Aangenomen is dat er op één dag of regenwater of grondwater het riool instroomt, nooit beide.
- Van het KNMI [KNMI, 2005] is de regendata over 2003 verzameld. In totaal was er 613mm neerslag in de Bilt en waren er in totaal 122 dagen met regen. In het model is voor iedere dag aangegeven of het een dag met (1) of een dag zonder (0) regen was.
- Indien de hoeveelheid niet huishoudelijk effluent meer is dan 120.000 m³/dag, dan wordt al het niet huishoudelijk effluent gezien als regenwater. Is er minder dan 120.000 m³/dag aan niet huishoudelijk effluent, dan is het grondwater.

- Met deze grens geeft het model 64 regendagen aan. Het aantal dagen dat de voorspelling onjuist was is bij deze grens van 120.000 m³/dag het laagste: 82 (de voorspelling is dus correct voor 283 dagen).
- In totaal is er slechts 11% regenwater in het effluent op jaarbasis.
- Uit de berekening blijkt dat het netto afstromend oppervlak naar de RWZI's 16km² is. Dit is dus een volledig verhardt oppervlak van vier bij vier km.

Bij deze aanpak zijn een aantal kritiekpunten aan te geven. Om te beginnen wordt de neerslag gemeten in de Bilt direct overgenomen als een regendag of een niet regendag en wordt er verwacht dat al dat regenwater ook nog diezelfde dag op de rioolwaterzuivering aankomt. Er wordt geen rekening gehouden met de werkelijke hoeveelheid neerslag en de vertraging in het riool. Ten tweede is de aanname van of grondwater of regenwater ook niet correct. Er zal altijd een combinatie van beide afstromen naar de RWZI's. Tot slot moet nog opgemerkt worden dat ook overstorten in de riolering een invloed hebben op de waterstromen. Zij zijn in deze benadering niet meegenomen. In onderstaande tabel staan de resultaten van de analyse.

Tabel B.3: Hoeveelheden drinkwater en effluent per maand, op een dag met gemiddelde drinkwatervraag en op een dag van maximum drinkwatervraag (binnen het afwateringsgebied op de RWZI's⁸).

Maand/dag	Drinkwater Totaal	Drinkwater Verlies	Effluent Totaal	Effluent Grondwater	Effluent Regenwater	Neerslag maandtotaal
Januari	159.000m ³ /d	1.600m ³ /d	259.000m ³ /d	39.000m ³ /d	98.000m ³ /d	77mm
Februari	163.000m ³ /d	1.600m ³ /d	264.000m ³ /d	72.000m ³ /d	30.000m ³ /d	29mm
Maart	171.000m ³ /d	1.900m ³ /d	239.000m ³ /d	66.000m ³ /d	4.000m ³ /d	24mm
April	173.000m ³ /d	3.500m ³ /d	244.000m ³ /d	61.000m ³ /d	14.000m ³ /d	46mm
Mei	163.000m ³ /d	1.700m ³ /d	262.000m ³ /d	59.000m ³ /d	41.000m ³ /d	92mm
Juni	173.000m ³ /d	3.400m ³ /d	231.000m ³ /d	52.000m ³ /d	9.000m ³ /d	34mm
Juli	159.000m ³ /d	1.700m ³ /d	201.000m ³ /d	40.000m ³ /d	4.000m ³ /d	30mm
Augustus	182.000m ³ /d	5.300m ³ /d	206.000m ³ /d	29.000m ³ /d	0m ³ /d	9mm
September	172.000m ³ /d	2.300m ³ /d	217.000m ³ /d	49.000m ³ /d	4.000m ³ /d	52mm
Oktober	167.000m ³ /d	2.000m ³ /d	240.000m ³ /d	55.000m ³ /d	20.000m ³ /d	84mm
November	159.000m ³ /d	1.700m ³ /d	233.000m ³ /d	53.000m ³ /d	22.000m ³ /d	40mm
December	153.000m ³ /d	1.600m ³ /d	283.000m ³ /d	51.000m ³ /d	79.000m ³ /d	96mm
Gemiddelde dag	166.000m ³ /d	2.400m ³ /d	243.000m ³ /d	52.000m ³ /d	28.000m ³ /d	2mm (dag)
Maximum dag	192.000m ³ /d	6.400m ³ /d	218.000m ³ /d	25.000m ³ /d	0m ³ /d	0mm (dag)

⁸ Voor het ontwerp moet er bij deze drinkwatervraag nog de leveringen aan de gebieden die niet op de RWZI's afwateren en de en gros leveringen aan PWN en DZH worden opgeteld.

