

0508

Nieuwe ontwikkelingen in de afvalwaterketen

Voordrachtenbundel 19e vakantiecursus in riolering en afvalwaterbehandeling

7 Januari 2000

ir. A.F. van Nieuwenhuijzen, ir. J.H. Roorda (editors)



Nederlandse Vereniging
voor Waterbeheer NVA



Stichting RIONED



stowa



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling/RIZA

TU Delft
Technische Universiteit Delft

Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Subfaculteit Civiele Techniek
Sectie Gezondheidstechniek

Arjen F. van Nieuwenhuijzen & Jelle H. Roorda
(Eds.)

Voordrachtenbundel

NIEUWE ONTWIKKELINGEN IN DE AFVALWATERKETEN

19^e Vakantiecursus in Riolering en Afvalwaterbehandeling

Vrijdag 7 januari 2000

Technische Universiteit Delft

Delft

Colofon

De voordrachtenbundel "NIEUWE ONTWIKKELINGEN IN DE WATERKETEN" van de 19^e Vakantiecursus in Riolering en Afvalwaterbehandeling is een uitgave van de Sectie Gezondheidstechniek, Afdeling Watermanagement, Subfaculteit Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft. De tekst valt onder verantwoordelijkheid van de betreffende auteurs. Bij onderstaand contactadres zijn voordrachtenbundels van deze en eerdere Vakantiecursussen verkrijgbaar.

Contactadres

Secretariaat van de Vakantiecursus in Riolering en Afvalwaterbehandeling
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Subfaculteit Civiele Techniek
Afdeling Watermanagement
Sectie Gezondheidstechniek
Postbus 5048
2600 GA Delft
tel: 015 - 278 3347
fax: 015 - 278 4918
e-mail: vc.afvalwater@ct.tudelft.nl
www: <http://www.ct.tudelft.nl/wmg/sanitary/afvalwater/vc19.htm>

VOORWOORD

Voor u ligt de voordrachtenbundel van de 19^e Vakantiecursus in Riolering en Afvalwaterbehandeling, met als titel "NIEUWE ONTWIKKELINGEN IN DE WATERKETEN". De Vakantiecursus in Riolering en Afvalwater is op 7 januari 1999 na een 17-jarige afwezigheid door de hoogleraren Wiggers en Van der Graaf nieuw leven ingeblazen en wordt dit jaar voortgezet om een jaarlijkse traditie in ere te herstellen.

Het doel van de Vakantiecursus is het bieden van een podium waarop nieuwe ontwikkelingen binnen het vakgebied van de riolering en de afvalwaterbehandeling, zowel op technisch als op beleidsmatig vlak, geëtaleerd en bediscussieerd kunnen worden. Daarnaast heeft de Vakantiecursus een sociaal karakter. Het is een ontmoetingspunt van collega's uit de gehele waterketen tijdens de cursus en de aansluitende nieuwjaarsreceptie.

Om de integratie van de gehele waterketen te stimuleren, wordt parallel aan deze cursus de 52^e Vakantiecursus in Drinkwatervoorziening georganiseerd. Zo worden de koffie- en theepauzes, de lunch en de nieuwjaarsreceptie gemeenschappelijk gehouden.

De 19^e Vakantiecursus in Riolering en Afvalwaterbehandeling werd georganiseerd door een commissie van voorbereiding waarin vertegenwoordigers van de NVA, de stichting RIONED, het RIZA en de STOWA zitting hadden.

Namens de commissie van voorbereiding,

Arjen F. van Nieuwenhuijzen

Delft, vrijdag 7 januari 2000

Commissie van voorbereiding

Prof. ir. J.H.J.M. van der Graaf, Technische Universiteit Delft, Voorzitter;
Ir. S. Geenen, NVA - Programmagroep 2;
Ir. H. Draaijer, NVA - Programmagroep 3;
Jhr. ir. A.H.J. de Beaufort, RIONED;
Ir. A.H. Dirkzwager, RIZA;
Ir. P.C. Stamperius, STOWA;
Ir. H. Korving, Technische Universiteit Delft;
Ir. A.F. van Nieuwenhuijzen, Technische Universiteit Delft;

PROGRAMMA

9.30 Ontvangst met koffie

Gemeenschappelijke ochtendsessie (Zaal F)

10.00 Opening van de cursus

Dagvoorzitter: Prof.ir. J.H.J.M. van der Graaf (TU Delft)

10.10 Hollen en stilstaan: Internationale ontwikkelingen in de rioleringstechniek

Ir. J.G. Langeveld (TU Delft)

10.35 Vooruitblik op vernieuwingen in de afvalwaterbehandeling: 1st IWA World Congress Parijs 2000

Ir. A.W. van der Vlies (ZS Hollandse Eilanden en Waarden, IWA [IAWQ-IWSA])

11.00 Staat het Nederlandse drinkwater over 10 jaar nog op de wereldkaart?

Ir. P. Hiemstra (Witteveen+Bos)

11.25 Koffiepauze

Parallelsessie riolering 1 (Zaal G)

Parallelsessie afvalwaterbehandeling 1 (Zaal F)

11.55 Meten en riolering

Ir. H. Korving (TU Delft)

Vernieuwende fysisch-chemische voorzuivering?

Ir.A.R. Mels en Ir.A.F. van Nieuwenhuijzen (WU en TUDelft)

12.20 Rekenmodellen ten behoeve van riolering;
een steeds terugkerend thema

Ir. F.H.L.R. Clemens (Witteveen+Bos)

Recente ontwikkelingen in stikstofverwijdering uit afvalwater

Dr.ir. M. Jetten (TU Delft)

12.45 Gemeenschappelijke lunch

Parallelsessie riolering 2 (Zaal G)

Parallelsessie afvalwaterbehandeling 2 (Zaal F)

14.00 Prestatie-index in Rotterdam

*Ir. H. Geerse (HKV) en Ir. S. Geenen
(Gemeentewerken Rotterdam)*

Deeltjestellers bij de beoordeling van effluentfilters

Dr.ir. J. de Koning (TU Delft)

14.25 Bedreigingen voor de volksgezondheid als
gevolg van de toepassing van duurzame
watersystemen

Prof.dr. F. van Knapen (Universiteit Utrecht)

De eenvoud van hergebruik

Ir. J.H. Roorda (TU Delft)

14.50 Theepauze

Gemeenschappelijke afsluiting (Zaal F)

15.20 Interactieve discussie: toekomst en nieuwe ontwikkelingen in riolering en afvalwaterbehandeling
onder leiding van de dagvoorzitter

15.45 **Nieuwjaarsborrel**

INHOUDSOPGAVE

Samenvattingen van de voordrachten	7
Hollen en stilstaan: internationale ontwikkelingen in de rioleringstechniek <i>Jeroen Langeveld</i>	11
Vooruitblik op vernieuwingen in de afvalwaterbehandeling: 1st IWA World Congress Parijs 2000 <i>Arie van der Vlies</i>	19
Staat het Nederlandse drinkwater over 10 jaar nog op de wereldkaart ? <i>Peter Hiemstra</i>	27
Metten en riolering <i>Hans Korving</i>	37
Rekenmodellen ten behoeve van riolering; een steeds terugkerend thema <i>François Clemens</i>	49
Vernieuwende fysisch-chemische voorzuivering? <i>Adriaan Mels en Arjen van Nieuwenhuijzen</i>	57
Recente ontwikkelingen in stikstofverwijdering uit afvalwater <i>Mike Jetten</i>	67
Prestatie-index in Rotterdam <i>Hans Geerse en Sander Geenen</i>	77
Bedreigingen voor de volksgezondheid als gevolg van de toepassing van duurzame watersystemen <i>Frans van Knapen</i>	95
Deeltjestellers bij de beoordeling van effluentfilters <i>Jaap de Koning</i>	99
De eenvoud van hergebruik <i>Jelle Roorda</i>	109

SAMENVATTINGEN VAN DE VOORDRACHTEN

Hollen en stilstaan: internationale ontwikkelingen in de rioleringstechniek

Ir. Jeroen Langeveld (TU Delft - Sectie Gezondheidstechniek)

Sydney vormde eerder dit jaar het toneel voor de 8^e driejaarlijkse internationale conferentie over Urban Storm Drainage. De 276 gepresenteerde papers geven een duidelijk beeld van de belangrijkste aandachtspunten binnen het vakgebied. Modelleren van (specifieke delen van) het rioleringssysteem, infiltratie van hemelwater en de overstortingsproblematiek behoren nog steeds tot de internationale speerpunten. Daarnaast is sprake van een toenemende belangstelling voor de interacties tussen riolering, zuivering en oppervlaktewater.

Vooruitblik op vernieuwingen in de afvalwaterbehandeling: 1st IWA World Congress Parijs 2000

Ir. Arie van der Vlies (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, IWA [IAWQ-IWSA])

Deze vooruitblik geeft een globaal overzicht van de vernieuwingen in de afvalwaterbehandeling die worden gepresenteerd op het 1st IWA World Congress Parijs 2000.

Er wordt ingegaan op de organisatie van het congres en de gepresenteerde thema's. De ontwikkelingen op internationaal gebied worden afgezet tegen de ontwikkelingen op het gebied van de afvalwaterzuivering in Nederland. Daarnaast wordt ingegaan op mogelijke verbetertrajecten voor het uitdragen van het wetenschappelijk onderzoek en de praktijkervaringen in Nederland.

Staat het Nederlandse drinkwater over 10 jaar nog op de wereldkaart ?

Ir. Peter Hiemstra (Witteveen + Bos)

De Nederlandse waterleidingbedrijven zijn in een stroomversnelling terechtgekomen. Een aantal factoren in binnen- en buitenland draagt hier toe bij.

In Nederland is de herziening van de Waterleidingwet van belang. In de nieuwe wet wordt geregeld dat waterleidingbedrijven publiek eigendom blijven. Om marktwerking te stimuleren wordt een verplichte benchmarking ingevoerd. Verder komt er voor grootverbruikers van industriewater keuzevrijheid en komt er een studie naar verdergaande vormen van marktwerking volgens Frans model.

In het buitenland is de privatisering van de watersector sterk in opkomst, aangevoerd door enkele global players. Een deel van de Nederlandse waterleidingbedrijven voelt ook wel voor ondernemen in het buitenland, maar de achterstand op deze global players wordt steeds groter. Minister Pronk wil nutsbedrijven hier geen ruimte voor geven, teneinde de gebonden klant te beschermen.

In deze bijdrage worden bovengenoemde ontwikkelingen toegelicht en aangegeven welke strategische opties er voor de Nederlandse waterleidingbedrijven resteren. Op dit moment is het meest waarschijnlijke scenario een schaalvergroting tot 3 à 4 waterleidingbedrijven met een volledig publiek eigendom. Commerciële activiteiten zullen worden afgesplitst.

Metten en riolering

Ir. Hans Korving (TU Delft - Gezondheidstechniek)

De beoordeling van rioelstelsels is in Nederland volledig opgehangen aan de interpretatie van modelresultaten. De rol van metingen hierin is minimaal. De vraag is in hoeverre het noodzakelijk is om te beschikken over een kwaliteitsbeoordeling die gebaseerd is op metingen.

Het doel van deze bijdrage aan de Vakantiecursus is uit de beoordelingsmethodieken in ons omringende landen en de werkwijze op andere vakgebieden ideeën opdoen waarvan overwogen kan worden of ze een goede aanvulling zijn op de voorschriften in de Leidraad. Uit de vergelijking blijkt dat een model vaak in eerste instantie niet blijkt te kloppen wanneer het vergeleken wordt met metingen en dat aanpassing ervan noodzakelijk is om het meer in overeenstemming te brengen met de werkelijkheid. Daarnaast is geen enkele meting foutloos en zijn modellen nodig om de fout (zgn. ruis) weer uit meetresultaten te halen. Er bestaat een duidelijke wisselwerking tussen meten en modelleren. De baten van meten aan riolen zijn lastig in geld uit te drukken, maar blijken wel aanzienlijk. Voor kwantificering zou nader onderzoek plaats moeten vinden.

Rekenmodellen ten behoeve van riolering; een steeds terugkerend thema

Ir. François Clemens (Witteveen + Bos)

Rekenmodellen en hun toepassing voor hydraulische berekeningen en zogenaamde vuiluitwerpberekeningen voor afvalwatersystemen zijn een thema's die zich reeds lange tijd in een niet-aflatende aandacht mogen verheugen.

Met de komst van goedkope rekenkracht zijn de mogelijkheden schijnbaar onbeperkt en er wordt dan ook op grote schaal gebruik van de thans algemeen beschikbare rekenmodellen gemaakt. In deze cursusbijdrage wordt kort ingegaan op het ontwikkelingspad dat de afgelopen 10-15 jaar is ingezet en een discussie over de waarde van behaalde resultaten. Opvallend is dat 'de modelleur' steeds kans ziet de mogelijkheden van programmatuur en rekencapaciteit tot de rand van het mogelijke te verkennen. In de cursusbijdrage wordt ingegaan op nu reeds voorzienbare vragen die men met modellen wil beantwoorden, hierbij past de overweging of e.e.a. wel realistisch is. Dit heeft een directe relatie met het type ontwikkelingen/onderzoek dat de komende jaren gewenst is met betrekking tot modellering en programmatuur.

Vernieuwende fysisch-chemische voorzuivering?

Ir. Adriaan Mels (Wageningen Universiteit - Milieutechnologie)

Ir. Arjen van Nieuwenhuijzen (TU Delft - Gezondheidstechniek)

Sinds 1996 wordt in opdracht van de STOWA een langetermijn-onderzoek uitgevoerd door de Universiteit Wageningen en de TU Delft naar fysisch-chemische voorzuiveringstechnieken op de rwzi. Uit de eerste identificatie- en evaluatiestudie kwam naar voren dat het gehele zuiveringsproces mogelijk energiezuiniger en compacter kan worden uitgevoerd door toepassing van deze technieken.

In een tweede onderzoeksfase zijn enkele belovende vergaande fysisch-chemische voorzuiveringstechnieken experimenteel verkend, zoals: flotatie, directe grove-mediafiltratie, directe membraanfiltratie en de denitrificerende A-trap. Daarnaast zijn de toepassingsmogelijkheden van organische polymeren als vervanger van anorganische metaalzouten in de voorzuivering onderzocht, om de slibproductie en de effluentverzouting te

voorkomen of te beperken. Tijdens de lezing zullen de bovengenoemde onderzoeksactiviteiten nader worden toegelicht.

Recente ontwikkelingen in stikstofverwijdering uit afvalwater

Dr.ir. Mike Jetten (TU Delft - Biotechnologie Kluyverlaboratorium)

De omzetting van ammonium-stikstof in N_2 gas is essentieel voor de meeste afvalwaterinstallaties. De uitstoot van tussenproducten, zoals NO en N_2O , tijdens nitrificatie en denitrificatie in zuiveringsinstallaties zou moeten worden voorkomen door optimalisatie van aanvoer- en beluchtingsregime. Bovendien moeten kosteneffectieve strategieën worden ontworpen en toegepast. Recentelijk zijn in Delft twee nieuwe systemen voor de biologische stikstofverwijdering uit afvalwater ontwikkeld: het Sharon- en Anammoxproces.

Het Sharonproces kan zodanig, zonder biomassaretentie en pH-sturing worden bedreven dat ongeveer 50% van het ammonium wordt geoxideerd tot nitriet en de beluchtungskosten met 60% worden verminderd. Het effluent van een dergelijk Sharonproces is een ideale voeding voor het Anammoxproces. In dit proces wordt ammonium als elektrondonor gebruikt voor de nitrietreductie tot N_2 -gas, zodat de toevoeging van een extra koolstofbron in de vorm van methanol niet meer nodig is.

Prestatie-index in Rotterdam

Ir. Hans Geerse (HKV)

Ir. Sander Geenen (Gemeentewerken Rotterdam)

Gemeentewerken Rotterdam werkt aan de invoering van centraal automatische sturing van rioolgemalen teneinde de capaciteiten van de bestaande rioolstelsels maximaal te kunnen benutten. Hierbij is een vraagpunt of en in welke mate deze centraal automatische sturing daadwerkelijk zal bijdragen aan het (beter) halen van de doelstellingen die behaald moeten worden.

Deze bijdrage schetst het kader waarin de ontwikkeling van een prestatie-index voor een (centraal) bestuurd rioolstelsel moet worden geplaatst. De prestatie-index moet een (getalsmatige) beoordeling geven van het gevoerde proces. Een belangrijk uitgangspunt voor de opzet van deze index is de eis dat hij kan worden bepaald met een eenvoudige, en robuuste techniek. Verder moet de prestatie-index een hulpmiddel zijn om de besturingsstrategie te optimaliseren. Door HKV is in opdracht van en in nauwe samenwerking met Gemeentewerken Rotterdam deze index ontwikkeld.

Bedreigingen voor de volksgezondheid als gevolg van de toepassing van duurzame watersystemen

Prof.dr. F. van Knapen (Universiteit Utrecht)

Veterinaire volksgezondheid houdt zich bezig met alle interacties tussen het dier en zijn producten enerzijds en de gezondheid van de mens anderzijds. Het gaat dus over landbouwhuisdieren die bijdragen aan onze voedselproductie (vlees, melk, eieren, etc.), maar ook over gezelschapsdieren (honden, katten, paarden, etc.) die aaibaarheid en genegenheid produceren of gebruikt worden voor sport en recreatie.

Afvalstromen zoals slachtafvallen, mest, urine en dus ook hondenpoep horen bij de hygiënische verantwoordelijkheid van dierenartsen. Hetzelfde geldt voor ongediertebestrijding en wildbeheer. Kortom, een breed scala aan verantwoordelijkheden op het terrein van microbiologie, contaminanten, proceskunde, milieuhygiëne, risico-analyse,

mathematische modellering en (inter)nationale regelgeving hebben van de moderne dierenarts een multifunctionele academicus gemaakt op het terrein van de volksgezondheidsbescherming. In dit kader moet de navolgende overweging gezien worden, waar een dierenarts specialist volksgezondheid met verbazing kennis neemt van een aantal maatschappelijke veranderingen in de directe leefomgeving van de mens anno 2000.

Deze notitie beoogt slechts een pleidooi te houden dat een gezondheidseffectrapportage (GER) een vanzelfsprekende paragraaf zou moeten zijn bij (ver)nieuwbouwplannen of kunstmatige aanleg van bepaalde natuurtypen in een woonomgeving. In de gemeentelijke gezondheidsbeleidsplannen zou ruimte moeten worden gereserveerd voor een GER in elke situatie waar in de leefomgeving van de mens wordt ingegrepen, zelfs al is de opzet om die leefomgeving gezonder, natuurvriendelijker of mooier dan voorheen te maken onmiskenbaar.

Voor een goede omgevingsanalyse en GER verdient het aanbeveling om deskundigen met een specialisatie veterinaire volksgezondheid in te huren, gezien de multidisciplinaire en integrale benadering die vereist is om tot een gewogen oordeel te komen.

Deeltjestellers bij de beoordeling van effluentfilters

Dr.ir. Jaap de Koning (TU Delft - Gezondheidstechniek)

Met betrekking tot stikstof, fosfor en zwevendestof is de kwaliteit van het effluent van de moderne Nederlandse rwzi's hoog. Deze hoge kwaliteit van het effluent heeft geleid tot een toenemende interesse voor het hergebruik van effluent, hetgeen weer geresulteerd heeft in onderzoek naar filtratietechnieken als diepbedfiltratie en membraanfiltratie. Tijdens de cursus wordt ingegaan op resultaten van experimenten met een diepbedfilter, uitgevoerd door de sectie Gezondheidstechniek van de TU Delft op de rwzi Ede.

De inzet van een deeltjesteller, gevolgd door deeltjesvolume- en deeltjesmassaberekeningen, resulteerde tot een betere en meer accurate beoordeling van het functioneren van het diepbedfilter. Het gebruik van een troebelheidsmeter leidde tot onjuiste conclusies met betrekking tot het functioneren van het diepbedfilter.

De eenvoud van hergebruik

Ir. Jelle Roorda (TU Delft - Gezondheidstechniek)

De noodzaak van hergebruik wordt steeds vaker in de internationale literatuur aangegeven. Daarnaast is de laatste jaren het inzicht in de praktische toepassing van beschikbare nabehandelingstechnieken voor hergebruik van rwzi-effluent toegenomen. Dit leidt er toe dat hergebruik steeds eenvoudiger wordt. Technieken voor hergebruik zijn veelal gebaseerd op een filtratie- en een desinfectiestap.

Het hier gepresenteerde onderzoek aan de TU Delft is gericht op inzicht in *fouling* tijdens ultrafiltratie van rwzi-effluent. Recente resultaten geven aan dat de besturing van een praktijkinstallatie eenvoudiger kan worden. Besturing zal dan plaats vinden op basis van weerstandsopbouw, online-meting van *fouling*-eigenschappen en meting van filtreerbaarheid van rwzi-effluent en reversibiliteit van de vuillaag.

HOLLEN EN STILSTAAN: INTERNATIONALE ONTWIKKELINGEN IN DE RIOLERINGSTECHNIEK

Ir. J.G. Langeveld

*Technische Universiteit Delft, Sectie Gezondheidstechniek,
Postbus 5048, 2600 GA Delft*

Inleiding

De driejaarlijkse International Conference on Urban Storm Drainage beleefde dit jaar haar 8^{ste} editie en is inmiddels uitgegroeid tot een van de belangrijkste internationale congressen binnen het vakgebied van de rioleringstechniek. Van de 276 gepresenteerde papers was 50 % afkomstig uit Europa, 20 % uit Japan en 20 % uit Australië. Naast de grote geografische spreiding van de deelnemers was sprake van een grote diversiteit in onderwerp en inhoudelijke kwaliteit van de papers. Voor deze voordracht is een dertigtal artikelen geselecteerd, die voor de Nederlandse vakwereld relevant en interessant kunnen zijn.

De geselecteerde artikelen worden besproken aan de hand van de volgende indeling:

- modellering;
- infiltratie van hemelwater;
- interacties binnen afvalwatersysteem;
- diversen.

Modellering

Modellering vormt al jaren een steeds terugkerend belangrijk thema op de (inter)nationale congressen over riolering. Mede gevoed door de nog steeds toenemende beschikbare rekencapaciteit doen telkens weer nieuwe modelleertechnieken hun intrede. Aan de andere kant blijven ook oude thema's, zoals het deterministisch modelleren van het sediment transport in riolen, actueel. Dit komt doordat ondanks de jarenlange onderzoeksinspanning nog steeds geen definitieve oplossing is gevonden, maar toch telkens weer een kleine vooruitgang wordt geboekt.

Modelleertechnieken

Loke et al. hebben de toepassing van neurale netwerken en grey-box modellen onderling vergeleken voor een situatie waarin op basis van benedenstroomse metingen bovenstroomse waterstanden en neerslaghoeveelheden werden bepaald. Beide modelleertechnieken blijken te voldoen, waarbij de neurale netwerken over het algemeen betere resultaten geven. Als goede eigenschappen van neurale netwerken worden de hoge foutentolerantie, de hoge rekensnelheid en de mogelijkheid om zelfstandig te leren genoemd. Neurale netwerken hebben echter het nadeel dat zij voor hun werking afhankelijk zijn van voorbeelden. Elke verandering aan het rioolsysteem heeft tot gevolg dat een nieuwe dataset benodigd is, terwijl bij een grey-box model wellicht het aanpassen van enkele bekende fysisch gebaseerde parameters voldoende is. Het toepassen van een grey-box model ligt dan ook meer voor de hand in gevallen waarbij veranderingen in het systeem een rol spelen.

Rossi et al. beschrijven de toepassing van de Rough Set Approach om uit beschikbare meetgegevens (neerslag en vuiluitworp) wetmatigheden te halen waarmee toekomstige vuiluitworp kan worden voorspeld. Deze wetmatigheden worden beschreven met behulp van if-then regels. De Rough Set Approach vormt een aanvulling op bekende methoden, die omgaan met onzekerheden in gegevensreeksen zoals waarschijnlijkheidstheorie en fuzzy set theorie. De methode is getest voor catchments in Zwitserland en Frankrijk en leverde goede resultaten.

Blanpain et al. vergelijken verschillende interpolatie methoden voor het vaststellen van ontbrekende gegevens over een rioelstelsel om zo modellering van het stelsel mogelijk te

maken. De voorgestelde methode, die werkt op basis van lokale stochastische zoekalgoritmes, blijkt duidelijk betere resultaten op te leveren dan de nu gangbare methode die gebaseerd is op lineaire interpolatie.

Veltri en Pecora beschrijven het gebruik van een genetisch algoritme voor het optimaliseren van rioolmodellen. Een genetisch algoritme is een stochastisch zoekalgoritme dat het biologische concept van survival of the fittest toepast om zo tot de optimale oplossing van een probleem te komen. Aangezien genetische algoritmen zeer krachtig zijn is dit een methode die veelbelovend is voor verdere toepassing binnen de modellering en optimalisatie van rioolstelsels.

Heaney et al. maken evenals *Veltri en Pecora* gebruik van een genetisch algoritme. In dit geval wordt met behulp van een genetisch algoritme het ontwerp van een vrijval rioolring geoptimaliseerd. Nadat de lay-out van het kleine vertakte voorbeeldstelsel door de ontwerper was bepaald is voor elke streng een bepaalde diameter aangenomen. Vervolgens zijn met behulp van een genetisch algoritme de optimale diameters bepaald. Hierbij is gebruik gemaakt van het commercieel verkrijgbare programma Evolver dat gekoppeld is aan MS Excel. Bij grotere of complexere stelsels zal echter al snel overgestapt moeten worden op een hydrodynamisch model als Hydroworks.

Stoftransport

In Groot-Brittannië wordt al jarenlang onderzoek gedaan naar het stoftransport in riolen. De laatste jaren richt de aandacht zich steeds meer op het beschrijven van het gedrag van enkele specifieke fracties. Zo hebben *Johnstone et al.* de mogelijkheid onderzocht om een massabalans op te stellen voor de zogenaamde sanitary solids (maandverband, tampons etc.) met behulp van de LCA-methodiek. Tevens hebben zij een model ontwikkeld dat het transport en mate van degradatie van deze stoffen door het riool beschrijft. De waterdiepte en stroomsnelheid blijken hierbij bepalende factoren.

Fraser en Ashley hebben een model ontwikkeld voor de voorspelling van problematische sedimentatie in riolen. In hun artikel noemen zij de aanleg van sediment vanginstallaties als een mogelijke maatregel. Op basis van de werking van enkele van deze installaties en het gedrag van sediment in het riool is een model ontwikkeld en vervolgens getest op een rioolstelsel in Dundee. Het model kan gebruikt worden voor het voorspellen van sedimentatie en is zodoende een belangrijk hulpmiddel bij het ontwerpen van sediment vanginstallaties.

Ashley et al. hebben de beschikbare kennis uit de UK over het sedimenttransport in riolen gekoppeld aan de Deense kennis over de biodegradeerbaarheid van het sediment en de daaraan gekoppelde zuurstofbehoefte. Het artikel presenteert de voorlopige resultaten van het project. Het ligt in de verwachting dat de resultaten uiteindelijk toegepast gaan worden in de UK standards, waardoor realistischer eisen kunnen worden gesteld aan het functioneren van rioolstelsels.

Processen in riolering

Tanaka en Hvitved-Jacobsen beschrijven de resultaten van het onderzoek naar anaërobe omzettingen van afvalwater in het riool. De nadruk ligt hierbij op het in kaart brengen van de verandering in samenstelling van het CZV op basis van metingen aan de OUR-rate (oxygen uptake rate) en VFA-analyses (volatile fatty acids). Eveneens is een model, dat gebaseerd is op het bekende activated sludge model, gepresenteerd dat aërobe en anaërobe omzettingsprocessen in afvalwater beschrijft. Vervolgens is het model op basis van de metingen getest en gekalibreerd. Het blijkt mogelijk te zijn om de geobserveerde processen met behulp van het model te simuleren.

Huisman et al. sluiten in hun onderzoek aan op de behoefte om de omzettingen van met name CZV in het riool te kunnen beschrijven. Hiertoe hebben zij onderzoek verricht naar de schommelingen in het zuurstofgehalte in het rioolwater. Zowel de respiratie in de biofilm en door gesuspendeerde bacteriën, als reaëratie en de aanwezige zuurstofconcentratie blijken bepalend te zijn voor het verloop van de zuurstofconcentratie. Op basis van de omzettingsgraad van het aanwezige CZV is vastgesteld dat ongeveer 20% van het geloosde CZV kan worden omgezet in het onderzochte rioolstelsel.

Infiltratie van hemelwater

De infiltratie van hemelwater is inmiddels uitgegroeid tot een van de belangrijke onderdelen van het congres. Inmiddels is een grote hoeveelheid infiltratie projecten gerealiseerd en is het tijd geworden om de oorspronkelijke ontwerprichtlijnen en praktijkervaring aan elkaar te koppelen. Daarnaast blijkt dat ondanks de eerdere juichende verhalen over de grote belofte van infiltratie van hemelwater de toepassing van infiltratie in de praktijk achter blijft bij de verwachting.

Voorbeelden van infiltratie in de praktijk

Becker et al. beschrijven de voortgang in het project gericht op het herstel van de Emscher. Binnen dit project speelt het herstel van de ecologie een grote rol. Het afkoppelen van verhard oppervlak om zo weer zo veel mogelijk terug te keren naar een natuurlijke hydrologische situatie en overstortingen te voorkomen staat hierbij centraal. Infiltratie van hemelwater wordt zodoende gerelateerd aan het verbeteren van het functioneren van het systeem op een grotere schaal.

Terayama et al. zien on-site berging als een belangrijk middel om wateroverlast en overstortingen te voorkomen. Lokale berging blijkt een goed middel om wateroverlast te voorkomen. Deze maatregel wordt echter bij voorkeur uitgevoerd in combinatie met infiltratie of gebruik van neerslag.

Ontwerprichtlijnen

Zimmer et al. bediscussiëren de huidige veiligheidsfactoren voor het ontwerp van infiltratievoorzieningen. Enerzijds worden infiltratievoorzieningen gedimensioneerd met een veiligheidsfactor van 0,5 op het beschikbare bergingsvolume, waardoor de voorzieningen onnodig groot uitvallen. Anderzijds is het huidige ontwerp gebaseerd op de Reinhold's formule. Uit recente neerslaggegevens is gebleken dat met deze formule de hoeveelheid neerslag met een factor 2,5 wordt onderschat. Een nieuwe aanpak lijkt hiermee noodzakelijk. In dit artikel wordt aangetoond dat de infiltratievoorzieningen kleiner en dus goedkoper kunnen worden gedimensioneerd wanneer infiltratie tijdens de bui wordt meegenomen. Een andere aanpak, met nieuwe ontwerpdigrammen of met behulp van het Green-Ampt model, lijkt een goed compromis op te leveren tussen eenvoudige berekeningen met grote veiligheidsmarges en complexe eindige elementenmethode berekeningen.

Toepassing infiltratie van hemelwater

Argue levert in zijn artikel kritiek op de veelal sterk terughoudende aanpak voor het toepassen van infiltratie. Hij constateert dat in de praktijk op basis van 9 'mythes' de toepassing van infiltratie onnodig achterblijft. Tot de mythes behoren onder meer de volgende veronderstellingen:

- infiltratie in klei is onmogelijk;
- indien een bepaalde (korte) ledigingstijd van ondergrondse voorzieningen niet bereikt kan worden is infiltratie niet mogelijk;
- door infiltratie is onvoldoende afstromend hemelwater beschikbaar voor het schoonspoelen van de straten;
- infiltratie benadeelt toestroom naar rivier;
- infiltratievoorzieningen cloggen dicht of raken gevuld met sediment;
- grondwaterpeil moet ver onder infiltratievoorziening blijven.

Elk van de genoemde veronderstellingen is van kanttekeningen voorzien waarna wordt geconcludeerd dat de huidige praktijk veel te terughoudend is.

Haarhoff zoekt de oorzaak van de te geringe toepassing van infiltratie van hemelwater in het gebrek aan financiële prikkels om tot afkoppelen en infiltreren over te gaan. Als oplossing stelt hij voor om belasting te heffen op basis van het aangekoppelde verharde oppervlak. Dit zou leiden tot het vaker toepassen van infiltratie op privéterrein, hetgeen goed aansluit op een meer brongerichte aanpak van problemen.

Interacties binnen afvalwatersysteem

Dankzij de nog steeds toenemende reken capaciteit en het ruim beschikbaar zijn van modellen voor de verschillende deelsystemen (riolering, zuivering en oppervlaktewater) ligt het voor de hand om de beschikbare modellen te koppelen om zo uitspraken te kunnen doen over het functioneren van het afvalwatersysteem als geheel. In het volgende wordt deze ontwikkeling geïllustreerd aan de hand van een viertal voorbeelden. Uit bestudering van de literatuur over de afzonderlijke beschikbare modellen blijkt echter dat de betrouwbaarheid van de resultaten van modellen in een aantal gevallen laag is, zoals bijvoorbeeld de vuiluitworp uit rioolstelsels of de werking van nabezinktanks. Hierdoor moeten zeker de resultaten van gekoppelde modellen zeer kritisch worden bekeken. Daarnaast geven een aantal auteurs een aanzet om het functioneren van het afvalwatersysteem als geheel, inclusief de onderlinge interacties, aan een nadere studie te onderwerpen, alvorens tot het 'plakken van modellen' over te gaan.

Koppelen van modellen

Alex et al. hebben de modellen PLASKI, SIMBA sewer en SIMBA gekoppeld om zo een integraal model voor simulatie en optimalisatie voor afvalwatersystemen te verkrijgen. Alles is gebaseerd op Matlab-Simulink, hetgeen een zeer flexibele omgeving oplevert, waarin de gebruiker veel ruimte heeft om zelf aanpassingen te doen. Het model kan gebruikt worden voor RTC (Real Time Control), rioolverbetering, capaciteitsuitbreiding etc..

Schütze et al. beschrijven de resultaten van het promotieonderzoek dat heeft geresulteerd in de ontwikkeling van Synopsis, een tool voor de ontwikkeling en evaluatie van RTC-strategieën binnen het afvalwatersysteem. Synopsis is gebaseerd op het aan elkaar plakken van beschikbare modellen (KOSIM voor riolering, vereenvoudigde versie van IAWQ activated sludge model nr.1 voor zuivering en DUFLOW voor het oppervlaktewater). Door de modulaire opbouw kunnen andere of verbeterde versie van de modellen altijd worden ingeplugd. Met behulp van Synopsis blijkt het mogelijk te zijn om betere RTC-strategieën te ontwikkelen dan met de gangbare methode.

Hernebring et al. beschrijven de vorderingen van het DHI om de modellen voor riolering (MOUSE), zuivering (STOAT) en oppervlaktewater (MIKE) aan elkaar te koppelen. De koppeling van de modellen verloopt redelijk en op dit moment wordt in Europees verband uitgebreid getest en verder ontwikkeld (zie ook *Clifforde et al.*). Daarnaast wordt geconstateerd dat de interacties tussen de deelsystemen zeer dynamisch zijn en dat de ontwikkelde programmatuur inmiddels kan worden ingezet als evaluatie en planning hulpmiddel, en in de nabije toekomst ook voor RTC.

Functioneren afvalwatersysteem

Jack et al. hebben een totale emissie analyse uitgevoerd voor een aantal afvalwatersystemen bestaande uit een gemengd rioolstelsel en een conventionele RWZI. Hiertoe is in eerste instantie bepaald over welke minimale periode het functioneren van het afvalwatersysteem moet worden gevolgd om goede uitspraken te kunnen doen over de reactie van het gehele afvalwatersysteem op een neerslaggebeurtenis. Indien ook de N-verwijdering wordt meegenomen in de analyse bleek een periode van 7 dagen noodzakelijk. Uit de analyse volgt dat het aanbrengen van extra berging gunstig is voor de reductie van de vuilemissie. Daarnaast bleek voor BZV dat het dimensioneren van de RWZ op $3 \cdot DWA$ ipv de gangbare $2 \cdot DWA$ beter werkt.

Rauch et al. hebben in een casestudy eveneens een totale analyse van het afvalwatersysteem uitgevoerd. Hieruit volgt dat het soms niet mogelijk is om aan alle eisen te voldoen en zo een 'ideaal' systeem te krijgen. Op basis van een analyse van alle verschillende (afval)waterstromen binnen het gebied is getracht een verbetering van het gedrag van het systeem te verkrijgen, hetgeen niet is gelukt. Wat een technisch optimale oplossing bleek, was sociaal-economisch (het opgeven van bestaande dure infrastructuur en de aanleg van kleinschalige infiltratievoorzieningen) niet haalbaar.

Krebs et al. hebben op basis van metingen in Dresden (een groot, vlak gebied, vergelijkbaar met Nederlandse situatie) kunnen vaststellen dat de instroming (pollutograaf) bij de zuivering tijdens neerslag een bepaald karakteristiek verloop heeft. Uit de metingen volgt dat er sprake is van 4 duidelijke opeenvolgende fasen: uitspoeling opgeloste stoffen, toename van de last aan vaste deeltjes, verdunning en tenslotte het instellen van een nieuw equilibrium. Opgemerkt wordt dat elk rioolstelsel zijn eigen kenmerkend stromingspatroon kent en daardoor de resultaten niet rechtstreeks overdraagbaar zijn op andere stelsels. Door op deze wijze naar het gedrag van rioolstelsels te kijken ontstaan echter wel mogelijkheden om beter op de optredende processen in te spelen.

Diversen

In deze laatste categorie is een aantal artikelen opgenomen ter illustratie van de breedte van de internationale aandachtspunten en om een aantal interessante ontwikkelingen nader voor het voetlicht te kunnen brengen.

Stransky et al. stellen dat het kiezen van de juiste tijd- en ruimteschaal van zeer groot belang is voor goed waterbeheer. Zij illustreren aan de hand van een voorbeeld dat het maken van een keuze uit verschillende maatregelen en vervolgens het treffen van geselecteerde maatregelen alleen dan zinnig is wanneer de maatregelen op het juiste schaalniveau worden ingezet.

Krejci en Borchardt vinden dat bij het nemen van maatregelen binnen het afvalwatersysteem gelet moet worden op kostenefficiëntie. Een maat hiervoor kan zijn de verhouding tussen extra opvangen vuilvracht per extra geïnvesteerd bedrag. Tevens stellen zij dat kosteneffectieve maatregelen alleen locatiespecifiek kunnen worden vastgesteld. Een goede definitie van de doelen en een probleemidentificatie zijn hierbij essentieel. Daarnaast stellen zij, evenals *Stransky et al.* dat het relatieve effect van maatregelen alleen goed afgemeten kan worden aan de randen van het systeem. De keuze van de systeemgrenzen is daarom van zeer groot belang bij het onderling vergelijken van maatregelen.

Brombach et al. hebben getracht de overstortingsactiviteiten van berg(bezink)tanks in kaart te brengen. In Duitsland zijn inmiddels 15.000 van dergelijke tanks gebouwd, maar desondanks ontbreken gegevens over het functioneren van deze tanks. Het gepresenteerde onderzoek was erop gericht hierin duidelijkheid te brengen. Het aantal en de duur van de overstortingen bleken, in tegenstelling tot de overgestorte hoeveelheid, goed te meten. De geringe overstorthoogte bleek de oorzaak te zijn van de geïntroduceerde onnauwkeurigheid. Zij pleiten daarom uit praktische overwegingen om voor het beoordelen van de werking van overstorttanks alleen het aantal overstortingen en eventueel de overstortduur te bepalen.

Herrmann et al. hebben de invloed van een scala aan maatregelen (grijswatercircuit, droogtoilet, infiltratie, regenwatergebruik) op de samenstelling van het oppervlaktewater op basis van een analyse van stofstromen voor een kunstmatig stroomgebied in kaart gebracht. Een conclusie is dat vooral de omgang met neerslag een grote invloed heeft op het functioneren van het gehele systeem. Uit de analyse van de herkomst van het oppervlaktewater blijkt eveneens dat het geloosde afvalwater een zeer grote invloed heeft op de samenstelling van de rivieren. De herkomst van het oppervlaktewater is hiermee een indicatie voor de mate van gebruik van de natuurlijke bronnen.

Malmqvist et al. hebben onderzoek gedaan naar de herkomst van de verontreinigingsflux (fosfaat, Pb, Cd, Cu, Zn en PAK) naar een meer in Zweden. Om de herkomst van de verschillende verontreinigingen te kunnen bepalen is op diverse plaatsen, zoals in het riool, in de dakgoot etc., gemeten. Op basis van de verdeling over de verschillende bronnen van de vracht aan verontreinigingen is geconcludeerd dat bronmaatregelen de voorkeur verdienen. Daarnaast heeft het onderzoek veel basisgegevens opgeleverd, zoals bijvoorbeeld uitloging van zware metalen uit de dakgoot, die bruikbaar zijn in andere onderzoeken.

Förster en Knoche beschrijven de resultaten van onderzoek naar de kwaliteit van afstromend hemelwater van groene daken. De toegepaste constructiematerialen blijken bepalend te zijn voor de samenstelling van het afstromende hemelwater.

Faure et al. beschrijven de mogelijkheden om met behulp van radar neerslagvoorspellingen te doen ten behoeve van sturing van rioolstelsels. Met behulp van radar zou bijvoorbeeld vastgesteld kunnen worden welke spreiding de neerslag over het gebied heeft. De voorspellingsmethode met behulp van radar werkt op zich zelf wel, alleen is het onzeker hoe goed de voorspelling is en hoe lang deze houdbaar is (varieert tussen minuten en uren). De auteurs introduceren daarom de term "nowcasting", aangezien de voorspellende waarde nog te gering is. Desalniettemin blijken de radarbeelden bruikbaar genoeg om in te zetten voor sturing van de riolering.

Roesner en Brashear vragen zich tenslotte af of de in de afgelopen 10 jaar verschenen Best Management Practices manuals daadwerkelijk een reductie van de oppervlaktewaterbelasting hebben opgeleverd. Uit de literatuur blijkt dat de BMPs in veel gevallen het milieu juist niet hebben beschermd. Op basis van een analyse van de verandering van de herhalingstijd van piekafvoeren door verstedelijking constateren zij dat de huidige BMPs inderdaad te kort schieten. Zij bevelen dan ook aan om nieuwe ontwerprichtlijnen op te stellen.

Ter afsluiting

Gezien de achtergrond van ruim 95 % van de auteurs, namelijk de geïndustrialiseerde wereld waarin in ieder geval in de basissanitie voorzien is, is het niet verwonderlijk dat het merendeel van de artikelen gericht is op het terugdringen van de milieubelasting vanuit de bestaande systemen. Dit leidt ertoe dat de aandacht zich vooral richt op enerzijds het aandragen van mogelijke verbeteringen en anderzijds het in kaart brengen en modelleren van het functioneren van (delen van) de bestaande systemen.