Appendix 4.1: Zuiveringsstappen per stof(groep)

Verwijdering van fosfaat

Bij vlokvorming wordt fosfaat opgenomen in de vlok. Voor die vlokvorming is dan wel een ijzer- of aluminiumzout nodig. Gangbaar is FeCl_3 in de drinkwaterzuivering. Indien het toevoegen van vlokmiddel ongewenst is kan een membraan met kleine poriën (NF of RO) worden toegepast. Als de vlokken gevormd zijn moeten zij verwijderd worden. Dit kan met flotatie of (lamellen)sedimentatie.

Als alternatief kan ook altijd nog een vlokingsfiltratie worden toegepast. Dit kan zowel met zand als met een membraan. De membraanporiën kunnen dan groter zijn omdat de deeltjes door de vlokvorming groter zijn. Ultra filtratie komt hiervoor dan nog met meeste in aanmerking. Bij de verwijdering van fosfaat worden ook metalen, zwevende stof en troebelheid uit het water gedeeltelijk verwijderd.

	<i>Voordelen</i>	<i>Nadelen</i>
Vlokvorming sedimentatie	Veel ervaring, laag energieverbruik, goedkoop	Groot, periodiek schoonmaken, chemicaliën, slib
Vlokvorming flotatie	Kleiner dan sedimentatie	Energieverbruik, chemicaliën, slib/schuim
Vlokvorming lamellen-bezinking	Laag energieverbruik, goedkoop, kleiner dan sedimentatie	Periodiek schoonmaken, chemicaliën, slib
Vlokkingsfiltratie met zand	Klein, continue proces	Vuilwaterstroom, chemicaliën
Vlokkingsfiltratie met UF	Klein, hoge kwaliteit permeaat	Energieverbruik, chemicaliën, duur
Nanofiltratie	Klein, hoge kwaliteit permeaat, verwijdering org. micro's	Energieverbruik, vuilwaterstroom, duur

Verwijdering van troebelheid en zwevende stof

Voor de verwijdering van troebelheid en zwevende stof zijn alleen filtratietechnieken voor handen. Hier zijn voor de membraanvarianten alleen UF en NF opgenomen, maar RO en MF zouden ook kunnen worden toegepast om troebelheid en zwevende stof te verwijderen.

	<i>Voordelen</i>	<i>Nadelen</i>
Zandfiltratie	Veel ervaring, laag energieverbruik, kleine vuilwaterstroom, robuust	Groot
Ultra filtratie	Klein, hoge kwaliteit product, verwijderd veel microbiologie	Energieverbruik, duur, grote vuilwaterstroom, periodiek schoonmaken met chemicaliën
Nanofiltratie	Klein, hoge kwaliteit product, verwijderd veel microbiologie, verwijderd ook org. Micro's	Energieverbruik, duur, grote vuilwaterstroom, periodiek schoonmaken met chemicaliën

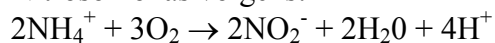
Verwijdering van organische microverontreinigingen

Onder de organische microverontreinigingen vallen bestrijdingsmiddelen, medicijnresten, hormoonverstorende stoffen en PAK's. Voor de verwijdering van organische microverontreinigingen kan actieve kool worden gebruikt, maar sterk polaire stoffen (bijvoorbeeld NDMA of AMPA) worden wel doorgelaten. Actieve kool kent de varianten van poederkool, korrelkool en biologisch actieve kool. De enige andere mogelijkheden om organische microverontreinigingen te verwijderen zijn met nanofiltratie, reverse osmosis of UV/peroxide.

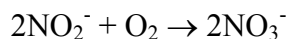
	<i>Voordelen</i>	<i>Nadelen</i>
PAC	Klein, doseren wanneer nodig	Duur bij grote hoeveelheden, opslag, koolslib, polaire stoffen
GAC	Ervaring	Groot, regeneratie, polaire stoffen
BACF	Extra afbraak door biologie	Groot, kool moet biologisch geactiveerd worden, polaire stoffen
Nanofiltratie	Klein, verwijdering micro-organismen, verwijderd ook microbiologie	Energieverbruik, duur, grote concentraatstroom, geen verwijdering maar concentratie
Reverse Osmosis	Klein, zeer zekere barrière, verwijdering micro-organismen	Energieverbruik, duur, grote concentraatstroom, geen verwijdering maar concentratie
UV/peroxide	Klein, nog geen schadelijke bijproducten ontdekt, afbraak org. Micro's	Chemicaliën, energieverbruik, duur, inactivatie micro-organismen (geen verwijdering)

Ammonium

Ammonium is een stikstofbinding en deze moet verwijderd worden uit het RWZI effluent om aan het IB te kunnen voldoen. Voor de productie van drinkwater uit effluent is het ook noodzakelijk om ammonium te verwijderen. Ammonium kan verwijderd worden met een RO membraan of door middel van beluchting. De biologische omzetting van ammonium tot nitraat gebeurt in twee stappen. In de eerste stap wordt ammonium omgezet in nitriet door *Nitrosomonas* volgens:



Daarna wordt nitriet omgezet tot nitraat door *Nitrobacter* volgens:



De som van deze twee reacties is dan:



	<i>Voordelen</i>	<i>Nadelen</i>
RO	Levert demi water, verwijdering micro organismen, barrière organische micro's, klein	Concentraat stroom, duur, geen verwijdering maar concentratie van ammonium
Droogfiltratie ⁹	Verwijdering micro organismen	Groot
Beluchting	Geen vuilwaterstroom, klein	Geen groei medium biologische verwijdering

Nitraat

Zowel voor de productie van drinkwater als infiltraat uit RWZI effluent is het noodzakelijk om nitraat te verwijderen. Het IB stelt dat de norm op nitraat (van 5,6mg N/l) gedurende 70 dagen per jaar mag worden overschreden tot een maximum van 11,2mg N/l. Deze maximum concentratie zal niet snel worden overschreden, omdat er voor het RWZI effluent al een maximum stikstof gehalte van 10mg N/l geldt. De 70 dagen norm daarentegen zal waarschijnlijk wel worden overschreden. Wanneer het water geïnfiltreerd wordt in de duinbodem zal daar nitraat verder biologisch worden afgebroken.

Nitraat verwijdering kan zowel chemisch, biologisch als met membranen plaatsvinden. Bij biologische denitrificatie moet het RWZI effluent zich bevinden in een zuurstofarme omgeving. Ook hebben de denitrificerende bacteriën organisch materiaal als voeding nodig (methanol dosering is hiervoor gangbaar in de afvalwaterzuivering). Deze bacteriën produceren ook weer zuurstof. Bij biologische denitrificatie ligt er een ondergrens bij de 2 à 3 mg N/l. Bij chemische denitrificatie wordt bijvoorbeeld sulfiet of ammoniak¹⁰ toegevoegd aan het water. Het sulfiet reageert dan de zuurstof weg en er ontstaat stikstofgas. Voor het tegenhouden van nitraat en ammonium met membraantechnieken komt alleen RO in aanmerking.

	<i>Voordelen</i>	<i>Nadelen</i>
Biologisch	Goedkoop	Groot, afvoer slib, ondergrens, veel biologisch activiteit
Chemisch	Laag energieverbruik, flexibel doseren	Chemicaliën verbruik, duur, opslag, menging chemicalien
RO	Klein, levert demi water, verwijderd ook microbiologie en org. micro's	Concentraatstroom, concentratie i.p.v. afbraak, energieverbruik, duur

⁹ Als het noodzakelijk is wordt in de afvalwater wereld nitraat ook wel verwijderd in een derde stap. Het 'attached growth' principe [Metcalf & Eddy, 2003] wordt daarvoor wel gebruikt. Dan groeien de nitrificerende bacteriën aan op een filtermateriaal met een groot oppervlak en een laag eigen gewicht. Wanneer nu dit filtermateriaal wordt vervangen door zand is er feitelijk een droogfiltratie ontstaan.

¹⁰ Dit is een gangbare methode bij (steenkool)energiecentrale's

In de onderstaande tabel is de huidige kwaliteit of wettelijke norm steeds omgerekend. Wil het RWZI effluent dus voldoen aan de eisen van het IB, dan zal het een gemiddelde stikstofconcentratie van ongeveer 4 mg/l moeten hebben.

Tabel 4.1: Omrekeningstabel van nitraat en ammonium (alle concentraties in mg/l).

	Theorie	Huidig infiltraat	Huidige kwaliteit	Effluent gemiddeld	Effluent p90	Infiltratie besluit	Waterleidingbesluit
NH ₄ ⁺ -N	1	0,23	0,16	2,4	3,6	2,5	0,16
NH ₄ ⁺	1,29	0,3	0,21	3,1	4,6	3,2	0,2
NO ₃ ⁻ -N	1	2,83	0,96	5	6,3	5,6	11,3
NO ₃ ⁻	4,43	12,5	4,25	22,15	27,9	24,8	50

Chloride

Wanneer RWZI effluent gebruikt wordt voor de productie van drinkwater zal de concentratie van chloride en andere enkelwaardige ionen zoals natrium en kalium toenemen. De huidige concentratie van chloride in het drinkwater is 96mg/l en het afvalwater heeft een gemiddelde concentratie van 125 mg Cl⁻/l. Omdat gestreefd wordt de huidige kwaliteit van het infiltraat te handhaven is het nodig om de concentratie chloride te verlagen. Het IB heeft een eis voor chloride van 200mg/l. Vanuit het wettelijke oogpunt is het niet nodig om chloride te verwijderen. Chloride kan verwijderd worden met een nanofiltratie met zeer kleine poriën of een RO systeem.