Bij het verbeteren van het functioneren van de bestaande systemen heeft de infiltratie van hemelwater zich inmiddels een vaste plaats verworven naast maatregelen als RTC en het aanbrengen van randvoorzieningen. Tevens speelt het beheer van de bestaande systemen een grote rol.

Daarnaast is een groeiende behoefte waarneembaar om het gedrag van de bestaande systemen goed te kunnen beschrijven om zo gericht eventuele maatregelen te kunnen treffen. Hierbij kan geput worden uit een nog steeds groeiend arsenaal aan modellen en modelleertechnieken. Een groot probleem blijft echter de geringe beschikbare hoeveelheid gegevens op basis waarvan het gedrag van de bestaande systemen moet worden beschreven.

Het ligt in de verwachting dat in de komende jaren op de ingeslagen weg verder wordt gegaan. Zo zullen nieuwe modelleertechnieken uit andere vakgebieden hun intrede doen en zullen bestaande modellen beter onderling gekoppeld worden om zo een totale systeemanalyse mogelijk te maken. Daarnaast zal de infiltratie van hemelwater tot het basismaatregelenpakket gaan behoren en tenslotte zal de beschrijving van de processen in en het gedrag van rioolstelsels nader uitgewerkt worden.

Literatuur

De artikelen van de 8^e internationale conferentie over Urban Storm Drainage zijn gepubliceerd in:

Joliffe, I.B. en J.E. Ball, *Proceedings of the Eighth International Conference on Urban Storm Drainage*. Sydney: The Institution of Engineers, 1999

Voor het samenstellen van deze bijdrage aan de 19^e Vakantiecursus in Riolering en Afvalwaterbehandeling zijn de volgende artikelen uit de 8^e ICUSD gebruikt:

Alex, J., L.P. Risholt and W. Schilling, *Integrated modeling system for simulation and optimization of wastewater systems*, pp. 1553-1561

Argue, J.R., *An exploration of some "myths" about infiltration systems in source control technology*, pp. 563-570

Ashley, R.M., T. Hvitved-Jacobsen, J. Vollertsen, T. McIlhatton and S. Arthur, *Sewer solids erosion, washout, and a new paradigm to control solids impacts on receiving waters*, pp. 171-178

Becker, M., E. Pfeiffer and R. Prinz, *Ecologically oriented storm water management and its hydrological impact on the Emscher River system*, pp. 1150-1157

Blanpain, O., S. Merchez, C. Lecoutre and F. Boussemart, *Comparison of interpolation methods to approximate the profile of urban drainage networks*, pp. 1184-1191

Brombach, H., D. Steinriede, G. Weiss and C. Wohrle, *Measured overflow activity of combined sewer overflow (CSO) tanks*, pp. 2059-2066

Clifforde, I.T., B. Tomicic and O. Mark, *Integrated wastewater management – A European vision for the future*, pp. 1041-1049

Faure, D., J.P. Schmitt and P. Auchet, *Limits of radar rainfall forecasting for sewage system management: Results and application in Nancy*, pp. 441-449

Forster, J. and G. Knoche, *Quality of roof runoff from green roofs*, pp. 1312-1318

Fraser, A.G. and R.M. Ashley, *A model for the prediction and control of problematic sediment deposits*, pp. 635-642

Haarhoff, T., *Taxation of surface runoff from urban areas: A useful step towards sustainable urban drainage*, pp. 657-664

Heaney, J.P., L.T. Wright, D. Sample, R. Field and C-Y Fan, *Innovative methods for the optimization of gravity storm sewer design*, pp. 1896-1903

Hernebring, C., O. Mark and L.G. Gustafsson, *Optimising operating strategies for sewers and wastewater treatment plants by use of RTC and integrated modelling*, pp. 418-425

Herrmann, T., S. Schukat and V. Huhn, *What do our rivers consist of? Effect of new technologies in water supply and urban drainage on fluxes of nutrients and water*, pp. 1606-1615

Huisman, J.L., C. Gienal, M. Khuni, P. Krebs and W. Gujer, *Oxygen mass transfer and biofilm respiration rate measurement in a long sewer, evaluated with a redundant oxygen balance*, pp. 306-314

Jack, A.G., R.M. Ashley, J. Akunna, D.J.J., Wotherspoon and M. Petrie, *Total emission analysis for combined sewers and wastewater treatment plants*, pp. 1431-1438

Johnstone, F.M., R.M. Ashley, N.H. Souter, J.W. Davies, D. Milne and M. Schutze, *Developing mass balances for sanitary solids in sewers for use in life cycle assessment*, pp. 618-625

Krebs, P., K. Merkel and V. Kühn, *Dynamic changes in wastewater composition during rain runoff*, pp. 920-927

Krejci, V. and D. Borchardt, *Cost-efficiency in urban drainage*, pp. 1972-1979

Loke, E., K. Arnbjerg-Nielsen and P. Harremoës, *Artificial neural networks and grey-box modelling: A comparison*, pp. 72-79

Malmqvist, P.-A., T. Larm, K. Bennerstedt and A-K. Wranghede, *Sources of pollutants discharging to Lake Trekanten, Stockholm*, pp. 1736-1743

Rauch, W., N. Thurner and U. Stegner, *Performance improvement of an integrated drainage system – An alpine case study*, pp. 2082-2089

Roesner, L.A. and R.W. Brashear, *Are BMP criteria really environmentally friendly*, pp. 1366-1373

Rossi, L., R. Slowinsky and R. Susmaga, *Application of the rough set approach to evaluate stormwater pollution*, pp. 1192-1200

Schutze, M., D. Butler and M.B. Beck, *Synopsis – A tool for the development and simulation of real-time control strategies for the urban wastewater system*, pp. 1847-1854

Stransky, D., Z. Handova, P. Koudelak, and J. Krejcek, *Sustainable water and wastewater management – Regional scale solution*, pp. 34-41

Tanaka, N., and T. Hvitved-Jacobsen, *Anaerobic transformations of wastewater organic matter under sewer conditions*, pp. 288-296

Terayama, H., A. Sakamoto, Y. Nakayama, S. Ueno, T. Ishikawa and K. Saito, *Stormwater runoff simulation model with on-site storage and its application to stormwater drainage*, pp. 2099-2106

Veltri, P. and S. Pecora, *Genetic techniques to optimise urban drainage models*. pp. 1760-1767

Zimmer, U., W.F. Geiger, G. Casperlein, *Safety factors for the design of infiltration facilities*, pp. 256-264

VOORUITBLIK OP DE VERNIEUWINGEN IN DE AFVALWATER-BEHANDELING:

1ST IWA WORLD CONGRESS PARIJS 2000

*Ir. A. W. van der Vlies
Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden
Postbus 469, 3300 AL Dordrecht*

Inleiding

Van 3-7 juli 2000 zal in Parijs het 1st World Congress van de International Water Association (IWA) worden gehouden. In oktober 1999 heeft de programmacommissie het definitieve programma samengesteld. Ik maakte deel uit van deze commissie. Dit maakt het mogelijk om een vooruitblik te geven op dit congres, maar ook om enige aanwijzingen te geven op welke wijze de Nederlandse bijdrage verder kan worden verbeterd.

De International Water Association

De International Water Association (IWA) is op 7 september 1999 ontstaan uit een fusie van de IAWQ (International Association on Water Quality) en de IWSA (International Water Services Association). Beide verenigingen waren wereldorganisaties. De IAWQ op het gebied van het waterbeheer; de IWSA op het gebied van de drinkwatervoorziening. Nederland was in de IAWQ vertegenwoordigd door de Nederlandse Vereniging voor Waterbeheer (NVA) terwijl de vertegenwoordiging in de IWSA plaatsvond door het Nederlands Comité van de IWSA, waarin de Vereniging voor Waterleidingbelangen (VWN) weer was vertegenwoordigd.

Het is dus niet toevallig dat de NVA en de VWN steeds intensiever samenwerken en het niet uitgesloten wordt geacht dat op termijn een fusie plaatsvindt.

De vakwerelden zijn zo dicht naar elkaar opgeschoven dat de waterketen zich, ook in organisatorisch opzicht, aan het "sluiten" is. Wereldwijd, in dit opzicht loopt Nederland niet voorop. De ontwikkelingen in Nederland gaan evenwel snel.

De visie en de missie van de IWA zijn:

Vision:

To leading international association for the improvement of water management worldwide in an environmentally sustainable way.

Mission:

To promote best practice and exchange of the latest skills, techniques and knowledge of all aspects of water management. To disseminate this worldwide by all possible means including meetings, publications, expert networks and electronic media. To engage in advocacy and exchange of ideas with major agencies, promote public awareness. To provide a means whereby all the different types of organisations and professions in the water sector can exchange information.

Zowel de IAWQ als de IWSA kenden een biennial conference, respectievelijk in de even en de oneven jaren.

De "bennial" programmering was c.q. is als volgt:

- 1998, Vancouver (laatste IAWQ biennial);
- 1999, Buenos Aires (laatste IWSA biennial);
- 3 - 7 juli 2000, Parijs (1e IWA biennial);
- oktober 2001, Berlijn (2e IWA biennial);
- april 2002, Melbourne (3e IWA biennial);
- 2004, Marrakech (4e IWA biennial).

Ten gevolge van de fusie is er ook voor de biennials een overgangperiode voorzien. Een druk programma, maar ook mogelijkheden de wetenschappelijke kennis en praktijkervaring uit Nederland te presenteren.

Organisatie 1st IWA World Congress Paris 2000

Het hoofdedeelte van deze conferentie zal bestaan uit:

- a. wetenschappelijke en technologische thema's (4 sessies);
- b. operationele en beheersthema's (3 sessies).

Naast het hoofdcongres worden nog 2 "specialist conferences" gehouden:

- a. 3rd International Symposium on Waste Water Reclamation, Recycling and Reuse;
- b. Symposium on Health-related water microbiology.

In totaal dus 9 parallele sessies.

De belangstelling voor de eerstgenoemde 2 thema's was overweldigend.

	science and technology	operation and management
ingediende papers	665	315
waarvan uit Nederland	11	3
geplaatste papers	circa 220	circa 125
waarvan uit Nederland	5	1

De IAWQ had al een groter aantal jaren het beleid om de vereniging meer toegankelijk te maken voor praktijkgerichte vakgenoten. In de opzet van dit congres komt dit nadrukkelijk naar voren. Dit beleid is door de IWA overgenomen. Een goede mix van (toegepast) wetenschappelijk onderzoek tot praktijkervaringen van geïmplementeerde technieken/technologieën.

Ongetwijfeld zullen er voor de twee specialist conferences ook Nederlandse bijdragen zijn ingediend en worden gepresenteerd. Deze informatie ontbreekt mij echter. Om die reden beperk ik mij in de navolgende vooruitblik op de 7 parallele sessies van het hoofdcongres.

Vooruitblik 1st IWA World Congress Paris 2000

Deze vooruitblik op Parijs beperkt zich tot een aantal hoofdlijnen. Het is ondoenlijk een compleet overzicht te geven van de circa 450 voordrachten die in de 7 sessies zullen worden gepresenteerd. In bijlage 1 is een overzicht opgenomen van de ingediende en geplaatste bijdragen in de wetenschappelijke en technologische thema's. De subthema's lopen nagenoeg parallel met de specialist groups zoals de IAWQ die kende. Uit de ingediende papers blijkt al globaal waar wereldwijd onderzoek naar gedaan wordt. Het geeft een richting aan maar hierbij moet worden opgemerkt dat diverse specialist groups regelmatig (1x per jaar tot 1x per 3 jaren) een eigen congres van meerdere dagen tot 1 week organiseren. Sommige referenten geven namelijk de voorkeur aan een dergelijk congres.

De onderwerpen die in het hoofdcongres aan de orde komen en voor deze vakantiecursus van belang zijn, zullen hierna de revue passeren. Daarbij zal de relatie worden gelegd met ontwikkelingen in Nederland.

Communale afvalwaterzuivering

De afvalwaterzuivering neemt nog steeds een belangrijke plaats in. Het onderzoek richt zich echter niet op de totale awzi maar veel meer op specifieke onderdelen. Deelstroom-behandeling, beluchting, modellering komen aan de orde. Onderwerpen die ook in Nederland opportuun zijn, teneinde proces-optimalisaties te kunnen doorvoeren, de bedrijfskosten te verminderen en de steeds strengere eisen te halen.

Het onderwerp nutriëntverwijdering is nog altijd breed in onderzoek, waarbij biofilters en andere slib op drager technieken worden betrokken. Voor de ontwerpers en beheerders van awzi's worden allerlei hulpmiddelen aangereikt en ervaringen uitgewisseld: van plannings-software, beheersrichtlijnen tot milieuhygiënische beoordelingssystemen. Hindervrije/hinderarme awzi's komen steeds meer in beeld.

Specifieke onderwerpen, zoals specifieke bacteriepopulaties voor bepaalde proces-optimalisaties, meer diepgaand onderzoek naar de structuur, de prestaties en de kinetiek van biofilters, filtratietechnieken met membranen en microfiltratie komen uitgebreid aan de orde.

Verder wordt aandacht besteed aan de inzet van kleine awzi's, IBA's. De uitvoeringsvormen zijn in Nederland bekend, bezinkgistingstanks, biologische of helofyten-filters en minizuiveringen.

De bedrijfseconomische optimalisaties komen ook aan de orde: benchmarking, internationale vergelijkingen, management instrumenten.

Het hele scala aan onderwerpen -van algemeen tot specifiek, van kinetisch tot bedrijfseconomisch- speelt in de Nederlandse afvalwaterzuivering een belangrijke rol. Veel onderwerpen zijn voor de onderzoekers en de praktijkmensen van wezenlijk belang. De steeds strengere effluent en overige emissie-eisen (geluid, geuroverlast, hinder), de optimalisatie van processen, de prijs/kwaliteit van de geleverde prestatie en een doorzichtige bedrijfseconomische structuur houdt de afvalwaterzuiveraar dagelijks bezig. Het is nodig voor een duurzame afvalwaterbehandeling in een veranderende maatschappij.

Slib

Uiteraard ontbreekt het onderwerp zuiveringsslib niet. Een scala aan onderwerpen komt aan de orde zoals mobiliteit van bepaalde stoffen, methoden om de slibproductie te reduceren, optimalisatie van ontwateringstechnieken, de behandeling van slibwaterstromen en de afbreekbaarheid van polymeren.

Voor een deel ook onderwerpen die in Nederland worden bestudeerd. Echte fundamentele onderwerpen om het slibprobleem op de lange termijn duurzaam op te lossen, komen niet voor.

Industrieel afval(water)

Veel aandacht ook voor de verwerking van afvalstoffen/afvalwater uit industriële processen. Zowel voor agro-industriële en voor chemische toepassingen worden vele specifieke verwerkingsprocessen c.q. behandelingstechnieken besproken (aeroob/aneeroob, sterk-oxydatieve processen, landfarming-achtige processen, (photo) katalitische processen). Anaërobe zuivering neemt slechts een beperkt gedeelte van het programma in. Waarschijnlijk komt dit doordat op dit gebied elke 3 jaren een specialist conference wordt gehouden. In 2001 zal dit weer plaatsvinden in Antwerpen. Een conferentie die in gezamenlijkheid tussen de Koninklijke Vereniging van Ingenieurs in Vlaanderen en de NVA wordt georganiseerd.

Riolering

De riolering krijgt de nodige aandacht. Allerlei aspecten die in Nederland in praktijk gebracht worden, staan op het programma. Het zoeken naar alternatieven voor berging zoals dat in Nederland gebeurt om aan de basisinspanning te (gaan) voldoen, vindt ook elders plaats. Real time control, regenvoorspellingen met radartechnieken, modelberekeningen, allerlei aspecten van retentiebekkens, diverse processen in de riolering en zelfreinigende riolen zijn de onderwerpen.

Oppervlaktewater/bodem

Op het gebied van oppervlaktewater komen aan de orde: grote watersystemen zoals rivieren, waterkwaliteitsmodellen, risico analyses, preventieve maatregelen, het ontwikkelen van strategieën met modellen en toxiciteitstesten. De restauratie van estuaria, het onderwerp eutrofiëring en enkele bodemreinigingstechnieken ontbreken niet. Daarnaast zullen diverse voordrachten ingaan op het aspect van diffuse bronnen. Allemaal thema's die ook voor het Nederlandse waterbeheer herkenbaar zijn. Voor wat betreft het aspect diffuse bronnen kan nog worden opgemerkt dat de IWA specialist group elk jaar een specialist conference organiseert. Vanuit de NVA/VWN programmagroep Emissies wordt actie ondernomen om deze conferentie in 2002 naar Nederland te halen.

Drinkwatervoorziening

In de aanloop naar de fusie van de IAWQ en de IWSA naar de IWA is het thema drinkwater in het programma opgenomen. In deze vakantiecursus zal daar niet nader op worden ingegaan.

Kwaliteitszorg

De totale kwaliteitszorg in het waterbeheer inclusief afvalwaterbehandeling neemt een steeds belangrijkere plaats in. Dit geldt in Nederland maar evenzeer wereldwijd. Om die reden is er veel onderzoek op het gebied van Hazard Assessment en het beheersen van milieuhygiënisch bezwaarlijke stoffen.

Dit komt tot uitdrukking in het programma. Een breed scala aan onderwerpen komt aan de orde: veranderingen in samenstelling, estrogene activiteit, het ontstaan van ongewenste stoffen bij specifieke processen, toxiciteitsproeven, verdelingscoëfficiënten over diverse compartimenten, simulatieprocessen en risico-analyses.

In het O & M gedeelte wordt ook een workshop gewijd aan gezondheidsrisico's tijdens waterbehandeling.

Bijzonder onderwerp

In de veelheid aan onderwerpen trof ik een bijzonder onderwerp aan: "Teaching future professors how to teach". Aan de faculteit voor civiele en milieutechniek van de University of Cincinnati is een cursus ontwikkeld en uitgetest. Onderkend is dat zowel in de normale studie alsook in de promotieperiode slechts weinig mogelijkheden zijn om onderwijservaring te verkrijgen. Daarom is door een aantal promovendi een cursus ontwikkeld, gebruikmakend van een technologisch onderwerp: biofilms.

Deze cursus is uitgetest met ouderejaars studenten, die feedback gaven. Deze feedback is verder ondersteund met video's.

De cursus werd door de toekomstige (assistent)professors als zeer zinvol, ja als noodzakelijk ervaren.

Nederlandse inbreng

Tijdens een vakantiecursus in Riolering en Afvalwaterbehandeling is de vraag gerechtvaardigd of we tevreden kunnen zijn met de Nederlandse inbreng. Zoals reeds onder 3 is opgemerkt zijn van de 14 door Nederland ingediende papers er 6 in het programma opgenomen. In bijlage 2 staan de auteurs en de titels vermeld. In het totaal, met circa 45%, geen slechte score. Nederland staat in de ranking hiermee zeker niet in de onderste geledingen. Persoonlijk denk ik echter dat Nederland veel meer te presenteren heeft. Dan denk ik niet in de eerste plaats aan de onderzoeken die universiteiten uitvoeren maar meer aan toegepast onderzoek en praktijkervaringen uit de afvalwaterketen. Het overkomt mij niet zelden dat tijdens de presentatie op een buitenlands congres bij mij de gedachte opkomt: weten wij dit in Nederland ook niet c.q. niet beter.

Misschien enigszins chauvinistisch gedacht maar wij hoeven ons niet te schamen voor de stand van de ontwikkelingen en techniek. Ik roep iedereen op aan het uitdragen hiervan (meer) een bijdrage te leveren.

Nabeschuwing

In Nederland zijn in het geheel van de afvalwaterketen nog steeds veel ontwikkelingen zowel op technisch/technologisch gebied als op bedrijfseconomisch en organisatorisch gebied. In internationale verbanden zien we vele parallellen. Uiteraard zijn er ook verschillen: het buitenland kent veel minder of in het geheel niet de organisatorische scheiding tussen rioleringstaken en de afvalwaterzuiveringstaak. Echter zowel in Nederland als elders zijn optimalisaties tussen rioleringstechnische en zuiveringstechnische werken noodzakelijk.

De noodzaak tot (deel)procesoptimalisaties blijft. De strengere eisen en de kwaliteitszorg vergen dit. Dit vergt dat het maximale uit de processen gehaald moet worden en dat het steeds zinvoller wordt deelstromen separaat te behandelen.

Op bedrijfseconomisch gebied zijn er ook vele parallellen. Benchmarking, internationale vergelijking van allerlei aspecten komen steeds vaker aan de orde. In Nederland wordt deze ontwikkeling ingegeven door de dreiging van privatisering/commercialisering. De afvalwaterzuiveringswereld, nu nog in handen van de overheid, dient de doelmatigheid te laten zien. Op het gebied van de slibverwerking zijn er niet zoveel echt nieuwe ontwikkelingen. Uiteraard procesoptimalisaties, maar zou iedereen zich al hebben neergelegd bij de gedachte dat het slibprobleem blijft en tegen hoge kosten kan worden opgelost?

Is het niet nodig fundamenteel onderzoek te doen naar mogelijkheden om de slibproductie te verminderen?

Over 10-15 jaar zijn de kapitaalsintensieve investeringen van droging en verbranding afgeschreven en kan de tijd er rijp voor zijn innovatieve, duurzame technieken/ processen te implementeren.

Het 1st World Congress van de IWA kan zowel de onderzoekswereld als de praktijkgerichte vakgenoten prikkelen tot nieuwe gedachten. Het is de moeite waard dit congres te bezoeken. Met één probleem zal iedereen te maken hebben: welke van de 7-9 sessies zal ik volgen.

Bijlage 1**Overzicht van de ingediende en geplaatste bijdragen in de wetenschappelijke en technologische thema's**

Subthema	Papers	
	ingediend	geselecteerd
Activated Sludge Population Dynamics	36	10
Adsorption	22	4
Agro-Industrial Wastes Management	33	8
Anaerobic Digestion	30	8
Biofilm reactors	28	7
Biofouling and Biocorrosion	2	1
Chemical industries	26	16
Contaminated Aquatic Sediments	2	-
Design, Operation and Costs of large wastewater treatment plants	38	11
Small wastewater treatment plants c.a.	32	9
Water Resources Mngt and Protection, incl. Non-Point sources	20	16
Env. Eng. Education	1	1
Environmental Restoration	17	5
Eutrophication	3	1
Hazaerd Assessment and Control of Environmental Contaminants	61	24
Instrumentation, Control and Automation	11	4
Landfill Mngt of Solid Wastes	13	4
Organisations and Institutions for the Water Cycle in the New Century	7	4
Membrane Technology	30	8
Nutrient Removal	69	14
Particle Separation	16	8
Pretreatment of Industrial Wastewaters	18	4
Pulp and Paper Industry Wastewaters	5	2
Reservoirs- Protection, Mngt and Water Treatment	4	2
River Basin Management	9	1
Sludge Management	25	8
Systems Analysis and Computing	3	-
Taste and Odour Problems in Drinking Water	6	3
Stormwater Management	26	8
Volatile Atmospheric Emissions from Wastewater Systems	8	1
Wastewater Treatment Systems Utilising Submarine Outfalls	3	1
Drinking Water Quality, Treatment & Distribution	40	12
General Session	16	¹⁾
River Water Quality Modelling Task Group	5	5

¹⁾ opgenomen bij thema's**Bijlage 2****Nederlandse bijdragen in het programma**

1. Mulder J.W., C.M. van Loosdrecht and C. Hellinga: Full scale application of the SHARON process of treatment of rejection water of digested sludge dewatering.
2. Van Nieuwenhuijzen A.F., J.H.J.M. van der Graaf and A.R. Mels: Direct influent filtration as pretreatment step for more sustainable wastewater treatment systems.
3. Temmink, H., A. Klapwijk and K.F. de Korte: Feasibility of the Biofix-process for treatment of municipal wastewater.

4. Mels, A.R., W.H. Rulkens and A.K. van der Meer et al: Flotation with polyelectrolytes as a first step of a more sustainable wastewater treatment system.
5. Koning, J. de, J.H.J.M. van der Graaf and Jianxin Tang; Particle size analysis as a tool for performance measurements in high rate effluent filtration.
6. Hijum, Y.J. van, W. Goldfarb: Comparing pollution prevention and control in the Netherlands and the United States

STAAT HET NEDERLANDSE DRINKWATER OVER 10 JAAR NOG OP DE WERELDKAART ?

*Ir. P. Hiemstra
Witteveen + Bos,
Postbus 233, 7400 AE Deventer*

Inleiding

Van 20 t/m 23 september 1999 vond in Buenos Aires, Argentinië het 22^e IWSA World Water Congress and Exhibition plaats. Het congres werd bijgewoond door ongeveer 1.500 deskundigen uit de hele wereld, op het gebied van drinkwatervoorziening en aanverwante sectoren. Onder hen was de auteur van deze bijdrage. In deze bijdrage wordt vanuit dit congres teruggeblikt op de ontwikkelingen van de waterleidingsector in Nederland.

De gevolgen van ontwikkelingen in het buitenland, zoals met name de liberalisatie van de Europese elektriciteitsmarkt, hebben invloed op de Nederlandse watersector. Er wordt veel gediscussieerd over de toekomst van de sector. De Tweede Kamer en het kabinet hebben zich tegen de privatisering van waterleidingbedrijven uitgesproken, maar hiermee lijkt privatisering van de watersector nog niet definitief van de baan.

Wereldwijd zijn enkele global players (grote multi-utilities, zoals Vivendi en Suez Lyonnaise des Eaux) actief, die bereid zijn te investeren, slagvaardig zijn en over de nodige ervaring beschikken. Een aantal Nederlandse waterleidingbedrijven heeft ook de ambitie om in het buitenland actief te worden, maar komen ten opzichte van deze global players op steeds grotere achterstand. Het is de vraag of de Nederlandse watersector financiële risico's in het buitenland mag nemen over de rug van de gebonden klant.

Drinkwater vanuit historisch perspectief

Door cholera-epidemieën zijn in de negentiende eeuw in Nederland meer dan 65.000 slachtoffers gevallen. De Londense arts John Snow legde in 1849 het verband tussen het drinken van verontreinigd water en het optreden van cholera.

Door het ontbreken van riolering in de steden was de problematiek van verontreinigd water groot. De grachten in steden hadden hierdoor last van stankproblemen, wat in die dagen meer aandacht kreeg dan de aanleg van een drinkwatervoorziening. De cholera-epidemieën leidden tot de oprichting van waterleidingbedrijven, in Nederland als eerste in Amsterdam in het jaar 1853. Na Den Helder (1856) zouden vele steden dit voorbeeld volgen en rond 1900 bestonden er in totaal ongeveer 60 waterleidingbedrijven, waarvan 60 % in private handen. Het aansluitingspercentage bedroeg 35 % [1].

Vanaf 1913, het jaar van de oprichting van het Rijksbureau voor de Drinkwatervoorziening (de voorloper van het RID), werd de drinkwatervoorziening op het platteland ook aangepakt. Dit leidde tot de oprichting van provinciale waterleidingbedrijven. De rijksoverheid stimuleerde de aanleg van de waterleiding met financiële steun. In 1963 was de drinkwatervoorziening in Nederland met een aansluitingspercentage van 96 % zo goed als voltooid.

De overheid speelde in de beginjaren van de waterleiding met name een rol als het ging om de concessieverlening. Aanleg en exploitatie vonden plaats door particuliere ondernemingen, omdat gemeenten de financiële risico's niet durfden te nemen en twijfels hadden over de winstgevendheid. Omdat gemeenten door het uitgeven van concessies de kas wilden spekken, duurde het vaak lang voordat in een stad waterleiding werd aangelegd. Alleen de steden Rotterdam en Den Haag gingen zelf over tot aanleg, omdat particulieren het lieten afweten.

De wijze waarop de openbare watervoorziening de afgelopen 146 jaar georganiseerd was, kan in drie perioden worden verdeeld [2], waarin steeds één organisatievorm dominant was:

Periode 1853-1920

De meerderheid van de waterleidingbedrijven was in private handen. De gemeenten traden op als verlener van concessies. Gemeentelijke waterleidingbedrijven waren vanaf 1874 (Rotterdam, Den Haag) in opkomst.

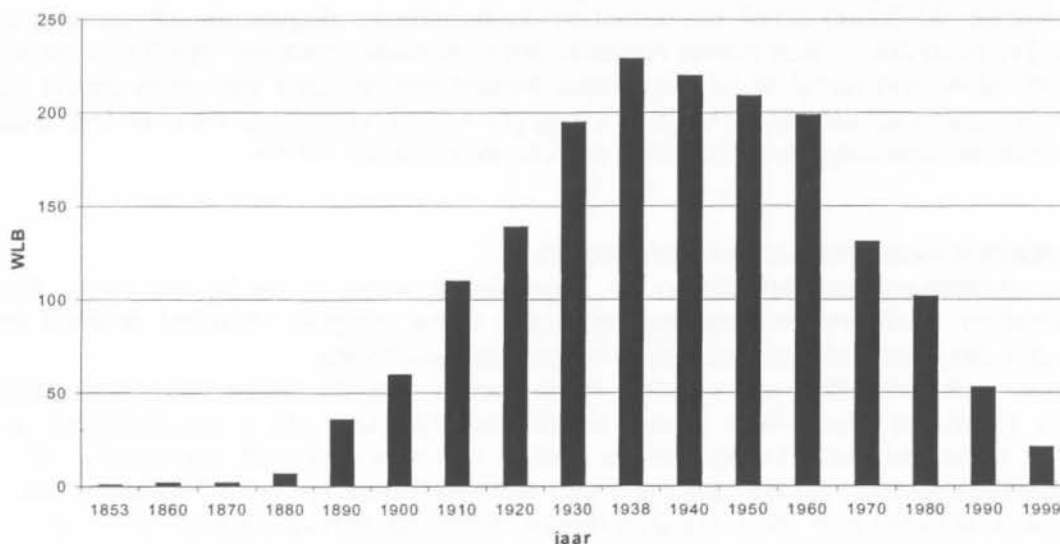
Periode 1920-1975

De drinkwatervoorziening werd in deze periode voornamelijk door gemeentelijke bedrijven verzorgd. In dit tijdperk breidde het aantal NV's, waarvan de aandelen in handen van de overheid zijn, zich uit en namen de private bedrijven in aantal af.

Periode 1975-heden

De periode, waarin bedrijven met een publiekrechtelijk eigendom de overhand krijgen en gemeentelijke waterleidingbedrijven en private bedrijven geleidelijk verdwijnen. Het enige nog resterende private bedrijf is op dit moment Bronwaterleiding Doorn.

Het aantal waterleidingbedrijven in Nederland is een afgeleide van de hierboven geschetste ontwikkelingen. Zie figuur 1.



Figuur 1: Aantal waterleidingbedrijven in Nederland (periode 1853 - 1999)

Terwijl momenteel de discussie over privatisering volop leeft, is het goed te beseffen dat de Nederlandse drinkwatersector een uitgebreid privaat verleden kent. Momenteel kennen waterleidingbedrijven een privaatrechtelijke rechtsvorm met een publiek eigendom, zogenaamde overheids-NV's, waarvan gemeenten en/of provincies aandeelhouder zijn. De enige uitzonderingen zijn Bronwaterleiding Doorn (privaat) en Gemeentewaterleidingen Amsterdam (situatie december 1999).

Waterkwaliteit

Internationaal gezien voldoen de Nederlandse waterleidingbedrijven aan de hoogste technische normen. De waterkwaliteit voldoet aan zeer hoge maatstaven, het lekverlies is minimaal (5 %), de leveringszekerheid is hoog en de bemetering is bijna volledig.

In 1948 hebben de gezamenlijke Waterleidingbedrijven het Kiwa opgericht. Dit instituut heeft inmiddels, in nauwe samenwerking met de bedrijfstak, ruim vijftig jaar onderzoek verricht naar de winning, zuivering, distributie en het kwaliteitsonderzoek van drinkwater. De bijdrage van de consument bedroeg ca. 1 cent per kubieke meter drinkwater. De organisatie

van het gezamenlijk onderzoek, en de daarop volgende implementatie van de resultaten, heeft geleid tot de huidige hoge kwaliteit van het drinkwater in Nederland, die internationaal hoog aanzien geniet.

De ontdekking van Rook in 1974, dat het gebruik van chloor leidt tot de vorming van trihalomethanen heeft tot nieuwe desinfectie-strategieën van drinkwater geleid [3]. Door het realiseren van voldoende barrières tegen micro-organismen in de zuivering kon het gebruik van chloor vermeden worden, waardoor bovendien de smaak verbeterde. Bovendien bleek deze aanpak tot gevolg te hebben dat de risico's voor protozoa, zoals cryptosporidium en giardia, in Nederland te verwaarlozen zijn.

Het gebruik van chloor in drinkwater komt onder normale omstandigheden niet meer voor in Nederland. Bij een vergelijkende test van de Consumentenbond [4] tussen negen kraanwaters en evenzoveel flessen koolzuurvrij water bleek dat het lekkerste flessenwater niet verder reikt dan een zevende plaats. Het verbruik aan flessenwater is hierdoor in Nederland erg laag in vergelijking met andere landen.

Marktwerving in Nederland

Met het verschijnen van het OCFEB-rapport [5] is de discussie over marktwerving in de Nederlandse watersector flink aangewakkerd. Dit rapport over de mogelijkheden voor marktwerving in de Nederlandse watersector, is in 1997 opgesteld door de Erasmus Universiteit Rotterdam (EUR), in opdracht van het ministerie van Economische Zaken. Meer marktwerving zou positieve gevolgen hebben voor de klanten, omdat momenteel waterbedrijven hun monopoliepositie kunnen uitbuiten. De EUR toonde in dit rapport een kostenefficiëntieverlies van 15 % (de mate waarin de huidige bedrijven te duur produceren) voor de Nederlandse drinkwaterbedrijven aan. De vergelijking met het model in Engeland, waar meer marktwerving is, en wat daar resulteert in lagere kostenefficiëntieverliezen, droeg niet bij aan de acceptatie van de boodschap van de EUR.

Op de 51^e Vakantiecursus in Drinkwatervoorziening gaf de heer Dijkgraaf (EUR) aan, dat de essentie van marktwerving is dat het gedrag van een bedrijf gerelateerd is aan de prestaties van andere bedrijven [6].

In de Hoofdlijnennotitie [7] worden de kabinetsplannen ten aanzien van marktwerving aangegeven. Het kabinet is geen voorstander van privatisering van de drinkwatervoorziening, maar wel van het invoeren van instrumenten die de doelmatigheid bevorderen. Hiervoor worden de volgende instrumenten ingezet:

- Voor drinkwater een systeem van verplichte benchmarking en toezicht;
- Experimenten met huishoudwater;
- Keuzevrijheid voor grootverbruikers van industriewater ($> 100.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$).

Na een periode van vijf jaar volgt een evaluatie. Er zal verder onderzoek plaatsvinden naar een vorm van marktwerving, waarbij de pompstations en het distributienet in handen van de overheid blijven. De marktwerving zal dus alleen de exploitatie van de voorzieningen betreffen. Deze vorm van marktwerving lijkt op het Franse model (zie hoofdstuk 4).

Benchmarkstudie

Begin 1996 is de procedure tot herziening van de Waterleidingwet van start gegaan. Om een bijdrage te leveren aan de inrichting van de drinkwatersector heeft de VEWIN een bedrijfsvergelijkend onderzoek laten uitvoeren [8]. Deze sectorbrede benchmarkstudie in de drinkwatersector heeft zich primair gericht op het transparant maken van de prestaties van de waterleidingbedrijven. Om een volledig beeld te geven van de maatschappelijke functies die waterleidingbedrijven vervullen, is gekozen voor een viertal invalshoeken: waterkwaliteit, dienstverlening, milieu en financiën & efficiency.

De studie is op basis van vrijwilligheid uitgevoerd bij achttien waterleidingbedrijven, die 85 % van de aansluitingen vertegenwoordigen. Het peiljaar van de studie is 1997.

De belangrijkste uitkomsten van de benchmarkstudie zijn:

- Het Nederlandse drinkwater voldoet ruimschoots aan de strengste normen. De komende herziening van de EU-richtlijn heeft alleen consequenties voor bedrijven die nog loden dienstleidingen gebruiken. Er is een saneringsoperatie gaande, die in 2005 is afgerond;
- Aan de dienstverlening van het waterleidingbedrijf geeft de klant het rapportcijfer 7,7. Verbeteringen zijn mogelijk bij werkzaamheden aan huis en de waternota;
- De milieubelasting als gevolg van de winning, productie en distributie van drinkwater is over het algemeen gering. Verschillen tussen bedrijven worden met name veroorzaakt door het energieverbruik. Deze verschillen hangen samen met de grondstof (grond- of oppervlaktewater, wel of geen ontharding) en het gebruik van duurzame energie;
- Er bestaan grote verschillen in de tarieven per waterleidingbedrijf (fl 1,62 tot fl 4,16 per m³). De grondstof heeft een belangrijke invloed op de prijs. De operationele kosten bedragen gemiddeld 54 % van de totale kosten. Hier liggen belangrijke kansen voor efficiencyverbeteringen.

Geconstateerd is dat kostenbesparingen mogelijk zijn op:

- Exploitatie, met name bij het distributieproces en de bedrijfsondersteunende activiteiten;
- Investeringsplannen. Door het afstemmen van investeringsplannen (met name bij uitbreiding van de productiecapaciteit) met andere waterleidingbedrijven is uitstel van investeringen te bereiken (voorbeeld: de Aquilex-bedrijven WML, WOB en WG kunnen gezamenlijk 100 miljoen gulden in 5 jaar besparen).

Door schaalvergroting van de waterleidingbedrijven en realisatie van de kostenbesparingen zal het aantal werknemers, dat werkzaam is in de sector, de komende jaren sterk dalen. Mijn verwachting is dat het aantal werknemers, in 1999 nog 7.655, in het jaar 2005 tot ca. 6.000 (20 % reductie) gedaald zal zijn.

Marktwerving in het buitenland

In het navolgende zal kort worden ingegaan op de wijze waarop de marktwerving in Engeland en Frankrijk vorm heeft gekregen.

Engelse model

In Engeland en Wales is de drinkwatervoorziening sinds 1989 geprivatiseerd en beursgenoteerd. Daarbij zijn regulators ingesteld, OFWAT voor waterleidingbedrijven, die toezicht uitoefenen en een price-cap-systeem hanteren [9]. Bij het Engelse model zijn niet alleen de operationele taken, maar ook de pompstations en het distributienet in private handen overgegaan. Van echte marktwerving (concurrentie) is hier nauwelijks sprake, omdat de private bedrijven een monopoliepositie in hun voorzieningsgebied bezitten. Er ontstaat op deze wijze wel ervaring met prijsregulering (maatstafconcurrentie). Verder zijn de mogelijkheden tot concurrentie bij nieuwe projecten vergroot en bestaan er plannen om het gebruik van het distributienet door andere waterdistributeurs mogelijk te maken (third party access).

De ervaringen in Engeland zijn niet onverdeeld gunstig. Hoewel er momenteel wel enige verbetering waarneembaar is, wordt de situatie in Engeland gekenmerkt door hoge lekverliezen (25 tot 30 %), een lage leveringszekerheid en sterke prijsstijgingen. Het systeem van regulators, gecombineerd met de winstverwachtingen van de aandeelhouders, leidt tot uitstel van noodzakelijke investeringen.

Franse model

In Frankrijk zijn de gemeenten verantwoordelijk voor de drinkwatervoorziening. De meeste gemeenten (circa 75 %) hebben deze taak uitbesteed aan één van de private waterbedrijven, die de Franse watermarkt domineren. Anders dan in het Engelse model zijn de gemeenten eigenaar van de pompstations en het distributienet. Ten aanzien van de uitbesteding van de operationele taak zijn er globaal twee hoofdvormen te onderscheiden, te weten kort- en langdurende contracten. Bij de kortdurende contracten (duur ca. 12 jaar, een vorm van verpachting) nemen de gemeenten zelf de investeringen in pompstations en distributienet voor hun rekening. Bij de langdurige contracten (looptijd 25 tot 30 jaar) maken de investeringen in installaties en leidingen onderdeel uit van de uitbestedingsovereenkomst. Na afloop van het contract gaat de eigendom van de nieuwe installaties en leidingen over naar de overheid.

De ervaringen in Frankrijk zijn dat de concurrentiedruk gering is, omdat de markt gedomineerd wordt door slechts enkele bedrijven (Vivendi en Suez Lyonnaise des Eaux). Bij de Nederlandse overheid bestaat de vrees dat bedrijven bij een dergelijk model uit kostenoverwegingen investeringen zullen nalaten.

Het Franse concessiemodel heeft internationaal meer aanhangers gekregen dan het Engelse privatiseringsmodel. Onder meer in Spanje, Oost-Europa, Derde Wereldlanden en de VS is het concessiemodel ingevoerd [9].

Global players

Wereldwijd zijn de Franse bedrijven Vivendi en Suez Lyonnaise des Eaux de grootste spelers, die actief zijn op de watermarkt. Enkele karakteristieken zijn [9]:

Vivendi

Vivendi, vroeger Generale des Eaux, heeft in 1999 o.a. US Filter overgenomen en recent een minderheidsbelang in het waterbedrijf van Berlijn opgebouwd. Het is een multi-utility met activiteiten zoals het mobiele telefoonnet SFR in Frankrijk, Canal+ en Havas. Vivendi beschikt over een BBB-rating. De omzet van Vivendi bedroeg in 1998 69,8 miljard gulden, waarvan 13,8 miljard (21 %) in de watersector.

Suez Lyonnaise des Eaux

Suez Lyonnaise des Eaux heeft in 1999 Nalco (VS) overgenomen. Dit bedrijf is eveneens een multi-utility met activiteiten in o.a. afval (SITA, dat in 1998 BFI Europa overnam) en elektriciteit (via het Belgische Tractabel, dat een belang heeft in Electrabel). Suez Lyonnaise des Eaux beschikt over een A-rating. De omzet van Suez Lyonnaise des Eaux bedroeg in 1998 69 miljard gulden, waarvan 11,3 miljard (16 %) in de watersector.

Ter vergelijking: de Nederlandse watersector

De omzet van de Nederlandse watersector bedroeg in 1998 ca 7,1 miljard gulden. Dit is de optelsom van de omzet van waterleidingbedrijven (3,2 miljard gulden), de kosten van afvalwaterzuivering (2,3 miljard gulden) en de kosten van riolering (11,7 miljard gulden).

Vivendi is qua omzet in de watersector dus 2 x zo groot als de totale Nederlandse watersector. Suez Lyonnaise des Eaux is ruim 1,5 x zo groot.

Door de huidige versnippering en het gebrek aan eensluidende visie speelt de Nederlandse watersector geen rol van betekenis op de internationale markt.

Twee visies op privatisering

In dit hoofdstuk zullen twee visies op privatisering, die van minister Pronk en die van de president van de World Water Council (dr. Abu-Zeid), met elkaar geconfronteerd worden.

Standpunt Minister Pronk

Minister Pronk heeft het afgelopen jaar zijn standpunt ten aanzien van privatisering van Nederlandse waterleidingbedrijven enkele malen duidelijk naar buiten gebracht. Gesteund door de motie Feenstra, die in 1998 bij de behandeling van de Hoofdpijnennotitie met brede steun van de Tweede Kamer is aangenomen, noemde hij een "watersector in private handen zonder meer ongewenst". Privatisering kan er volgens hem toe leiden dat er concurrentie om de gebonden klant (captive user) gaat plaatsvinden en dat de aandacht verschuift naar kostenreductie gericht op het maken van winst.

De minister is van mening dat commerciële belangen niet passen bij een sector die dient te voorzien in een primaire levensbehoefte van gebonden klanten. Hij vindt het belangrijk dat er aandacht is voor kwaliteitszorg, leveringszekerheid, continuïteit, duurzame ontwikkeling en goed bronnenbeheer. Omdat bij de watervoorziening sprake is van een natuurlijk monopolie voor de leveranciers is het volgens hem zeer onverstandig om dit monopolie in private handen te geven.

Visie voorzitter World Water Council

Meer dan 30 % van de bevolking in ontwikkelingslanden (1,3 miljard) heeft momenteel geen toegang tot schoon en helder drinkwater. Dit leidt tot een sterfte van 2 miljoen kinderen per jaar. De verwachting is dat de schaarste aan water de komende 50 jaar snel zal toenemen.

Van 17 tot 22 maart 2000 wordt door de World Water Council in Den Haag het 2^e Wereld Water Forum georganiseerd. Het doel is om een visie en een "framework for action" op te stellen om de komende watercrisis te voorkomen. De president van de World Water Council, dr. Abu-Zeid (minister van Verkeer en waterstaat van Egypte), pleitte in de NRC van 7 december 1999 voor het privatiseren van de watervoorziening om particuliere investeringen te stimuleren. Hij doelt hierbij op private ondernemingen zoals het Franse Suez Lyonnaise des Eaux. Met zijn pleidooi voor privatisering gaat Abu-Zeid lijnrecht in tegen de heersende opvatting in Nederland.

De visie van dr. Abu-Zeid is begrijpelijk. Voor het opzetten en verbeteren van de drinkwatervoorziening in ontwikkelingslanden is risicodragend kapitaal nodig, wat met het standpunt van minister Pronk niet door de Nederlandse waterleidingsector geleverd kan worden. De Nederlandse politiek heeft namelijk twee duidelijke uitgangspunten geformuleerd:

De aandelen van waterleidingbedrijven blijven in handen van provincies en/of gemeenten (Kabinet en 2^e Kamer).

Ter bescherming van bijbehorende waarden (en garanties voor continuïteit, kwaliteit en kosten naar gebonden klanten) mogen geen commerciële activiteiten/avonturen door overheden en nutsbedrijven worden ondernomen (Commissie Cohen).

Een aantal waterleidingbedrijven (o.a. NUON-ENW, WML) heeft belangstelling om in het buitenland te gaan ondernemen. Als er winst gemaakt wordt lijkt dit aantrekkelijk, echter de keerzijde van risico dragen is dat er ook verlies geleden kan worden. Dit zou dan op de gebonden klant afgewenteld worden.

Dus als Nederlandse waterleidingbedrijven in het buitenland willen gaan ondernemen met risicodragend kapitaal, moeten ze deze activiteit op grond van de Commissie Cohen separaat van de nutsactiviteit opzetten. Slechts dan kan aan het belang van de gebonden klant tegemoet worden gekomen.

Privatisering in het buitenland

Op het IWSA-congres in Buenos Aires werd een zeer actueel onderwerp gepresenteerd: "The use and management of service contracts: participation in the private sector". Het internationale rapport over dit onderwerp [10] werd gepresenteerd door Garret Westerhoff (USA). Diana Gale (USA) leverde hierbij een bijdrage over het DBO-project van de stad Seattle. Tot slot van dit hoofdstuk wordt op de verkoop van het Berliner Wasserbetriebe ingegaan.

Garret Westerhoff toonde de stand van zaken over publiek-private contractvorming voor waterbedrijven op wereldschaal, die in een database vanaf 1980 verzameld zijn. Een samenvatting hiervan is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Stand van zaken publiek-private contractvorming watersector op wereldschaal.
Waarde contracten in miljarden US \$

Stand t/m	Tussen- tijd	Afgesloten contracten		Contracten in voorbereiding	
		Aantal	Waarde *)	Aantal	waarde *)
aug-97		81	15.2		
	14 mnd				
nov-98		148	26.8	192	39.0
	9 mnd				
aug-99		156	28.8	250	46.9

Westerhoff signaleerde de volgende trends:

- In de periode augustus '97 tot november '98 was er een hausse in het aantal afgesloten contracten, vergeleken met de periode daarna. In deze periode werden 67 contracten afgesloten, waarvan 54 in de VS;
- In de periode november '98 tot augustus '99 steeg zowel het aantal contracten in voorbereiding, als de totale waarde van de contracten. Het lijkt erop dat de doorlooptijd voor de contractvorming verlengd is. Bij de contracten in voorbereiding zitten een aantal grote in Afrika en het Midden-Oosten;
- Als naar de totale waarde van alle contracten (t/m augustus '99) wordt gekeken, is de volgorde:
 1. Pacifisch gebied: 11,6 miljard US \$, (qua aantal contracten 16 %);
 2. Latijns Amerika & Caribisch gebied: 8,6 miljard US \$, (qua aantal contracten 9 %);
 3. Noord-Amerika: 6,0 miljard US \$, (qua aantal contracten 60 %);
 4. Europa: 2,3 miljard US \$, (qua aantal contracten 12 %).
- Een opmerkelijke conclusie was verder dat als de selectie van contractanten uitsluitend op basis van het laagste bod plaatsvindt dit vaak in lage tevredenheid resulteert.

Case: Seattle

Diana Gale, de managing director van de Seattle Public Utilities (SPU) vertelde op het IWSA-congres over de ervaringen met een nieuwe vorm van aanbesteden [11]. Momenteel wordt op ca. 80 km van Seattle in een natuurpark oppervlaktewater gewonnen. Dit water wordt verder zonder enige vorm van zuivering, maar wel met een flinke dosis chloor, naar de consumenten getransporteerd. De aanwezigheid van protozoa als *Cryptosporidium* en *Giardia* in het oppervlaktewater is voor SPU reden om een waterzuivering te gaan bouwen en exploiteren. SPU laat de productielocatie voor drinkwater bouwen met behulp van een Design-Built-Operate (DBO) aanbestedingscontract. Er is één contractant geselecteerd, die het ontwerp en de bouw realiseert, en de exploitatie gaat verzorgen. Het contract is twee jaar geleden getekend. Belangrijke overwegingen voor SPU om voor deze vorm van aanbesteding te kiezen waren:

- Dit wordt de eerste grote waterzuivering van Seattle (175 miljoen m³/jaar). Hierdoor is bij SPU onvoldoende kennis aanwezig om zelfstandig een goed procesontwerp te kunnen maken;
- Door het project niet in onderdelen op te knippen is er één contractant. Hierdoor is het aantal overdrachtsmomenten geminimaliseerd, waardoor er minder wrijvingsverliezen en communicatieproblemen tijdens de realisatie zullen optreden;
- Een besparing van 150 miljoen gulden (ongeveer 40 %) over een periode van 25 jaar.

De wijze waarop de risico's en verantwoordelijkheden tussen de SPU en de contractant verdeeld zijn is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Risico matrix voor het project

Risico/Verantwoordelijkheid	SPU	Contractant
Financiering	X	
Grondverwerving	X	
Vergunningen		X
Ontwerp		X
Bouw		X
Exploitatie		X
Ruw water kwaliteit	X	
Kwaliteit drinkwater		X
Veranderingen in wetgeving	X	

Om te zien of bovenstaand aanbestedingsconcept kansen biedt voor Nederlandse waterleidingbedrijven is begin 1999 door een Nederlandse delegatie een bezoek gebracht aan SPU [12]. De conclusies van dit bezoek waren:

- Een DBO-contract heeft voor de Nederlandse situatie weinig toegevoegde waarde. De taak van het waterleidingbedrijf wordt beperkt tot de rol van financier (als overheidsdienst kan SPU goedkoper over kapitaal beschikken dan een private onderneming);
- Een zwak punt in een DBO is dat het procesontwerp, een cruciale stap om betrouwbaar drinkwater te bereiden, onderdeel is van concurrentie tussen belangstellende contractanten. De Nederlandse waterleidingbedrijven hebben er voor gekozen kernactiviteiten (o.a. het ontwerp van zuiveringsprocessen) in eigen hand te houden.

Case: Berlijn

Algemeen directeur van DZH, drs. P. Jonker, heeft de afgelopen jaren de ontwikkelingen bij de Berliner Wasserbetriebe (BWB) gevolgd [13, 14]. De BWB is in 1992 ontstaan uit een fusie van het West-Berlijnse met het Oost-Berlijnse waterbedrijf. Beide bedrijven verzorgden zowel de drinkwaterzuivering als de riolering en de afvalwaterzuivering. Daarbij was er met name bij het West-Berlijnse een bijzondere situatie. Om zo min mogelijk afhankelijk te zijn van Oost-Duitsland heeft men geprobeerd de waterkringloop te sluiten door het gezuiverde afvalwater naar het hoogste punt terug te voeren en als oeverfiltraat weer te winnen. De extra kosten, die daarvan het gevolg waren, werden door federale subsidies opgevangen.

Het Oost-Berlijnse bedrijf kende slechts een beperkte afvalwaterzuivering en had het leidingnet verwaarloosd. Er was veel personeel in dienst. De verbruikers betaalden alleen voor de kosten van bediening en onderhoud. Investeringsen werden uit de staatsbegroting betaald.

Toen de twee bedrijven samengingen was het duidelijk dat de tarieven omhoog moesten (Oost-Berlijn 70 %, West-Berlijn 50 %). De tarieven van Berlijn behoren inmiddels tot de hoogste van de grote steden van Duitsland (DM 8,45 per m³ voor drinkwater en rioolrecht samen). Na flinke bezuinigingen op investeringen en het niet opvullen van natuurlijk verloop is het bedrijf weer winstgevend geworden. De directie ambieerde verder een strategische alliantie met een bijvoorbeeld een Franse global player om overal in de wereld waterprojecten uit te voeren. Hiertoe zou het gemeentebedrijf moeten worden omgezet in een NV.

Om het begrotingstekort van Berlijn op te vangen, heeft de stadsregering echter besloten het waterbedrijf te verkopen aan de meest biedende. Het compromis dat hierover bereikt is, ziet er als volgt uit. De kernactiviteiten van het BWB blijven een overheidsbedrijf, maar wordt bestuurd door een holding waarvan 50,1 % van de aandelen eigendom van de stad blijven. De andere 49,9 % zijn voor DM 3,1 miljard verkocht aan de Frans/Duitse combinatie Vivendi/RWE/Allianz (RWE is het grootste Duitse energiebedrijf en Allianz een Duitse verzekeringsmaatschappij).

De stadsregering behoudt zo het recht om aanwijzingen te geven over het investeringsprogramma en bijvoorbeeld de kwaliteit van het distributienet. Ook beslist de stadsregering over de tarieven. Wel zullen de tarieven zo worden vastgesteld dat de investeerders een rendement zullen halen, dat twee procent hoger is dan de rente op staatsleningen.

Het is de vraag welke gevolgen deze verkoop voor de Duitse watersector heeft. De Duitse watersector lijkt namelijk sterk op de Nederlandse watersector wat de provinciale reorganisatieplannen betreft. Naast de grote stedelijke bedrijven zijn er nog vele duizenden kleine gemeentelijke waterbedrijven. Als de ervaringen in Berlijn positief zijn, is de kans groot dat vele Duitse gemeenten zullen volgen. Als net als in Frankrijk en Engeland de Duitse watersector geprivatiseerd wordt, zal de Europese Unie wel vroeg of laat met een richtlijn komen, is de verwachting van de heer Jonker.

Strategische opties waterleidingbedrijven

Er is in de Nederlandse watersector een duidelijke trend tot schaalvergroting waarneembaar. Meestal liggen hieraan redenen van efficiency op het vlak van investeringsprogramma's en exploitatie ten grondslag. Het zich wapenen tegen de toenemende concurrentie uit Europa (de global players) is echter ook een argument dat meespeelt. De waterleidingbedrijven die schaalvergroting willen, zijn echter sterk verdeeld over de richting van de schaalvergroting. In Nederland zijn momenteel vier richtingen waarneembaar:

- a) Geen verdere schaalvergroting
- b) Fusies tussen waterleidingbedrijven
- c) Waterketenbedrijven
- d) Multi-utilities

Ad a) Geen verdere schaalvergroting

Enkele waterbedrijven zien geen voordelen van schaalvergroting. In het geval van de TWM bijvoorbeeld, leidt een fusie met de buurbedrijven (WOB en/of WNWB) tot hogere tarieven voor de Tilburgse burger. Het is de vraag of dit standpunt leidt tot de laagste maatschappelijke kosten voor alle afnemers in Brabant.

Ad b) Fusies tussen waterleidingbedrijven

Deze richting heeft de meeste aanhangers, gezien de ontwikkelingen in 1999.

Zo zou het nieuwe waterleidingbedrijf Aquilex, te vormen door het samengaan van WML, WOB en WG, met 1,6 miljoen aansluitingen het grootste waterleidingbedrijf van Nederland zijn geworden. GS van Noord-Brabant (de provincie beschikt over 50 % van de aandelen van de WOB) vindt echter dat eerst een Brabantse waterfusie moet plaatsvinden overeenkomstig het provinciale waterleidingplan, voordat Aquilex aan bod komt. WML heeft als tweede optie overname door NUON (zie d), maar heeft in haar keuze exploitatievoordelen en het standpunt van minister Pronk ("water bij water") zwaarder laten wegen dan internationale expansie. De aandeelhouders van WML (76 % gemeenten, 24 % provincie) moeten de definitieve keus maken.

De bedrijven WMN, WZHO en FDM gaan gezamenlijk een coöperatie oprichten, Hydron genaamd, dat met bijna 1 miljoen aansluitingen direct tot de grootste waterleidingbedrijven van Nederland hoort. De coöperatie-vorm is gekozen omdat dit wel de voordelen biedt van schaalvergroting met behoud van autonomie.

Een derde grote cluster (strategische alliantie) wordt gevormd door de DGPW-bedrijven DZH, GWA, PWN en WRK. Deze bedrijven overwegen al enkele jaren vormen van samenwerking. De ogen zijn nu met name op GWA gericht, waar een strategische studie plaatsvindt naar de hier genoemde vier richtingen. Het lijkt een afweging te gaan worden tussen samenwerking in DGPW-verband of NUON (multi-utility).

Verder bestaat er een strategische alliantie tussen WBE en DELTA, waarin ook TWM sinds 1999 deelneemt.

Ad c) Waterketenbedrijven

In 1998 is een visie op de toekomst van de watersector gepresenteerd [15]. Door samenwerking tussen waterleidingbedrijven, waterschappen en gemeenten kan een duurzame inrichting van de waterkringloop gerealiseerd worden. In het buitenland is deze vorm van samenwerking gebruikelijk, in die zin dat de taken in één organisatie zijn georganiseerd. Doordat er in Nederland veel partijen van verschillende organisatievorm bij betrokken zijn, zal het feitelijk onderbrengen van alle waterketenactiviteiten in één bedrijf niet snel vorm krijgen. De benchmark-activiteiten op deelgebieden (drinkwater, zuiveringsbeheer) zullen binnen enkele jaren tot een vergaande efficiencyverhoging leiden, waarna een fusie tussen de genoemde taken nog hooguit een marginaal kostenvoordeel oplevert.

Op korte termijn liggen er wel mogelijkheden voor samenwerking op het gebied van industriewater (voorbeelden: e-Water Group BV, een joint venture van Zuiveringsschap Limburg en WML; WMD en Noordelijke waterschappen). Dit is meer een niche in de markt, dan het samenvoegen van de core business drinkwater en afvalwater in één organisatie.

Ad d) Multi-utilities

Op dit moment bestaan er twee multi-utilities: DELTA en NUON-ENW. NUON, dat actief is op het gebied van energie en water (inclusief de waterketen) wil op het gebied van de levering van drinkwater boven de 1 miljoen aansluitingen komen om internationaal mee te tellen. Overname van WML is bij de vorming van Aquilex van de baan (zie Ad b.), tenzij de aandeelhouders van WML interesse krijgen in een eenmalige hoge verkoopsom. Bij de (mogelijke) verzelfstandiging van Amsterdam (GWA) zit NUON op het vinkentouw.

Evenals eerder bij de verkoop van elektriciteitsbedrijven (zoals UNA en EZH) is er een belangrijke rol weggelegd voor de aandeelhouders van waterleidingbedrijven (gemeenten en provincies). Door verdergaande schaalvergroting neemt hun mogelijkheid af om invloed uit te oefenen, waardoor verkoop van de aandelen interessant kan worden. Om dit te voorkomen, overweegt minister Pronk een moratorium: een tijdelijk verbod op de overdracht van aandelen aan niet-overheid, tot de nieuwe Waterleidingwet in werking is getreden. Hiermee vervalt tevens de mogelijk interessante optie van gedeeltelijke verkoop van de aandelen, zoals in Berlijn gebeurd is, voor de aandeelhouders.

Welke van de bovengenoemde richtingen in de nabije toekomst zal domineren, is door de huidige versnippering "koffiedik kijken". Deze versnippering geldt zowel de waterleidingbedrijven, de aandeelhouders en de overheid (VROM vs. EZ).

Wel is aan te geven, dat enkele grote waterleidingbedrijven en de multi-utilities, beide al dan niet in de vorm van een ontluikend waterketenbedrijf, de twee richtingen zijn waarheen de komende jaren de bedrijfstak zich zal ontwikkelen.

Het standpunt van minister Pronk ("water in private handen is zonder meer ongewenst") geeft op dit moment de richting "enkele grote waterleidingbedrijven" de grootste kans van slagen. De Nederlandse bedrijfstak kan in het buitenland uitstekend de rol van kenniscentrum (Netherlands Water Partnership en het programma "Partners voor Water"), maar door het niet kunnen inbrengen van risicodragend kapitaal zal de Nederlandse rol tot die van een niche-speler beperkt blijven.

Gebaseerd op het bovenstaande verwacht ik het volgende scenario:

periode 2000 – 2010 :

- Schaalvergroting tot 3 à 4 waterleidingbedrijven (niet lager i.v.m. Nederlandse Mededingings autoriteit);
- Waterleidingbedrijven blijven voor 100 % eigendom overheid;
- Multi-utilities splitsen water af (water bij water);
- Commerciële activiteiten worden afgesplitst;
- Waterleidingbedrijven zijn niche-speler op het gebied van kennisoverdracht naar het buitenland;

- De benchmark waterschappen resulteert in een efficiencywinst van 20 %;
- Schaalvergroting in het zuiveringsbeheer.

periode 2010 – 2020 :

- Samengaan waterleidingbedrijven en zuiveringsbeheer in nieuwe waterbedrijven (aandelen provincies of rijk);
- Incorporatie rioolbeheer in waterbedrijven, maar met sterke inmenging van gemeenten (geen overdracht eigendommen).

Op dit moment geeft het burger-gerichte standpunt van de minister nog een veilig gevoel voor de watersector. Het is sterk de vraag of bovengenoemd standpunt van minister Pronk bij verdere Europese samenwerking stand houdt. De Nederlandse watersector zou er daarom goed aan doen de komende tijd zich eensgezind met de overheid op de toekomst voor te bereiden. Dan staat het Nederlandse drinkwater over 10 jaar op de wereldkaart als het land ("Island of Nuts") waar nog goed en duurzaam drinkwater tegen lage kosten geleverd wordt.

Literatuur

1. Wijmer, S. (1992). Water om te drinken. Uitgave VEWIN.
2. Blokland, M., Braadbaart, O. en Schwartz, K. (1999). Private business, public owners: government shareholding in public water enterprises. VROM, IHE.
3. Van der Kooij, D., Van Lieverloo, H., Schellart, J. and Hiemstra, P. (1998). Distributing drinking water without disinfectant: highest achievement or height of folly? Proceedings specialized conference on drinking water distribution, Mülheim an der Ruhr, Germany, September 28-30, 1998, p.VII 1-13.
4. Consumentengids (1997). Pluspagina's kraanwater, flessenwater. November 1997, blz. 37-45.
5. Dijkgraaf, E., et al. (1997). OCFEB-rapport. Mogelijkheden tot marktwerking in de Nederlandse watersector, Onderzoeksreeks directe Marktwerking, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
6. Dijkgraaf, E. (1999). Economische grondslagen marktwerking. Voordracht 51^e Vakantiecursus in Drinkwatervoorziening, 8 januari 1999, TU Delft, blz 43-49.
7. Ministerie van VROM (1998). Hoofdpijnennotitie. De hoofdlijnen voor een nieuwe Waterleidingwet.
8. VEWIN, Anderson Consulting (1999). Water in zicht. Benchmarking in de drinkwatersector.
9. Rol, W. (1999). Het waterbedrijf van de 21^e eeuw, de financiële aspecten. Visie van ABN-AMRO op de Nederlandse watersector, blz. 1-9.
10. Westerhoff, G.P. (1999). The use and management of service contracts: participation in the private sector. International Report Nr. 1, Special Contribution, IWSA World Water Congress, Buenos Aires, 20-23 september 1999.
11. Gale, D. (1999). The Tolt DBO Project: two years after contract signing. International Report Nr. 1, Special Contribution (handout), IWSA World Water Congress, Buenos Aires, 20-23 september 1999.
12. Huberts, J., Van Eekeren, M. (1999) Seattle Public Utilities bespaart 150 miljoen gulden op watervoorziening. H₂O nr. 13, 1999, blz. 52-53.
13. Jonker, P. (1998). De Berliner Wasserbetriebe staan in de etalage. H₂O nr. 17, 1998, blz. 4-5.
14. Jonker, P. (1999). Een waterbedrijf als tafelzilver. Drastische herstructurering van de Duitse watersector op komst? H₂O nr. 19, 1999, blz. 35-37.
15. De Waterkring (1998). De waarden van water. Manifest van de waterkring.

METEN EN RIOLERING

Ir. J.L. Korving

*Technische Universiteit Delft, Sectie Gezondheidstechniek,
Postbus 5048, 2600 GA Delft*

Inleiding

Meten en modelleren zijn familie van elkaar. Maar, hoe verre familie? In de rioleringswereld in Nederland verloopt de beoordeling van rioolstelsels bijna volledig via modelberekeningen. Hierbij wordt nauwelijks gebruik gemaakt van metingen om de modelresultaten te toetsen, of zelfs de kwaliteit van het functioneren van het stelsel in te schatten. De reden hiervan zou kunnen zijn dat verondersteld wordt dat meten kostbaar is. Dit alles wekt de indruk van heel verre familie.

Uitgaand van de stelling 'Waar gerekend wordt, worden altijd fouten gemaakt.' (Heemink, 1991) lijkt het verstandig om in de beoordeling van het functioneren van rioolstelsels een grotere plaats te reserveren voor gerichte metingen. Metingen ten eerste bedoeld om de gebruikte modellen te kunnen kalibreren en toetsen en ten tweede om direct de kwaliteit van het functioneren van rioolstelsels te beoordelen.

Om ideeën hiervoor op te doen wordt in deze bijdrage aan de Vakantiecursus over de grenzen van ons land en over de grenzen van het vakgebied gekeken. De procedure zoals die in Nederland gebruikt wordt, de welbekende Leidraad Riolering, wordt vergeleken met de procedures die in de ons omringende landen geformuleerd zijn: Hydronaut procedure (België), ATV A118 en A128 (Duitsland) en Wallingford procedure (Groot-Brittannië). Bij deze vergelijking ligt de nadruk op de verhouding tussen meten en modelleren in de verschillende procedures. Daarnaast is onderzocht hoe op (aanverwante) vakgebieden omgegaan wordt met het duo meten – modelleren. Hiervoor de voorspellingsmethoden op het gebied van golven en getij, grondwaterbeweging en stoftransport in rivieren gekozen. Tot slot wordt in het kort aangegeven dat meten aan riolen niet alleen iets kost, maar ook veel kan opleveren.

Metten en modelleren in de Leidraad Riolering

In de Leidraad Riolering is een tweetal modules opgenomen dat betrekking heeft op meten en modelleren. Module C2100 (Ministerie VROM/RIONED, 1995) behandelt rioleringsberekeningen m.b.t. hydraulisch functioneren en module C2300 (Ministerie VROM/RIONED, 1997) meten in relatie tot rioolstelsels. Wanneer de inhoud van deze twee modules naast elkaar gelegd wordt, valt op dat de rol van metingen in relatie tot modelgebruik minimaal is in de Leidraad. Als voorbeeld, in de Leidraad is geen handreiking voor de kalibratie van modellen opgenomen.

Module C2100 beschrijft dat met de resultaten van niet-stationaire berekeningen getoetst kan worden of de aan het rioolstelsel gestelde doelen gehaald worden of dat maatregelen nodig zijn. Zoals blijkt uit het volgende citaat: 'Hydraulisch rekenen is de meetmethode waarmee theoretisch systeemgedrag van rioolstelsels wordt getoetst.' (Ministerie VROM/RIONED, 1995)

In deze module worden defaultwaarden gegeven voor alle stelselonafhankelijke rekenparameters: kenmerken van afvoerende oppervlakken, hydraulische ruwheid van verschillende buismaterialen etc. Voor de default waarden van inloopp parameters worden "veilige waarden" voorgeschreven om een te grote onderschatting van de inloop te voorkomen. De vraag is in hoeverre de defaultwaarden op een juiste wijze de werkelijkheid op een specifieke locatie beschrijven.

C2100 is sterk gericht op beoordeling op basis van rekenresultaten en besteedt slechts summier aandacht aan de rol van metingen in de beoordeling. De Leidraad geeft slechts aan dat in principe een toetsing van de rekenresultaten aan routinematige of doelgerichte

veldwaarnemingen moet plaatsvinden. Een eerste, eenvoudige verificatie van de berekende "water op straat"-locaties is mogelijk aan de hand van klachten en van het functioneren van overstorten aan de hand van overstorttellers en waarnemingen van omwonenden. Om modellen te kunnen kalibreren zijn metingen van optredende neerslaghoeveelheden en debieten en/of waterstanden nodig. Verder is het van belang beschikbare waarnemingen te gebruiken om onjuistheden in de stelselgeometrie en de bepaling van het afvoerend oppervlak te kunnen opsporen.

De toetsing van rekenresultaten aan veldwaarnemingen en de kalibratie van modellen op basis van deze waarnemingen zijn niet bindend voorgeschreven. Dit betekent dat de Leidraad eigenlijk slechts het gebruik van rekenmodellen voorschrijft die in "zwakke zin" gekalibreerd zijn, d.w.z. van de gebruikte vergelijkingen (de De Saint Venant vergelijkingen) is bewezen dat zij de fysica goed genoeg beschrijven om hierop modellen te baseren (Clemens, 2000). Het belang van gekalibreerde modellen in "sterke zin", wat inhoudt dat de parameters in de berekeningen gebaseerd zijn op veldmetingen, wordt door veel auteurs benadrukt (bijv. Price en Catterson, 1997).

Naast Module C2100 is C2300 opgenomen in de Leidraad Riolering. Hoewel C2300 (Ministerie VROM/RIONED, 1997) het meten aan rioolstelsels behandelt, ontbreekt een duidelijke koppeling tussen de beide modules. Als aanleidingen om te meten wordt gesproken over: 1. aantonen of kwantificeren van een probleem in het functioneren van de riolering; 2. toetsen van de effectiviteit van een uitgevoerde maatregel; 3. valideren en/of kalibreren van theoretische rekenmodellen. De metingen die in C2300 beschreven/voorgeschreven worden zijn echter niet direct gericht op modelkalibratie of modeltoetsing.

Meten en modelleren in de voorschriften in ons omringende landen

Ook in de ons omringende landen zijn voorschriften opgesteld die betrekking hebben op modellering van en metingen aan rioolstelsels. In België is dit de Hydronaut procedure, in Duitsland de ATV richtlijnen A118 en A128 en in Groot-Brittannië de Wallingford procedure.

Bij vergelijking van de verschillende voorschriften met de Leidraad valt op dat in onze buurlanden op een aantal punten anders omgegaan wordt met de verhouding tussen meten en modelleren bij de beoordeling van rioolstelsels dan in Nederland. Het is hierbij echter wel belangrijk in het oog te houden dat bij het opstellen van de voorschriften in de verschillende landen ook verschillende uitgangspunten gehanteerd zijn.

Hydronaut Procedure (België)

Sinds enkele jaren wordt in België bij het ontwerp van nieuwe rioolstelsels en de controle van bestaande stelsels gewerkt volgens de voorschriften in de Hydronaut procedure (AquaFin, 1994 en 1997). De procedure die is opgesteld onder verantwoordelijkheid van AquaFin bestaat uit een tweetal lijvige boekwerken.

Bij de beschouwing van de Hydronaut procedure moet in het oog gehouden worden dat de hierin voorgeschreven metingen vooral betrekking hebben op het ontwerp van nieuwe rioolstelsels en bedoeld om te komen tot kwalitatief goed ontwerp. In de praktijk worden de meetvoorschriften ook toegepast bij herberekeningen (hydraulisch screenen van bestaande stelsels).

Het "*Basisdocument*" van de Hydronaut procedure (AquaFin, 1997a) bevat een duidelijk omschreven methodiek voor de inventarisatie van alle gegevens over knopen en strengen die tevens op hun kwaliteit gecontroleerd dienen te worden. De opmetingen dienen te worden uitgevoerd volgens de specificaties van het document "Rioolopmetingen" (AquaFin, 1994). Wanneer uit opmetingen blijkt dat eerder gemaakte aannames in de modellering niet langer correct zijn, moeten deze interactief aangepast worden.

In de procedure is een apart technisch randdocument opgenomen over een "*Goede modelleringspraktijk*" (AquaFin, 1997b). De toetsing van het model van het stelsel aan de werkelijkheid kan op verschillende manieren gebeuren. Zo kan men zich op het meest elementaire niveau beperken tot het kunnen reproduceren van bekende knelpunten

(overstromingen, vaak optredende overstortingen). Dit wordt historische dataverificatie genoemd. Een meer gedetailleerde toetsing kan erin bestaan om berekeningen van het model, op basis van ter plaatse geregistreerde neerslagintensiteiten, te vergelijken met in het rioolstelsel geregistreerde waterhoogten, stroomsnelheden of debieten. Dit is de actuele dataverificatie.

Voor actuele dataverificatie wordt voorgeschreven dat onder toezicht van Aquafin gedurende een korte periode (5-9 weken) continue metingen uitgevoerd worden van neerslag, waterhoogten en stroomsnelheden (debieten). Deze korte meetperiode blijkt al een schat aan bruikbare hydraulische informatie op te leveren. De keuze van locaties voor meettoestellen wordt in de procedure duidelijk aangegeven. Met geregistreerde neerslagintensiteiten dienen simulaties uitgevoerd te worden. Deze resultaten (waterhoogten, stroomsnelheden, debieten) worden vervolgens vergeleken met de geregistreerde waarden. De actuele dataverificatie richt zich vooral op controle van hydrologische parameters (verhard oppervlak, neerslagafvoercharacteristieken) en correcte modellering van hydraulische structuren.

Historische dataverificatie vormt een aanvulling op actuele verificatie. Aangezien het niet waarschijnlijk is dat tijdens de korte voorgeschreven meetperiode voldoende gevarieerde neerslagen voorkomen wordt dit als extra controle voorgeschreven. Dit gebeurt m.b.v. een composietbui met een herhalingsstijd van 2 jaar. De bedoeling hiervan is de simulatieresultaten te vergelijken met bekende overstromingen. Tijdens historische verificatie mag in principe niets meer veranderd worden aan modelparameters.

Over de beoordeling van de resultaten van modelverificaties wordt in de Hydronaut procedure het volgende gezegd. De basisgegevens (verhard oppervlak, neerslagafvoerprocessen) bevatten bij de beste bepalingsmethoden nog een fout van 10%. Door onzekerheid in geografische spreiding van neerslag neemt de foutenmarge van modelresultaten verder nog toe naar tenminste 10-20%. Dit heeft tot gevolg dat bij dataverificatie vooral rekening gehouden moet worden met de reproductie van de belangrijkste hydraulische tendensen (o.a. piekdebieten). De actuele dataverificatie wordt goed bevonden als de overeenstemming tussen meetgegevens en modelresultaten voldoende is. Historische verificatie is aanvaardbaar als bekende overstromingslocaties door het model worden bevestigd.

Aquafin schrijft het gebruik van het niet-stationaire stromingsprogramma Hydroworks voor om rioolstelsels door te rekenen. De rapportage over rioolverbeteringsprojecten is gestandaardiseerd, voornamelijk in de vorm van een weergave van de resultaten in tabelvorm.

In het randdocument "*Rioolopmetingen*" (Aquafin, 1994) geeft de procedure voor zeer uiteenlopende constructies in een rioolstelsel de manier van opmeten van grootheden aan. De voorgeschreven metingen zijn bedoeld voor kalibratie van modellen en toetsing van modelresultaten. Eisen aan de metingen worden in detail beschreven. Bovendien worden de meetinstrumenten besproken die door Aquafin gebruikt worden, wordt de verwerking van data behandeld (o.a. selectie van significante neerslagperiodes) en wordt beschreven hoe de kwaliteit van meetresultaten bepaald kan worden (o.a. falen van meetapparatuur en betrouwbaarheid van metingen).

ATV A 118 en A128 (Duitsland)

In de Duitse praktijk zijn twee richtlijnen van de Abwassertechnische Vereinigung (ATV) in omloop die van belang zijn voor de hier uitgevoerde vergelijking, namelijk ATV Arbeitsblatt A118 (Abwassertechnische Vereinigung, 1984) en Arbeitsblatt A128 (Abwassertechnische Vereinigung, 1983). Richtlijnen voor de hydraulische berekening van riolen staan in A118, richtlijnen voor het ontwerp en de realisatie van randvoorzieningen in A128. Van A128 is in 1992 een nieuwe versie verschenen. Deze was voor de vergelijking niet voorhanden.

Bij bestudering van de beide richtlijnen is het van belang om te beseffen dat de Duitse situatie m.b.t. adviesbureaus verschilt van de Nederlandse. In Duitsland is een groot aantal kleine bureaus dat voor zijn opdrachtgevers zeer uiteenlopende projecten uitvoert. Mede hierom schrijven de richtlijnen tot in details de berekenings- en ontwerpmethodieken voor.

Arbeitsblatt A128 bevat een zeer gedetailleerde omschrijving van het ontwerp van overstorten en bergingstanks c.q. bergingsriolen. De inhoud van A128 is hiermee zeer praktisch van aard. Het is een ontwerprichtlijn die nauwelijks voorschriften voor metingen -en hiermee toetsing aan het werkelijke stelselgedrag- bevat. Voor het ontwerp wordt veelvuldig gebruik gemaakt van nomogrammen (o.a. voor verliezen over constructies, bochten, e.d.). De nomogrammen zijn geldig onder zekere "standaard omstandigheden". Daarnaast zijn alle benodigde formules tot in detail voorgeschreven. De gedetailleerdheid van ATV A128 gaat zelfs zo ver dat de bouwwijze van de constructies in aantal gevallen voorgeschreven wordt. In berekeningen en tabellen worden voor veel parameters defaultwaarden gebruikt die geen directe relatie hoeven te hebben met locale omstandigheden. Alleen voor de debieten bij droog weer wordt specifiek aangegeven dat metingen i.p.v. standaardwaarden gebruikt kunnen worden als die voorhanden zijn. Aangezien in Duitsland veel "Fremdwasser" in de vorm van overkluisde beken in het rioolstelsel terecht komt, is de afvoer bij dwa sterk locatieafhankelijk.

In 1992 is een nieuwe versie van A 128 verschenen waarin voornamelijk tabellen, nomogrammen en standaardwaarden aangepast zijn aan de nieuwste onderzoeksinzichten. In commentaar op deze nieuwe richtlijn wordt erop gewezen dat nog steeds geen plaats ingeruimd is voor metingen (Mang, 1993). De nieuwe versie van A 128 houdt wel meer rekening met locale verschillen in beïnvloedingsfactoren.

Arbeitsblatt A118 is een gedetailleerde omschrijving over hoe hydraulische berekeningen uit te voeren voor rioolstelsels. Evenals in A128 wordt in A118 aangegeven dat bij de sanering van bestaande stelsels de totale dwa vergeleken kan worden met metingen en indien nodig aangepast (vanwege "Fremdwasser"). A 118 staat evenals A 128 vol nomogrammen en tabellen.

Hoewel in A118 opgeschreven is dat mathematische simulatiemodellen alleen dan waardevol zijn als de resultaten getoetst kunnen worden aan neerslag-afvoer metingen, wordt niet aangegeven hoe dit dient plaats te vinden. Het is niet duidelijk op welke gronden modelparameters aangepast kunnen worden om modelresultaten meer in overeenstemming te brengen met eventueel beschikbare metingen.

Wallingford procedure (Groot Brittannie)

De Wallingford procedure (Working Party on the Hydraulic Design of Storm Sewers, 1983) die in Groot-Brittannië gehanteerd wordt, bestaat uit een combinatie van voorschriften en hieraan gekoppelde berekeningsmethoden. Zowel de procedure als de rekenmodellen zijn ontwikkeld door Wallingford Research. Inmiddels is een recentere versie verschenen, maar voor deze vergelijking was die versie niet voorhanden.

De procedure omvat een viertal rekenmethoden met elk hun specifieke toepassingsgebied: 1. Wallingford Modified Rational Method, 2. Wallingford Hydrograph Method, 3. Wallingford Optimising Method, 4. Wallingford Simulation Method. Van methode 1 naar methode 4 neemt de modelcomplexiteit toe.

De Wallingford procedure bestaat vooral uit formules om gegevens voor de modelberekeningen te bepalen. Als metingen beschikbaar zijn mag het waargenomen neerslagafvoerproces als modelinvoer gebruikt worden. Opvallend is dat de Wallingford procedure minder in detail gaat dan de ATV richtlijnen. Verder wordt in de Wallingford procedure in een aantal gevallen duidelijk aangegeven wat de gevoeligheid van de berekeningsresultaten is. Voor analyse van een groot stroomgebied wordt aangeraden iteratief gebruik te maken van de Modified Rational, de Hydrograph en de Simulation Method.

Ook in de Wallingford procedure is weinig aandacht voor de toetsing van modelresultaten aan praktijkwaarnemingen. In de paragraaf "Field checking of sewer system data" wordt wel vermeldt dat gegevensbestanden over bestaande systemen vaak onvolledig blijken te zijn. Dit levert problemen op bij niet bemeten overstorten: er bestaat geen inzicht in een belangrijk deel van de output van het stelsel. Wanneer de gegevens over overstorten niet in de modellering opgenomen kunnen worden, zullen de resultaten zeker fouten bevatten. Er wordt echter niet aangegeven hoe modellen te kalibreren.

Tot slot wordt naar aanleiding van de Wallingford procedure opgemerkt dat het de vraag is of de procedure in Groot-Brittannië nog wel zo breed toegepast wordt, omdat de eisen die nu voor nieuwe software door gebruikers geformuleerd worden geen duidelijk verband hebben met de voorschriften in de procedure.

Vergelijking met Leidraad Riolering

Aquafin coördineert de inhaalslag in België om alle rioolstelsels te laten voldoen aan de recente eisen van overheid. Hiertoe is de *Hydronaut procedure* opgesteld.

De Hydronaut procedure verschilt van de Leidraad in het feit dat:

- de wijze van modelkalibratie en modelverificatie duidelijk voorgeschreven is;
- het rekenmodel, Hydroworks, voorgeschreven is;
- voor elk rioleringsproject een meetcampagne van 5 tot 9 weken voorgeschreven is;
- de wijze van meten in detail aangegeven wordt.

ATV *Arbeitsblatt A118 en A128* zijn veel meer ontwerprichtlijnen, dan beoordelingsprocedures. De verschillen met de Leidraad zijn minder opvallend dan bij de Hydronaut procedure en bestaan uit:

- een andere omgang met de dwa vanwege het zogenaamde "Fremdwasser";
- een zeer gedetailleerde beschrijving van het ontwerpen, tot en met de uitvoeringswijze vanwege het grote aantal kleine opdrachtnemers met zeer uiteenlopende projecten.

De rol die weggelegd is voor veldwaarnemingen in kalibratie en toetsing verschilt weinig van die in de Leidraad. Er wordt gewezen op het belang van meten, maar niet aangegeven hoe dit geïntegreerd zou kunnen worden in de methodiek.

De verschillen tussen de *Wallingford procedure* en de Leidraad zijn:

- de procedure is een combinatie van berekeningsvoorschriften en hieraan gekoppelde rekenmodellen;
- de keuze uit de vier aangeboden rekenmethoden is afhankelijk van de complexiteit van het probleem;
- de beschrijving van de modellering van het neerslagafvoerproces is gedetailleerd;
- de gevoeligheid van een deel van de ontwerpformules wordt vermeld.

Evenals in de Leidraad en de ATV richtlijnen wordt wel het belang van beschikbaarheid van veldwaarnemingen benadrukt, maar worden geen voorschriften gegeven voor modeltoetsing laat staan voor stelselbeoordeling m.b.v. metingen. Ook de Wallingford procedure verschilt dus weinig van de Leidraad in houding t.a.v. meten en modelleren.

Meten en modelleren op andere vakgebieden

Niet alleen de voorschriften over rioleringstechniek in het buitenland kunnen interessante inzichten opleveren voor de Nederlandse praktijk, maar ook de houding t.a.v. meten en modelleren op andere vakgebieden. Hierbij kunnen de volgende vragen gesteld worden: Doet men het op andere vakgebieden anders? Waarom gebeurt het daar anders? Kunnen wij hier wat van leren?

Om niet te ver van huis te raken is voor deze bijdrage aan de Vakantiecursus te rade gegaan bij vakgebieden die nog iets met water te maken hebben. Er is onderzocht hoe omgegaan wordt met de verhouding tussen metingen en modellering bij de voorspelling van golfhoogte en getij, van grondwaterbewegingen en van stoftransport in rivieren.

Voorspelling golfhoogte en getij

De Stormvloedwaarschuwingdienst, SVSD, van Rijkswaterstaat maakt in nauwe samenwerking met het KNMI voorspellingen van de waterstanden op de Noordzee. Onnauwkeurige voorspellingen kunnen zeer vervelende gevolgen hebben o.a. voor het wel of niet op tijd sluiten van stormvloedkeringen.