	Voordelen	Nadelen
NF	Leverd mineraalarm water	Grotere deelstroom nodig, veel concentraat
RO	Kleine deelstroom, levert demi water	Concentraat

Wanneer een RO systeem zou worden gebruikt kan er een zoutbalans worden opgesteld. Hierin wordt de Recovery afgekort met R en het percentage door de deelstroom met %

Tabel B.4: waterbalans uitgewerkt.

Waterstroom	Hoeveelheid water (l)	Zout concentratie (mg/l)	Zout vracht (mg)
Water in	1	124	124
Water door RO	1*R%	0	0
Water niet door RO	1*(1-%)	124	(1-%)*124
Brijnstroom	1*%*(1-R)	1/(1-R)*124	%*124
Water uit	1-1*%*(1-R)	96,5	(1-1*%*(1-R))*96,5

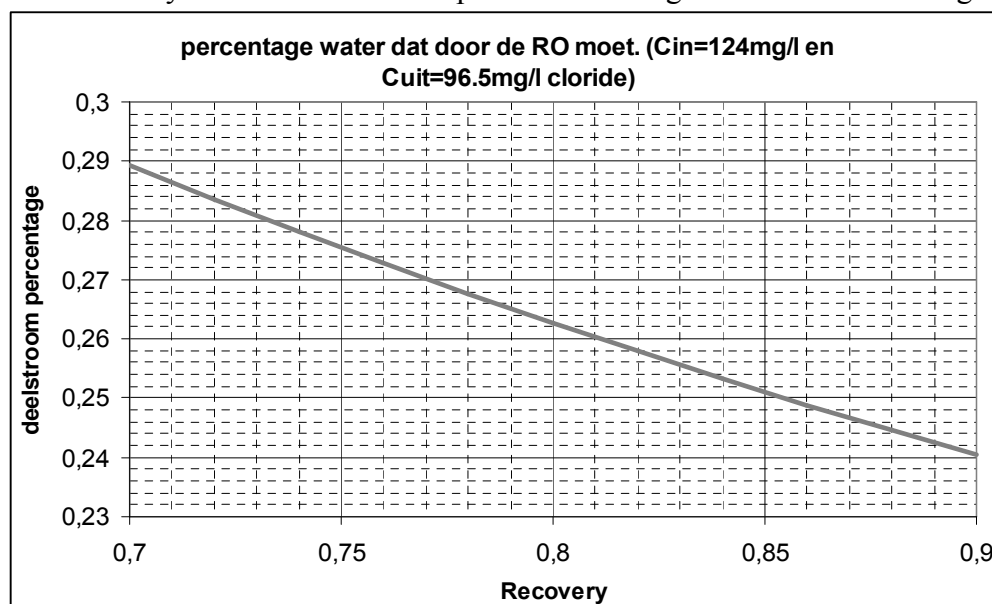
de volgende zout- en waterbalansen gelden:

1. water in = water niet door RO + water wel door RO + Brijnstroom
2. water uit = water niet door RO + water wel door RO

Aangezien de in en uitgaande concentraties vast staan hangt het percentage dat behandeld moet worden alleen nog maar af van de recovery volgens:

$$\% = \frac{C_{uit} - C_{in}}{C_{uit} - C_{in} - R * C_{uit}} = \frac{27,5}{27,5 - 96,5 * R}$$

voor recovery's tussen de 70 en 90 procent is dit uitgezet in onderstaand figuur.



Afbeelding B.8: Deelstroom percentage uitgezet tegen de recovery.

In het voorbeeld van de recovery van 80% komt het neer op een minimaal debiet van 388,5m³/h dat door de RO moet en een zoutvracht van 5781 kg/dag. Wanneer deze vracht geloosd wordt op het Noordzeekanaal zal dit weinig invloed hebben. Het Noordzeekanaal heeft een gemiddeld debiet van 19m³/s en een gemiddelde zoutconcentratie van 1328 mg/l. Het geloosde concentraat is dan 0,6% van het totale debiet door het van het Noordzeekanaal en 0,3% van de totale zoutvracht. Ook is de concentratie in de concentraatstroom lager dan de concentratie in het Noordzeekanaal zelf.

Hardheidsreductie

Net als chloride moet ook de concentratie calcium en magnesium omlaag gebracht worden. Dat kan door een pelletreactor, een NF of een RO installatie. Voor alle drie zal een deelstroom toepassing kunnen voldoen.