Voor de waterstandvoorspelling is naast het getij een weersverwachting nodig. Deze weersverwachting en vooral de windverwachting maakt het KNMI met een atmosfeermodel (HIRLAM) dat vier keer per dag een verwachting maakt van dertig uur vooruit. Vervolgens kan de waterbeweging in de Noordzee ook dertig uur vooruit voorspeld worden aan de hand van de voorspelde wind- en drukvelden. De weervoorspellingen worden ingevoerd in een numeriek waterbewegingsmodel, het *Continental Shelf Model* (CSM) van Rijkswaterstaat. Tussentijdse bijstelling van de verwachtingen kan plaatsvinden aan de hand van inmiddels gemeten waterstanden. (De Ronde e.a., 19--)

Aan het waterbewegingsmodel is een "*Data-Assimilatiemodel*" gekoppeld, dat met technieken uit de statistiek (een zogenaamd "Kalman filter") systematische verbanden die binnen een of meerdere waterstandsreeksen bestaan opspoorst en modelleert. Het "*Data-Assimilatiemodel*" gebruikt de meest recente waterstandsgegevens van Nederlandse en Engelse peilmeetstations en vergelijkt deze met de door het waterbewegingsmodel berekende waterstanden. In het algemeen zullen deze niet gelijk zijn. Op basis van de data-assimilatie wordt het waterbewegingsmodel aan de gewijzigde omstandigheden aangepast. Met dit aangepaste model kan vervolgens een nieuwe en betere voorspelling gemaakt worden van de waterstanden. (De Ronde e.a., 19--)

De meest cruciale fase in de ontwikkeling van dit hydrodynamische model is de kalibratie. De initiële kalibratie van het CSM is handmatig uitgevoerd: een "trial and error" benadering die veel tijd en inspanning vergt. (Mouthaan e.a., 1994)

Om op een juiste manier de Stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg te kunnen bedienen dienen de voorspellingsprestaties van het CSM verbeterd te worden. De oorspronkelijke versie van het CSM maakt voor de on-line data-assimilatie gebruik van de gegevens van negen stations langs de Engelse en Nederlandse kust waar de waterhoogte gemeten wordt. Om de voorspellingen te kunnen verbeteren zijn hoogtemetingen van de ERS-1 satelliet toegevoegd aan de gegevens die gebruikt worden voor de kalibratie van het CSM. De ERS-1 produceert veel waardevolle meetinformatie. Echter, de metingen zijn meestal net niet op de goede plaats of net niet op de goede tijd beschikbaar. Slechts door metingen te combineren met modellen kan de meetinformatie bruikbaar gemaakt worden. (Heemink, 1991) Na assimilatie van alleen de satellietgegevens gaf het aangepaste CSM verbeterde voorspellingen langs de baan van de ERS-1 satelliet, maar presteerde slechter voor de kustzone. Na assimilatie ("kalibratie") van zowel de ERS-1 data als de conventionele metingen van kuststations presteerde het CSM zowel aan de kust als langs de ERS-1 banen beter dan voorheen. Op basis van nieuwe gegevens wordt het CSM nog steeds geactualiseerd.

Voorspelling grondwaterbeweging

In 1996 is door de Nederlandse Hydrologische Vereniging een bijeenkomst gehouden over modelkalibratie. In de bundel die naar aanleiding hiervan verschenen is, geeft een aantal auteurs uit de geohydrologische wereld zijn visie op de verhouding tussen meten en modelleren binnen dit vakgebied. Een tweetal bijdragen in deze bundel biedt duidelijke aanknopingspunten voor de vraagstelling van deze bijdrage aan de Vakantiecursus.

Van Walsum en Veldhuizen (1997) beschrijven een casestudie voor het Fochteloërveen waarin op systematische wijze metingen en een modellering van het grondwatersysteem gecombineerd zijn. Zij beschrijven dat voorafgaand aan de modellering gedurende 1½ jaar een meetprogramma uitgevoerd is. Vervolgens is een geïntegreerd model van vegetatie-atmosfeer-interacties, en van bodem-, grond- en oppervlaktewaterprocessen, SIMGRO, voor het studiegebied geïmplementeerd. Hierbij is enerzijds gebruik gemaakt van directe informatie over gebiedskenmerken, zoals hoogtegegevens en anderzijds van afgeleide informatie over diezelfde gebiedskenmerken, zoals gemeten afvoeren en grondwaterstanden (voor kalibratie en toetsing van het model).

Het model is als volgt gekalibreerd: 1. aanpassingen op grond van kwalitatieve conclusies uit het veldonderzoek, 2. aanpassingen op grond van gevoeligheidsanalyse, 3. aanpassingen van parameters op grond van restfouten en andere bronnen. Uit de systematische gevoeligheidsanalyse bleek hoe belangrijk het is om behalve over stijghoogte

informatie ook over afvoerinformatie te beschikken. Zonder die afvoerinformatie zou het model per definitie niet te kalibreren zijn geweest.

In deze modelstudie zijn de mogelijkheden die modellen en metingen bieden zo goed mogelijk benut. In een andere bijdrage wordt vermeld dat er bij de praktijk van het modelleren een groot aantal keuzen en vooronderstellingen moet worden gedaan die niet of nauwelijks zijn te controleren, vooral als het aantal metingen klein is in verhouding tot de (vaak grote) complexiteit van het model (veel parameters en 'harde' randvoorwaarden). (Hemker, 1997) De modelbetrouwbaarheid neemt bij weinig metingen extreem af.

Voorspelling stoftransport in rivieren

Het Rijn-alarmmodel (Van Mazijk, 1996) is ontwikkeld -en nog steeds in ontwikkeling- als hulpmiddel bij signalering van calamiteiten op de Rijn om de drinkwaterbedrijven die Rijnwater voor hun productie benutten in staat te stellen adequaat hierop te reageren. Het model is een eendimensionaal transportmodel voor opgeloste stoffen, gebaseerd op de analytische oplossing van de convectie-diffusie vergelijking voor een momentane puntlozing volgens Taylor. De te kalibreren modelparameters zijn een longitudinale dispersiecoëfficiënt en een stoftransportcoëfficiënt. De waarde van de stoftransportcoëfficiënt blijkt hoofdzakelijk bepaald te worden door de stofuitwisseling tussen de hoofdstroom en de stagnante zones van de rivier (Van Mazijk, 1996).

In dit model is een duidelijke wisselwerking tussen meting en modellering aanwezig. Als modelinvoer worden o.a. gemeten geometrie en rivierafvoeren gebruikt. Op basis van metingen van stofconcentraties in de rivier (tracer-experimenten) is getracht de waarde van de factor voor de stagnante zones/kribvakken (de zgn. stoftransportcoëfficiënt) te kalibreren. De kalibratie heeft aanleiding gegeven tot aanpassing van de geometrie en de lengte van de riviertrajecten in de modellering; de schematisatie van de hydrologie is aangepast (eerste schematisatie bleek te grof). Bij nadere analyse blijkt de kalibratiefactor m.b.t. stagnante zones afhankelijk te zijn van de optredende afvoersituatie. Daarnaast zijn tracer-experimenten uitgevoerd voor controle/validatie van het model.

Evenals het CSM model is ook het Rijn-alarmmodel nog steeds in ontwikkeling en wordt aangepast aan nieuwe metingen om de modelresultaten meer in overeenstemming te brengen met de werkelijkheid.

Vergelijking met Leidraad Riolerings

Uit het voorafgaande blijkt dat de verbinding tussen meten en modelleren hechter is dan in de rioleringsstechniek. In de aangehaalde voorbeelden is het de normaalste zaak van de wereld dat modellen pas waardevol zijn als er ook metingen aan te pas komen. Immers, elke zee, elke aquifer en elke rivier is anders. Daarom moet voor elk systeem een model op basis van metingen gekalibreerd worden. Daarnaast worden vooral bij de voorspelling van golfhoogtes en getijden de specifieke mogelijkheden van metingen en modellen uitgebuit; metingen worden gebruikt om modelfouten te corrigeren en modelinformatie om metingen weer aan te passen, omdat ook metingen nooit perfect zijn. Uit het voorbeeld over stoftransport kan opgemaakt worden dat kalibratie in sommige gevallen zelfs zo ver gaat dat de schematisatie, het modelconcept, aangepast dient te worden om de resultaten meer op de werkelijkheid te laten lijken. In alle voorbeelden gaat een meetcampagne vooraf aan de modellering van het systeem en wordt het model telkens weer aan nieuwe metingen aangepast.

In het algemeen kan gesteld worden dat het bestuderen van het gedrag van een fysisch verschijnsel mogelijk is door uitsluitend gebruik te maken van meetinformatie. Meten is echter niet voorspellen. Hierbij is een model onmisbaar. Daarnaast geven metingen zelden een volledig beeld van het proces. We kunnen slechts op een beperkt aantal locaties metingen inwinnen en bovendien zijn veel grootheden in het geheel niet te meten. Slechts via het gebruik van modellen kunnen metingen worden aangevuld en kunnen zinvolle conclusies worden getrokken. Echter het incorporeren van metingen in een discreet model is verre van eenvoudig. Dit moet zeer zorgvuldig gebeuren anders raakt het systeem na een

paar correcties volledig van slag en zijn de modelresultaten nog veel slechter dan ze zonder correcties zouden zijn geweest. (vgl. Heemink, 1991)

Kosten en baten van meten

De kosten van meten zijn goed in geld uit te drukken, de baten in veel mindere mate. Bij het opzetten van een meetprogramma van een meetprogramma voor de riolering komen de volgende kosten om de hoek kijken: 1. bouw meetopstelling, 2. regulier onderhoud, 3. vervangingsonderhoud, 4. gegevensverwerking, 5. organisatorische overhead. Op basis van inmiddels uitgevoerde meetprojecten kan een indicatie verkregen worden van de hoogte van de verschillende kostenposten. Als basisinrichting van een meetnet kan gedacht worden aan niveaumeters bij overstorten en op strategisch gekozen punten in het stelsel gecombineerd met voldoende -minimaal twee- regenmeters. Daarnaast zou bij gebleken problemen eveneens de kwaliteit van overstortwater bepaald kunnen worden. De meerkosten als gevolg van de bemonstering en analyse van overstortwater zijn per overstort een orde van grootte hoger dan de basis metingen.

De baten die verbonden zijn aan het meten aan rioolstelsels zijn veel minder gemakkelijk in geld uit te drukken. Bij baten moet gedacht worden aan: 1. voorbeeldfunctie van de overheid t.a.v. meetverplichting bij lozingen, 2. signalering van probleemlocaties en probleemperiodes m.b.t. oppervlaktewaterkwaliteit, 3. kalibratie van rekenmodellen, 4. toetsing van effectiviteit van uitgevoerd beleid, 5. operationeel beheer van rioolstelsels (RTC), 6. zekerheidsstelling c.q. risicoindexering in geval van aansprakelijkheid voor overlast, 7. planvorming t.a.v. riolering, 8. voorkoming van desinvesteringen. Voor kwantificering van de genoemde baten is nog verder onderzoek nodig. Tot slot is er vanuit wetenschappelijk oogpunt interesse in gericht meten aan rioolstelsels om nog openstaande vragen te kunnen beantwoorden, bijvoorbeeld: De vergelijking tussen verschillende stelseltypen (bijv. hydraulisch functioneren en vuilemissie). De invloed van beheermaatregelen op het functioneren van rioolstelsels. Verschillen in functioneren van rioolstelsels in te onderscheiden gebieden in Nederland.

Het resultaat van meten aan rioolstelsels: kostbaar voor de praktijk

Over de rol van metingen in de huidige beoordeling van rioolstelsels in Nederland kunnen we kort zijn, die is minimaal. Verschillende auteurs wijzen erop dat we bij planningsactiviteiten waarbij voorspelling onontbeerlijk is niet zonder modellen kunnen, maar dat modellen zonder metingen weinig waarde hebben (bijv. Heemink, 1991, Price en Caterson, 1997).

Vaak wordt bij meten slechts gewezen op de kosten die ermee samenhangen en is er weinig aandacht voor de baten. Echter, hoewel de meeste baten niet direct in geld uitgedrukt kunnen worden, zijn ze wel aanwezig en in een aantal gevallen zeer groot.

Het lijkt verstandig om te overwegen hoe we in de rioleringstechniek een grotere plaats voor metingen bij de beoordeling van stelsels kunnen inruimen. Om ideeën hiervoor op te doen kunnen we te rade gaan bij de voorschriften in onze buurlanden en bij de praktijk op andere vakgebieden. Uit deze bijdrage aan de Vakantiecursus komt naar voren dat vooral de Hydronaut procedure uit België en de modelleringspraktijk op het gebied van golf- en getijvoorspellingen hiervoor aanknopingspunten bieden.

De conclusie is dat we voor een meer gefundeerde beoordeling van rioolstelsels meer gebruik zouden moeten maken van metingen en dus de beoordelingsgrondslag anders zouden moeten vormgeven. Maar hoe anders, daar moeten we het nog eens over hebben. Meten kost geld, maar de resultaten ervan zijn zeker kostbaar voor het vakgebied.

Literatuur

Abwassertechnische Vereinigung (1984). Arbeitsblatt A 118 Richtlinien für die hydraulische Berechnung von Schmutz-, Regen- und Mischwasserkänen. St. Augustin: GFA

Abwassertechnische Vereinigung (1983). Arbeitsblatt A 128 Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkänen. St. Augustin: GFA

Aquafin (1994). Hydronaut Procedure. Versie 4.0. Opmetingen – Richtlijnen continue debietmetingen. Aartselaar: Aquafin

Aquafin (1997a). Hydronaut Procedure. Versie 4.0. Basisdocument. Aartselaar: Aquafin

Aquafin (1997b). Hydronaut Procedure. Versie 4.0. Modelling – Goede modelleringspraktijk. Aartselaar: Aquafin

Clemens F.H.L.R. (2000). Mathematical parameter optimisation for hydrodynamic models in urban drainage: 1, methods and artificial examples. To be published in: Urban Water.

Heemink A.W. (1991). Rekenen met onzekerheid. Inaugurele rede. Delft: TU Delft

Hemker C.J. (1997). De betrouwbaarheid van parameters bij automatische kalibratie. In: Modelkalibratie: Het automatisch ijken van grondwatermodellen. NHV-special nr. 2. Utrecht: NHV. p 39-51

Mang J. (1993) Vergleich der Bemessungsverfahren nach dem alten und neuen ATV-Arbeitsblatt A 128. Korrespondenz Abwasser Vol 40 No 7. p 1124-1130

Mazijk A. van (1996). One-dimensional approach of transport phenomena of dissolved matter in rivers. Proefschrift. Delft: TU Delft

Ministerie van VROM/RIONED (1995) Leidraad Riolerings. C2100. Alphen a/d Rijn: Samsom H.D. Tjenk Willink

Ministerie van VROM/RIONED (1997) Leidraad Riolerings. C2300. Alphen a/d Rijn: Samsom H.D. Tjenk Willink

Mouthaan E.E.A., A.W. Heemink en K.B. Robaczewska (1994). Assimilation of ERS-1 altimeter data in a tidal modal of the continental shelf. Deutsche Hydrografische Zeitschrift Vol 46 No 4. p 285-319

Price R.K. en G.J. Catterson (1997). Monitoring and modelling in urban drainage. Water Science and Technology Vol 36 No 8-9. p 283-287

Ronde J.G. de, L.P.M. de Vrees en M.E. Philippart (19--). De verwachte stormvloedstanden zijn Den Haag: Rijkswaterstaat/RIKZ

Walsum P.E.V. van en A.A. Veldhuizen (1997). Gestructureerde kalibratie van een geïntegreerd model (SIMGRO): praktijkvoorbeeld (Fochteloërveen en omgeving). In: Modelkalibratie: Het automatisch ijken van grondwatermodellen. NHV-special nr. 2. Utrecht: NHV. p 101-115

Working Party on the Hydraulic Design of Storm Sewers (1983). Design and analysis of urban drainage: The Wallingford Procedure. Vol 1: Principles, methods and practice. Department of environment, National Water Council, Standing Technical Committee Reports. Wallingford: Hydraulics Research

REKENMODELLEN TEN BEHOEVE VAN RIOLERING; EEN STEEDS TERUGKEREND THEMA

*Ir. F. Clemens
Witteveen + Bos,
Postbus 233, 7400 AE Deventer*

Inleiding

In principe is elke berekening die wordt gemaakt met als doel een technisch probleem op te lossen een vorm van modelgebruik; een model is niets anders dan een beschrijving van een werkelijkheid in termen die toegankelijk zijn voor de gebruiker. De juistheid van de rekenkundige bewerkingen is redelijk goed op voorhand na te gaan. De juistheid van de gebruikte rekenwijze (het model) wordt vaak pas, tot schade en schande, achteraf duidelijk. Dit soms tot ontsteltenis van de rekenaar ('We hadden het toch met de computer uitgerekend !!'). Nu is het blinde geloof in computerberekeningen wel wat getemperd, desondanks blijft het geloof in modeluitkomsten soms verbijsterend hoog, deels is dat een geloof tegen beter weten in. Dit heeft vooral te maken met het feit dat er voor het inzichtelijk maken van het hydraulisch functioneren of het kwantificeren van de vuilemissie van een rioolstelsel vaak geen ander snel en goedkoop middel voorhanden is.

De ontwikkeling van rekenmodellen in de afgelopen 15 jaar heeft globaal het volgende verloop gehad:

De eerste hydrodynamische rekenmodellen worden begin jaren '80, na een ontwikkelingstraject voor uitsluitend wetenschappelijk gebruik, commercieel verkrijgbaar en worden toegepast door ontwerpers. Dit maakt 'de afdeling riolering' bij veel computerbeheerders niet populair. Een enorm beslag op rekenkracht en opslagcapaciteit is hiervan de oorzaak.

Medio jaren '80 wordt de roep om modellen waarmee de 'vuiluitstoot' van met name gemengde stelsels kan worden bepaald steeds sterker. Het wetenschappelijk onderzoek naar de onderliggende processen staat nog in de kinderschoenen. Desondanks wordt er op grote schaal gesleuteld aan vuiluitworpmoedellen, die met hun adembenemende nauwkeurigheden ('34,17 kg BZV vuilemissie uit de overstort aan de Irenelaan') gretig aftrek vinden bij naar 'harde' cijfers hongerende beheerders. Een door de Werkgroep Riolering West-Nederland geëntameerd en door de LU Wageningen uitgevoerd vergelijkend onderzoek maakt hieraan een abrupt einde.

Inmiddels wordt het project 'Standaardberekeningen' opgestart; de diversiteit aan modellen, formaten voor in- en uitvoerbestanden heeft tot een 'warboel' geleid waarin alleen ingewijden nog de weg kennen. Het project heeft tot doel orde in deze chaos te scheppen en de berekeningswijze en de daartoe gehanteerde modellen voor alle betrokkenen transparanter te maken. Ondanks het feit dat de mogelijkheden en de capaciteit van computers (inmiddels is massaal overgestapt op PC's) gigantisch zijn toegenomen blijft 'de afdeling riolering' de nachtmerrie van de systeembeheerder. Met name de reeksberekening voor grote stelsels gaat langs de randen van de praktische mogelijkheden. Eind 1995 wordt de leidraadmodule C2100 geïntroduceerd, na 4 jaar operationeel te zijn mag worden geconcludeerd dat het project 'standaardberekeningen' aan haar doelstellingen heft voldaan.

Deels als gevolg van de standaardisering is een andere beweging waarneembaar, waar in eerste instantie vooral werd gewerkt met in eigen beheer gebouwde software wordt tegenwoordig door bijna iedereen gewerkt met commercieel verkrijgbare software. Dit heeft voor- en nadelen; de commerciële software is vaak robuuster en voorzien van een gelikte userinterface zodat vrijwel iedereen in staat is om betrouwbaar ogende rekenresultaten aan de computer te onttrekken. Nadeel is echter dat de modelgebruiker vaak geen diepgaand inzicht heeft in wat zich achter die userinterface afspeelt en daarmee de toepassingsgrenzen van het gebruikte model niet kent.

Ook de vraagstelling waarvoor modellen worden ingezet wordt steeds scherper, in het kader van herontwerp van bestaande rioolstelsels moet b.v. de inundatie die op een bepaalde locatie optreedt worden verholpen. Tevens is een gedetailleerd inzicht noodzakelijk in het 'overstortgedrag' van een rioolstelsel voor het formuleren van maatregelen ter reductie van emissie naar oppervlaktewater. Zowel inundaties als overstortingen zijn betrekkelijk zeldzaam en kortdurend. Dit impliceert dat het gehanteerde model voldoende nauwkeurig en betrouwbaar moet zijn om hiervoor te worden gebruikt. Bij gebruik van zogenaamde knoopstreng modellen stelt dit zeer hoge eisen aan de kwaliteit van de database die gebruikt wordt. In bepaalde gevallen kan het ontbreken van een enkele leiding, of de invoer van een foutieve afmeting de rekenresultaten (onopgemerkt) belangrijk beïnvloeden.

Overigens is in het hele hiervoor beschreven traject het steeds zo dat het 'model' als enige toetsingskader wordt gebruikt voor het functioneren van rioolstelsels. Recent is door een aantal onderzoeksinstituten het 'Handboek Good Modelling Practice' (WL et al (1999)) uitgegeven waarin de klassieke sequentie van activiteiten bij modellengebruik nog eens is aangegeven:

- Beschrijf het probleem (doel, eisen en randvoorwaarden);
- Kies een model.
- Analyseer het model (calibratie, verificatie, bepaling geldigheidsgebied);
- Voer berekeningen uit;
- Interpreteer de resultaten;
- Rapportage.

Een aantal stappen wordt in de rioleringspraktijk niet (volledig) gezet; deels uit gebrek aan budget, deels uit onwetendheid en voor wat de calibratie en verificatie betreft uit gebrek aan meetgegevens¹ en onbekendheid met de technieken die gehanteerd worden bij de calibratie van een model. Toch is in andere vakgebieden ruime ervaring met de gevaren die kleven aan het gebruik van niet-gecalibreerde modellen, in 'rioleringsland' is dit besef nog onvoldoende doorgedrongen. In zijn algemeenheid kan worden geconstateerd dat de huidige generatie rekenmodellen t.b.v. riolering de volwassenheid heeft bereikt, het gebruik van deze modellen echter, is nog in de puberteitsfase.

Er is wel degelijk een duidelijke positieve ontwikkeling te bespeuren in de kwaliteit van de gebruikte modellen en de kwalificaties kan de mensen die ermee werken. De voor ons liggende vragen zullen echter nog hogere eisen aan beiden stellen.

Ontwikkelingen

De eindconclusie van de inleiding is een uitgangspunt om eens verder te kijken wat de komende jaren kan worden verwacht van modelleurs, modellen, hun gebruikers en van het type vragen die met modellen beantwoord kunnen worden.

Modelleurs

Waar in het recente verleden een of enkele enthousiaste mensen de gehele modellering verzorgden, wordt het vak (of ambacht) van modelleur meer en meer ingevuld door een team van specialisten. De toegenomen complexiteit van de gemodelleerde processen, de gebruikte numerieke technieken en het professionaliseren van de informatica vragen om een team waarin al deze specialismen afzonderlijk worden ingevuld. In principe leidt dit tot een beter product, echter het 'overall' beeld dat vroeger bij een of enkele personen aanwezig was dreigt, zonder speciale aandacht hiervoor, te verdwijnen.

¹ Voor wat meten aan riolering betreft wordt verwezen naar de bijdrage van Hans Korving aan deze cursus.

Modellen

De huidige generatie modellen is gebaseerd op fysische uitgangspunten (behoud van impuls en massa) en op een gedetailleerde beschrijving van de structuur en de geometrie van het te modelleren rioolstelsel. Naast het bezwaar van de rekentijden en de aanslag die wordt gepleegd op opslagcapaciteit, vormt het verkrijgen van een voldoende betrouwbare database waarin de structuur van het rioolstelsel is vastgelegd een groot praktisch probleem. Bij adviesbureaus en gemeenten wordt nog steeds te veel tijd van hooggekwadificeerd personeel ge- c.q. misbruikt om dergelijke databases (bijna) foutloos te krijgen. Onder meer dit aspect heeft geleid tot onderzoek naar andersoortige modellen die minder last van deze bezwaren hebben. In dit verband wordt gewezen op recent onderzoek verricht aan de TU Delft (Stigter (1999), Ruan (1999), Korving (1996)) naar de mogelijkheden die zogenaamde 'conceptuele modellen' bieden. Dergelijke modellen gaan niet uit van fysische basiswetten maar gebruiken een (gemeten) impuls-respons karakteristiek van een rioolstelsel als uitgangspunt om een eenvoudige wiskundige relatie af te leiden tussen neerslag en b.v. waterstanden en/of debieten. De rekentijden van dergelijke modellen zijn slechts een fractie van de huidige generatie modellen. Echter, de directe praktische toepassingen zijn vooralsnog beperkt.

Gebruikers

De gebruikers van modellen zijn vaak niet betrokken bij keuzen die gemaakt worden bij de opbouw van een model. Dat houdt in dat zij zeer alert moeten zijn dat binnen de modeltoepassingen niet buiten het mogelijke toepassingsgebied van het model wordt gegaan. Een minimale eis die dan ook aan modelleringssoftware moet worden gesteld is dat er een zeer uitvoerige beschrijving van de (on)mogelijkheden aanwezig is en dat deze ook gelezen wordt. Hierin is een cruciale rol voor de gebruiker weggelegd; hij/zij dient zich vergaand te verdiepen in modellering in het algemeen en in de specifiek gebruikte software in het bijzonder. Terugkoppeling van gebruikservaringen naar de maker van de software is noodzaak om tot verbetering van het product te komen.

Optimalisering

Momenteel is er veel interesse in optimalisering; optimalisatie van het afvalwatersysteem, optimalisering van model inzet etc. Bij dit optimaliseren worden als regel rekenmodellen gebruikt waarmee diverse scenario's worden doorgerekend.

Laten we eens zien wat het optimaliseringvraagstuk inhoudt voor de eisen die we stellen aan rekenmodellen, waarbij de discussie beperkt blijft tot hydrodynamische modellen t.b.v. riolering. De analyse die hierna gemaakt wordt is niet wezenlijk anders voor modellen van b.v. een AWZI of een oppervlaktewaterstroom.

De vraagstelling voor een afvalwatersysteem optimalisatie is kort samengevat deze:

'Hoe kan met minimale inzet van middelen (kapitaal) binnen de gestelde randvoorwaarden een afvalwatersysteem worden gebouwd, of in bestaande gevallen, worden aangepast.'

In de huidige praktijk wordt vaak als volgt te werk gegaan: op basis van 'experts judgement' en praktische overwegingen t.a.v. inpasbaarheid van mogelijke maatregelen, wordt een beperkt aantal scenario's doorgerekend. Dat scenario dat tegen de laagste kosten realiseerbaar is wordt aangemerkt als 'de optimale' oplossing.

Nu is 'optimaal' een hol begrip zonder een exacte definitie. In elk geval moet het vraagstuk zo worden gedefinieerd dat het toegankelijk wordt voor een wiskundige benadering. Dit kan worden gedaan door een doelfunctie op te stellen die, in termen van de te optimaliseren grootte, voor elke mogelijke oplossing een kentel geeft waaraan we het functioneren van de voorgesteld oplossing kunnen afmeten. De opgave luidt dan bijvoorbeeld:

$$\min(S|rand) = f_{rioolstelsel} * \left| V_{norm}^{totaal} - \sum_{i=1}^{i=n} V_i^{overstort} \right| + f_{AWZI} + f_{persleiding}$$

Waarin:

Rand	De set randvoorwaarden die worden opgelegd, bijvoorbeeld 'de basisinspanning' voor het rioolstelsel in termen van toelaatbaar overstortend volume en de eisen gesteld aan het effluent van de AWZI.
$f_{rioolstelsel}$	De jaarlijkse kosten (kapitaalslasten en operationele kosten) van het rioolstelsel.
f_{AWZI}	De jaarlijkse kosten noodzakelijk voor de AWZI.
$f_{persleiding}$	De jaarlijkse kosten voor het stelsel van gemalen en persleidingen.

Het betreft hier een vrij eenvoudig geval: een rioolstelsel dat via een enkelvoudige persleiding loost op een AWZI. Aan de formulering van de doelfunctie is meteen te zien dat de oplossing uiteindelijk in sterke mate zal afhangen van de gehanteerde kosten voor de verschillende onderdelen en van de gestelde randvoorwaarden die in het voorbeeld sterk afhangen van gehanteerde normen t.a.v. riolering en AWZI. Als regel hebben zowel riolering als zuivering een langere levensduur dan de bij het ontwerp heersende kostenkanten en gehanteerde normen. Een 'optimaal' ontwerp van nu, is na bijvoorbeeld 10 jaar om deze reden al lang niet meer optimaal. Het is dan dus verstandig om een ontwerp te kiezen dat zo ongevoelig mogelijk is voor wijzigende randvoorwaarden. Dit even terzijde, als we de te optimaliseren functie bestuderen dan kunnen we besluiten dat deze afhankelijk is van een aantal (ontwerp)parameters:

- De structuur en geometrie van het rioolstelsel;
- Het ontwerp van de zuivering;
- Pompcapaciteit, diameter en lengte van de persleiding.

Daarnaast is de doelfunctie afhankelijk van de heersende, of voorzienbare, kostenkanten voor bouw en operationele kosten.

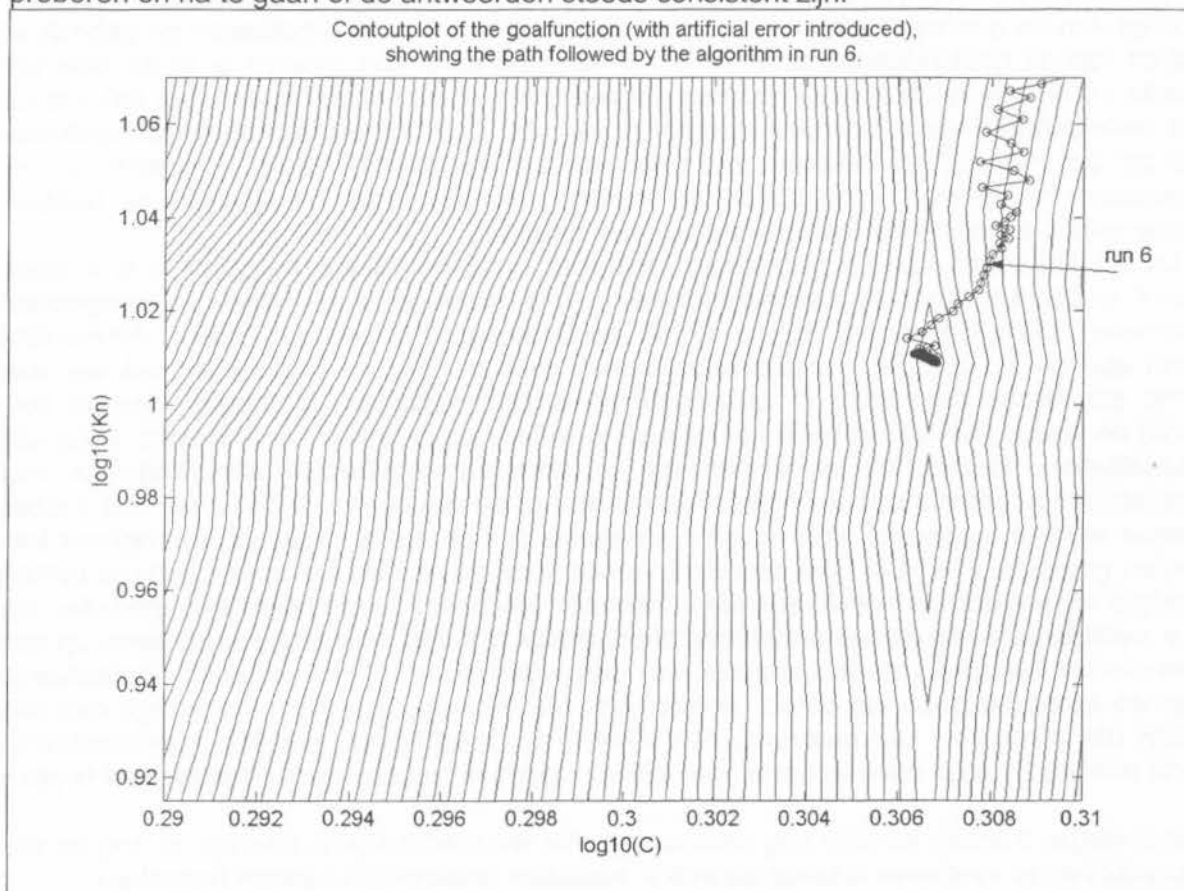
De structuur en de geometrie van het rioolstelsel kan worden samengevat onder de noemer 'berging' (hetgeen een zeer vergaande vereenvoudiging is!), de kosten van de AWZI, gemalen en persleiding zijn terug brengen tot een functie van de maximale hydraulische belasting. Hiermee houden we een doelfunctie over die slechts door twee variabelen wordt beïnvloed: de berging van het rioolstelsel en de te installeren pompcapaciteit. Om het optimum te bepalen (dus de laagste jaarlijkse kosten) kan een aantal strategieën worden toegepast:

- Gewoon heel veel combinaties uitproberen op een fijne partitie van de zoekruimte;
- Monte Carlo simulatie;
- Een computer algoritme dat automatisch het minimum zoekt, b.v. de Nelder-Mead algoritme (Nelder & Mead (1965)) of de Levenberg-Marquart methode (Marquart (1963));
- Een genetisch algoritme;
- Combinaties van diverse mogelijkheden.

De eerste optie is de minst intelligente, vooral als men het pad bewandelt van een reeks berekening; dit kost zelfs met de huidige generatie modellen en computer enorm veel rekentijd. Voor de Monte Carlo simulaties is bewezen (zie Gerschenfeld, (1999) en Olsthoorn (1998)) dat bij meer dan circa 4 parameters de methode met uiterst kleine waarschijnlijkheid leidt tot het juiste antwoord, het gebruik van deze methode moet dus worden ontraden.

Een uitgebreide uiteenzetting over minimalisatie algoritmen is te vinden in Press et al(1992), grosso modo zijn al deze algoritmen te kenmerken als methoden waarmee op een gestructureerde wijze efficiënt een minimum van de doelfunctie wordt gevonden. Hier is met nadruk 'een minimum' gezegd; vrijwel alle algoritmen vinden alleen het minimum dat in de omgeving de initiële schatting ligt.

Deze initiële schatting moet door de modelleur worden aangegeven. Kortom, om enige zekerheid te hebben dat men niet in een lokaal minimum (een suboptimalisatie, zie figuur 1) terecht is gekomen kan alleen worden verkregen door een aantal initiële schattingen uit te proberen en na te gaan of de antwoorden steeds consistent zijn.



Figuur 1: Voorbeeld van een doelfunctie in twee variabelen (i.c. de wandruwheid en een overstortcoëfficiënt) met twee lokale minima. In de figuur is tevens het pad getoond dat is gevolgd door een gradientzoekmethode

Genetische algoritmen vinden in andere vakgebieden steeds meer toepassing, variërend van het ontwerp van nokkenassen in verbrandingmotoren tot het ontwerp van vliegtuigvleugelprofielen (zie voor een 'state of the art' beschrijving Quagliarella et al (1998)). Met dergelijke algoritmen zijn complexe optimalisatievraagstukken redelijk aan te pakken. Het grootste voordeel is dat een meer globaal beeld van de gehele parameterruimte wordt verkregen; m.a.w. het bestaan van lokale minima wordt zichtbaar gemaakt. Eventueel kan men aan de hand van de resultaten van een genetisch algoritme de startvector kiezen voor een meer exacte bepaling van de optimale oplossing met behulp van een op gradientzoekmethoden gebaseerde minimalisatie.

Het gekozen voorbeeld (een rioolstelsel, een persleiding en een AWZI) is wel erg eenvoudig, in de praktijk heeft men vaak te maken met een stuk of 10 kernen die via een systeem van persleidingen lozen op een centrale AWZI, de doelfunctie heeft in dat geval enkele tientallen vrijheidsgraden (ontwerpparameters). In een dergelijk geval is intuïtief al duidelijk dat men met het doorrekenen van slechts enkele scenario's waarschijnlijk niet het optimum zal vinden, toch is dit de huidige praktijk. Het is hierbij niet ondenkbaar dat men, zonder het zelf te beseffen, is een suboptimum terecht komt. De aanwezigheid van dergelijke suboptima is zeer waarschijnlijk, omdat binnen een complex systeem van rioolstelsels, persleidingen en AWZI altijd wel een of enkele deelsystemen zijn aan te wijzen die elk op zich een eigen optimum kennen dat bekeken in een groter geheel tezamen niet leiden tot het overall optimum.

Welke methode men ook kiest, optimalisatie blijft een enorme rekeninspanning vergen. Ter indicatie: voor zowel een genetisch algoritme als voor de gradiëntmethoden voor het minimaliseren van een doelfunctie zijn al snel enkele honderden tot duizenden functie evaluaties (=modelruns) noodzakelijk. Hierbij wordt opgemerkt dat de feitelijke rekentijd sterk afhangt van de gekozen belasting; indien men bijvoorbeeld wil optimaliseren en gebruik wil maken van de gestandaardiseerde 10 jarige neerslagreeks dan moeten er in de orde van grootte 1000 reeks berekeningen worden gemaakt. Als wordt vastgehouden aan het gebruik van reeks berekeningen voor het beoordelen van het functioneren van afvalwatersystemen dan zal de snelheid van rekenen met ongeveer een factor 100 tot 1000 moeten worden opgevoerd om binnen acceptabele rekentijden (enkele dagen) resultaten te hebben. Momenteel is dit zelfs voor kleine systemen niet mogelijk.

De bruikbaarheid van de genoemde methoden in optimalisatievraagstukken is evident, recent onderzoek naar de toepasbaarheid in b.v. modelcalibratie heeft dit aangetoond (Clemens (2000), Clemens & Reydon (2000) en Boomgaard & Clemens (2000)). Momenteel wordt aan de TU Delft een afstudeeronderzoek gedaan naar de toepasbaarheid van met name genetische algoritmen in afvalwatersysteem optimalisaties. In eerste instantie luidt hierbij de vraag; kan het en heeft het meerwaarde ten opzichte van de 'klassieke' wijze van optimaliseren. Gezien de ervaringen die in andere vakgebieden aanwezig zijn met optimaliseringvraagstukken is er nauwelijks twijfel of de genoemde technieken met succes kunnen worden toegepast, een volgend vraagstuk is hoe e.e.a. praktisch toepasbaar kan worden gemaakt. Hierbij is veel aandacht vereist voor het vinden van methoden die binnen redelijke rekentijden tot resultaat leiden. Hiervoor zal zowel op het punt van modellen als t.a.v. optimalisatie algoritmen onderzoek noodzakelijk zijn. Het uitsluitend speculeren op een fantastische toename van de capaciteit van computers is naïef. Het verleden doortrekkend naar de toekomst geeft als beeld dat een gek (de modelgebruiker) meer vraagt dan tien wijzen (de computer) kan beantwoorden. Ofwel; de beschikbaar gestelde computerkracht wordt uiteindelijk altijd volledig benut, een efficiënt gebruik hiervan dient uitgangspunt te zijn.

Welke vragen kunnen we dan nog verwachten. Als we verder kijken dan zijn er nog tal van vraagstukken te verzinnen waarop we m.b.v. modellen antwoorden kunnen bedenken:

- Optimalisatie t.a.v. milieubelasting;
- Het maken van ontwerpen die tegen minimale inspanning inspelen op snel en sterk wijzigende randvoorwaarden (b.v. operationele kosten, randvoorwaarden, normstellingen);
- Probabilistisch ontwerpen, het gedetailleerd in beeld brengen van de risico's die een ontwerp in zich draagt t.a.v. van inundaties en milieubelasting.

Onderzoek en ontwikkelingen

Om op termijn antwoord te kunnen geven op de te verwachten optimalisatievraagstukken lijkt modelgebruik de geëigende weg. Echter, met de huidige stand van de ontwikkeling is dit (nog) niet goed praktisch mogelijk. De volgende onderzoeken, of onderzoeksrichtingen zullen hierbij uitgevoerd respectievelijk ingezet moeten worden:

- De ontwikkeling van een methode waarmee op een zo efficiënt mogelijke manier meetsystemen kunnen worden ingericht die voldoende informatie geven voor het calibreren van modellen;
- De ontwikkeling van algoritmen waarmee snel en goed optima gevonden kunnen worden. In dit verband is het bijvoorbeeld nuttig eens na te gaan in hoeverre technieken die onder meer in de meteorologie worden toegepast bij model calibratie (toepassing van een zogenaamd 'adjoint model') bruikbaar zijn voor modellen van het afvalwatersysteem;
- Een verdere verfijning van de bestaande modellen die gebaseerd zijn op fysische basiswetten, onder meer stoftransportmodellen;
- Onderzoek naar de meerwaarde die 'conceptuele modellen' kunnen bieden.

Uiteindelijk leiden deze onderzoeken tot betere modellen, snellere software en een beter onderbouwde modellering in het algemeen, dit is noodzakelijk om de steeds gedetailleerde wordende vragen te kunnen beantwoorden.

Een aantal van de genoemde onderzoeksrichtingen is reeds ingezet, een belangrijk aspect hierin is dat er over de grenzen van het vakgebied van de civiele techniek heen gekeken wordt. De inzet van wiskundigen, informatici, deskundigen op het gebied van sensoren etc. is noodzakelijk. Daarnaast kan veel geleerd worden van de wijze waarop optimalisering binnen bijvoorbeeld werktuigbouwkundige en vliegtuigbouwkundige ontwerpprocessen vorm wordt gegeven.

Literatuur

Boomgaard, M.E. & Clemens F.H.L.R. (2000, in voorbereiding) Parameter optimisation for hydrodynamic models in urban drainage using genetic algorithms as an initial optimisation technique.

Clemens F.H.L.R. (2000, in voorbereiding) Mathematical parameter optimisation for hydrodynamic models in urban drainage, 1: Methods and artificial examples.

Clemens F.H.L.R. & Reydon M.J.P. (2000, in voorbereiding) Mathematical parameter optimisation for hydrodynamic models in urban drainage, 2: practical implementation.

Korving, H. (1996) De dynamiek van rioolstelsel. Afstudeerverslag TU Delft.

Gershenfield, N. (1999) The nature of mathematical modeling. Cambridge university press, ISBN 0 521 57095 6.

Marquart D.W. (1963) An algorithm for the least squares estimation of non-linear parameters. Journal of the soc. for industrial and applied mathematics, vol 11, pp. 431.441.

Nelder J.A. & Mead R.L. (1965) A simplex method for function minimisation. Computer journal, vol. 7, pp. 308-313.

Olsthoorn, T.N. (1998) Groundwater modelling: calibration and the use of spreadsheets, Ph.D Thesis, University of Technology Delft, June 1998, ISBN 90-407-1702-8/CIP

Press, W.H, Teukolsky, A.A., Vetterling, W.T. & Flannery B.P. (1992) Numerical recipes in C: The art of scientific computing. 2nd. Edn. New York, NY Cambridge university press.

Quagliarella, D, Periaux, J, Poloni, C and Winter G (1998) Genetic algorithms and Evolution Strategy in Engineering and Computing Science. John Wiley & sons, New York, ISBN 0 471 97710 1

Ruan, M. (1999) Computational modelling of emission from combined sewer overflows. Ph.D thesis Delft University of Technology.

Stigter, L (1999) Meetprogramma Deventer Noord, tijdreeksanalyse en gebiedsdekkende bepaling. Afstudeerverslag TU Delft.

WL Delft Hydraulics, TNO, STOWA, LUW, DLO, RWS-RIZA (1999) Vloeiend modelleren in het waterbeheer. Handboek Good Modelling Practice. STOWA rapport 99-05, Rijkswaterstaat-RIZA rapport 99.036. ISBN 90 5773 056 1

VERNIEUWENDE FYSISCH-CHEMISCHE VOORZUIVERING?

Ir. A.R. Mels* en ir. A.F. van Nieuwenhuijzen**

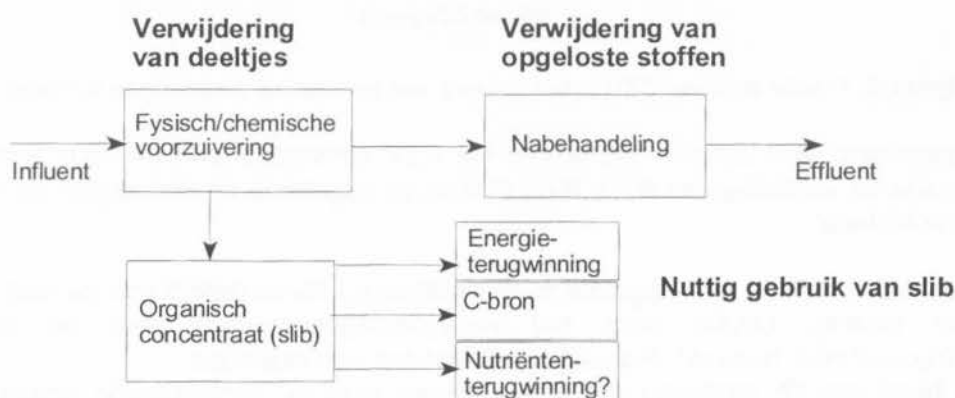
*Wageningen Universiteit, Sectie Milieutechnologie,
Postbus 8129, 6700 EV Wageningen

**Technische Universiteit Delft, Sectie Gezondheidstechniek,
Postbus 5048, 2600 GA Delft

Inleiding

Vanaf 1996 wordt door de Wageningen Universiteit en de Technische Universiteit Delft gezamenlijk onderzoek verricht naar de toepassing van fysisch/chemische voorzuiveringstechnieken bij de behandeling van stedelijk afvalwater. Het onderzoek wordt gefinancierd door STOWA en richt zich op de ontwikkeling van volledige zuiveringssystemen waarin voorzuivering de basis vormt.

Fysisch/chemische voorzuivering heeft tot doel deeltjes vergaand te verwijderen in de eerste stap van de zuivering (figuur 1). Een groot deel van de organische vervuiling - 60 tot 85 % - in stedelijk afvalwater is aanwezig in niet-opgeloste vorm. Bij afscheiding hiervan in een eerste stap, kan een volgende zuiveringsstap kleiner en energie-zuiniger worden uitgevoerd. Bovendien kan het primaire slib dat geproduceerd wordt aangewend worden als grondstof voor biogaswinning en/of terugwinning van waardevolle materialen.



Figuur 1: Verwijdering van deeltjes in de eerste stap van de zuivering (naar: Ødegaard, 1999)

In de eerste fase van het onderzoeksproject is een groot aantal zuiveringsscenario's gebaseerd op een fysisch/chemische voorzuivering opgesteld en is een milieu- en kostenevaluatie van de deze scenario's gemaakt (STOWA 1998-29). Uit de evaluatie bleek dat systemen die gebaseerd zijn op fysisch/chemische voorzuivering tot 80 % minder energie kunnen gebruiken dan bestaande actief-slibsystemen en compacter ontworpen kunnen worden (30 - 200 %). Systemen die een fysisch/chemische voorzuivering combineren met een biologische nazuivering kunnen bovendien financieel concurreren met bestaande systemen.

Concluderend kan gezegd worden dat fysisch/chemische voorzuivering interessante perspectieven biedt voor de ontwikkeling van een milieuvriendelijker zuiveringssysteem.

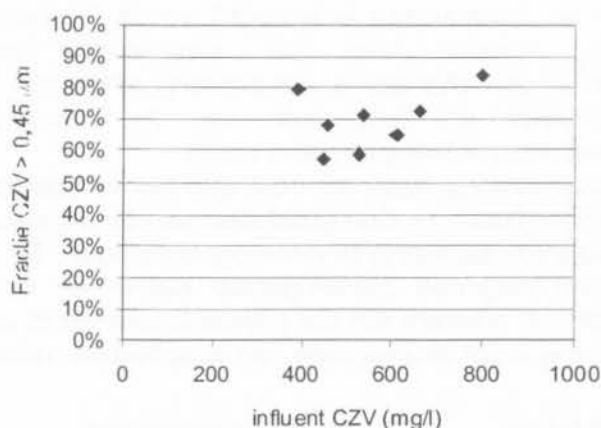
Het afgelopen jaar is in vervolg op de eerste fase vervolgonderzoek gestart. Dit artikel beoogt een overzicht te geven van de stand van zaken binnen dit vervolgonderzoek. Achtereenvolgens zullen worden behandeld:

- het belang van influentkarakteristieken bij de toepassing van fysisch/chemische voorzuivering;
- de resultaten van onderzoek aan verschillende voorzuiveringstechnieken: flotatie, directe filtratie en directe membraanfiltratie;
- de dosering van kationische polymeren met behulp van turbiditeitsmetingen.

Het belang van influentkarakteristieken

Een belangrijk aandachtspunt bij het bepalen van de geschiktheid van een bepaald type voorzuivering zijn de karakteristieken van het influent. Hierbij is met name de verdeling van de verschillende componenten (CZV, N, P, metalen) over de opgeloste en niet-opgeloste fractie van belang.

In figuur 2 wordt van een aantal rwzi's de CZV-deeltjesfractie van het totaal CZV gegeven. Het betreft de rwzi's: rwzi Leiden-Noord¹, rwzi Bennekom¹, rwzi De Bilt², rwzi Deventer², rwzi Nijmegen², rwzi Walcheren², rwzi Franeker² en rwzi Gouda² (¹: eigen metingen ²: STOWA, 1999).



Figuur 2: Fractie deeltjes-CZV in het influent van een aantal zuiveringen in Nederland

Uit deze gegevens blijkt dat 60 - 85 % van het CZV aanwezig is in de vorm van deeltjes. Gegevens over de verdeling van BZV, N en P over de opgeloste en niet-opgeloste fractie zijn schaars beschikbaar.

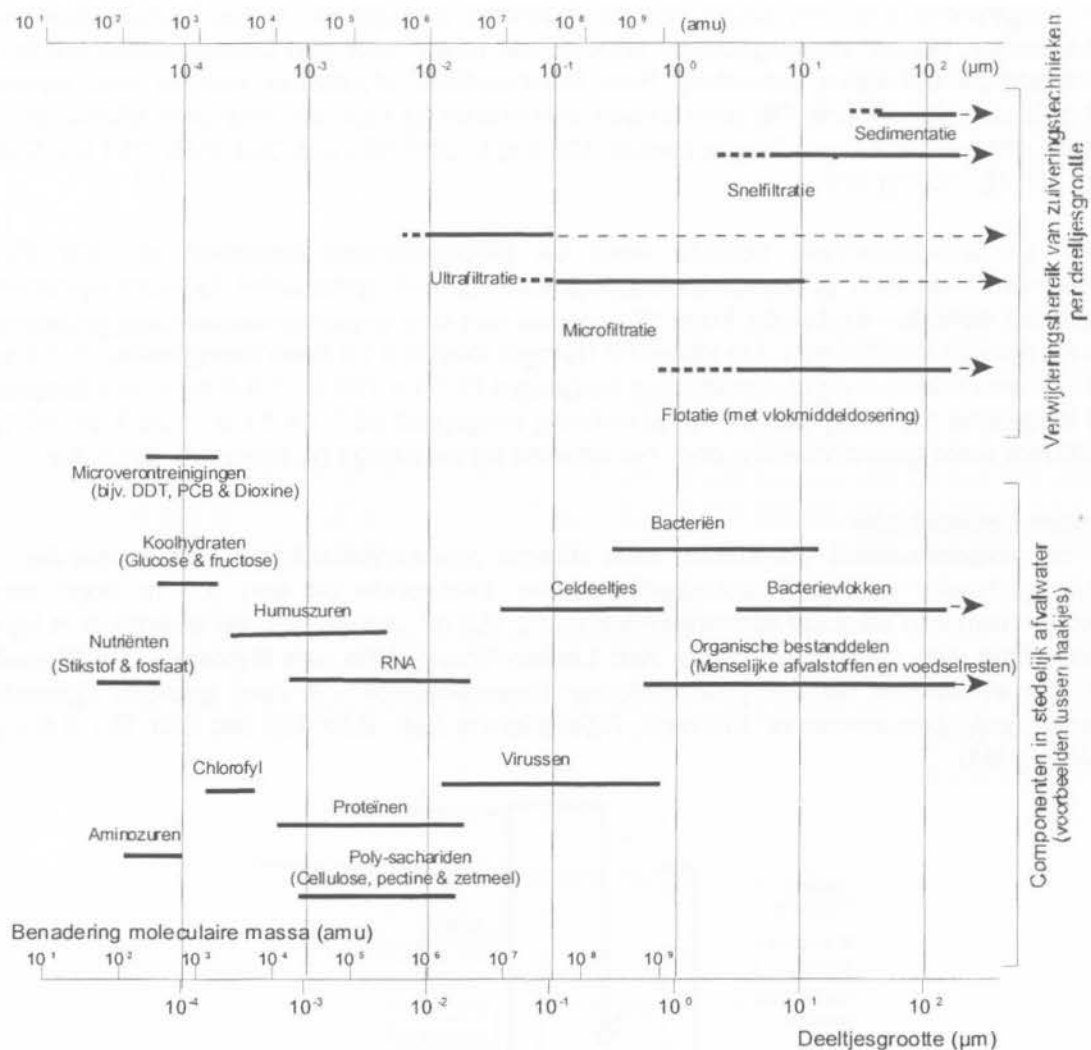
Naast de verdeling oplost, niet-opgelost is de deeltjesgrootteverdeling van de niet-opgeloste fractie van belang, omdat deze het verwijderingsrendement van de toegepaste voorzuiveringstechniek bepaald. Figuur 3 geeft hiervan een illustratie.

Aan de hand van de verdeling van componenten over de verschillende deeltjesgroottes kan het verwijderingsrendement van de verschillende voorzuiveringstechnieken berekend worden.

In Nederland wordt influentkarakterisering vooral toegepast met het oog op het modelleren van het IAWQ-model, gegevens over de verdeling van componenten de opgeloste en niet-opgeloste fractie zijn schaars, alsmede de verdeling van componenten over de deeltjesgroottefracties. Binnen het vervolonderzoek van het STOWA-project "fysisch/chemische voorzuivering" zal in het eerste half jaar van 2000 een inventarisatie gemaakt worden van influentkarakteristieken van verschillende Nederlandse zuiveringsinstallaties, waarbij met name aandacht wordt besteed aan de verdeling van de verschillende componenten over de opgeloste en niet-opgeloste fractie.

Experimenteel onderzoek aan voorzuiveringsstappen

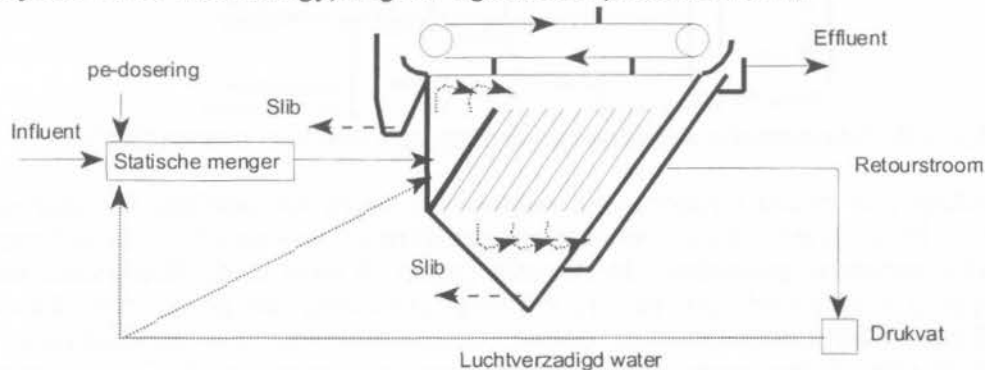
In vervolg op de evaluatie van scenario's is onderzoek uitgevoerd naar de toepassing van een aantal deeltjesverwijderingstechnieken voor de behandeling van stedelijk afvalwater. De navolgende paragraaf geeft de resultaten van onderzoek naar flotatie, directe filtratie en directe membraanfiltratie.



Figuur 3: Deeltjesgrootte-effectiviteit van een aantal voorzuiveringsstechnieken (Van Nieuwenhuijzen & Mels op basis van: Levine, 1985)

Flotatie

Voor het experimenteel onderzoek naar flotatie van stedelijk afvalwater werd gebruik gemaakt van een pilot-schaal (100 l) Dissolved Air Flotation systeem (ter beschikking gesteld door Nijhuis Water Technology). Figuur 4 geeft een processchema.



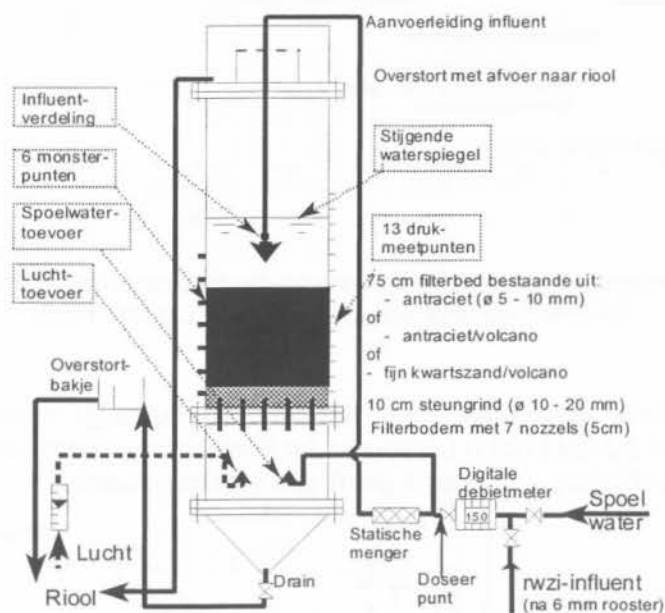
Figuur 4: Processchema van de Dissolved Air Flotation pilot-plant

Voorafgaand aan de flotatie wordt een kationisch polymeer (linair polyacrylamide, $8 \cdot 10^6$ g/mol, 24% ladingsdichtheid) gedoseerd in een statische menger. Luchtverzadigd water wordt toegevoerd aan het begin van de statische menger en in het eerste deel van de flotatiereactor. Na het invoergeedeelte stroomt het water door een lamellenplatenpakket voor een versnelde bel-water scheiding. Ruw huishoudelijk afvalwater van de rwzi Bennekom werd gebruikt als influent. De gemiddelde samenstelling van het gebruikte afvalwater wordt als volgt gekarakteriseerd: Zweekendstof 125 mg/l, CZV 525 mg O_2 /l, BZV 230 mg O_2 /l, P_{tot} 10 mg P/l, N_{kj} 75 mg N/l.

Tijdens de experimentele periode werd de influenttoevoer ingesteld op 300 l/h, wat overeenkomt met een oppervlaktebelasting van 1,2 m/h gebaseerd op lameloppervlak. In een praktijk-lamellen-installatie komt dit overeen met een oppervlaktebelasting gebaseerd op bovenoppervlak van 10 m/h. De statische menger bestond uit twee mengfasen, in het eerste werd een intensieve coagulatiemenging toegepast ($G \cdot t = 704 \text{ s}^{-1} \cdot 0,6 \text{ s}$), in het tweede deel werd langzame menging gericht op uitvloeking toegepast ($G \cdot t = 84 \text{ s}^{-1} \cdot 23,7 \text{ s}$). 20 % van het effluent werd gerecirculeerd door het drukvat en verzadigd bij een druk van 5 bar.

Grove-mediafiltratie

Voor het experimenteel onderzoek naar directe grove-mediafiltratie van afvalwater, werd gebruik gemaakt van een pilot-plantinstallatie, bestaande uit een 3,5 m hoge perspex filterkolom met een effectief filteroppervlak van $0,152 \text{ m}^2$ (schematische weergave in figuur 5) De opstelling was gesitueerd op de rwzi Leiden-Noord (Hhs van Rijnland). Als filterinfluente werd ruw afvalwater na het grof vuilrooster (spleetwijdte: 4 - 6 mm) gebruikt (gemiddelde samenstelling: Zweekendstof 110 mg/l, CZV 380 mg O_2 /l, BZV 140 mg O_2 /l, P_{tot} 5.5 mg P/l, N_{tot} 40 mg N/l).



Figuur 5: Schematische weergave van de pilot-plant voor neerwaartse filtratie

De filteropstelling kon zowel opwaarts als neerwaarts bedreven worden. Bij neerwaartse filtratie werd de filtratiesnelheid met een digitale debietmeter en een stijgende waterspiegel zoveel mogelijk constant gehouden. De nozzels (gaten: 5 mm) in de filterbodem werden tegen verstopping beschermd door een 10 cm hoge steunlaag van grind. In de filterkolom zijn verschillende filterbedconfiguraties getest, waaronder de drie configuraties zoals weergegeven in tabel 1 met verschillende doseringen van coagulant ($FeCl_3$) of kationisch polymeer (linair polyacrylamide, $8 \cdot 10^6$ g/mol, 24% ladingsdichtheid).

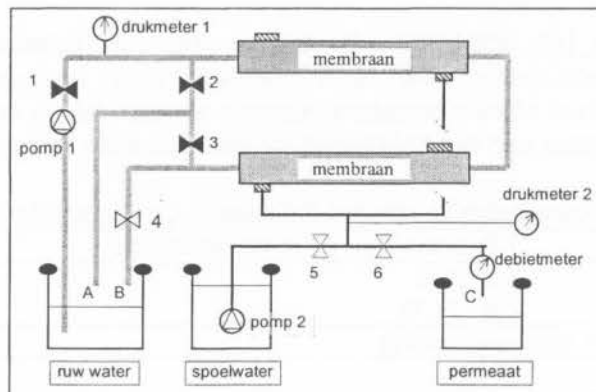
Tabel 1: Filterbedconfiguraties voor neerwaartse filtratie (SAND = 3-6 mm zand, ANTHRA = 5-10 mm hydro-antraciet, VOLC = 8-15 mm volcano-geëxpandeerde klei)

Naam	Filterbedconfiguratie (alle producten: Aqua-Techniek BV)	Dosering
ANTHRA	Enkellaags: 80 cm hydro-anthraciet	geen
ANTHRA+VOLC	Bovenlaag: 25 cm volcano + onderlaag: 55 cm anthraciet	geen
ANTHRA+VOLC+Fe	Bovenlaag: 25 cm volcano + onderlaag: 55 cm anthraciet	10 mg Fe ³⁺ /l
SAND+VOLC	Bovenlaag: 25 cm volcano + onderlaag: 45 cm zand	geen
SAND+VOLC+Fe	Bovenlaag: 25 cm volcano + onderlaag: 45 cm zand	10 mg Fe ³⁺ /l
SAND+VOLC+PE	Bovenlaag: 25 cm volcano + onderlaag: 45 cm zand	1-2 mg PE/l

Na beëindiging van het filtratieproces, bepaald door verstopping (of doorslag), werd het filterbed door terugspoelen met lucht (3 - 5 bar), water (ca. 100 m³/m²·h) en een combinatie van lucht-water. Het geconcentreerde terugspoelwater werd teruggevoerd naar de influentkelder.

Directe membraanfiltratie

Voor het onderzoek naar directe membraanfiltratie werd gebruik gemaakt van een Quick Scan Membrane Test Unit (QMT ter beschikking gesteld door Wageningen Universiteit en TRIQUA B.V., zie schema in figuur 6) met een totaal membraanoppervlak van 0,34 m². De geteste membranen, van STORK Friesland BV, worden gespecificeerd als type FX4385: een rond hol ultrafiltratie-membraan van hydrofiel polyvinylidenefluoride (PVDF), met een hydraulische diameter van 5,2 mm en een gemiddelde poriëndiameter van 30 nm. Volgens de specificaties, heeft dit type membraan een initiële flux (gedestilleerd water en 25°C) bij 1 bar van meer dan 1.000 l/m²·h.

**Figuur 6:** Schema van de gebruikte QMT-unit voor het onderzoek naar directe membraanfiltratie

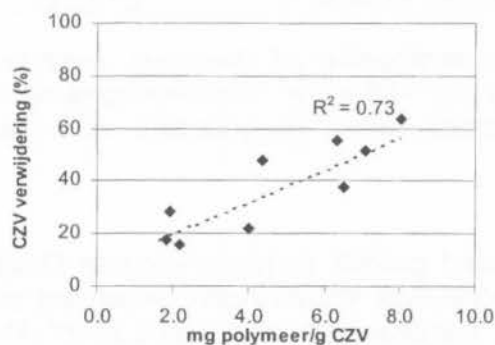
Tijdens de experimenten werd de QMT bedreven als crossflowfiltratie, met een crossflowsnelheid van ca. 1,6 m/s. Ruw huishoudelijk afvalwater van de rwzi Bennekom werd gebruikt als feed voor de testunit. De gemiddelde samenstelling van het gebruikt afvalwater wordt als volgt gekarakteriseerd: Zwevendestof 130 mg/l, CZV 680 mg O₂/l, BZV 210 mg O₂/l, P_{tot} 11 mg P/l, N_{kj} 72 mg N/l. De gemiddelde temperatuur van het influent bedroeg ±21°C (alle TMD- and fluxdata zijn gecorrigeerd naar een standaardtemperatuur van 15°C).

Resultaten van het experimenteel onderzoek

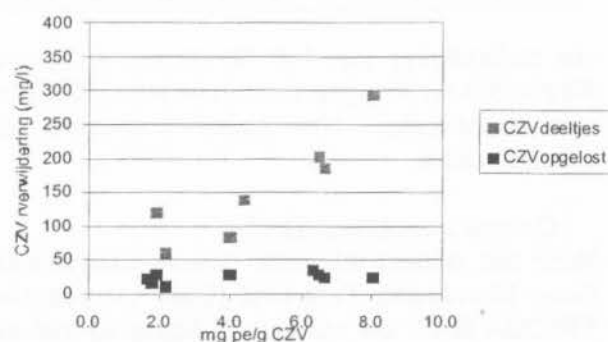
Flotatie

Verwijderingsprestaties. In het DAF-systeem werd bij polymeedoseringen van 4 mg/l gemiddeld 91% zwevendestof (effluent ~ 10 mg d.s./l) en 75 % troebelheid verwijderd. De CZV- en BZV-verwijdering bedroegen bij die dosering 60 % resp. 45 %. Fosfaat werd voor 25 % en stikstof voor 10 % verwijderd.

De verwijderingsprestaties van het DAF-systeem waren afhankelijk van de toegepaste polymeerdosering. In de figuren 6 en 7 zijn de CZV-verwijderingen als functie van de polymeerdosering per gram influent-CZV. Figuur 7 laat zien dat de totaal-CZV-verwijdering toeneemt met oplopende dosering en 60 % is bij een dosering van 8 mg polymeer/g CZV (ca. 4 mg/l). In figuur 8 zijn de verwijdering van CZV_{deeltjes} (> 0,45 µm) en CZV_{opgelost} (< 0,45 µm) uitgezet. Uit deze figuur wordt duidelijk dat het systeem voornamelijk deeltjes verwijderd en dat de CZV_{opgelost}-verwijdering gering en onafhankelijk van de polymeerdosering is.



Figuur 7: CZV_{totaal} verwijdering (%) als CZV_{inluent}-verhouding



Figuur 8: CZV_{deeltjes} en CZV_{opgelost}- functie van de pe-verwijdering (mg/l) als functie van de pe-CZV_{inluent}-verhouding

Drogestofconcentratie van het flotatieslib. Bij toepassing van flotatie wordt een relatief geconcentreerd slib geproduceerd. Dit is interessant met het oog op de verdere slibverwerking, omdat hiermee kosten bespaard kunnen worden bij de ontwatering. In tabel 2 wordt de drogestofconcentratie van het flotatieslib bij verschillende ruimertijden gegeven.

Tabel 2: Drogestofconcentratie van het flotatieslib bij verschillende ruimertijden

Ruimertijd	Drogestofconcentratie flotatieslib
0 uur *	3 - 5 %
3-4 uur	8 - 11 %

* 0 uur ruimertijd = continuë ruiming

Grove-mediafiltratie

Als meest optimale filterbedconfiguratie uit tabel 1 kwam het zand-volcano filter met of zonder Fe³⁺-dosering naar voren. In de volgende paragrafen zullen enkele resultaten van het zand-volcano filter gepresenteerd worden.

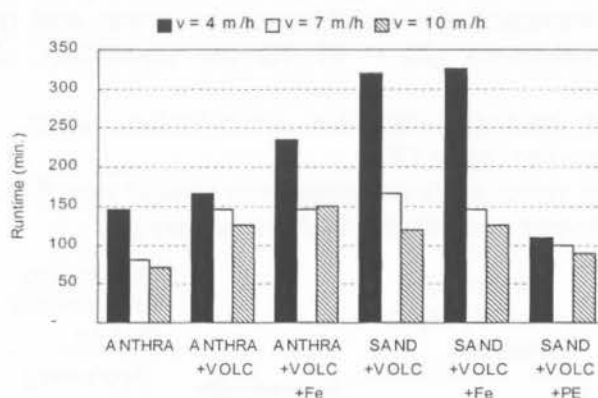
Verwijderingsprestaties. In het zand-volcano filter werd gemiddeld 60% zwevendestof, 20% CZV (57% verwijdering van gesuspendeerd CZV en 10% verwijdering van colloïdaal CZV) en 10% fosfaat verwijderd zonder coagulantdosering. Na dosering van 10 mg Fe³⁺/l werd ca. 66% aan zwevendestof en meer dan 40% CZV (>75% verwijdering van gesuspendeerd CZV en 67% verwijdering van colloïdaal CZV) almede 53% fosfaat verwijderd (details in tabel 3).

Tabel 3: Gedetailleerde analyse van influent (IN) en filtraat (UIT) van het zand-volcano filter

Parameter	Geen dosering			Met 10 mg Fe ³⁺ /l		
	IN	UIT	R	IN	UIT	R
Troebelheid (NTU)	117	58	50%	123	53	57%
Zwevendestof (mg SS/l)	103	43	58%	115	39	66%
CZV _{total} (mg O ₂ /l)	430	340	21%	460	260	43%
CZV _{<4.4 µm} (papierfilter, mg O ₂ /l)	290	280	3%	300	220	27%
CZV _{<0.45 µm} (membraan, mg O ₂ /l)	190	190	0%	210	190	9%
BZV ₅ (mg O ₂ /l)	145	140	3%	160	140	13%
N _{kjeldahl} (mg N/l)	44	44	0%	48	46	4%
P _{total} (mg P/l)	6,8	6,2	9%	7,2	3,4	53%

Neerwaarts volcano-zand filter; v = 7 m³/m²·h; pH = 7,5; T = 18°C, R = Verwijderingsrendement

Filtratiesnelheid en looptijden. Zoals gepresenteerd wordt in figuur 9, zijn de gemiddeld behaalde looptijden relatief kort met maxima van ± 5 uur in het zand-volcano filter bij een filtratiesnelheid van 4 m³/m²·h. Bij hogere snelheden (7 and 10 m³/m²·h) daalt de gemiddelde looptijd naar 2½ en respectievelijk 2 uur. Alle looptijden werden beëindigd door het optreden van verstopping. Slechts 20 tot 30 centimeter van de toplaag werd efficiënt gebruikt voor deeltjesverwijdering, de onderlaag werd inefficiënt bevonden. Door de dosering van ijzerzout nam de dieptewerking van het filter toe en werd nagenoeg het hele filterbed gebruikt voor de verwijdering van deeltjes en vlokken.

**Figuur 9:** Gemiddeld behaalde looptijden per filtratiesnelheid en per filtertype

Directe membraanfiltratie

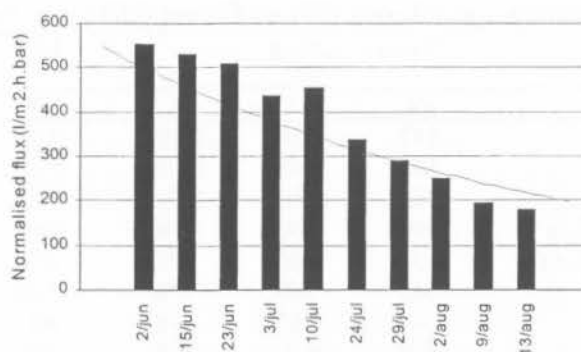
Verwijderingsprestaties. Door toepassing van directe membraan-ultrafiltratie werd al het gesuspendeerde en colloïdale materiaal uit het afvalwater verwijderd. Alleen opgeloste verontreinigingen resteerden in het permeaat (zie tabel 4).

Tabel 4: Gemiddelde verwijderingsprestaties tijdens de testperiode met de QMT

Parameter	Feed	Permeaat	Verwijdering
Troebelheid (NTU)	140	0,2	99,9%
Zwevendestof (mg SS/l)	130	n.a.	99,9%
CZV _{total} (mg O ₂ /l)	680	210	69%
N _{kjeldahl} (mg N/l)	72	60	17%
P _{total} (mg P/l)	11,0	7,1	36%

TMP = 0,2 bar, productietijd = 10 min., backflush = 1 min., n.a. = niet aantoonbaar

Flux-TMD. Met een TransMembraanDruk (TMD) tussen 0,2 en 0,4 bar en een productietijd van 10 minuten met een 1 minuut backflush werd, gedurende de testperiode van drie maanden, een gemiddelde genormaliseerde flux berekend van 300 l/m²·h·bar. Deze genormaliseerde flux daalde van circa 550 l/m²·h·bar aan het begin van de experimenten naar ongeveer 180 l/m²·h·bar drie maanden later (figuur 10).

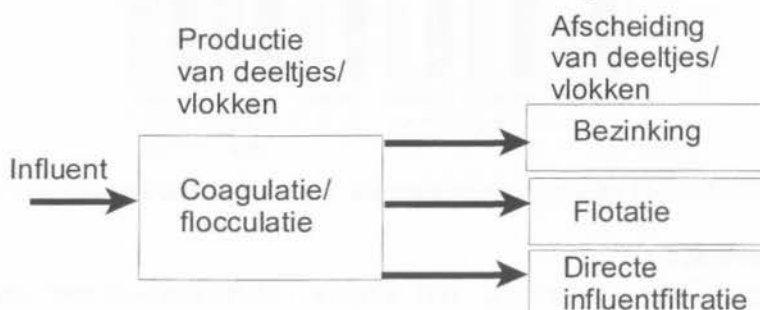


Figuur 10: Genormaliseerde fluxen tijdens metingen

Dosering van organische polymeren aan de hand van turbiditeitsmetingen

In de vorige vakantiecursus (Van Nieuwenhuijzen en Mels, 1999) is het gebruik van organische flocculanten als alternatief voor (anorganische) metaalzouten aan de orde geweest. Flocculanten worden gebruikt voor vlokvergroting voorafgaand aan een afscheidingstechniek (figuur 11). Organische polymeren kunnen een oplossing bieden voor een groot deel van de knelpunten die zijn gesignaleerd bij het gebruik van metaalzouten:

- bij toepassing van metaalzouten als flocculanten wordt een grote hoeveelheid extra chemisch slib geproduceerd (20 - 40 %) die bovendien als asrest overblijft na verbranding;
- bij toepassing van metaalzouten als flocculanten wordt het effluent van de zuiveringsinstallatie zouter (meer Cl^-);
- na fysisch/chemische voorzuivering resteert een relatief lage BZV/N-verhouding die een knelpunt kan vormen voor denitrificatie in de nazuivering.



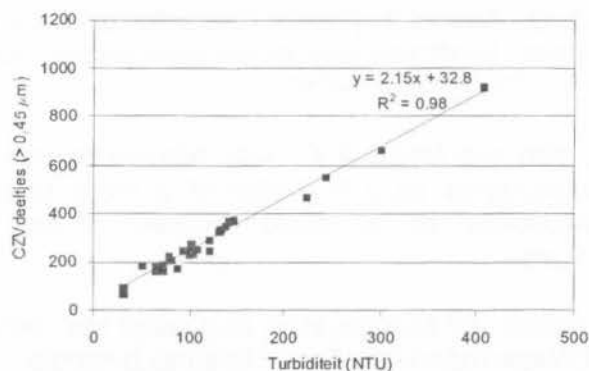
Figuur 11: Vlokvergroting voorafgaand aan een aantal afscheidingstechnieken

Organische polymeren produceren geen chemisch slib en de verzouting is gering: ca. 0,05 mg Cl^- /gram gedoseerd polymeer. Daarnaast lijken er vanuit het flotatie-onderzoek mogelijkheden te zijn om de dosering van organische polymeren af te stemmen op het gewenste verwijderingspercentage. Deze paragraaf handelt hierover.

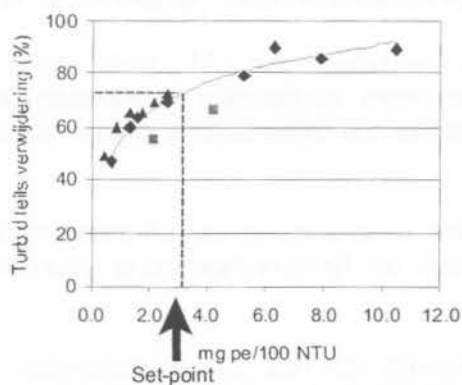
Een belangrijke constatering uit het flotatie-onderzoek is dat de turbiditeit van ruw influent (althans voor het Bennekoms afvalwater) lineair is gecorreleerd met het deeltjes-CZV ($> 0,45 \mu\text{m}$). Zie figuur 12. Hieruit kan geconcludeerd worden dat turbiditeit gebruikt kan worden als maat voor de hoeveelheid deeltjes. De turbiditeitsmeting is een vrij eenvoudige meting en is direct afleesbaar. Bovendien kan de turbiditeitsmeting als continue meetmethode ingezet worden.

Een andere constatering in het flotatie-onderzoek was dat het systeem flocculatie-flotatie voor meer dan 95 % aangrijpt op de deeltjesfractie $> 0,45 \mu\text{m}$. Hiermee kan het deeltjes-CZV verwijdering uitgezet worden tegen de polymeerdosering per mg deeltjes-CZV, waarbij het deeltjes-CZV gemeten kan worden met een turbiditeitsmeter. Figuur 13 geeft hiervan een illustratie, waarbij voor een batchflotatie-experiment de procentuele turbiditeitsverwijdering is

uitgezet tegen de polymeedosering per 100 NTU (Nephelometric Turbidity Units). Bij een dosering van 3 mg polymeer per 100 NTU influent-turbiditeit wordt in dit voorbeeld 75 % turbiditeit verwijderd.

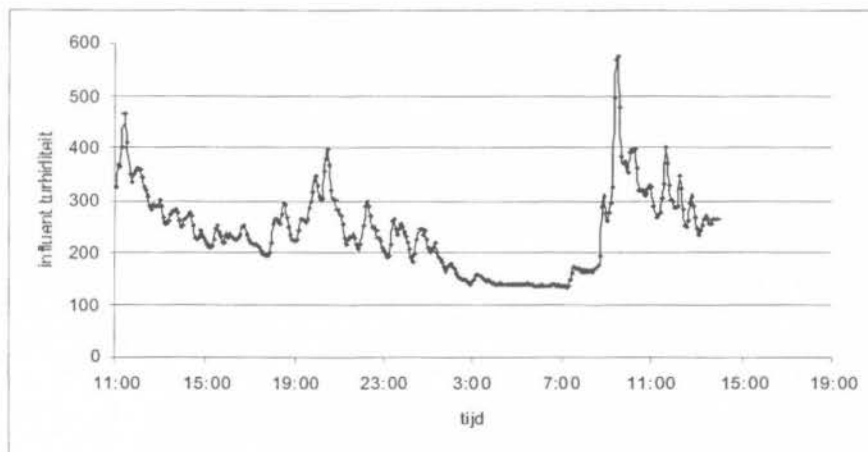


Figuur 12: Relatie tussen turbiditeit en CZV_{deeltjes}



Figuur 13: Turbiditeitsverwijdering van 75 % bij een set-point van 3 mg pe/100 NTU

Deze benadering biedt mogelijkheden om de dosering van polymeer te sturen aan de hand van turbiditeitsmetingen. Hierbij lijkt de mogelijkheid te bestaan om ook het deeltjes-BZV aan de turbiditeit te relateren, waarmee gestuurd kan worden op een nog net gunstige BZV/N-verhouding voor denitrificatie in de biologische nabehandeling. Daarnaast biedt de doseerstuurmethode de mogelijkheid de polymeedosering af te stemmen op de (grote) fluctuaties die door de dag heen optreden in het influent van zuiveringsinstallaties (figuur 14).



Figuur 14: Voorbeeld van fluctuerende turbiditeit in het influent van rwzi Bennekom (15-16 11 1999)

Literatuur

Evenblij, H. (1999). Verkennend onderzoek naar directe membraanfiltratie van ruw afvalwater, afstudeerrapport TU Delft.

Levine, A.D., Tchobanoglous, G., Asano, T. (1985). Characterization of the size distribution of contaminants in wastewater: treatment and reuse implications, *Journal of the Water Pollution Control Federation*, no. 57, 2, pp. 805-816.

Mels, A.R., Rulkens, W.H., Van der Meer, A.K., Van Nieuwenhuijzen, A.F., Klapwijk, A. (1999). Flotation with polyelectrolytes as a first step of a more sustainable wastewater treatment system; Oral presentation at 1st World congress of the International Water Association, 3- 7 July 2000, Paris.

Van der Meer, A. (1999). Flotatie van huishoudelijk afvalwater met behulp van organische polymeren, afstudeerrapport Wageningen UR, Sectie Milieutechnologie.

Van Nieuwenhuijzen, A.F., Mels, A.R. (1999). Organische polymeren: doorbraak in fysisch-chemische voorzuivering? Bijdrage vakantiecursus 7 januari 1999, TU Delft.

Van Nieuwenhuijzen, A.F., Van der Graaf, J.H.J.M., Mels, A.R., (1999). Direct influent filtration as pretreatment step for more sustainable wastewater treatment systems; Oral presentation at 1st World congress of the International Water Association, 3- 7 July 2000, Paris.

STOWA (1998). Fysisch/chemische voorzuivering van afvalwater - identificatie en evaluatie van zuiveringsscenario's gebaseerd op fysisch/chemische voorzuivering, STOWA-rapport 98-29.

STOWA (1999). Influentkarakterisering van ruw en voorbehandeld afvalwater - de invloed van voorbezinking en voorprecipitatie, STOWA-rapport 99-13.

Ødegaard, H. (1999). Effect of pre-treatment on process performance, voordracht tijdens COST-workshop, Wageningen, 26-27 april 1999.

RECENTE ONTWIKKELINGEN IN DE VERWIJDERING VAN STIKSTOF UIT AFVALWATER

Dr.ir. M. Jetten,
Technische Universiteit Delft, Afdeling Biotechnologie,
Julianalaan 67, 2828 BC Delft

Introductie

In de huidige landbouw wordt stikstof toegevoegd in vorm van biologisch gefixeerde stikstof of kunstmest. Slecht een deel van deze stikstof wordt gebruikt voor assimilatie in planten of dieren. De rest gaat verloren via diffuse processen en raagt zodoende bij aan de stikstofbelasting van het milieu. Ammonium is een van de meest belangrijke stikstofverbindingen, die uit het milieu verwijderd dient te worden (Jetten et al. 1997a). Het grote aantal stikstofverbindingen, de talrijke deelreacties die plaatsvinden en de lage groeisnelheid van de betrokken bacteriën zorgen ervoor dat de studie naar de biologische omzetting van stikstofverbindingen niet eenvoudig is (van Loosdrecht and Jetten 1998). Recentelijk zijn een aantal nieuwe microbiële stikstofomzettingen beschreven: aërobe dennitrificatie, heterotrofe nitrificatie, anaërobe ammonium oxidatie en denitrificatie door autotrofe nitrificerende bacteriën (Jetten et al. 1999). Deze nieuwe mogelijkheden maken de evaluatie van biologische stikstofomzettingen nog complexer. In dit hoofdstuk, zullen de emissie van NO en lachgas (N_2O), de anaërobe oxidatie van ammonium en een nieuw gecombineerd systeem voor de verwijdering van ammonia-stikstof, gebaseerd op partiële nitrificatie van ammonia tot nitriet samen met anaërobe ammonium oxidatie worden bediscussieerd.

Emissie van intermediare stikstofverbindingen

Lachgas (N_2O) is een zeer schadelijk voor het milieu, omdat het bijdraagt aan het broeikaseffect en de afbraak van de ozonlaag. Een significante hoeveelheid van de N_2O emissie kan worden toegeschreven aan microbiële processen met name nitrificatie en denitrificatie (Jetten et al. 1997a). Beide processen worden veelvuldig gebruikt in de biologische afvalwaterzuivering. Recentelijk is komen vast te staan, dat een significante (6%) hoeveelheid van het biologisch gevormde N_2O wordt uitgestoten door sub-optimaal functionerende afvalwaterinstallaties (Schön et al., 1994). Om deze N_2O emissies te voorkomen is het essentieel dat de onderliggende (biologische) principes volledig begrepen worden. Vele studies suggereren dat de parameters die bij de N_2O productie gedurende nitrificatie en denitrificatie betrokken zijn, gerelateerd zijn stress condities. Fluctuaties in zuurstoftoevoer of een niet gebalanceerde C/N verhouding dragen bij aan hoge N_2O emissies (Schön et al., 1994). Verder kan de aanwezigheid van toxische stoffen of intermediären (nitriet of hydroxylamine) in industrieel afvalwater bijdragen aan hoge N_2O emissie.