	<i>Voordelen</i>	<i>Nadelen</i>
Deelstroom pelletreactor	Kalk te verkopen, laag energieverbruik	Alleen calcium
Deelstroom NF	Verwijdert van veel mineralen.	Duur, energieverbruik, concentraatstroom
Deelstroom RO	Levert demi water	Duur, energieverbruik, concentraatstroom

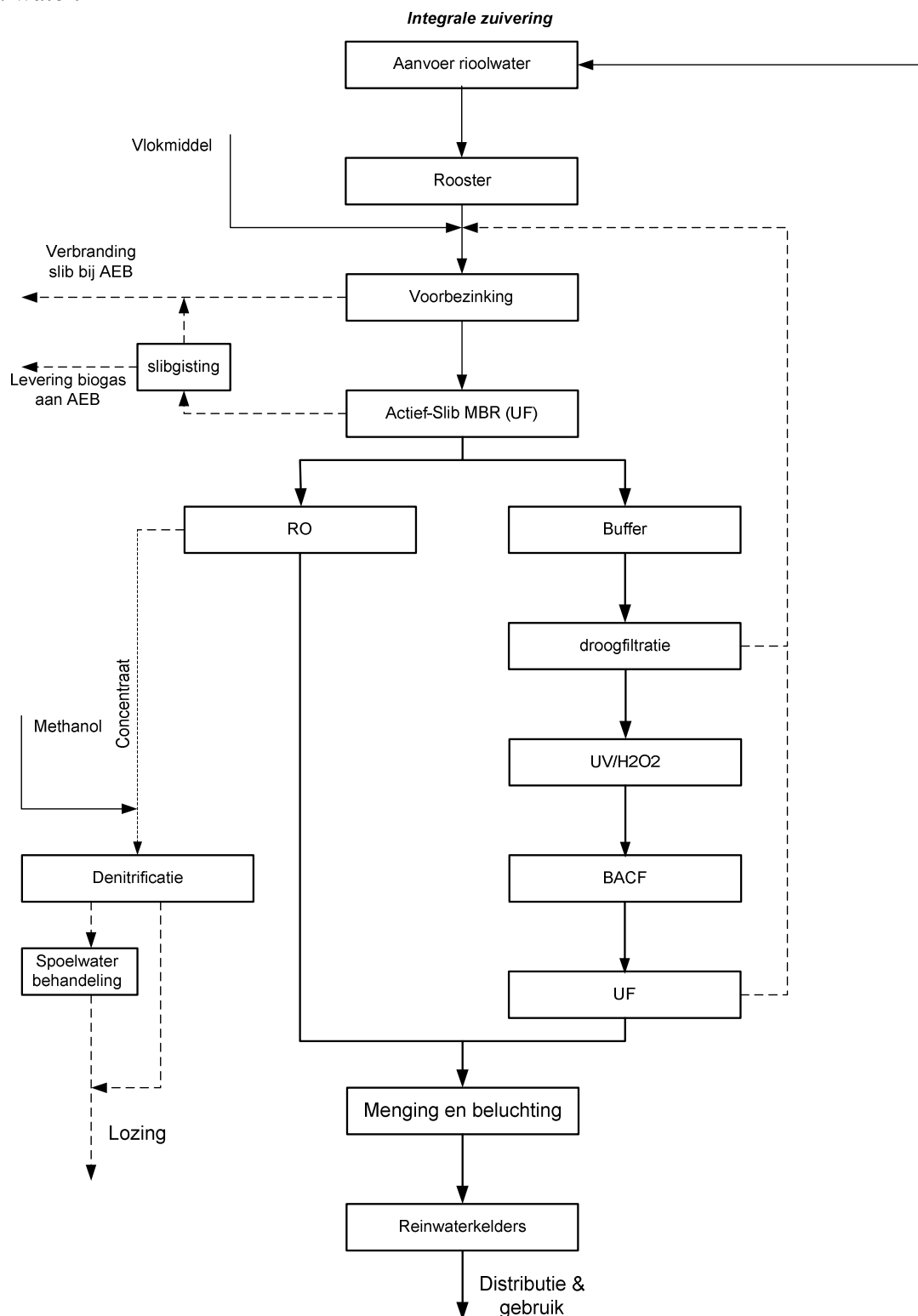
Microbiologie

De verwijdering van micro organismen kan met zowel een desinfectie stap als een (membraan)filtratie stap.

<i>Voordelen</i>		<i>Nadelen</i>
Chloring		Dosering chemicaliën, desinfectie bijproducten
Ozon		Dosering chemicaliën, bromaat vorming
UV	Nog geen desinfectie bijproducten ontdekt, klein	Energieverbruik, inactivatie i.p.v. verwijdering
Snelle zand filtratie	Ervaring	Backwashing
Langzame zand filtratie	Goedkoop, robuust	Groot
Ultrafiltratie		Concentraat stroom, duur, energieverbruik
Nanofiltratie	Water is mineraal arm	Concentraat stroom, duur, energieverbruik
RO	Leverd demi water	Concentraat stroom, duur, energieverbruik

Appendix 4.2: Blokschema met ingrijpen op de RWZI

In dit gehele verslag wordt het huidige, secundair effluent als uitgangspunt genomen en wordt er niet ingegrepen op de bestaande RWZI. Wanneer dit wel gedaan zou worden zou het onderstaande blokschema een goede optie kunnen zijn om drinkwater te produceren uit het afvalwater.