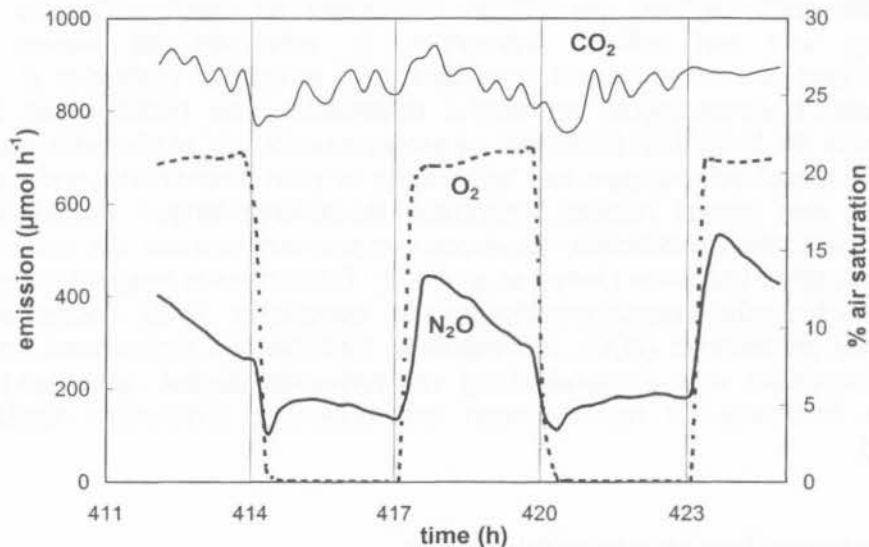
De heterotrofe nitrificerende en aërobe denitrificerende bacterie *Alcaligenes faecalis* stam TUD is gekozen als model organisme om de biologische N_2O vorming nader te bestuderen. Deze bacterie is vaak geïsoleerd uit afvalwater en produceert grote hoeveelheden N_2O . Verschillende continu cultures zijn in ons onderzoek gebruik om de invloed van verschillende parameters (fluctuerende zuurstof toevoer, wisselende C/N ratio en invloed toxische stikstofverbindingen) te testen.

De invloed van dynamische aërobe en anaërobe condities op N_2O emissie

De invloed van verschillende zuurstofconcentraties en van fluctuerende zuurstofconcentraties op de lachgas vorming door *Alcaligenes faecalis* tijdens denitrificatie werd bestudeerd in acetaat gelimiteerde continu cultures met verschillende aëratie regimes

(Otte *et al.*, 1996). N_2O werd geproduceerd tijdens alle geteste zuurstofconcentraties, maar de hoogste niveaus werden waargenomen wanneer de zuurstofconcentratie onder de 5% luchtverzadiging kwam. Na een overschakeling van aërobe naar anaërobe condities duurde het ongeveer 20 uur voordat het eerste denitrificatie eiwit, nitriet reductase, meetbaar werd. Omdat het N_2O reductase pas na 27 uur geïnduceerd werd, ontstond er in deze periode een aanzienlijke hoeveelheid lachgas. Bij terugschakeling naar aërobe condities werd het lachgas reductase onmiddellijk geremd, maar bleef het nitriet reductase nog 30 uur actief. Hierdoor werd ook tijdens deze overgang een groot hoeveelheid lachgas gemaakt door *A. faecalis*.

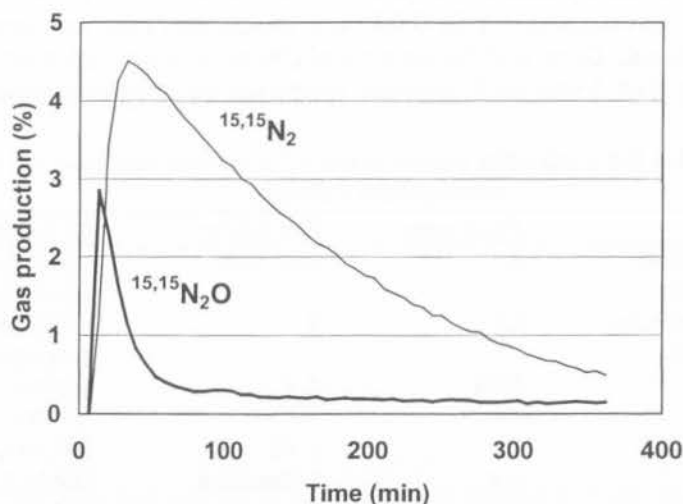
Wanneer een acetaat gelimiteerde continu culture werd blootgesteld aan dynamische aërobe en anaërobe condities, bereikte de cultuur een semi steady-state na ongeveer 400 uur. Ook in de dynamische situatie werden grote hoeveelheden N_2O geproduceerd (Fig. 1).



Figuur 1: Afgas analyse aan een dynamische aërobe - anaërobe acetaat gelimiteerde continu cultuur van *Alcaligenes faecalis* (Otte *et al.* 1996)

De invloed van nitrificatie intermediären op NO en N_2O emissie

De invloed van het toxische hydroxylamine (NH_2OH) op NO en N_2O emissie werd bestudeerd in acetaat gelimiteerde continu cultures van *A. faecalis* (Otte *et al.*, 1999). De NH_2OH concentratie in het medium werd stapsgewijs verhoogd om acute toxiciteit te voorkomen. Hoe hoger de extern toegevoegde NH_2OH concentratie, des te hoger was de geproduceerde hoeveelheid N_2O in de cultuur. NO emissie werd niet waargenomen. De geproduceerde N_2O was een direct product van de NH_2OH oxidatie. Dit kon worden aangetoond in ^{15}N -labelingsexperimenten (Figuur 2). Na de toevoeging van ^{15}N -gelabeld NH_2OH ontstond er een onmiddellijke verhoging in het dubbel gelabelde N_2O en N_2 , terwijl de productie van enkel gelabelde gassen verwaarloosbaar was. De nitrietproductie was erg laag (maximaal 0.23 mM). De maximale omzettingssnelheid ($V_{\max}$) en de affiniteitsconstante (K_m) waren $31 \text{ nmol min}^{-1} \text{ mg drooggewicht}$ en 1.5 mM hydroxylamine. Uit de op hydroxylamine gegroeide *A. faecalis* cellen kon een hydroxylamine oxidoreductase eiwit gezuiverd worden dat geen cytochromen bevatte. Het enzym gebruikte alleen $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ als elektronenacceptor en reageerde met antilichamen opgewekt tegen het hydroxylamine oxidoreductase van *Thiosphaera pantotropa*.



Figuur 2: Productie van ^{15}N -gelabeld gasen (%mol/mol) in acetaat gelimiteerde continu cultuur van *Alcaligenes faecalis* in de aanwezigheid van 2.9 mM NH_2OH , na een puls van 3 mM $^{15}\text{NH}_2\text{OH}$

De invloed van de C/N verhouding op NO en N_2O emissie

De invloed van plotselinge veranderingen in de C/N verhouding op NO en N_2O productie tijdens denitrificatie werd bestudeerd in puls experimenten met *A. faecalis*. Aan acetaat gelimiteerde batch cultures (voorgekweekt in continu cultuur) werd een puls van 5 of 10 mM acetaat gegeven (Schalk-Otte et al 1999). Onmiddellijk na de puls namen de N_2 and CO_2 productie toe, kon er in lichte toename in de NO productie worden waargenomen. De N_2O productie daalde echter flink na de toevoeging van acetaat. Zodra het toegevoegde acetaat op was, daalde de N_2 tot bijna nul. Op dat tijdstip verscheen er een piek in de N_2O productie, die mogelijk het gevolg is van denitrificatie met reserve materiaal als elektrondonor. Een vervolgstudie wordt op dit moment voorbereid.

De anaërobe oxidatie van ammonia

Tot nu toe is de oxidatie van ammonia voornamelijk bestudeerd in aërobe systemen. In theorie zou ammonia ook goed gebruikt kunnen worden als elektronendonor voor denitrificatie. De Gibbs vrije energie van deze anaërobe reactie (-358 kJ/mol) is net zo exotherm als die voor aërobe nitrificatie. De ontdekking van anaërobe ammonium oxidatie (Anammox) is pas recent beschreven (Mulder et al., 1995). Tijdens vervolg onderzoek kon worden vastgesteld dat het om een nieuwe biologische reactie ging (van de Graaf et al., 1996) waarin nitriet en ammonia onder anaërobe omstandigheden werden omgezet in stikstofgas.

De microbiologische populaties, die verantwoordelijk is voor het Anammoxproces, is uitvoerig bestudeerd met behulp van een zogenaamde sequencing batch reactor (SBR) (Strous et al., 1998). De SBR is een veelzijdige reactor waarin biomassa zeer efficiënt vastgehouden kan worden. Verder kon er een homogene verdeling van substraten, producten en biomassa-aggregaten bereikt worden. De SBR reactor is nu meer dan 4 jaar stabiel in bedrijf. Verschillende belangrijke fysiologische parameters (Tabel 1) zoals de biomassa opbrengst (yield, 0.066 C-mol per mol ammonium), de maximale ammonium omzettingssnelheid (55 nmol per min per mg eiwit) en de maximale groeisnelheid (0.0027 h^{-1} , verdubbelingstijd 11 dagen) konden op deze manier worden verkregen. Het voornaamste product van de Anammox reactie was stikstofgas, maar 20% van het toegevoegde nitriet werd terug gevonden als nitraat. De productie van nitraat kon worden geverifieerd met behulp van ^{15}N -NMR analyses (van de Graaf et al., 1997). Alleen als er gelabeld nitriet werd toegevoegd aan de cultures kon de vorming van $^{15}\text{NO}_3^-$ worden waargenomen. Deze

nitraatvorming is waarschijnlijk gekoppeld aan de generatie van voldoende reductie equivalenten voor biomassa productie met behulp van kooldioxide fixatie. De stikstofbalans vertoonde de volgende verhouding 1:1.32:0.26 voor de consumptie van ammonium en nitriet en de productie van nitraat. Door middel van de stabiele en selectieve condities in de SBR kon een hoge verrijking (74%) van de Anammox bacterien verkregen worden.

Tabel 1: Belangrijke fysiologische parameters voor microbiële *aërobe* en *anaërobe* ammonium oxidatie

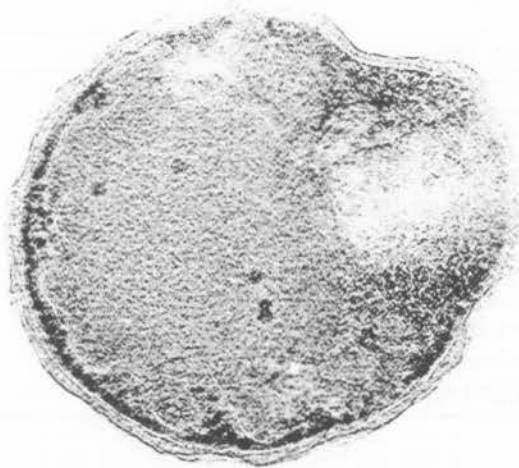
Parameter	Anammox	Nitrificatie	Eenheid
Maximale specifieke <i>aërobe</i> NH_4^+ consumptie snelheid	0	200-500	$\text{nmol NH}_4^+ \cdot \text{mg}^{-1} \text{ eiwit} \cdot \text{min}^{-1}$
Maximale specifieke <i>anaërobe</i> NH_4^+ consumptie snelheid	55	2	$\text{nmol NH}_4^+ \cdot \text{mg}^{-1} \text{ eiwit} \cdot \text{min}^{-1}$
Biomassa opbrengst	0.98	1.4	$\text{g eiwit} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ NH}_4^+$
Activeringsenergie	70	70	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
K_s voor ammonium	≤ 1	≥ 10	$\mu\text{M NH}_4^+$
K_s voor nitriet	≤ 1	Onbekend	$\mu\text{M NO}_2^-$
K_s voor zuurstof	Niet van toepassing	> 6	$\mu\text{M O}_2$

Identificatie van de Anammox bacteriën als *Brocadia anammoxidans*.

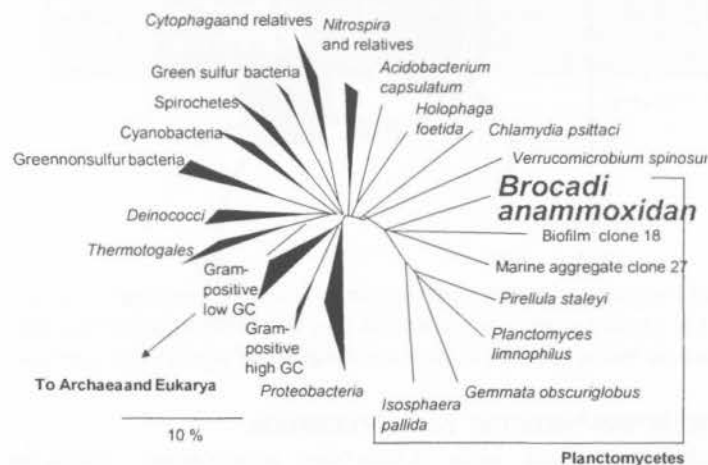
In voorafgaande studies is aangetoond dat sommige *Nitrosomonas* stammen in staat zijn tot ammonium oxidatie met nitriet als elektronacceptor (Tabel 1). Onder anoxische of zuurstof gelimiteerde condities bedroeg de reactiesnelheid slechts 2 nmol NH_4^+ per min per mg eiwit (Bock et al., 1995; Jetten et al., 1999; Kuai and Verstraete, 1998; Schmidt and Bock, 1997, 1998). Door gebruik te maken van zeer selectieve anaërobe ophopingsculturen met ammonium en nitriet als de enige substraten en bicarbonaat als de enige koolstofbron was het mogelijk een morfologische zeer opvallende bacterie (Figuur 3) op te hopen, die in geen enkel opzicht leek op de bekende ammonia oxiderende bacteriën (Jetten et al., 1999). De Anammox activiteit van zulke ophopingsculturen was meer dan 20 maal hoger dan de anaërobe snelheid, die voor aërobe ammonia-oxideerders was bepaald (Tabel 1). Deze ophopingsculturen werden voor meer dan 70% gedomineerd door een bacterie die ten minste drie eigenschappen gemeen heeft met bacteriën uit de Orde van de *Planctomycetales*: celdeling dor knopvorming, interne celcompartimenten, en de aanwezigheid van 'crateriforme' structuren en de aanwezigheid van zeer ongebruikelijke vetzuren in de celmembraan (Strous et al., 1999).

De pogingen om de dominante bacterie in reïncultuur te krijgen zijn nog niet succesvol geweest. Het grootste probleem hierbij is de extreem lage groeisnelheid (verdubbelingstijd 11 dagen) van de bacterie. Desalniettemin kon de dominante bacterie recentelijk toch gezuiverd worden door een combinatie van micro-manipulatie en dichtheidsgradiënt centrifugatie (Strous et al., 1999). Op deze manier kon een $99.6 \pm 0.2\%$ zuivere celsuspensie verkregen worden. Deze cellen hadden een hoge Anammoxactiviteit (18 nmol NH_4^+ per mg eiwit per min) en gebruikten CO_2 als koolstofbron.

Het 16S rDNA gen van de geïsoleerde bacterie werd gebruikt om een tiental zeer specifieke sondes te ontwerpen, waarmee de Anammoxbacterie herkend kan worden. Met behulp van fluorescente *in situ* hybridisatie werd aangetoond dat deze sondes alleen met de Anammoxbacterie hybridiseren. De sequentie van het 16S rDNA gen (AJ131819) werd verder fylogenetisch geanalyseerd. Deze analyse toonde aan dat de Anammoxbacterie inderdaad tot de orde der van *Planctomycetales* (Figuur 4) behoorde. Dit wijst erop dat een nieuwe chemolithoautotrofe planctomyceet-achtige bacterie verantwoordelijk is voor het Anammoxproces. Ondertussen heeft de bacterie de naam, *Brocadia anammoxidans*, gekregen.



Figuur 3: Elektronen microscopische foto van de dominante planctomyceet-achtige bacterie in Anammox cultures (De foto werd gemaakt bij de afdeling Elektronenmicroscopie van de Rijksuniversiteit Groningen)



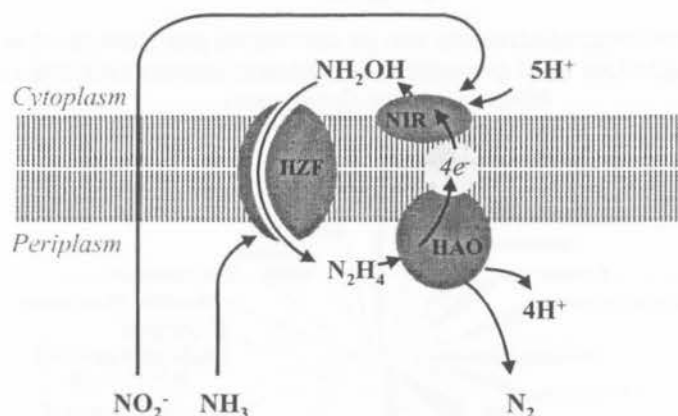
Figuur 4: Stamboom van de nieuwe planctomyceet-achtige bacterie *Brocadia anammoxidans* die verantwoordelijk is voor het Anammoxproces.

Ecologische niches van de Anammoxbacteriën

Recentelijk is vastgesteld dat verschillende afvalwaterinstallaties een groot gat in hun stikstofbalans vertoonden (Tabel 2). In drie van deze installaties (Helmer and Kunst, 1998; Hippen et al., 1996; Siegrist et al., 1998, Twachtmann et al. 1998) met een zeer hoge ammoniumbelasting en een beperkte zuurstoftoevoer verdween een substantieel deel van de ammonia als gasvormige stikstofverbindingen. In dergelijke systemen zouden best condities kunnen heersen waarbij zowel nitrificeerders als Anammoxbacteriën samen kunnen werken (Juretschko et al. 1998). Deze waarneming duidt erop dat anaërobe ammonium oxidatie veel meer verspreid is dan tot nu toe is aangenomen. Toekomstige studies met de specifieke fluorescente 16S rRNA sonde zullen zeker bijdragen aan ons begrip van de diversiteit en het voorkomen van de planctomyceet-achtige Anammoxbacteriën.

Tabel 2: Hoge stikstofverliezen in diverse afvalwaterinstallaties

Type Installatie	Bron van ammonia	Zuurstof	Referentie
Rotating disk reactor	Afvalwater	zuurstof limitatie	Siegrist et al., 1998
Rotating disk reactor	Percolaatwater	zuurstof limitatie	Hippen et al., 1996
			Helmer & Kunst 1998
Nitrificerend actiefslib	Synthetisch afvalwater	zuurstof limitatie	Kuai&Verstraete 1998
Trickling filter	Afvalwater	anoxisch	Twachtmann et al., 1998
Fixed biofilm reactor	Synthetisch afvalwater	anoxisch	Ashbolt 1998
Fluide bed reactor	Synthetisch afvalwater	anoxisch	van de Graaf et al., 1996
SBR	Synthetisch afvalwater	anoxisch	Strous et al., 1998
SBR	Slibgistingwater	anoxisch	van Dongen 1999



Figuur 5: Het mogelijke reactiemechanisme voor anaërobe ammonia oxidatie door *Brocadia anammoxidans*. De exacte locatie en identiteit van alle enzymen is nog bekend. HAO, hydrazine oxiderend enzym, NIR nitriet reductase; HZF hydrazine vormend enzym.

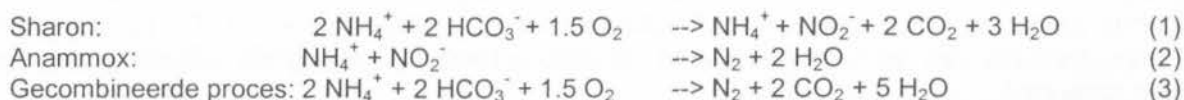
Het mogelijke reactiemechanisme voor Anammox

De mogelijke metabole route voor anaërobe ammonium oxidatie is onderzocht met behulp van ^{15}N -labelingsexperimenten (Figuur 5). Deze experimenten toonden aan dat ammonium biologisch werd geoxideerd met hydroxylamine als meest waarschijnlijke elektronacceptor (van de Graaf et al., 1997). Het hydroxylamine zelf ontstaat uit nitriet. In batch experimenten met overmaat hydroxylamine en ammonium kon een tijdelijke accumulatie van hydrazine worden waargenomen.

De omzetting van hydrazine naar stikstofgas levert de 4 reductie equivalenten voor de omzetting van nitriet naar hydroxylamine. Biologisch bekeken is hydrazine is een zeer zeldzame stikstofverbinding. Nog nooit werd deze verbinding als intermediair in een biologisch proces waargenomen. Ondertussen zijn ook hoge activiteiten van een hydrazine oxiderend enzym in celvrije extracten van de Anammoxbacterie gevonden en gezuiverd (Schalk et al. 1999, Jetten et al., 1999).

De combinatie van partiele nitrificatie (Sharon) en het Anammoxproces

Op dit moment wordt ammonium uit afvalwater verwijderd door een combinatie van nitrificatie en denitrificatie. Een aantal van de nadelen van deze systemen (hoog energie verbruik, groot beluchtingscapaciteit, kosten van methanol en grote installaties) kunnen worden tenietgedaan wanneer een nieuw systeem voor ammonia verwijdering zou worden gebruikt. Dit nieuwe systeem is gebaseerd op een combinatie van partiele oxidatie van ammonium tot nitriet, en denitrificatie van het gevormde nitriet met ammonium als elektrondonor. De microbiële principes van de twee processen (Sharon and Anammox), die betrokken zijn bij dit nieuwe systeem zijn recentelijk opgehelderd (Hellinga et al., 1998; Jetten et al., 1997b; Jetten et al., 1999).



Het Sharon (Single reactor for High activity Ammonium Removal Over Nitrite) proces is zeer geschikt voor het verwijderen van ammonia uit afvalstromen met hoge ammoniacconcentraties (> 1000 mg-N/l) zoals slibgistingswater (Hellinga et al., 1998). Het Sharonproces wordt uitgevoerd als een continu geroerde tank zonder enige biomassaretentie. Hierdoor is het mogelijk om boven 25°C de nitriet oxiderende bacteriën effectief uit het systeem te weren (Jetten et al., 1997a). De ammonium oxiderende bacteriën in de Sharon reactor zijn geïdentificeerd met behulp van verschillende moleculair biologische technieken (Logemann et al., 1998). Een 16S rRNA analyse liet zien dat er een dominante (69%) sequentie zat in de genenbank. Deze sequentie was vergelijkbaar (98.8%) met het 16S rRNA gen van *Nitrosomonas eutropha*. *Nitrobacter* of *Nitrospira* sequentie werden niet aangetroffen. De dominantie van *Nitrosomonas*-achtige bacteriën in de Sharon reactor kon worden bevestigd met twee onafhankelijke microscopische methodes (Logemann et al., 1998).

Een reactor temperatuur van 35 °C en een hoge doorstromingsnelheid van het slibgistingswater resulteren in een stabiele partiële nitrificatie met nitriet als eindproduct. Wanneer het Sharonproces wordt gekoppeld aan het Anammoxproces hoeft slechts 50% van het ammonium te worden omgezet naar nitriet. Hierdoor is er geen toevoeging van extra base, omdat het slibgistingswater zelf voldoende bicarbonaat bevat om de zuurproductie te neutraliseren (reactie 1). Het Sharonproces is intensief getest op laboratoriumschaal voor de ammoniaverwijdering uit slibgistingswater (Tabel 3) en momenteel in gebruik bij 2 Nederlandse slibgistinginstallaties.

Tabel 3: Een overzicht van de parameters van een Anammox fluïde bed reactor (Jetten et al. 1997a) en een Sharon reactor (Hellinga et al. 1998). Beide reactoren werden gevoed met slibgistingswater. Het nitriet voor het Anammoxproces werd aart toegediend.

	SHARON	ANAMMOX	
Ammonium belasting	0.63-1.0	0.24 - 1.34	kg NH ₄ ⁺ -N m ⁻³ reactor dag ⁻¹
Nitriet belasting	niet van toepassing	0.22 - 1.29	kg NO ₂ ⁻ -N m ⁻³ reactor dag ⁻¹
Stikstofbelasting	0.63-1.0	0.46 - 2.63	kg N _{tot} m ⁻³ reactor dag ⁻¹
NH ₄ ⁺ -N effluent	199	27 ± 85	mg N l ⁻¹
NO ₂ ⁻ -N effluent	469	3 ± 3	mg N l ⁻¹
efficiëntie NH ₄ ⁺ verwijdering	76-90	88 ± 9	%
efficiëntie NO ₂ ⁻ verwijdering	niet van toepassing	99 ± 2	%
Maximum activiteit	10.3	0.26	kg N _{tot} (kg dw) ⁻¹ dag ⁻¹

De combinatie van het Anammox- en Sharonproces is langdurig getest op laboratoriumschaal met slibgistingswater als ammoniumbron. De Sharonreactor werd bedreven zonder pH controle met een stikstofbelasting van 0.8 kg N/m³ per dag (Jetten et al., 1997a). Het ammonium werd voornamelijk omgezet tot nitriet. Op deze manier kon een ammonium-nitriet mengsel van de juiste samenstelling verkregen worden, dat gebruikt kon worden als influent voor de Anammoxreactor. Gedurende de testperiode bedroeg het verwijderingsrendement voor ammonium ongeveer 83%.

Deze nieuwe combinatie kan zonder al te veel moeilijkheden worden geïmplementeerd in de bestaande infrastructuur van de huidige afvalwaterinstallaties. Het gebruik van compacte reactoren die een minimum aan ruimte nodig hebben, maakt hun implementatie

erg aantrekkelijk. Het Anammox- en Sharonproces zijn zondermeer toepasbaar en zijn uitvoerig getest op laboratorium- en pilotplantschaal met slibgistingswater. De optimalisatie en implementatie van de twee processen op volle schaal blijft een grote uitdaging voor de nabije toekomst.

Dankwoord

Het onderzoek naar de microbiële stikstofomzettingen werd financieel ondersteund door de STOWA, STW, NWO-ALW, KNAW, TU Delft, DSM-Gist, Paques Biosystems en de Grontmij. De collega's van het Kluyverlaboratorium worden hartelijk bedankt voor hun bijdrage aan het onderzoek en de succesvolle samenwerking.

Literatuur

Bock E, Schmidt I, Stuvén R, and Zart D 1995 Nitrogen loss caused by denitrifying *Nitrosomonas* cells using ammonium or hydrogen as electron acceptor. Arch. Microbiol. 163, 16-20.

Hellinga C, Schellen A A J C, Mulder J W, van Loosdrecht M C M, Heijnen J J 1998 The SHARON process: an innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich waste water. Wat. Sci. Tech. 37:135-142.

Helmer C and Kunst S 1998 Simultaneous nitrification/denitrification in an aerobic biofilm system. Wat. Sci. Tech. 37, 83-187.

Hippen A, Rosenwinkel K H, Baumgarten G, and Seyfried C F 1996 Aerobic deammonification: a new experience in the treatment of wastewaters. Wat. Sci. Tech. 35, 111-120.

Jetten M S M, Horn S J, and van Loosdrecht M C M 1997a Towards a more sustainable municipal wastewater treatment system. Wat. Sci. Tech. 35, 171-180.

Jetten M S M, Logemann S, Muyzer G M, Robertson L A, deVries S, van Loosdrecht M C M, and Kuenen J G 1997b Novel principles in the microbial conversion of nitrogen compounds. Antonie van Leeuwenhoek 71, 75-93.

Jetten M S M, Strous M, van de Pas-Schoonen K T, Schalk J, van Dongen L, van de Graaf A A, Logemann S, Muyzer G, van Loosdrecht M C M, and Kuenen J G 1999 The anaerobic oxidation of ammonium. FEMS Microbiol. Reviews 22, 421-437.

Juretschko S, Timmermann G, Schmid M, Schleifer K H, Pommerening-Roeser A, Koops H P, and Wagner M (1998) Combined molecular and conventional analyses of nitrifying bacterium diversity in activated sludge - *Nitrosococcus mobilis* and *Nitrospira*-like bacteria as dominant populations. Appl. Environ. Microbiol. 64, 3042-3051.

Kuai L and Verstraete W 1998 Ammonium removal by the oxygen-limited autotrophic nitrification-denitrification system. Appl. Environ. Microbiol. 64, 4500-4506.

Logemann S, Schantl J., Bijvank S., van Loosdrecht M C M, Kuenen J G, and Jetten M S M 1998 Molecular microbial diversity in a nitrifying reactor system without sludge retention. FEMS Microbiol. Ecol 27, 239-249.

Mulder A, van de Graaf A A, Robertson L A, and Kuenen J G 1995 Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor. FEMS Microbiol. Ecol 16, 177-183.

Otte S, Grobbs N G, Robertson L A, Jetten M S M, and Kuenen J G 1996 Nitrous oxide production by *Alcaligenes faecalis* under transient and dynamic aerobic and anaerobic conditions. Appl. Environ. Microbiol. 62, 2421-2426.

Otte S, Schalk J, Kuenen J G, and Jetten M S M 1999 Hydroxylamine oxidation and subsequent nitrous oxide production by the heterotrophic ammonia oxidizer *Alcaligenes faecalis*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 55, 255-261.

Schalk-Otte S, Seviour R, Kuenen J G and Jetten M S M 1999 Nitrous oxide production by *Alcaligenes faecalis* during feast and famine. Water Research in press.

Schalk J, Oustad H, Kuenen J G, and Jetten M S M 1998 The anaerobic oxidation of hydrazine - a novel reaction in microbial nitrogen metabolism. FEMS Microbiol. Lett. 158, 61-67.

Schmidt I and Bock E 1997 Anaerobic ammonium oxidation with nitrogen dioxide by *Nitrosomonas eutropha*. Arch. Microbiol. 167, 106-111.

Schmidt I and Bock E 1998 Anaerobic ammonium oxidation by cell free extracts of *Nitrosomonas eutropha*. A. van Leeuwenhoek 73, 271-278.

Schoen G., Bussmann M, and Geywitz-Hetz G 1994 Bildung von Lachgas (N₂O) im belebten Schlamm aus Kläranlagen. Wasser-Abwasser 135, 293-301.

Siegrist H, Reithaar S, and Lais P 1998 Nitrogen loss in a nitrifying rotating contractor treating ammonium rich leachate without organic carbon. *Wat. Sci. Tech.* 37, 589-591.

Strous M, Fuerst J, Kramer E, Logemann S, Muyzer G, van de Pas K, Webb, R, Kuene J, and Jetten M 1999 Missing lithotroph identified as new planctomycete. *Nature* 400, 446-449

Strous M, van Gerven E, Ping Z, Kuenen J G, and Jetten M S M 1997a Ammonium removal from concentrated waste streams with the Anaerobic Ammonium Oxidation (Anammox) process in different reactor configurations. *Wat. Res.* 31, 1955-1962.

Strous M, van Gerven E, Kuenen J G, and Jetten M S M 1997b Effects of aerobic and microaerobic conditions on anaerobic ammonium-oxidizing (Anammox) sludge. *Appl. Environ. Microbiol.* 63, 2446-2448.

Strous M, Heijnen J J, Kuenen J G, and Jetten M S M 1998 The sequencing batch reactor as a powerful tool to study very slowly growing micro-organisms. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 50, 589-596.

Strous M, Kuenen J G, and Jetten MSM (1999) The key physiological parameters of the Anammox process. *Appl. Environ. Microbiol.* 65, 3248-3250.

Twachtman U and Metzger J W 1998 A novel concept for the treatment of the effluent from anaerobic sludge digestion with trickling filters. In *New advances in biological nutrient removal*, Eds, D Patureau and R Moletta, pp 373-377, INRA Narbonne France.

van de Graaf A A, Mulder A, de Bruijn P, Jetten M S M, Robertson L A, and Kuenen J G 1995 Anaerobic oxidation of ammonium is a biologically mediated process. *Appl. Environ. Microbiol.* 61, 1246-1251.

van de Graaf A A, de Bruijn P, Robertson L A, Jetten M S M, and Kuenen J G 1996 Autotrophic growth of anaerobic ammonium-oxidizing micro-organisms in a fluidized bed reactor. *Microbiology (UK)* 142, 2187-2196.

van de Graaf A A, de Bruijn P, Robertson L A, Jetten M S M, and Kuenen, J G 1997 Metabolic pathway of anaerobic ammonium oxidation on the basis of N-15 studies in a fluidized bed reactor. *Microbiology (UK)* 143, 2415-2421.

van Loosdrecht M C M and Jetten M S M. 1998 Microbiological conversions in nitrogen removal. *Wat. Sci. Tech.* 38, 1-7.

PRESTATIE-INDEX RIOLERING ROTTERDAM

Ir. J.M.U. Geerse en ir. A. Geenen***

**HKV Lijn in Water*

Postbus 2120, 8203 AC Lelystad

*** Gemeentewerken Rotterdam - Afdeling Waterhuishouding*

Galvanistraat 15, 3029 AD Rotterdam

Inleiding

Gemeentewerken Rotterdam werkt aan de invoering van centraal automatische sturing van rioolgemalen teneinde de capaciteiten van de bestaande rioolstelsels maximaal te kunnen benutten. Hierbij is een vraagpunt of en in welke mate deze centraal automatische sturing daadwerkelijk zal bijdragen aan het (beter) halen van de doelstellingen die behaald moeten worden.

Tot nog toe is de besturing van rioolgemalen hoofdzakelijk gebaseerd op lokale sturing met daarbij de mogelijkheid handmatig centraal in te grijpen. In beginsel wordt lokaal (per hoofdrioolgemaal) bepaald wat de afvoer moet zijn. Hierbij schakelt een gemaal op vaste in- en uitslagpeilen. Tevens worden alle hoofdrioolgemalen 24 uur per dag bewaakt vanuit de Centrale Meld- en Regelkamer. Op deze plaats komt naast de procesinformatie van de rioolgemalen ook aanvullende informatie binnen (vullingsgraden van rioleringsdistricten, neerslagvoorspelling, weerradarbeelden, etc.). Op basis van deze informatie wordt indien nodig handmatig ingegrepen in de lokale besturing.

In afwijking van de huidige situatie zal na de invoering van centraal automatische besturing van rioolgemalen de afvoer uit een bepaald rioolgemaal altijd afhangen van de totale systeemtoestand. Het gaat hier om een nieuwe ontwikkeling waarvan niet bij voorbaat duidelijk is wat het effect op het behalen van de doelstellingen is. Gemeentewerken ziet de geavanceerde manier van procesvoering als een van de middelen om de negatieve effecten van de riolering op de waterkwaliteit te verminderen. Dit is ook de reden dat reeds lang aandacht bestaat voor analyse van het gevoerde proces. Gezien de invoering van centraal automatische sturing is de noodzaak gebleken om de analyse van het proces ook nader te beschouwen.

Het voorgaande schetst het kader waarin de ontwikkeling van een prestatie-index voor een (centraal) bestuurd rioolstelsel moet worden geplaatst. De prestatie-index moet een (getalsmatige) beoordeling geven van het gevoerde proces. Een belangrijk uitgangspunt voor de opzet van deze index is de eis dat hij kan worden bepaald met een eenvoudige, en robuuste techniek. Verder moet de prestatie-index een hulpmiddel zijn om de besturingsstrategie te optimaliseren. Door HKV is in opdracht van en in nauwe samenwerking met Gemeentewerken Rotterdam deze index ontwikkeld.

Uitgangspunten en randvoorwaarden

Om een prestatie-index te ontwikkelen is gestreefd naar een robuuste methodiek voor de monitoring en evaluatie van het proces. Het ontwikkelen van een "absolute methode" genoot hierbij de voorkeur: bij een absolute methode worden kentallen bepaald op basis van eenvoudig te meten grootheden. De getalswaarde van de kentallen geeft een indicatie voor de prestatie van (een deel van) het gevoerde proces. Als tegenhanger van een absolute methode kan ook een relatieve methode worden toegepast. In dat geval worden gemeten waarden vergeleken met modeluitkomsten. Het nadeel hiervan is dat simulaties nodig zijn van de werkelijkheid. Omdat onvoldoende zekerheid bestaat over de nauwkeurigheid van de modeluitkomsten werd deze methodiek als minder geschikt beschouwd. Belangrijke oorzaken voor onzekerheid zijn enerzijds de beperkte kennis van de neerslag-afvoer relatie en anderzijds de onnauwkeurigheid van de neerslagmeting. De onzekerheid wat betreft de neerslag-afvoer relatie betreft de individuele gebeurtenissen. Wat betreft de neerslagmeting is vooral de neerslagspreiding een kritieke factor.

Verder gold als belangrijke randvoorwaarde dat zo weinig mogelijk gebruik zou moeten worden gemaakt van extra metingen. Zeker gezien de grote hoeveelheid meetgegevens die Rotterdam reeds verzameld werd verondersteld dat de huidige metingen zouden moeten volstaan.

Verder beperkt de methode zich tot de monitoring van het gevoerde proces en hij is dus niet gericht op aspecten als onderhoud(skosten) van riolering, gemalen en persleidingen.

Opzet

Getracht is om binnen de uitgangspunten en randvoorwaarden een aanpak te ontwikkelen. Voor zover bekend is nergens eerder een dergelijke aanpak ontwikkeld die voldoet aan de gestelde criteria. Er zijn wel studies bekend waarbij kentallen zijn ontwikkeld om verschillende alternatieve systeemoplossingen met elkaar te vergelijken. Dit zijn echter studies die een vertrouwelijk karakter dragen. Echter een methodiek om een werkend rioleringsysteem te toetsen op basis van een beperkt aantal meetgegevens is niet eerder opgezet.

Doelstellingen:

De beoordeling van het centraal bestuurd rioolstelsel kan niet plaatsvinden zonder de relatie naar de doelstellingen te leggen. In tabel 1 zijn de doelstellingen geprioriteerd en gewogen naar belang. De eerste twee doelstellingen hebben een absolute weging. Hiermee wordt bedoeld dat het proces er altijd op gericht dient te zijn deze twee doelstellingen (optimale veiligheidssituatie en beperking schade door overstroming) te bereiken.

Tabel 1: Naar belang geprioriteerde en gewogen doelstellingen

	gewicht
prio 1: gezondheid/veiligheid van personen	absoluut
prio 2: beperking van schade door overstroming	absoluut
prio 3: reductie van verontreiniging van het oppervlaktewater	
prio 3a: m.b.t. de singels	30
prio 3b: m.b.t. de rivier	3
prio 3c: m.b.t. het effluent van de awzi (belastingpatroon)	9
prio 4: beperking van de operationele kosten	3
prio 5: beperking sedimentatie	1
prio 6: beperking geur (niet meegenomen, niet objectief meetbaar)	

Operationele omstandigheden:

Tevens wordt onderscheid gemaakt naar operationele omstandigheden. De waardering omtrent het al of niet behalen van doelstellingen hangt namelijk af mede af van de operationele omstandigheden. Het is bijvoorbeeld niet altijd mogelijk om bij zware neerslag te voorkomen dat het oppervlaktewater verontreinigd wordt door overstortend rioolwater. Echter tijdens droog weer omstandigheden mag dit nooit voorkomen en zal deze doelstelling dus altijd behaald moeten kunnen worden. In zijn algemeenheid is het onderscheid gemaakt tussen het monitoren en evalueren (beoordelen) onder droog weer omstandigheden (dwa) en onder regenweer omstandigheden (rwa).

Als apart item is onderzocht op welke wijze klachten kunnen worden geanalyseerd en in hoeverre deze analyse bij de beoordeling gebruikt kan worden. Ook voor klachten ligt vaak een relatie met de operationele omstandigheden. Klachten omtrent stankoverlast en vissterfte ten gevolge van een overstort tijdens droog weer omstandigheden is uiteraard onacceptabel, terwijl incidentele en lokale stankklachten tijdens een lange droge periode als gevolg van aangerot water wellicht geaccepteerd kunnen worden.

Specifieke aspecten voor de Rotterdamse situatie:

In Rotterdam wordt een belangrijk onderscheid gemaakt tussen het overstorten op oppervlaktewater binnendijs en buitendijs. Dit heeft te maken met de gevoeligheid van de

kleine, matig doorstroomde singels voor overstortend rioolwater in tegenstelling tot het relatief ongevoelige ontvangend oppervlaktewater van de grote rivieren (de Nieuwe en de Oude Maas). De zogenaamde bemalen overstorten op buitendijks rivierwater worden 10 maal minder ernstig bevonden dan de binnendijkse overstorten. In het Waterplan Rotterdam is dit onderscheid ook beleidsmatig verankerd. Verder wordt de afvoer naar de zuiveringsinstallatie (o.a. overbelasting) met een factor 9 gewaardeerd. Conclusie hieruit is dat (tijdelijk) overbelasten van de zuivering ter voorkoming van de overstort op binnenwater geprefereerd wordt. Anderzijds tikt het onderbelasten van de zuivering, terwijl tevens sprake is van een overstorting zeer zwaar aan. In een dergelijk geval wordt immers aan deze beide zwaarwegende doelstellingen onvoldoende voldaan.

Uitwerking beoordelingsmethodiek

De prestatie-index is het gewogen gemiddelde van verschillende kentallen. De verschillende kentallen variëren van 0 tot 1. De onderlinge weging van de kentallen wordt bepaald door de doelstellingen waarop zij betrekking hebben. Er is een aparte prestatie-index opgezet voor droogweersituaties en voor regenweersituaties.

Droogweer afvoer

Voor de beoordeling van de procesvoering tijdens droogweer omstandigheden is de absolute methode toegepast. Gedurende droogweer condities is de belasting van het rioolstelsel redelijk nauwkeurig bekend. Kentallen worden opgezet per droog etmaal.

Op basis van meetgegevens die in Rotterdam beschikbaar zijn van alle hoofdrioolgemalen zijn 5 kentallen ontwikkeld. Vervolgens is per kental nagegaan op welke doelstellingen deze betrekking heeft. Tenslotte kan met de gewichten voor de verschillende doelstellingen die door Rotterdam zijn bepaald de prestatie-index worden uitgerekend.

Drie kentallen die zijn ontwikkeld zijn gerelateerd aan de procesvoering en twee zijn gerelateerd aan technische maatstaven. Bij de procesvoering is gekeken naar overstortingen (doelstellingen 3a en 3b), afvoer naar de awzi (doelstelling 3c), operationele kosten (doelstelling 4) en sedimentatie (doelstelling 5). De ontwikkelde kentallen zijn opgenomen in tabel 2.

Tabel 2: Procesvoering gerelateerde kentallen

Procesvoering gerelateerde kentallen	
Kental Dwa 1.1	Het waterpeil in de riolering mag een bepaalde waarde niet overstijgen
Kental Dwa 1.2	Tijdens dwa omstandigheden moet het rioolstelsel minstens 1 maal helemaal leeg zijn
Kental Dwa 1.3	Het afvoerdebiet naar de awzi dient zo gelijkmatig mogelijk te verlopen
Technisch gerelateerde kentallen	
Kental Dwa 2.1	De schakelfrequentie van de pompen dient zo klein mogelijk te zijn
Kental Dwa 2.2	Het rendement van de gemalen dient zo hoog mogelijk te zijn

Bij de ontwikkeling van de kentallen is dus conform de uitgangspunten aangesloten bij de huidige meetgegevens die on-line worden gemeten. In de praktijk wordt gebruik gemaakt van de waterstandsmeting, de debietmeting, de meting van schakelingen van pompen en het energieverbruik (per gemaal).