Afbeelding B.9: Voorbeeld van een blokschema voor de integrale zuivering van afvalwater tot drinkwater met ingrijpen op de RWZI.

Appendix 4.3: ontwerpkeuzes voorzuivering Nieuwegein

Buffer bij inname van het water uit het Lekkanaal

De eerste zuiveringsstap is de winning van het water uit het Lekkanaal. Na de winning van het water zou er een buffer geplaatst kunnen worden om perioden van onvoldoende water of slechte waterkwaliteit te overbruggen. Dit soort perioden duren al snel enkele dagen en dit zou betekenen dat er zeer grote opslagbuffers gebouwd moeten worden. De huidige praktijk leert dat er slechts enkele keren per jaar een innamenstop plaats vind. In alle gevallen ging het hierbij om een te hoge concentratie van bestrijdingsmiddelen in het Lekkanaal. Tijdens deze perioden kon de productie gewoon doorgaan vanwege de grote buffervoorraad in het duingebied. Het plaatsen van een buffer achter de inname is daarom onnodig.

Keuze transportsysteem van Nieuwegein naar het duingebied

Na de zuivering wordt het water opgeslagen in drie reinwaterkelders met ieder een volume van 750m³. De verblijftijd in deze kelders zal ongeveer 20 minuten zijn. Het water wordt dan naar het duinsysteem getransporteerd met drie leidingen. De leidingen hebben ieder een diameter van 1200mm. Het gehele systeem van reinwateropslag, reinwaterpompen en transport wordt zo ontworpen dat ze, onder normale procesomstandigheden, functioneren als drie onafhankelijke systemen. Indien dan één van de transportsystemen faalt kunnen de andere twee dit volledig opvangen door de geplaatste koppelingen. Doordat de systemen onafhankelijk van elkaar worden ontworpen zal dit kosten verhogend werken, maar er wordt wel een extra zekerheid ingebouwd. Het huidige tracé kan ook door de nieuwe transportleidingen worden gebruikt.

Alternatieve eerste zuiveringsstappen in voorzuivering Nieuwegein

Een alternatief voor de coagulatie, lamellenbezinking en snelle zandfiltratie zou zijn de toepassing van nanofiltratie (NF). Nanofiltratie kan zowel troebelheid, zwevende stof als organische microverontreinigingen verwijderen uit het water. Het toepassen van nanofiltratie op het ruwe water van het Lekkanaal zou alleen voor veel verstoppingen in de NF zorgen waardoor een lage recovery gehaald wordt. Een lage recovery betekent een relatief grote installatie en een grote concentraatstroom die weer geloosd moet worden op het Lekkanaal. NF zou erg duur worden door de hoge energiekosten, hoge aanschafprijs en het regelmatig vervangen van de membranen.

Voor het verwijderen van fosfaat, troebelheid, zwevende stof en zware metalen kan ook een ultrafiltratie (UF) met vlokmiddel worden toegepast. Zware metalen en fosfaat zullen door het toegevoegde vlokmiddel samenklonteren en vlokken vormen. Deze vlokken zijn te groot voor de poriën en worden verwijderd in de UF. Een ultrafiltratie kan op een hogere recovery werken dan de NF waardoor er een kleinere vuilwaterstroom is. Het toepassen van een vlokkingfiltratie met zand ('dynasand') zou ook goed kunnen. Ten opzichte van de traditionelere processen voor de verwijdering van troebelheid en zwevende stof hebben beide processen een hoger energieverbruik en een grotere vuilwaterstroom.

Appendix 5.1: programmatekst Monte-Carlo Analyse

Hieronder staat de programmatekst van de monte-carlo simulatie van cryptosporidium in het alternatief 'Lekkanaal'. De tekst is ingekort (herhalingen zijn verwijderd) en de commentaren zijn weg gelaten.

```
refresh;  
clear;  
drawnr = 10000;
```

Alle voorgaande acties in Matlab worden uit het geheugen verwijderd. Het aantal trekkingen (drawnr) wordt opgegeven.

```
aLEK=0.2;  
bLEK=57.5;  
concLEK = gamrnd(aLEK,bLEK,1,drawnr);
```

```
aVV=0.1;  
bVV=0.9;  
frVV = betarnd(aVV,bVV,1,drawnr);
```

(...)