In bijlage I is als voorbeeld de bepaling van het kental dwa 1.1 nader uitgewerkt.

Verder zijn in bijlage II de uitkomsten vermeld van de berekening van de prestatie-index bij dwa voor een droog etmaal. De berekening is uitgevoerd op basis van de gemeten waarden op 19 augustus 1997 voor drie bemalingsdistricten.

Klachten

Voor de beoordeling van klachten is onderscheid gemaakt naar klachten categorieën. Vervolgens is wordt per categorie nagegaan hoe de klacht is afgehandeld.

Bij de beoordeling van de klachten wordt gekeken of het nodige is gedaan om de klachten te voorkomen of te verminderen, het effect van een klacht op de omgeving (lokaal probleem, probleem dat doorwerkt naar groter gebied) en de wijze waarop de klacht is afgehandeld.

Regenweer afvoer

Het uitwerken van een absolute methode voor regenweeromstandigheden is niet mogelijk gebleken. Hierbij moesten namelijk aannames worden gedaan omtrent gewenst gedrag die onvoldoende konden worden onderbouwd. Daarom is een andere methode uitgewerkt.

Principe van de methode voor Regenweer afvoer:

Het principe van de methode ter bepaling van een prestatie-index voor regenweer afvoer wordt gevormd door de volgende stappen:

1. de rioolloop die tijdens een historische gebeurtenis is opgetreden wordt gereconstrueerd uit metingen (afvoerdebieten en waterstanden). Dit is de 'historische inloop';
2. vervolgens wordt op basis van deze historische rioolloop een simulatie gemaakt met behulp van het computerprogramma Aquarius, dat is ontwikkeld in opdracht van de STOWA. Dit programma bevat een krachtige optimalisatieroutine (Successive Linear Programming) waarmee een sturingsstrategie kan worden berekend. Na de simulatie beschikken we dus over een historische reeks van waterstanden en debieten en over een gesimuleerde reeks. Door de historische reeks te vergelijken met de gesimuleerde reeks worden kentallen bepaald. Deze kentallen worden teruggekoppeld op de doelstellingen, waarna de prestatie-index wordt berekend. De gedefinieerde kentallen hebben betrekking op de overbelasting van de zuivering, het afvoerpatroon naar de zuivering, het volume bemalen overstort en het tijdstip waarop het eerste district overstort op binnenwater.

Uitwerking van de methode voor Regenweer afvoer:

Het vergelijken van de historische reeks met de gesimuleerde reeks vraagt om een grondige analyse van mogelijke combinaties. Zo kan bijvoorbeeld in de historische reeks veel zijn overgestort met bemalen overstorten waardoor een vrije overstort is voorkomen. De gesimuleerde reeks zal doorgaans een betere balans vinden, die bijvoorbeeld kan resulteren in minder bemalen overstort echter ten koste van een vrije overstort. De vergelijking vereist dus een methodische benadering om in alle voorkomende combinaties van werkelijkheid en simulatie kentallen te kunnen berekenen. Hiertoe is een stroomdiagram opgesteld (zie bijlage III) waarin alle mogelijke combinaties voorkomen met daarin per situatie aangegeven hoe kentallen (en daarmee de prestatie-index) berekend moeten worden.

Basisgegevens voor de methode:

De methode gaat uit van de beschikbaarheid van bergingskrommes per rioleringsdistrict en een waterstandsmeting en een debietmeting in het rioolgemaal. Verder is uitgangspunt de aanname dat ieder rioldistrict kan worden geschematiseerd tot een reservoir. Met toepassing van de continuïteitsvergelijking kan dan op basis van de genoemde gegevens de inloop in de riolering worden bepaald.

Continuïteitsvergelijking m.b.t. reservoir:

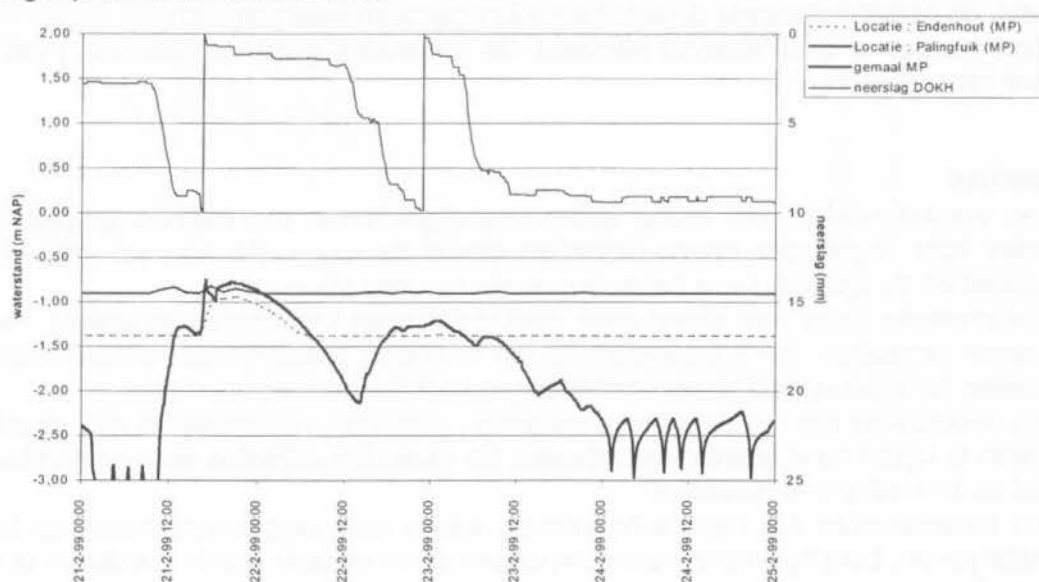
$$Q_{\text{uit}} - Q_{\text{in}} = \Delta B_{\text{berging}} \quad \text{of} \quad Q_{\text{in}} = Q_{\text{uit}} - \Delta B_{\text{berging}}$$

Uitvoering van de methode:

Concreet is de werkwijze hierbij als volgt:

1. Bepaal uit meetgegevens een historische inloopreeks;

2. Gebruik de historische inloopreeksen als systeembelasting voor een model dat door mathematische optimalisatie een optimale afvoerstrategie berekend. De niveaumeting wordt gekoppeld aan de bergingskromme. Hiermee wordt per tijdstap de toename of afname van het in het rioolstelsel geborgen volume bepaald. Ten tweede wordt het uitgaande debiet in dezelfde tijdstap ontleend aan de debietmeting. Het combineren van beide gegevens levert de rioolinloop voor de tijdstap op (Q_{in}). Op deze wijze wordt voor alle tijdstappen de rioolinloop bepaald (historische inloopreeksen). Een probleem ontstaat op het moment dat een rioleringsdistrict tot overstorting komt. Vanaf dat moment tot het einde van de overstorting is het uitgaande debiet niet meer gelijk aan het pompdebiet. Immers het overstortende water wordt niet meegenomen. Besloten is om vooralsnog de reeksen in deze situatie slechts te berekenen tot het moment dat het eerste district gaat overstorten. Meting van het overstortdebiet vindt namelijk nog niet plaats op dit moment. Het bepalen van het tijdstip van overstorten gebeurt op basis van de niveaumeting in het rioolgemaal. Om na te gaan of dit in de Rotterdamse stelsels voldoende nauwkeurig is een aantal extra meters geplaatst in de onderzochte rioleringsgebieden. Ter toelichting zijn in figuur 1 niveaumetingen uit het bemalingsdistrict Meeuwenplaat opgenomen voor een regenperiode in februari 1999.



Figuur 2: Verhangen in het bemalingsdistrict Meeuwenplaat, Gemeente Rotterdam

Na analyse bleek dat bij grotere vulling van de riolering (groter dan 50%) de onderlinge verschillen tussen de meetpunten zeer gering werden. De riolering gedroeg zich dus in grote lijnen inderdaad als een reservoir wanneer het gaat om de beschikbare berging te bepalen op basis van niveaumetingen. Toch is voorgesteld om naast de meting in het rioolgemaal tenminste 1 meting in te richten die stroomopwaarts in het rioleringsstelsel wordt geplaatst. Door deze waarden te middelen moet het mogelijk zijn de vulling van de riolering in de tijd met voldoende nauwkeurigheid te bepalen.

Resultaten

Voor de situatie met droog weer omstandigheden en de situatie met regenweer omstandigheden zijn kentallen berekend en de bijbehorende prestatieindices. Omdat het CAS nog niet operationeel is zijn nog geen analyses gemaakt van historische reeksen die met het CAS zijn gestuurd.

Voor dwa is een prestatie-index berekend voor een willekeurig gekozen droog etmaal. Waarden werden berekend die varieerden van 0,67 voor het laagst scorende district tot 0,89 voor het best scorende district. De indices waren berekend met instellingen (grenswaarden) die in de meeste gevallen waren ontleend aan systeemkenmerken (bijvoorbeeld de hoogte van het in een gemaal instromende riool, het overstortpeil etc.). Om de indices voor de

verschillende districten met elkaar te kunnen vergelijken kan nog een normalisatie worden doorgevoerd. Ook kan men hiertoe een aantal droge etmalen analyseren waarna op basis van een indruk van het gevoerde proces de kentallen en de index wordt bijgesteld (genormeerd).

Voor de regenweersituaties zijn voor twee gevallen kentallen berekend. In het ene geval werd in de historische situatie de awzi niet gedurende de hele gebeurtenis optimaal belast. In het tweede geval was sprake van onderbelasting (tot 20%). De berekende indices gaven een score die in overeenstemming was met een gevoelsmatige beoordeling van het proces. In geval 1 was de score 0,82 en in geval 2 was de score 0,42. De voornaamste reden dat geval 2 slecht scoorde was de overbelasting van de awzi, hierdoor werd overigens wel een bemalen en vrije overstort voorkomen. Het bleek namelijk dat bij de simulatie wel bemalen overstorten nodig waren om de vrije overstort te voorkomen. De overbelasting van de awzi telt echter zwaar aan hetgeen resulteerde in een lage score. In het eerste geval was de score voor de optimale afvoer naar de awzi vrij laag (0,72). Wel werd de bemalen overstort niet onnodig ingezet maar door te beperkte afvoer stortte het eerste district over terwijl in de simulatie hier nog 15% bergingsvolume beschikbaar was. Deze twee factoren resulteerden in een score van 0,82. In de figuren 2 tot en met 9 (zie bijlage Figuren) zijn grafisch de gemeten en geoptimaliseerde debieten en vullingsgraden weergegeven.

Voor klachten is geen analyse gemaakt. De methodiek geeft een handvat maar behoeft verdere concretisering.

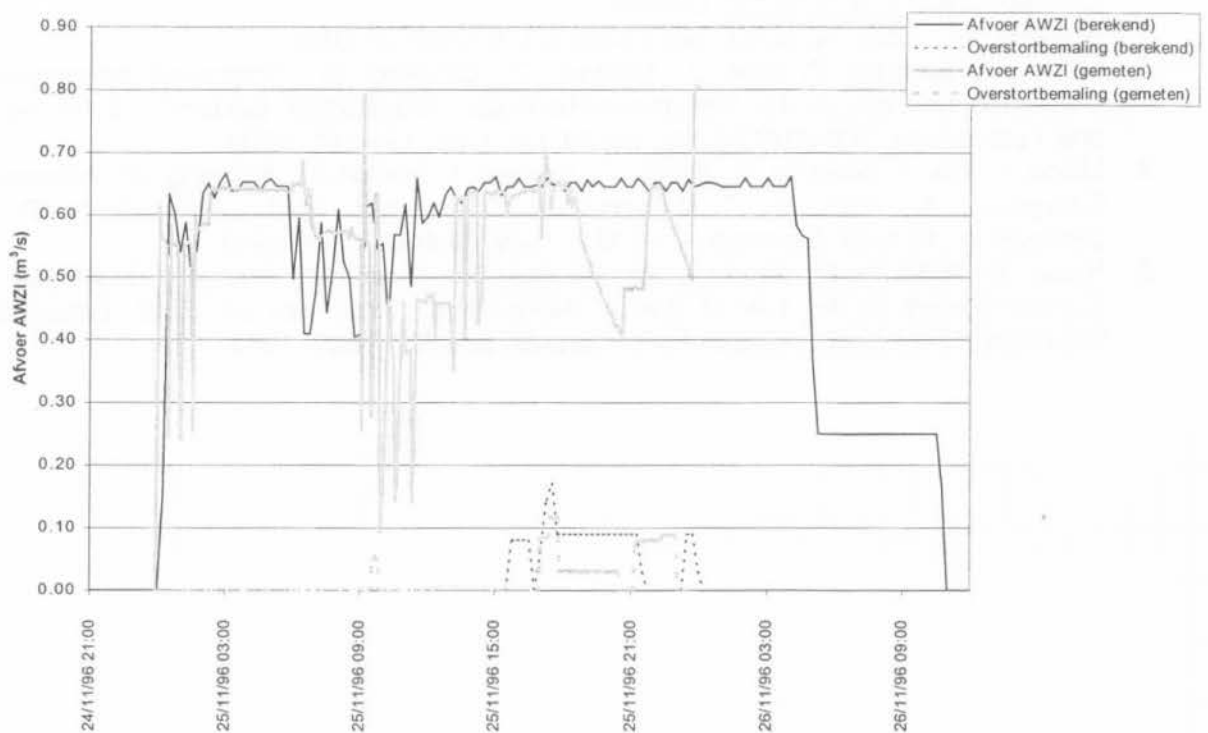
Conclusies

- Een prestatie-index voor droog weeromstandigheden is per definitie ongelijk aan een index voor regenweer omstandigheden omdat de eisen die aan het proces worden gesteld en de tijdsbasis van het te beoordelen proces afwijken.
- Een prestatie-index voor droog weer omstandigheden kan worden opgesteld. Hierbij kan worden uitgegaan van procesvoerings- en technisch gerelateerde kentallen die kunnen worden teruggekoppeld op de doelstellingen voor het rioleringsysteem.
- Het beoordelen van het centraal automatisch gestuurde rioolstelsel in rwa situaties door alleen te kijken naar absolute grootheden als (overstort)debieten en overstortduren, leidt niet tot bevredigende resultaten.
- Het reconstrueren van historische inlopen tijdens neerslaggebeurtenissen op basis van kelderpeilen, bergingskrommes en verpompte debieten blijkt goede resultaten te geven.
- Het afleiden van kentallen op basis van vergelijking van de historische sturing met sturing op basis van een historische inloopreeks m.b.v. mathematische optimalisatie is mogelijk.
- De waarde van kentallen is met name gelegen in de vergelijking van scores van verschillende historische gebeurtenissen. De absolute waarde van een kental hangt o.a. af van de definitie. Het is niet mogelijk verschillende kentallen zo te definiëren dat een relatieve score (vb 0,5) voor de verschillende kentallen een zelfde absolute score in de zin van het halen van een doelstelling betekent.
- Een prestatie-index waarin kentallen gewogen worden opgeteld en gemiddeld geeft een indruk van de kwaliteit van het gevoerde proces. Om inzicht te krijgen in de verschillende operationele doelen (belasting awzi, beperken bemalen overstort, beperken overstort op binnenwater) moet worden teruggegrepen op de individuele kentallen.
- De methode is in principe consistent op de lange termijn. Bepaalde referentiewaarden dienen echter wel onderhouden te worden (energieverbruik, toelaatbare schakelfrequentie, bergingskromme, etc.)
- Uitbreiding naar andere operationele omstandigheden is mogelijk. Dergelijke uitbreidingen vereisen wel gedegen analyse van de problematiek. In principe zijn er geen harde beperkingen aan de uitbreidbaarheid van de methoden vanwege het lineaire karakter van de bepaling van de prestatie-index;
- Vergelijking met andere rioolstelsels: Een dergelijke vergelijking is mogelijk als de kentallen voor een ander rioolstelsel op identieke wijze worden berekend.

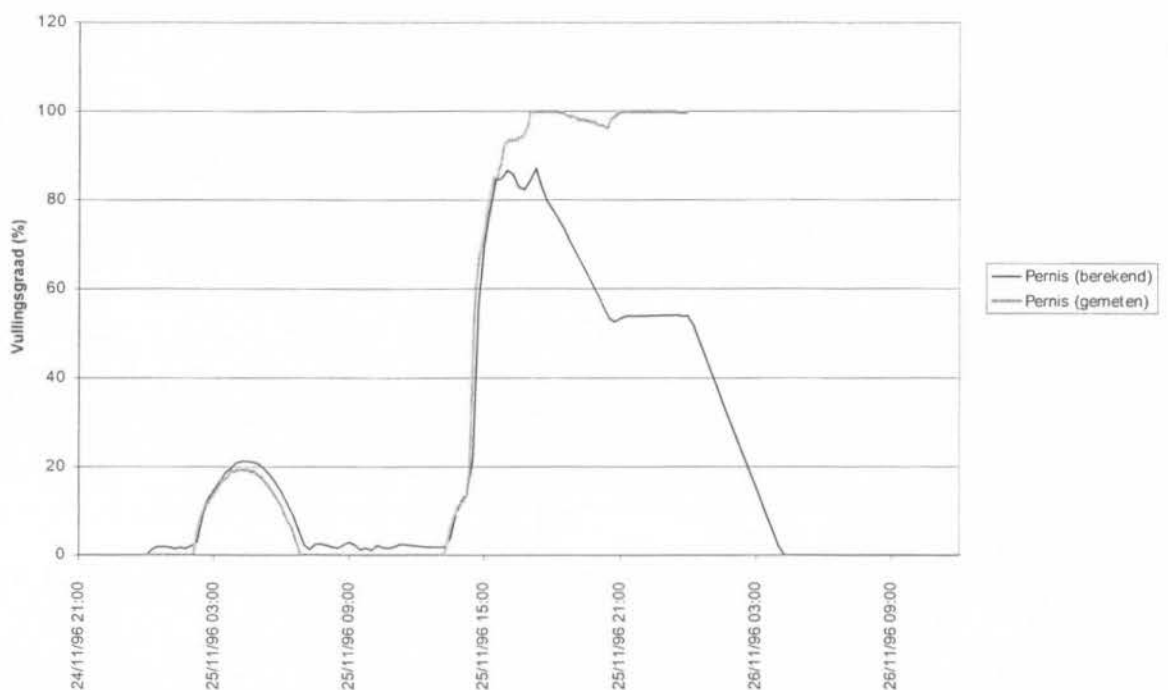
Literatuur

1. Geerse, J.M.U.; Hartong, H.J.G.; Monitoring en Evaluatie Centrale Automatische Sturing, juni 1999, HKV LIJN IN WATER, Lelystad.
2. Schilling, W., 1998, Personal communication, Bremen en Oslo.
3. Milina, J.; Sægrov, S.; Alex, J.; Nielsen, O.; Schilling, W., "Improved Interception of Combined Sewage in the Trondheim-Høvringen Wastewater System", Water Science and Technology, ISSN 0273-1223, Vol.39, No.2, pp. 159-168, 1999.
4. Milina, J.; Lei, J.; Sægrov, S.; König, A.; Selseth, I.; Risholt, L.; Schilling, W.; Nilssen, W.; Ellingsson, A.; Alex, J., " Maximisation of pollution load interception", EWPCA Symposium, Munich, Germany, 4 - 6 May 1999. (betreft Trondheim)
5. Huber, B.; Antener, M.; Schilling, W.; Grottker, M., "Feasibility Planning Of A Real Time Control System in the City of Zurich, Switzerland", Proc. 6th Int. Conf. Urban Storm Drainage, 12-17 Sept., Niagara Falls, Canada, pp 1627-1632, 1993.

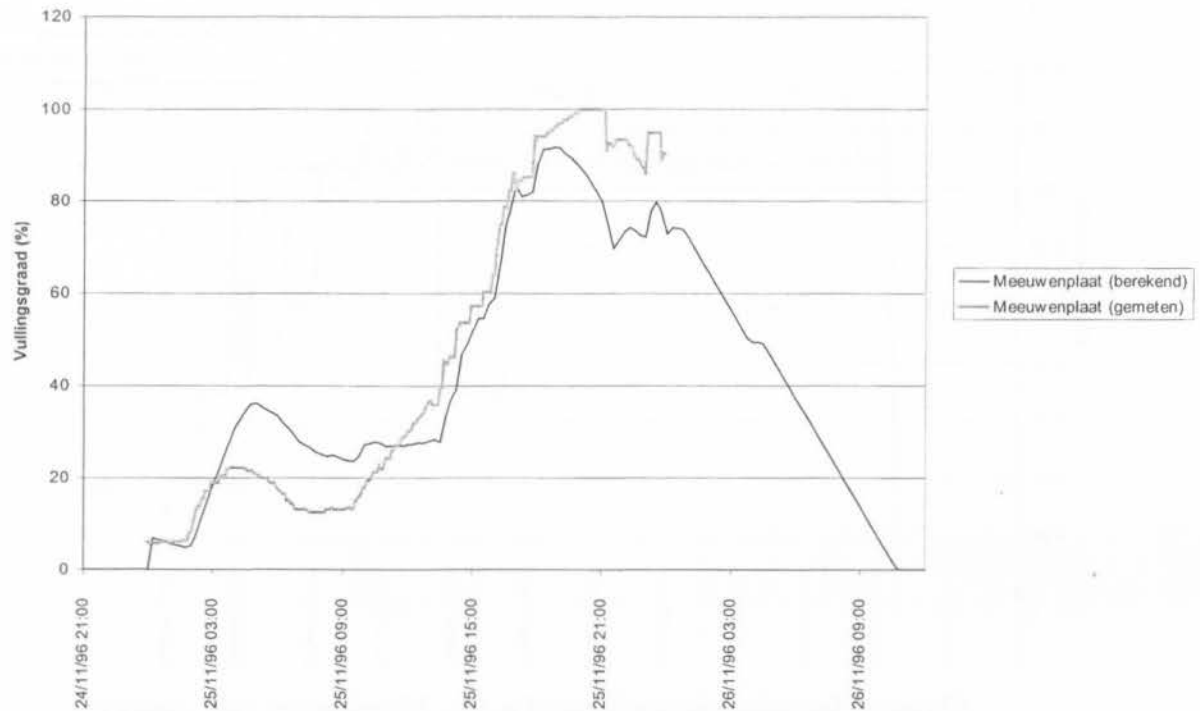
Bijlage Figuren



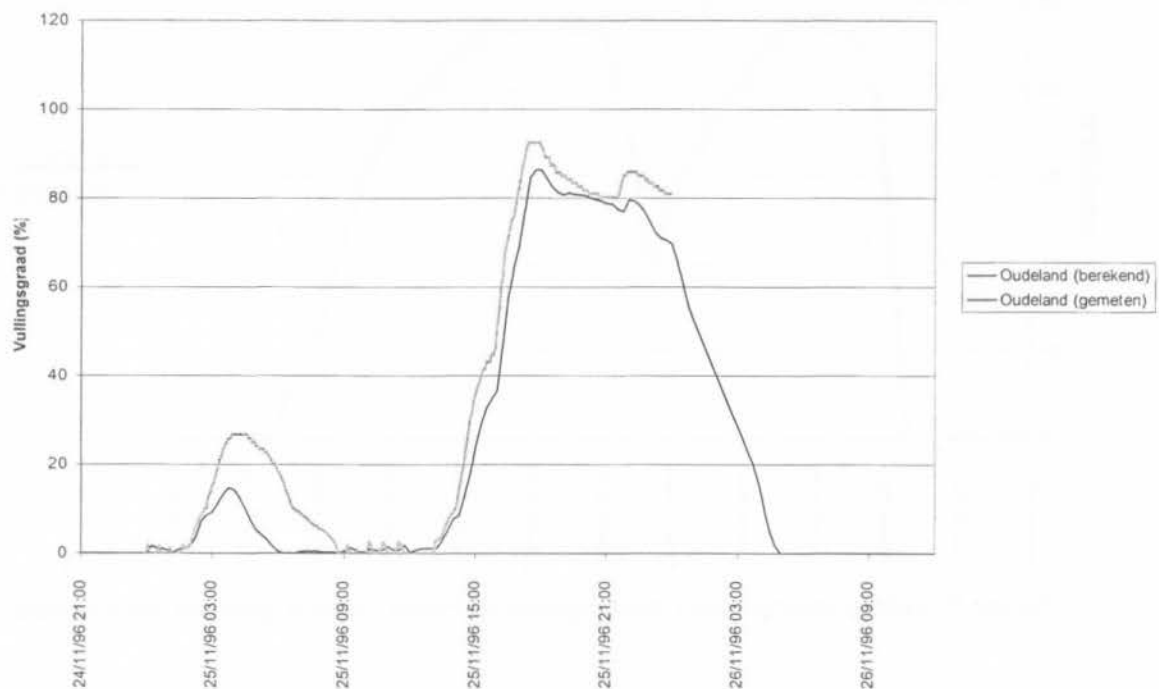
Figuur 2: Gemeten afvoerdebieten d.d. 24 – 26 november 1996 (reeks 1)



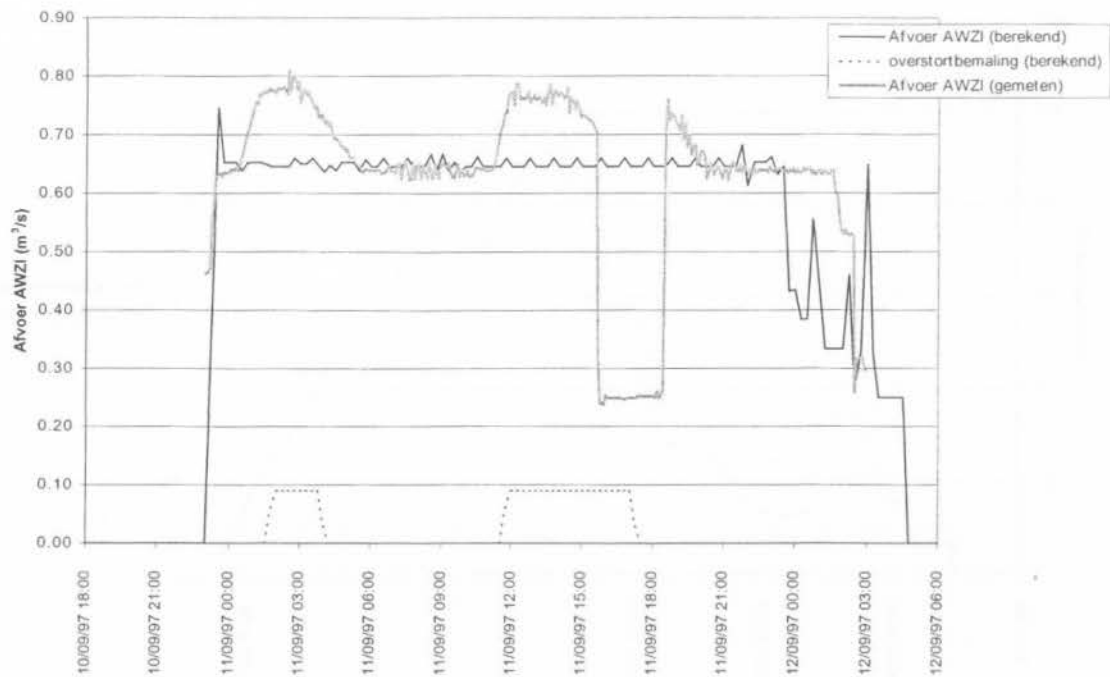
Figuur 3: Verloop vullingsgraad bemalingsdistrict Pernis, reeks 1, gemeten en berekend
N.B.: berekende waarde geldt tot moment van overstort district Pernis



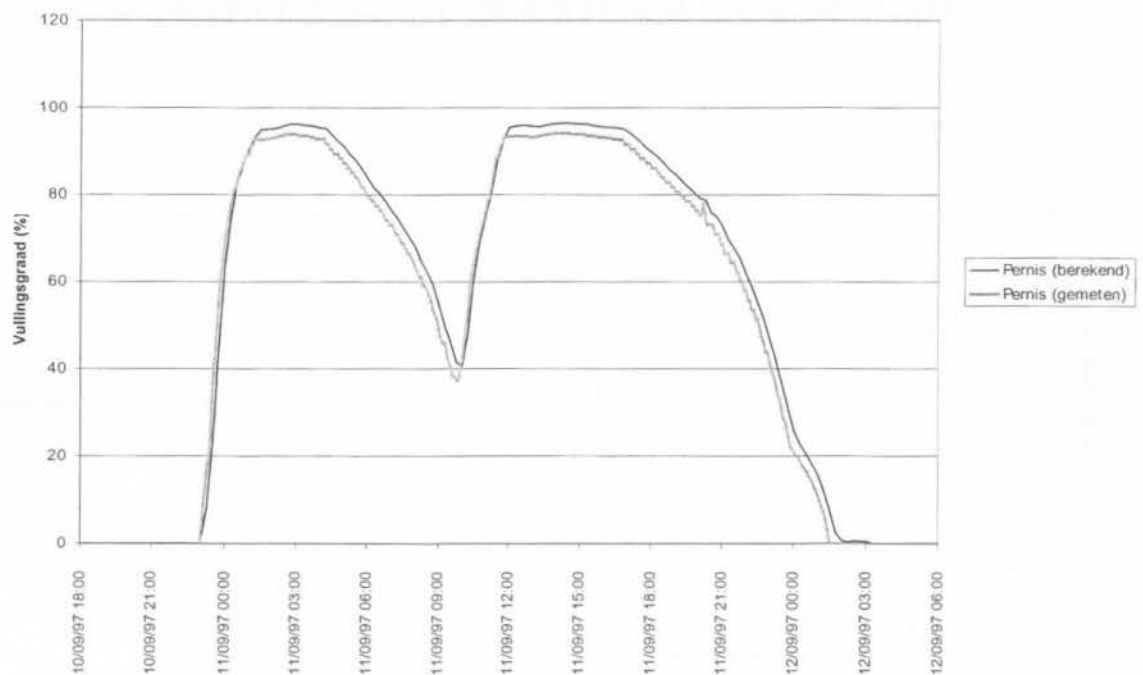
Figuur 4: Verloop vullingsgraad bemalingsdistrict Meeuwenplaat, reeks 1, gemeten en berekend
N.B.: berekende waarde geldig tot moment van overstort district Pernis



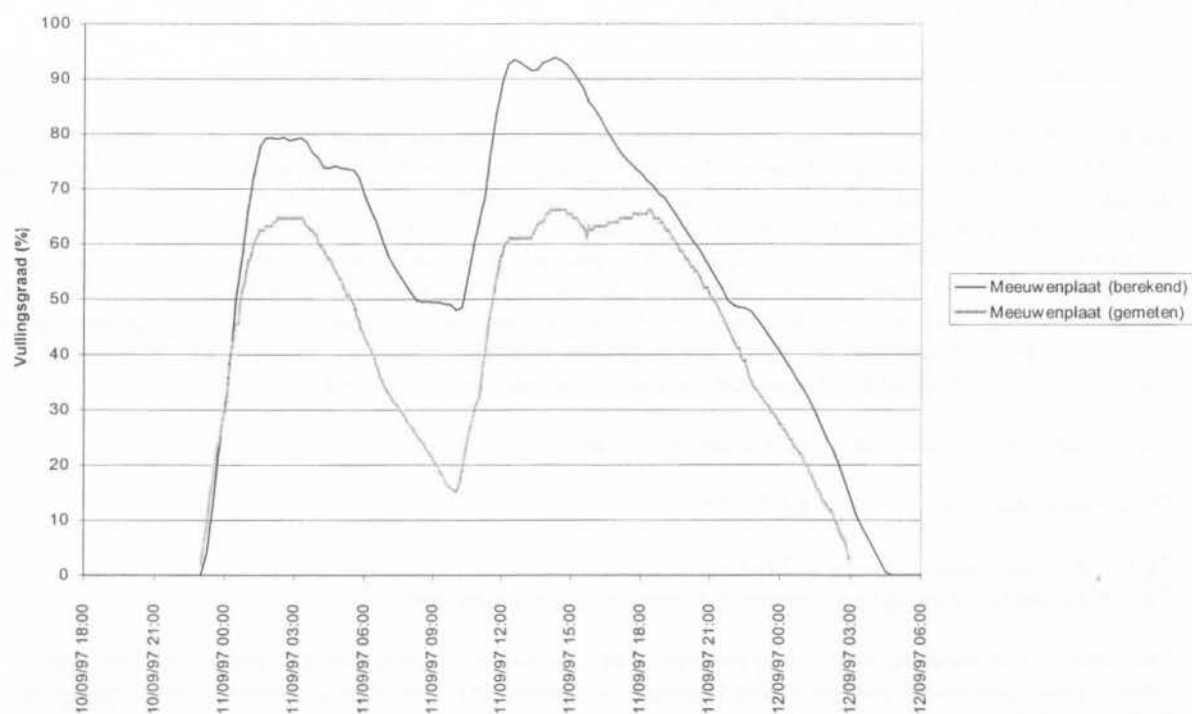
Figuur 5: Verloop vullingsgraad bemalingsdistrict Oudeland, reeks 1, gemeten en berekend
N.B.: berekende waarde geldig tot moment van overstort district Pernis



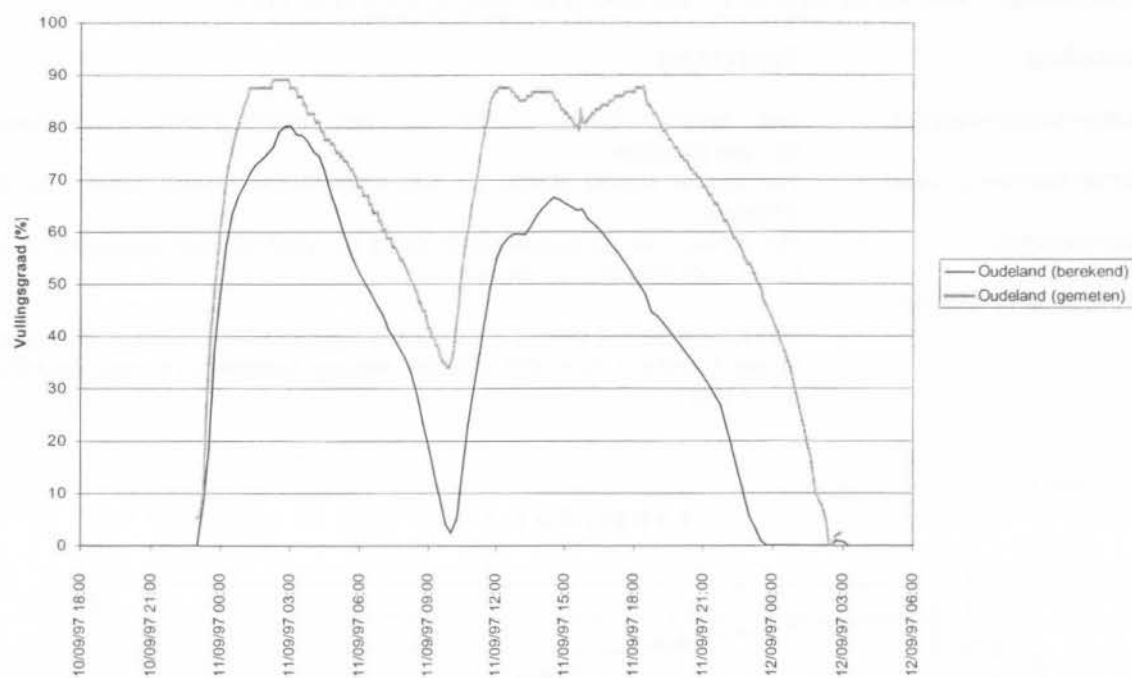
Figuur 6: Gemeten afvoerdebieten d.d. 10 – 12 september 1997 (reeks 2)



Figuur 7: Verloop vullingsgraad bemalingsdistrict Pernis, reeks 2, gemeten en berekend



Figuur 8: Verloop vullingsgraad bemalingsdistrict Meeuwenplaat, reeks 2; gemeten en berekend



Figuur 9: Verloop vullingsgraad district Oudeland, reeks 2, gemeten en berekend

Bijlage I: Uitwerking kental Dwa 1.1

Kental dwa 1.1 Het peil tijdens dwa mag een bepaalde waarde niet overschrijden

Dit kental karakteriseert het gewenste gedrag waarbij tijdens dwa geen onnodige bezinking optreedt in het rioolstelsel door stagnerend water als gevolg van een te klein afvoerdebiet. Momenteel wordt aangenomen door Rotterdam dat het acceptabel is om tijdelijk water in het rioolstelsel te bergen hetgeen dus inhoudt dat het waterpeil in bepaalde gevallen hoger is dan de normale vulling bij dwa. Een te hoog peil waarbij ook secundaire riolen gevuld raken wordt echter als ongewenst beschouwd. Impliciet wordt met dit kental ook getoetst of de dwa daadwerkelijk wordt afgevoerd door de pompen die daarvoor zijn bedoeld. In het geval van storingen van de dwa-pomp zal namelijk in veel gevallen op een hoger peil worden gedraaid vanwege de opstelhoogte van de rwa pompen. In dit kental worden dus o.a. impliciet storingen aan de dwa pompen verdisconteerd.

Een prestatiekental kan als volgt worden gedefinieerd:

$$\text{Prestatiekental dwa 1.1} = 1 - (T_o / T_d)^2$$

T_d = duur droogweert periode (=24 uur)

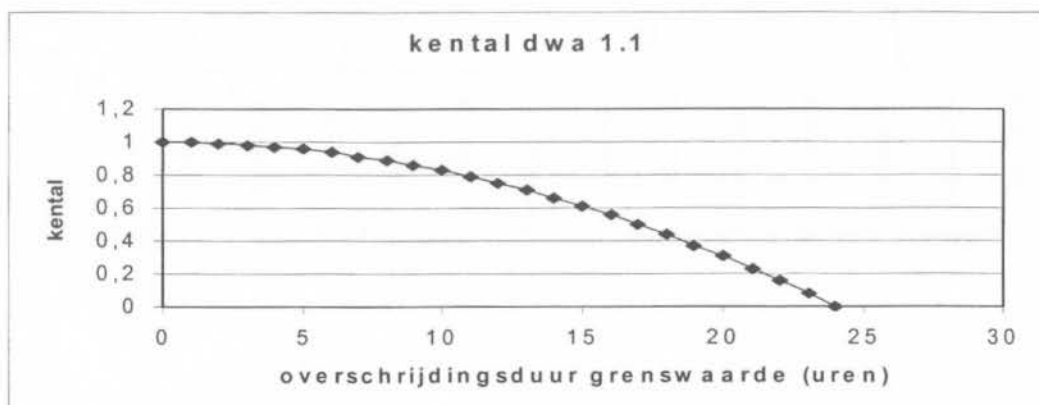
T_o = duur overschrijding van ingesteld maximum toelaatbaar peil

Toelichting: het verband is zodanig bepaald dat een overschrijding van het maximale toelaatbare peil steeds zwaarder wordt aangerekend (kwadratisch verband). Een kort durende overschrijding telt dus niet zo hard aan.

De waarde van het kental wordt 1 wanneer het maximum peil nooit wordt overschreden en 0 wanneer het maximum peil constant wordt overschreden. Het verloop van het kental is grafisch weergegeven in onderstaande figuur.

De doelstellingen waarop kental dwa 1.1 betrekking zijn aangegeven in de tabel.

Doelstelling	Toelichting
Reductie singeloverstort	Het kental scoort slecht als het overstortpeil wordt bereikt bij dwa situaties
Reductie bemalen overstort	Het kental scoort slecht als het overstortpeil wordt bereikt bij dwa situaties
Effluentkwaliteit	Het influent wordt nadelig beïnvloed als veel slib kan bezinken door te hoge waterstanden in de riolering
Beperking sedimentatie	Het kental scoort slecht als de kans op bezinking hoog is. Een goede score betekent dus dat relatief weinig baggerwerk noodzakelijk is (riolering)



Bijlage II: Bepaling kentallen bij dwa omstandigheden (19 augustus 1997)

Gemaal 21 Toscalaan (district Oude Land):

Kental	Score	Toelichting
Dwa kental 1.1	1	Hoogst toelaatbare waarde ingesteld op: 4,35 m – NAP
Dwa kental 1.2	0.7	Te onderschrijden waarde ingesteld op: 4,70 m - NAP
Dwa kental 1.3	0.89 of alt. 0.69	Alternatief heeft de voorkeur (iets lagere score)
Dwa kental 2.1	0.66	25 inschakelingen in een dag (geteld op basis van debietmeting per 5 minuten)
Dwa kental 2.2	14.4 of na normeren 0,72	Getal moet nog tussen nul en 1 worden genormeerd (vb delen door 20), Dan score wordt 0.72
Prestatie-index:	0,79	Met alt kental 1.3 en genormeerd kental 2.2

Gemaal 27 Burgerhof (district Pernis)

Kental	Score	Toelichting
Dwa kental 1.1	0.99	Hoogst toelaatbare waarde ingesteld op: 3,80 m – NAP (tussen dwa inslag en rwa inslag)
Dwa kental 1.2	0.42	Te onderschrijden waarde ingesteld op: 4,30 m – NAP (30 cm onder dwa inslag)
Dwa kental 1.3	0.86 of alt. 0.65	Zie Toscalaan
Dwa kental 2.1	0.34	93 inslagen (geteld op basis van debietmeting per 5 minuten)
Dwa kental 2.2	11.3 of na normeren 0,75	Getal moet nog tussen nul en 1 worden genormeerd (vb delen door 15), Dan score wordt 0.75
Prestatie-index:	0,67	

Gemaal 22 Holwinde (district Meeuwenplaat)

Kental	Score	Toelichting
Dwa kental 1.1	1	Hoogst toelaatbare waarde ingesteld op: 2.35 m – NAP
Dwa kental 1.2	0.86	Te onderschrijden waarde ingesteld op: 4.15 - NAP
Dwa kental 1.3	0.94 of alt. 0.82	Zie Toscalaan
Dwa kental 2.1	0.83	Slechts 10 schakelingen in een dag.
Dwa kental 2.2	17.3 of na normeren 0.69	Normeren door te delen door 25. Dan wordt de score 0.69.
Prestatie-index:	0,89	

Bijlage III: Bepaling kentallen bij rwa omstandigheden

De bepaling geschiedt door het stroomdiagram 'Bepaling Prestatiekentallen en Prestatie-index RWA' uit te voeren.

De berekening geschiedt per historische rwa gebeurtenis. De regenweer gebeurtenis is hiertoe eenduidig als volgt gedefinieerd:

Een rwa-gebeurtenis bestrijkt de duur vanaf het stijgen van de waterstand in het district als gevolg van neerslag tot het weer bereiken van een vast te stellen (laag water) niveau.