Van alle processtappen die voor deze zuivering van belang zijn wordt een willekeurige verdeling opgesteld die voldoet aan de eerder gestelde statistische verdeling (a en b). LEK is hier de afkorting voor Lekkanaal en VV voor vlokvorming/vlokverwijdering.

```
concVV=concLEK.*frVV;  
concRSF=concVV.*frRSF;  
concUV=concRSF.*frUV;  
concDUIN=concUV+concINF;  
concONT=concDUIN.*frONT;  
concRSF2=concONT.*frRSF;  
concOZON=concRSF2.*frOZON;  
concLZF=concOZON.*frLZF;
```

Voor iedere zuiveringsstap wordt de eindconcentratie berekend. Deze vectoren komen uit een vermenigvuldiging van de voorgaande zuiveringsstap (of de bron) en de verwijdering (gemaakte vector met a en b).

```
concLZFnorm=concLZF(concLZF >= 0.00031);  
[leeg, CNP] = size(concLZFnorm);
```

Alle waarden die boven een bepaalde grenswaarde zitten (hier de bij de wettelijke norm horende concentratie cryptosporidium) worden in een nieuwe vector onder gebracht. Het aantal waarden dat boven deze grens zit wordt geteld en dit is het aantal normoverschrijdingen.

```

meanin=mean(concLEK);
meanout=mean(concLZF);
overallfr=meanout/meanin;
overallde=-log10(meanout/meanin);
meanVV=mean(concVV);
meanRSF=mean(concRSF);
meanUV=mean(concUV);
meanDUIN=mean(concDUIN);
meanONT=mean(concONT);
meanRSF2=mean(concRSF2);
meanOZON=mean(concOZON);

```

Van iedere zuiveringsstap wordt de gemiddelde eindconcentratie bepaald. Ook wordt de DEC berekend.

```

subplot(3,3,1);
concLEKlog=log10(concLEK);
[n,xout] = hist(concLEKlog,100);
xmin=-50;
xmax=10;
ymin=0;
n=n/drawn;
ymax=0.08;
bar(xout,n,1,'k');
axis([xmin xmax ymin ymax]);
text(xmin+0.05*abs((xmax-xmin)),0.9*ymax, 'Ruw water Lek (0)');
text(xmin+0.05*abs((xmax-xmin)),0.7*ymax, ['gem = ', num2str(meanin)]);
xlabel('log10 conc crypto n/l')

```

(...)

```

subplot(3,3,9);
concLZFlog=log10(concLZF);
[n,xout] = hist(concLZFlog,100);
xmin=-50;
xmax=10;
ymin=0;
n=n/drawn;
ymax=0.08;
bar(xout,n,1,'k');
axis([xmin xmax ymin ymax])
text(xmin+0.05*abs((xmax-xmin)),0.9*ymax, 'Na LZF Leiduin (8)');
text(xmin+0.05*abs((xmax-xmin)),0.7*ymax, ['gem = ', num2str(meanout)]);
text(xmin+0.05*abs((xmax-xmin)),0.5*ymax, ['norm+ = ', num2str(CNP)]);
xlabel('log10 conc crypto n/l')

```

Van iedere vector met eindconcentraties van een zuiveringsstap wordt een histogram gemaakt en dat wordt geplotted. Aan dit histogram worden een aantal teksten toegevoegd.

Appendix 8.1: medewerkers enquête

Deze eerste vragen betreffen het directe hergebruik van afvalwater: het afvalwater wordt direct (d.w.z. zonder natuurlijke barrière) doorgezuiverd tot drinkwater.

U mag ook meerdere antwoorden/opties selecteren.

1. Wat is uw eerste gedachte / grondpositie ten op zichten van het directe gebruik van afvalwater voor de drinkwater productie?

- 0 Nooit doen/fundamenteel tegenstander
- 0 Alleen doen als er een echte noodzaak voor is
- 0 Wel doen als er voordelen te behalen zijn
- 0 Anders,.....

2. Welke van de volgende punten kunnen u overtuigen om voorstander van het hergebruik te zijn?

- 0 Voordelen aan de kosten kant (direct hergebruik is aanmerkelijk goedkoper)
- 0 Voordelen voor het milieu doordat het RWZI-effluent niet meer geloosd wordt
- 0 Uitgebreid laboratorium onderzoek waaruit blijkt dat het gekozen zuiveringssysteem voldoet (kwaliteit en robuustheid)
- 0 Overige argumenten, ...

3. Wat verwacht u dat de grootste problemen zijn bij het gebruik van afvalwater voor de drinkwaterproductie?

- 0 Consument overtuigen dat het een goed product is
- 0 (Locale) overheid, beleidsmakers overtuigen
- 0 Inspectiediensten overtuigen
- 0 Interne conflicten en medewerking (waterschap, WLB, DWR)
- 0 Inpassing in de bestaande bedrijfsvoering
- 0 Anders,...

4. Hoe verwacht u dat de reactie op een uitbraak diarree klachten zal zijn (oorzaak onbekend)?

- 0 Het gebruik van afvalwater als bron voor drinkwater zal direct moeten stoppen
- 0 Het gehele gekozen systeem zal direct onder een vergrootglas worden gelegd (veel media aandacht etc)
- 0 Veel intern onderzoek naar de oorzaak van de uitbraak
- 0 Geen aandacht/actie
- 0 Anders,....

5. Hoe zou uw persoonlijke en opstelling reactie zijn wanneer er gekozen wordt voor het gebruik van afvalwater als bron voor drinkwater?

- 0 Ik neem direct ontslag
- 0 Ik zal proberen het zolang mogelijk te vertragen/belemmeren
- 0 Gewoon doorgaan met mijn werk/business as usual
- 0 Ik ga actief meewerken aan het proces en draag het vol trots uit naar de buitenwereld
- 0 Anders,....

Deze tweede serie vragen betreffen het indirecte hergebruik van afvalwater: het afvalwater wordt extra gezuiverd en daarna geïnfiltreerd in het duin.

U mag ook meerdere antwoorden/opties selecteren.

6. Wat is uw eerste gedachte / grondpositie ten op zichten van dit indirecte gebruik van afvalwater voor de drinkwater productie?

- 0 Nooit doen/fundamenteel tegenstander
- 0 Alleen doen als er een echte noodzaak voor is
- 0 Wel doen als er voordelen te behalen zijn
- 0 Anders,.....

7. Welke van de volgende punten kunnen u overtuigen om voorstander van deze vorm van hergebruik te zijn?

- 0 Voordelen aan de kosten kant (direct hergebruik is aanmerkelijk goedkoper)
- 0 Voordelen voor het milieu doordat het RWZI-effluent niet meer geloosd wordt
- 0 Uitgebreid laboratorium onderzoek waaruit blijkt dat het gekozen zuiveringssysteem voldoet (kwaliteit en robuustheid)
- 0 Overige argumenten,.....

8. Wat verwacht u dat de grootste problemen zijn bij het gebruik van afvalwater voor de drinkwaterproductie?

- 0 Consument overtuigen dat het een goed product is
- 0 (Locale) overheid, beleidsmakers overtuigen
- 0 Inspectiediensten overtuigen
- 0 Interne conflicten en medewerking (waterschap, WLB, DWR)
- 0 Inpassing in de bestaande bedrijfsvoering
- 0 Natuur en milieu organisaties die het duin willen beschermen
- 0 Anders,...

9. Hoe verwacht u dat de reactie op een uitbraak diarree klachten zal zijn (oorzaak onbekend)?

- 0 Het gebruik van afvalwater als bron voor drinkwater zal direct moeten stoppen
- 0 Het gehele gekozen systeem zal direct onder een vergrootglas worden gelegd (veel media aandacht etc)
- 0 Veel intern onderzoek naar de oorzaak van de uitbraak
- 0 Geen aandacht/actie
- 0 Anders,....

10. Hoe zou uw persoonlijke opstelling en reactie zijn wanneer er gekozen wordt voor het gebruik van afvalwater als bron voor drinkwater?

- 0 Ik neem direct ontslag
- 0 Ik zal proberen het zolang mogelijk te vertragen/belemmeren
- 0 Gewoon doorgaan met mijn werk/business as usual
- 0 Ik ga actief meewerken aan het proces en draag het vol trots uit naar de buitenwereld
- 0 Anders,....

Deze laatste vragen gaan over de mogelijkheden die u bezit om het proces te maken of te breken en uw persoonlijke motivatie

11. Over welke middelen beschikt u om het proces te beïnvloeden?

- 0 Geen middelen
- 0 Kennis, ervaring, overtuigingskracht
- 0 Autoriteit door een management positie
- 0 Verdeling (onderzoeks)gelden
- 0 Anders,....

12. Welke persoonlijke belangen heeft u bij de verandering van zuiveringsmethode?

- 0 Mijn baan zou overbodig worden
- 0 Mijn werkzaamheden zouden sterk veranderen in negatieve richting
- 0 Mijn werkzaamheden zouden sterk veranderen in positieve richting
- 0 Ik ben ook consument van het water
- 0 Anders,.....

Hartelijk dank voor uw medewerking aan deze enquête.

Als u nog iets wil vragen of opmerken over dit onderzoek kunt u altijd contact met mij opnemen.

Leo Meijer,
work@leomeijer.com;

Indien u het wil opsturen per (interne) post dan graag naar:

WLB, afdeling R&D, t.a.v. Leo Meijer
Locatie Weesperkarspel
provincialeweg 21
1108 AA Amsterdam