Voor een lus duurt een rwa-gebeurtenis van het moment dat in een van districten van een lus een rwa-gebeurtenis optreedt tot het moment dat in alle districten van de lus de rwa-gebeurtenis ten einde is.

N.B.: een lus is een groep van districten die naar eenzelfde afvalwaterzuiveringsinrichting afvoeren.

De hoofdlijn voor de berekening is als volgt:

Hoofdlijn Bepaling Kentallen:

Om kentallen te kunnen bepalen moet worden vastgelegd hoe de historische situatie zich verhoudt tot de uitkomsten uit Aquarius. Het kan bijvoorbeeld voorkomen dat in de historische situatie excessief veel is overstort via de bemalen overstorten waarmee een overstort op binnenwater is voorkomen. Aquarius zal in een dergelijke situatie misschien minder bemalen overstorten maar wel resulteren in een singeloverstort.

In het stroomdiagram dat hierna is weergegeven worden alle mogelijke combinaties weergegeven. De daarna. Voor iedere mogelijke situatie moet worden bepaald hoe de prestatie-index wordt berekend. Theoretisch kunnen 16 verschillende situaties optreden.

Om de kentallen te berekenen wordt in het navolgende eerst de hoofdlijn weergegeven. Daarna wordt per situatie nagegaan hoe de exacte berekening van de kentallen en de prestatie-index moet worden uitgevoerd. Dit laatste geschiedt door het stroomdiagram te doorlopen.

1. Kental rwa 1: overbelasting awzi

Uitwerking:

Overbelasting van de awzi mag niet voorkomen. Incidenteel is dit niet te voorkomen (looptijden van waterstromen, regelbaarheid van gemalen). Een kental zou hiermee rekening moeten houden. Men kan bijvoorbeeld de score van 100% geven per tijdstap dat het afvoerdebiet wel wordt overschreden maar slechts tot 105 %. De score daalt vervolgens tot nul (lineair) bij overschrijding tot 120%. Overschrijdingen van 120% of hoger scoren nul.

De grenswaarde van 105% is nodig om te voorkomen dat langdurige belasting met bijvoorbeeld 100 % de slechte score van overbelasting sterk relativeert. Het moet echter duidelijk worden in het kental dat overbelasting eenvoudigweg niet toelaatbaar is.

Criteria:

Indien $Q_{ritot} \leq Q_{rimax}$; geen bijdrage aan het kental

Indien:

$1,05 \cdot Q_{rimax} < Q_{ritot} \leq 1,2 \cdot Q_{rimax}$: score verloopt van 1 naar 0.

Indien $Q_{ritot} \geq 1,2 \cdot Q_{rimax}$: score is 0

Afgeleid kan worden dat het kental als volgt wordt gedefinieerd:

$$\text{Kental} = -6,67 \cdot Q_{ri} / Q_{tot} + 8$$

Controle:

Stel $Q_{rimax} = 100$

Dan met $Q_{ritot} = 105$:

score is: $(105 / (-0,15 \cdot 100) + 8) = -7 + 8 = 1$

En met $Q_{ritot} = 120$:

score is: $(120 / (-0,15 \cdot 100) + 8) = -8 + 8 = 0$

2. Kental rwa2: optimale afvoer naar de awzi

Onder optimaal afvoeren wordt verstaan het afvoeren van een volume dat groter dan of gelijk is aan het afgevoerde volume volgens Aquarius. De periode waarover de optimale afvoer wordt berekend is:

Vanaf begin gebeurtenis tot einde bemalen overstort (indien alleen bemalen overstort) of;

Vanaf begin gebeurtenis tot aanvang eerste singeloverstort (indien singeloverstort heeft plaatsgevonden).

Het kental wordt bepaald als het quotient van de het historisch afgevoerde volume (m3) en het afgevoerde volume volgens Aquarius.

3. Kental Rwa 3: Bemalen overstort:

Criteria:

Qobwerk < Qobmod: score groter dan 1

Qobwerk = Qobmod: score = 1

Qobwerk > Qobmod: score kleiner dan 1

Het kental voor de ob bemaling wordt als volgt gedefinieerd:

$$\text{Kental OB} = (\text{Qobmod} / \text{Qobwerk})$$

Toelichting: het kental voldoet aan de bovenstaande criteria. Echter wanneer in de werkelijkheid geen bemalen overstort heeft plaatsgevonden, maar volgens Aquarius wel wordt door nul gedeeld. De interpretatie van het kental is in dit geval dat de werkelijkheid heel goed heeft gedraaid (eigenlijk oneindig veel beter dan Aquarius). De score is dan dus 1.

Definities:

Qobwerk = de werkelijk afgevoerde hoeveelheid via bemalen overstorten van een lus

Qobmod = de volgens Aquarius afgevoerde hoeveelheid via bemalen overstorten van een lus

Qritot = Werkelijk afgevoerd debiet van een lus naar de awzi

Qrimax = Maximaal zuiveringsdebiet

4. Historisch (ob en) ovs:

Kental rwa4: vrije overstort (ovs):

Criterium:

Een score is goed wanneer op het moment dat het eerste gebied overstort de vullingsgraad van het in Aquarius meest gevulde gebied 100 % bedraagt. Naar de overige vullingen wordt niet gekeken. De gemiddelde vullingsgraad is indirect al getoetst bij de optimale afvoer. Verder is de eis 'vullingsgraadgelijk' geen goed criterium om op een willekeurig moment de overige gebieden op te toetsen. Om het eerst overstortende gebied te kunnen ontzien kunnen immers afwijkende maatregelen genomen zijn.

Voor de ob is de bepaling van het kental conform hiervoor besproken.

Om de bepaling van de score inzichtelijk te houden wordt de volgende bepaling voorgesteld:

De score wordt bepaald door de grootste historische vulling in een lus (100%) te relateren aan hoogste vulling in Aquarius:

$$\text{Kental: } 1 - (100 - \text{Hoogste vulling Aq})/100$$

Voorbeeld: Aq heeft 80 %: score = $1 - 0,2 = 0,8$

Wel ovs en geen ob:

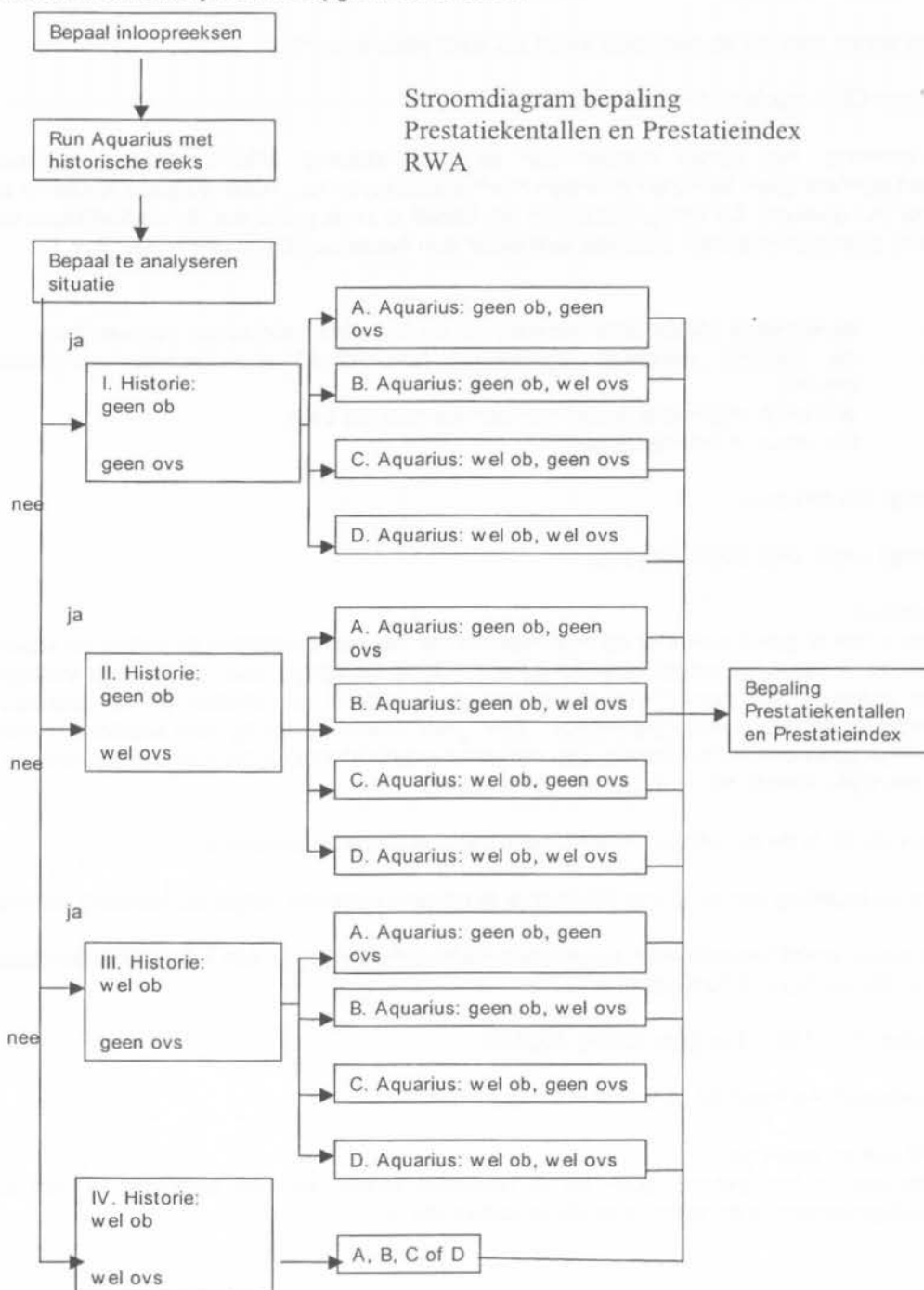
Wanneer in het geheel geen ob is gedraaid terwijl wel een overstort in een lus heeft plaatsgevonden is de score voor ob logischerwijs 0.

Concrete uitwerking bepaling prestatie-index rwa:*Prestatie-index RWA:*

Algemeen wordt de prestatie-index rwa bepaald volgens de volgende formule:

$$(9 * rwa1 (\text{overbelasting awzi}) + 30 * rwa2 (\text{Kental optimale afvoer}) + 3 * rwa3 (\text{bemalen overstort}) + 30 * rwa4 (\text{singeloverstort})) / 72$$

Er zijn echter situaties dat bepaalde kentallen niet van toepassing zijn. In die gevallen wordt de formule aangepast. Verder geldt in de situatie dat geen historische overstort heeft plaatsgevonden en ook geen overstort volgens Aquarius dat het kental voor optimale afvoer naar de awzi het gewicht 3 krijgt i.p.v. 30. De reden hiervoor is dat de factor 30 is ontleend aan de doelstelling m.b.t. beperken singeloverstort. Wanneer dus geen sprake is van een singeloverstort is het niet correct om het kental voor de optimale afvoer naar de awzi met deze factor te vermenigvuldigen. Beter is dan om de relatie te leggen met het zoveel mogelijk voorkomen van de bemalen overstort. Deze heeft een gewicht van 3. In de tabel 'berekening prestatie-index RWA' is aangegeven hoe de berekening van een prestatie-index plaatsvindt, afhankelijk van de opgetreden situatie.



Tabel: Berekening Prestatie-index RWA

Situatie	Kental: Rwa 1	Kental: Rwa 2	Kental: Rwa 3	Kental: Rwa 4	Prestatie-Index RWA
I – A	Standaard (over gehele gebeurtenis)	nvt	nvt	nvt	Rwa 1
I – B	Zie I - A	nvt	nvt	1	$(9 \cdot rwa1 + 30 \cdot 1) / 39$
I – C	Zie I - A	nvt	1	nvt	$(9 \cdot rwa1 + 3 \cdot 1) / 12$
I – D	Zie I - A	nvt	1	1	$(9 \cdot rwa1 + 3 \cdot 1 + 30 \cdot 1) / 42$
II – A	Zie I - A	Qawzihis / QawziAq (over gebeurtenis tot 1e historische ovs)	0	Vullingsgraad Aq / 100%	$(9 \cdot rwa1 + 30 \cdot rwa2 + 3 \cdot rwa3 + 30 \cdot rwa4) / 72$
II – B	Zie I - A	Zie II - A	nvt	Zie II - A	$(9 \cdot rwa1 + 30 \cdot rwa2 + 30 \cdot rwa4) / 69$
II – C	Zie I - A	Zie II - A	1	Zie II - A	Zie II - A
II – D	Zie I - A	Zie II - A	1	1	Zie II - A
III – A	Zie I - A	Qawzihis / QawziAq (over gehele gebeurtenis)	0	nvt	$(9 \cdot rwa1 + 3 \cdot rwa2 + 3 \cdot rwa3) / 15$
III – B	Zie I - A	Qawzihis / QawziAq (over gebeurtenis tot 1e historische ovs)	0	1	$(9 \cdot rwa1 + 30 \cdot rwa2 + 3 \cdot rwa3 + 30 \cdot rwa4) / 72$
III – C	Zie I - A	Qawzihis / QawziAq (over gehele gebeurtenis)	QobAq / Qobhis	nvt	$(9 \cdot rwa1 + 3 \cdot rwa2 + 3 \cdot rwa3) / 15$
III – D	Zie I - A	Qawzihis / QawziAq (tot aan 1e historische overstort)	QobAq / Qobhis (tot aan 1e historische overstort)	1	$(9 \cdot rwa1 + 30 \cdot rwa2 + 3 \cdot rwa3 + 30 \cdot rwa4) / 72$
IV – A	Zie I - A	Qawzihis / QawziAq (tot aan 1e historische overstort)	0	Zie II - A	$(9 \cdot rwa1 + 30 \cdot rwa2 + 3 \cdot rwa3 + 30 \cdot rwa4) / 72$
IV – B	Zie I - A	Zie IV - A	nvt	Zie II - A	$(9 \cdot rwa1 + 30 \cdot rwa2 + 30 \cdot rwa4) / 69$
IV – C	Zie I - A	Zie IV - A	QobAq / Qobhis (tot aan 1e historische overstort)	Zie II - A	$(9 \cdot rwa1 + 30 \cdot rwa2 + 3 \cdot rwa3 + 30 \cdot rwa4) / 72$
IV – D	Zie I - A	Zie IV - A	Zie IV - C	1	Zie IV - C

BEDREIGINGEN VOOR DE VOLKSGEZONDHEID ALS GEVOLG VAN DE TOEPASSING VAN DUURZAME WATERSYSTEMEN

Prof.dr. F. van Knapen

*Universiteit Utrecht, Faculteit Diergeneeskunde, Hoofdafdeling VVDO,
Postbus 80175, 3508 TD Utrecht*

Inleiding

Het beeld dat de gemiddelde Nederlander heeft van een dierenarts is dat van een zelfstandig zwoegende arts voor zieke dieren die dag en nacht klaar staat en van het ene romantische avontuur met dieren verzeild raakt in de volgende levensreddende situatie, waarna hij moe maar voldaan huiswaarts keert.

De echte "Vlimmen-kenners" weten natuurlijk dat ook een belangrijke taak op het terrein van de volksgezondheid is weggelegd voor deze practicus, die immers ook verantwoordelijk is voor de keuring van geslachte dieren vóór consumptie door het publiek. Immers, zó voorkomt hij overdracht van een groot aantal ziekten die mogelijk van zieke dieren zouden kunnen overgaan op toekomstige consumenten.

Beide geschetste beelden tonen de dierenarts als diagnosticus die aan individuele dieren onderzoek doet (diagnostiek en postmortale vleeskeuring). De moderne dierenarts, thans ook opgeleid in een totaal vernieuwd onderwijscurriculum aan de Faculteit Diergeneeskunde in Utrecht, heeft bijzonder weinig te maken met de geromantiseerde beeldvorming van het beroep zoals die bij het publiek nog steeds bestaat. De moderne dierenarts die verantwoordelijk is voor de bewaking van de volksgezondheid is een epidemioloog die gezondheidsbescherming tot taak heeft.

Veterinaire volksgezondheid houdt zich bezig met alle interacties tussen het dier en zijn producten enerzijds en de gezondheid van de mens anderzijds. Het gaat dus over landbouwhuisdieren die bijdragen aan onze voedselproductie (vlees, melk, eieren, etc.), maar ook over gezelschapsdieren (honden, katten, paarden, etc.) die aaibaarheid en genegenheid produceren of gebruikt worden voor sport en recreatie.

Afalstromen zoals slachtafval, mest, urine en dus ook hondenpoep horen bij de hygiënische verantwoordelijkheid van dierenartsen. Hetzelfde geldt voor ongediertebestrijding en wildbeheer. Kortom, een breed scala aan verantwoordelijkheden op het terrein van microbiologie, contaminanten, proceskunde, milieuhygiëne, risico-analyse, mathematische modellering en (inter)nationale regelgeving hebben van de moderne dierenarts een multifunctionele academicus gemaakt op het terrein van de volksgezondheidsbescherming. In dit kader moet de navolgende overweging gezien worden, waar een dierenarts specialist volksgezondheid met verbazing kennis neemt van een aantal maatschappelijke veranderingen in de directe leefomgeving van de mens anno 2000.

Parameters voor de volksgezondheid

Moderne planbureaus kunnen niet zonder een modelmatige abstractie van de werkelijke wereld waarin wij leven, zodat tal van economische berekeningen, beleidsmatige maatregelen en te verwachten effecten daarvan kunnen worden doorgeerekend met behulp van een mathematisch model. Alleen succesvolle maatregelen (naar berekende verwachting) zullen worden doorgevoerd, of waar noodzakelijk zal gericht wetenschappelijk onderzoek kunnen worden geïnitieerd. In een zeer abstract model, waar men gebruik maakt van parameters om de staat van de volksgezondheid in een bepaalde populatie te beschrijven, kunnen worden opgenomen:

- de aanwezigheid van veilig drinkwater;
- de aanwezigheid van een functionerend rioolstelsel;
- een veterinaire infrastructuur;
- het bruto-nationaal product.

Deze grove parameters geven (naast andere) een essentieel eerste inzicht in hoe het met de volksgezondheid in een populatie (land) is gesteld. Vergelijk dit met Nederland ruim honderd jaar geleden, of een willekeurig ontwikkelingsland nú. De armoedecirkel in een overwegend agrarisch land wordt doorbroken door elementaire hygiënevoorzieningen (ingenieurs) en een veterinaire infrastructuur (dierenartsen) die voor basisvoorzieningen als voedsel, trekkracht en transport verantwoordelijk is. Pas dan komt de economie op gang (BNP stijgt) en is er financiële ruimte voor verdere infrastructuur (scholing, medische voorzieningen, etc.).

Van deze lessen uit ons eigen verleden kunnen we nog steeds profiteren als we daar open voor staan, zowel in eigen land als in ontwikkelingslanden. De veterinaire infrastructuur is verantwoordelijk voor het doorbreken van microbiële (en niet-microbiële) kringlopen tussen mens-dier en milieu, ter bescherming van de gezondheid van de mens. Het succes ervan is paradoxaal genoeg tevens de oorzaak van politieke desinteresse: infectieziekten horen in Nederland niet meer tot de categorie van belangrijke ziekte- of doodsoorzaken. Dus kan het dure systeem dat de bewaking van infectieziekten in stand houdt stukje bij beetje worden afgeschaft. Het komt immers niet meer voor?

Nieuwe zorg- of monitoringsystemen voor het opsporen van ziekten of afwijkingen die de gezondheid van de mens schaden, worden éérs onderworpen aan een "cost-benefit" analyse alvorens een politiek besluit wordt genomen om ze door te voeren (voorbeeld: het opsporen of voorkomen van aangeboren toxoplasmose in Nederland).

Kortom, de ratio gaat voor de emotie en daar is zelfs wat voor te zeggen. Des te onbegrijpelijker is het dat deze regel niet opgaat wanneer sprake is van onduidelijke infecties of intoxicaties via ons voedsel of wanneer mogelijk de kwaliteit van ons leefmilieu in het geding is. Voorbeelden van grote publieksemoties die leidden tot politieke besluitvorming waren in het recente verleden: HIV, BSE, dioxines, Hamburgerziekte en Legionella-infecties. Basale begrippen als gevaar, risico, risico-analyse, risicomangement en risicocommunicatie worden gemakshalve volledig onder de voet gelopen door de risicoperceptie van de media en het publiek. Het is wellicht daaraan te wijten dat onze ogen gesloten blijven voor maatschappelijke veranderingen in onze directe leefomgeving, die hoewel zuiver van bedoeling, leiden tot potentiële gezondheids- of welzijnsbedreiging van de mens. Ons watermanagement is aanleiding voor een nadere overweging.

Voorbeelden van verontachtzaming van gezondheidsrisico's

In een moderne, milieubewuste samenleving met een bloeiende industrie kennen we meer soorten water dan de gemiddelde krantenlezer in Nederland kan bedenken: drinkwater, huishoudwater, grijs water, industriewater, hemelwater, zwemwater, koelwater, transportwater.

Het ligt in de bedoeling om tenminste in woonwijken naast drinkwater ook huishoudwater- en/of grijs watercircuits ter beschikking te stellen. Opgemerkt dient te worden dat thans wettelijk alleen normen zijn vastgelegd voor drinkwater en zwemwater. Alle andere soorten water zijn niet gedefinieerd of hoeven te voldoen aan minimum hygiëne-eisen.

Daarnaast wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van warmwatervoorzieningen per huis of per woonwijk (centrale voorziening) die opgewarmd worden met zonne-energie. Dit betekent een maximum temperatuur van ten hoogste 60°C maar meestal minder, als niet extra bijverwarmd wordt. Het gebruik van kunststof leidingen leidt zometot tot verhoogde biofilmaanslag, danwel in ieder geval tot een biologisch andere biofilmsamenstelling in de leidingen die een gewijzigde potentiële groei van ziekteverwekkende micro-organismen (pathogenen) bevordert.

Water-overdraagbare pathogenen omvatten zowel bacteriën, virussen als parasieten (zie tabel). Het gebruik van microbiologisch ongedefinieerd water, of verwarmd water waar thermotolerante pathogenen juist bij voorkeur overleven (groeien), zoals Legionella of pathogene amoeben, is uit oogpunt van volksgezondheid ongewenst. Het is zeer moeilijk om risico's te kwantificeren omdat de blootstelling van de mens aan deze ziekteverwekkers sterk verschilt, evenals de gevoeligheid ervoor tussen individuen. Het ontbreekt bovendien aan absolute getallen over het voorkomen van bepaalde infectieziekten omdat die in Nederland niet geregistreerd worden, op enkele na. Infecties die niet tot klinische ziekte leiden, zijn

helemaal niet te kwantificeren. Informatie zal doorgaans blijven steken bij een waarschuwing voor potentiële risico's (hazards) en waar nader onderzoek gewenst is.

Een interessant voorbeeld in dit verband is de wettelijke regeling dat vrachtwagens die varkens hebben vervoerd, gereinigd en gedesinfecteerd moeten worden op speciaal daarvoor ingerichte wasplaatsen (milieubewust, beperking besmettingsgevaar) met behulp van water, dat van drinkwaterkwaliteit moet zijn. Indien het mogelijk aanwezige industriewater zou worden aangewend (is economisch aantrekkelijker) wordt procesverbaal opgemaakt door de Algemene Inspectie Dienst van ons Ministerie van LNV. In huishoudens van gewone mensen wordt binnenkort de tuin gesproeid met huishoudwater, het toilet gespoeld met grijs water en de auto gewassen met hemelwater. Gezien de niet te garanderen microbiologische gesteldheid van deze waterstromen verdient het aanbeveling om kinderen binnen te houden tijdens het sproeien of auto wassen, en in ieder geval te verbieden met dit water te spelen, terwijl geadviseerd moet worden om het toiletdeksel te sluiten alvorens door te spoelen in verband met ongewenste aerosolvorming.

Een tweede voorbeeld van overweging op hygiënegebied is het landelijke probleem van het verouderde rioleringstelsel (vervanging, vernieuwing met gescheiden of verbeterde gescheiden systemen) of de aanleg van nieuwe riolering in nieuwbouwwijken. Om milieubeschermende redenen wordt soms afgezien van riolering. Er wordt dan gekozen voor bijvoorbeeld composttoiletten, verbeterde septictanks of vloeiveldjes (helophyten filters). Deze aanpak wordt samengevat onder de term IBA-systemen (individuele behandeling van afvalwater).

Het gebruik van composttoiletten is wel bekend in ontwikkelingslanden, met goede en veilige bruikbare compost als bijproduct, mits juist gebruikt. Ook wordt het systeem zonder water met succes toegepast in zeer koude gebieden (bijv. Lapland) waar met bacteriecultures beënte opslagtanks qua volume aangepast zijn aan het gebruik.

In Nederland werkt het systeem voornamelijk minder goed wegens verstoppingen bij gebruik van geen of te weinig (huishoud)water. Resultaat: men gaat toch meer water gebruiken, ergo: er moet alsnog een overslag worden gecreëerd, terwijl doorgaans geen riolering is aangelegd in zulke woongemeenschappen. De oplossing hiervoor is een goed ogend, natuurvriendelijk afwateringssysteem dat de eufemistische naam van helophyten filter draagt. In feite is het niet meer dan een open riool in een met biezen en riet begroeid kanaaltjessysteem over een bezinkingsbed. De begroeiing wordt steeds "natuurlijker" en is een schuilplaats voor meerdere diersoorten.

Het systeem mag misschien bruikbaar zijn bij verafgelegen campings of boerderijen zonder rioleringsaansluiting, maar is absoluut ongeschikt in of nabij woonwijken met kinderen, huisdieren, ongedierte of gewenste "wilde" dieren zoals eenden of meerkoeten. Wanneer zulke woonwijken ook te kampen hebben met onregelmatige hemelwaterafvoer (laag gelegen wijken zonder rioleringstelsel) dan zijn inundaties met zwart water (rioolwater) voorspelbare gebeurtenissen. De afvoer van compost uit deze toiletten, zo dit nodig mocht zijn, de stankoverlast en de bijbehorende vliegenplagen in de zomer laat ik hier verder onbesproken.

Tot slot een enkel woord over hemelwater in (verbeterd) gescheiden riolering en open gotensysteem aansluitend op wadi's. Hemelwater dat wordt opgevangen in een regenton wordt al sinds mensenheugenis gebruikt voor tuin, vijver, planten in huis en wellicht zelfs voor de was. Doorgaans zal het dakgootwater van redelijke kwaliteit zijn, hoewel chemische verontreinigingen niet ondenkbaar zijn. Microbiële verontreinigingen zijn weinig interessant tenzij de buurman een duivenmelker is en het hemelwater verontreinigd is met (relatief) veel vogelmest. Wanneer echter het water via open goten naar wadi's wordt afgevoerd, moet rekening worden gehouden met alle straatvuil dat mee wordt afgevoerd, inclusief de hondenuitwerpselen. Ter plekke van de wadi doen zich verschillende situaties voor:

- er staat water, kort na regenbuien: kinderen zijn dol op waterverzamelplaatsen;
- er staat een drassig of modderig laatste beetje water in de wadi: dit is uitermate aantrekkelijk voor kinderen;
- het is droog en er groeit gras of het is zanderig: dit wordt een trapveldje of wordt anderszins gebruikt voor recreatie of hondenuitlaatterrein.

De concentratie eitjes van de hondenspoelworm, die thans op uitlaatveldjes al in 10% van de grondmonsters aantoonbaar is terug te vinden, zal ter hoogte van de wadi's kunnen toenemen door het sterk concentrerend vermogen van de top humuslaag in de wadi die water uit de hele wijk in zich verzamelt. Als uit onderzoek zou blijken dat dergelijke terreinen veel pathogenen zoals eitjes van hondenspoelwormen bevatten, zouden voorzieningen moeten worden getroffen om ze onbereikbaar te maken voor het publiek en huisdieren.

Gezondheidseffectrapportage (GER)

Uit bovenstaande overwegingen mag duidelijk zijn dat veranderingen in onze leefomgeving, bijvoorbeeld in nieuwbouwwijken, kunnen leiden tot veranderde blootstelling aan ziektekiemen. Aangezien we niet precies weten hoeveel meer of minder blootstelling aan ziektekiemen aan de orde is (geen meetgegevens, geen registratie van ziekten) is een risico voor het publiek niet te kwantificeren. Nader onderzoek is daarvoor nodig. Dit kan worden opgedragen door lokale of regionale overheden als zij dit belangrijk genoeg vinden om te worden uitgezocht. Een en ander is echter sterk afhankelijk van een rapportage door deskundigen die een nieuwe omgevingsverandering of nieuwbouwproject aan een nauwkeurige gezondheidsinspectie (omgevingsanalyse) hebben onderworpen. Daarin zouden de potentiële risico's (gevaaren, "hazards") en de mogelijke geschatte blootstelling leidend tot (semi) kwantitatieve risico-analyse moeten worden opgenomen. Indien nader onderzoek gewenst is, moet dat worden aangegeven. Voorstellen zouden in zo'n rapportage kunnen worden gedaan voor risicomanagement, hoewel andere afwegingen van politieke, economische of ethische aard van even groot belang kunnen zijn.

Deze notitie beoogt slechts een pleidooi te houden dat een gezondheidseffectrapportage (GER) een vanzelfsprekende paragraaf zou moeten zijn bij (ver)nieuwbouwplannen of kunstmatige aanleg van bepaalde natuurtypen in een woonomgeving. In de gemeentelijke gezondheidsbeleidsplannen zou ruimte moeten worden gereserveerd voor een GER in elke situatie waar in de leefomgeving van de mens wordt ingegrepen, zelfs al is de opzet om die leefomgeving gezonder, natuurvriendelijker of mooier dan voorheen te maken onmiskenbaar.

Voor een goede omgevingsanalyse en GER verdient het aanbeveling om deskundigen met een specialisatie veterinaire volksgezondheid in te huren, gezien de multidisciplinaire en integrale benadering die vereist is om tot een gewogen oordeel te komen.

Tabel 1: Voorbeelden van door water overdraagbare ziektekiemen naar de mens

bacterieel	Shigella Salmonella Vibrio Campylobacter Leptospira Legionella
viraal	polio hepatitis A SRSV
parasitair	Cryptosporidium Giardia Cysticercus Acanthamoeba Naegleria

DEELTJESTELLERS BIJ DE BEOORDELING VAN EFFLUENTFILTERS

Dr.ir. J. de Koning
Technische Universiteit Delft, Sectie Gezondheidstechniek,
Postbus 5048, 2600 GA Delft

Inleiding

Algemeen

De techniek van het tellen van deeltjes in water is de laatste jaren sterk in ontwikkeling, mede dankzij het feit dat in allerlei takken van industrie het bepalen van deeltjes in water steeds belangrijker wordt, bijvoorbeeld in de elektronica- en farmaceutische industrie. Een en ander heeft geleid tot de ontwikkeling van instrumenten waarmee de verwijdering van deeltjes bij de waterbehandeling semi-continu kan worden bepaald. Bij filtratie kan deeltjestelling worden toegepast bij het ontwerp, de optimalisatie en de bewaking van het proces.

Deeltjestelling bij de drinkwaterbereiding

Deeltjestellers worden reeds toegepast bij de drinkwaterbereiding. Met een deeltjesteller kan (de vermindering van) de deeltjesverwijdering in een bepaalde zuiveringsstap gevoeliger worden waargenomen dan met een troebelheidsmeter. Toepassingen bij de drinkwaterbereiding zijn:

- beoordeling van de verwijdering van (pathogene) micro-organismen;
- bewaking van de integriteit van membraanprocessen;
- vaststellen van de vervuulende eigenschappen van (drink)water bij membraanfiltratie en bij opslag en distributie;
- optimaliseren van de werking van filtratiestappen.

Apparatuur van diverse leveranciers wordt op dit moment door een aantal waterleidingbedrijven toegepast om de verwijdering van deeltjes door processen als membraanfiltratie, langzame zandfiltratie en coagulatie/snelfiltratie te bepalen. Het gaat hierbij om verschillende sensoren die in een off-line (discontinu in het laboratorium) of in een in-line (semi-continu in het zuiveringsproces) meetsysteem worden toegepast.

Deeltjestelling bij de filtratie van rwzi-effluent

Filtratie van rwzi-effluent wordt op dit moment in Nederland nog niet op praktijkschaal toegepast. De toepassing van deeltjestelling bij dit proces beperkt zich dus ook tot de toepassing bij experimenteel onderzoek. Bij de filtratie van rwzi-effluent is het voornaamste doel de verwijdering van zwevendestof (deeltjes). Het is dus van belang om over een goede en betrouwbare methode voor de bepaling van de hoeveelheid zwevendestof te beschikken. Hierbij zijn niet alleen de zwevendestofgehalten in het rwzi-effluent en het filtraat van belang, ook de gehalten in het filterbed kunnen bij onderzoeken van het filtratieproces van belang zijn.

Tot nu toe zijn de beschikbare methoden voor de bepaling van zwevendestofgehalten in rwzi-effluent:

- **analytische bepaling van het zwevendestofgehalte.** Bij deze methode wordt een nauwkeurig vastgestelde hoeveelheid effluent gefiltreerd over een voorgedroogd en gewogen papierfilter. Vervolgens wordt het filter met residu gedroogd en nogmaals gewogen. Uit het verschil in massa kan het zwevendestofgehalte worden berekend. Om een redelijk betrouwbaar resultaat te verkrijgen, moet na filtratie minimaal 20 mg aan onopgeloste bestanddelen op het filter achterblijven. Bij een zwevendestofgehalte in het rwzi-effluent van maximaal 5 mg/l moet dus minimaal 4 liter worden gefiltreerd. Het filtreren van dergelijke volumes kost doorgaans veel tijd en omdat rwzi-effluent doorgaans moeilijk filtreerbaar is, worden ook wel te kleine volumes gefiltreerd, waardoor

het resultaat van de bepaling minder betrouwbaar is. Ook het voordrogen en drogen neemt enige uren in beslag. De analytische bepaling van het zwevendestofgehalte is dus tijdrovend en bij moeilijk filtreerbaar effluent ook nog onbetrouwbaar.

- **troebelheidsmeting.** Deze indirecte meting is snel. Echter troebelheid is een slechte indicatie voor het zwevendestofgehalte. De troebelheid wordt voornamelijk veroorzaakt door deeltjes kleiner dan circa $8\ \mu\text{m}$, terwijl de massa van de zwevendestof voornamelijk voor rekening komt van de grotere deeltjes.

Bij experimenteel onderzoek naar de filtratie van rwzi-effluent door de sectie Gezondheidstechniek van de Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de TU Delft is een deeltjesteller toegepast voor het vaststellen van de verwijdering van deeltjes door een effluentfilter en het bepalen van de invloed van voorbehandeling (vlokmiddeldosering) en filtratie op de deeltjesgrootteverdeling (zie paragraaf 4).

Deeltjestellers

Algemeen

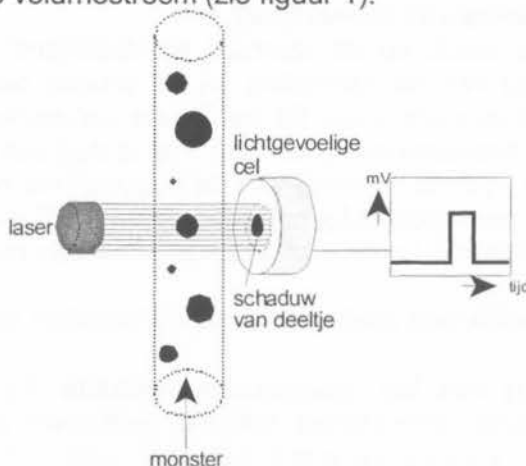
Deeltjestellers kunnen gebaseerd zijn op optische en akoestische principes. Hier worden alleen de optische principes behandeld. Bij deeltjestellers, die meten op basis van optische principes, kan een onderscheid worden gemaakt tussen deeltjestellers die meten op basis van lichtblokkade en deeltjestellers die meten op basis van lichtverstrooiing.

Deeltjestellers kunnen zowel in-line als off-line worden toegepast. De in-line opstelling van deeltjestellers worden vooral toegepast bij de bewaking van bijvoorbeeld de integriteit van membraanprocessen. Bij de in-line toepassing wordt semi-continu gemeten.

Off-line worden deeltjestellers toegepast wanneer sprake is van discontinue meting. Dit kan in het laboratorium gebeuren, maar ook op locatie. Discontinue meting wordt bijvoorbeeld toegepast bij (optimalisatie)onderzoek en periodieke controle.

Deeltjesteller met lichtblokkade-sensor

Het meetprincipe van lichtblokkade berust op de schaduwwerking, die deeltjes veroorzaken wanneer ze met het water door een lichtbundel stromen. De schaduw wordt opgevangen door een fotodiode, die een puls genereert. Deze puls is proportioneel met de grootte van de geprojecteerde schaduw. De sensor is geijkt met een standaard suspensie van latexbolletjes bij een vaste en constante volumestroom (zie figuur 1).



Figuur 1: Deeltjestelling gebaseerd op lichtblokkade

De deeltjesgrootte wordt berekend aan de hand van de grootte van de schaduw en het debiet van de monsterstroom. Het is daarom van groot belang dat het debiet constant is.

Met deeltjestelling op basis van lichtblokkade kunnen deeltjesgroottes van circa 1-750 μm in concentratie tot circa 25.000 ml worden geteld. Deeltjestelling op basis van lichtblokkade "ziet" zwarte deeltjes, dit in tegenstelling tot deeltjestelling op basis van lichtverstrooiing.

De voornaamste toepassingen bij de drinkwaterbereiding van deeltjestelling op basis van lichtblokkade zijn:

- routinebewaking van filtratieprocessen:
 - micro- en ultrafiltratie;
 - snelfilters en langzame zandfilters;
- onderzoek en optimalisatie.

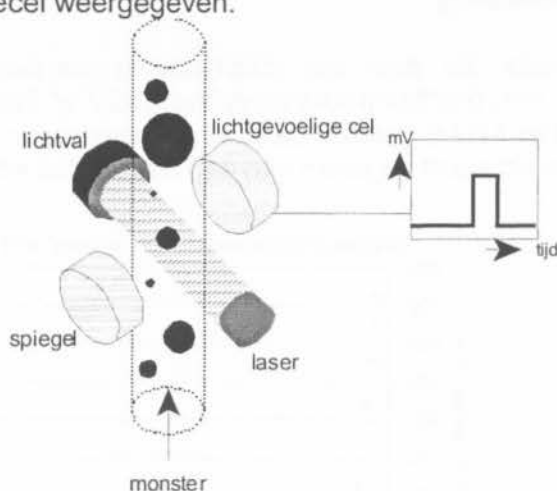
Bij het eerder genoemde onderzoek naar de filtratie van rwzi-effluent door de sectie Gezondheidstechniek is een deeltjestelling op basis van lichtblokkade toegepast.

De beperkingen van deeltjestelling op basis van lichtblokkade zijn:

- onderschatting van de grootte van lichtdoorlatende deeltjes (w.o. micro-organismen);
- de vorm van de deeltjes beïnvloed de berekende grootte;
- bij hoge deeltjesconcentraties (vanaf circa 16.000 deeltjes/ml) kunnen kleine deeltjes worden afgedekt door grotere;
- de afbraak van vlokken, als gevolg van de stroming door de monsterleiding en de hoge G-waarde ($>35.000 \text{ s}^{-1}$) in het capillair van de sensor, kan leiden tot fragmenten onder de meetgrens;
- bij hogere concentraties kunnen meerdere kleine deeltjes als één groot deeltje worden gezien.

Deeltjesteller met lichtverstrooiing-sensor

Met deeltjestelling op basis van lichtverstrooiing kan de ondergrens van het meetbereik worden verlaagd. Bij deeltjestelling op basis van lichtverstrooiing kunnen de deeltjesgroottes worden bepaald aan de hand van het gereflecteerde of het voorwaarts verstrooide licht. In figuur 2 wordt een reflectiecel weergegeven.



Figuur 2: Deeltjestelling op basis van lichtverstrooiing (reflectie).

Met deeltjestelling op basis van lichtverstrooiing is het meetbereik:

- 0,5(0,1)-100 μm bij meting op basis van reflectie;
- 0,05-0,5 μm bij meting op basis van voorwaartse verstrooiing.

Bij meting op basis van reflectie kan tot een deeltjesconcentratie van 25.000 deeltjes/ml worden gemeten. Net als bij de deeltjestelling op basis van lichtblokkade wordt ook hier gekalibreerd met een standaard suspensie van latexbolletjes.

De toepassingen van deeltjestelling op basis van lichtverstrooiing zijn:

- bij meting op basis van reflectie:
 - routinebewaking van filtratieprocessen als micro- en ultrafiltratie, snelfilters en langzame zandfilters;
 - onderzoek en optimalisatie;
- bij meting op basis van voorwaartse verstrooiing: bewaking van membraanprocessen.

De beperkingen van de deeltjestelling op basis lichtverstrooiing zijn:

- de meetuitkomsten zijn sterk afhankelijk van de deeltjeseigenschappen: vorm, oppervlakte, brekingsindex/kleur;
- zwarte deeltjes worden niet "gezien";
- bij kleine deeltjesgroottes ($0,05\text{--}0,5\ \mu\text{m}$) is de meting zeer gevoelig voor: deeltjesafgifte door monsterleidingen, aanwezigheid van grotere deeltjes.

In-line deeltjestelling

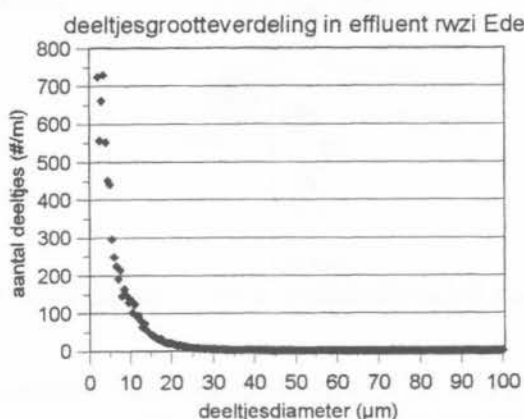
Met in-line deeltjestellers wordt het water op locatie rechtstreeks door de sensor geleid. Door periodiek op vooraf vastgestelde tijdstippen het aantal deeltjes te tellen wordt een semi-continue meting verkregen. Een probleem bij in-line metingen is dat door verstoppingen in de monsterleidingen of de sensor het debiet kan afnemen. Hieraan moet de nodige aandacht worden besteed, omdat voor een betrouwbare meting een constant debiet vereist is.

Off-line deeltjestelling

Een off-line deeltjesteller is een meetinstrument, waarmee op het laboratorium een monster kan worden geanalyseerd. Het principe van het systeem is dat door middel van een pomp het water uit een monsterfles/bekerglas met een constant debiet door de sensor wordt gezogen.

Deeltjesgrootteverdeling

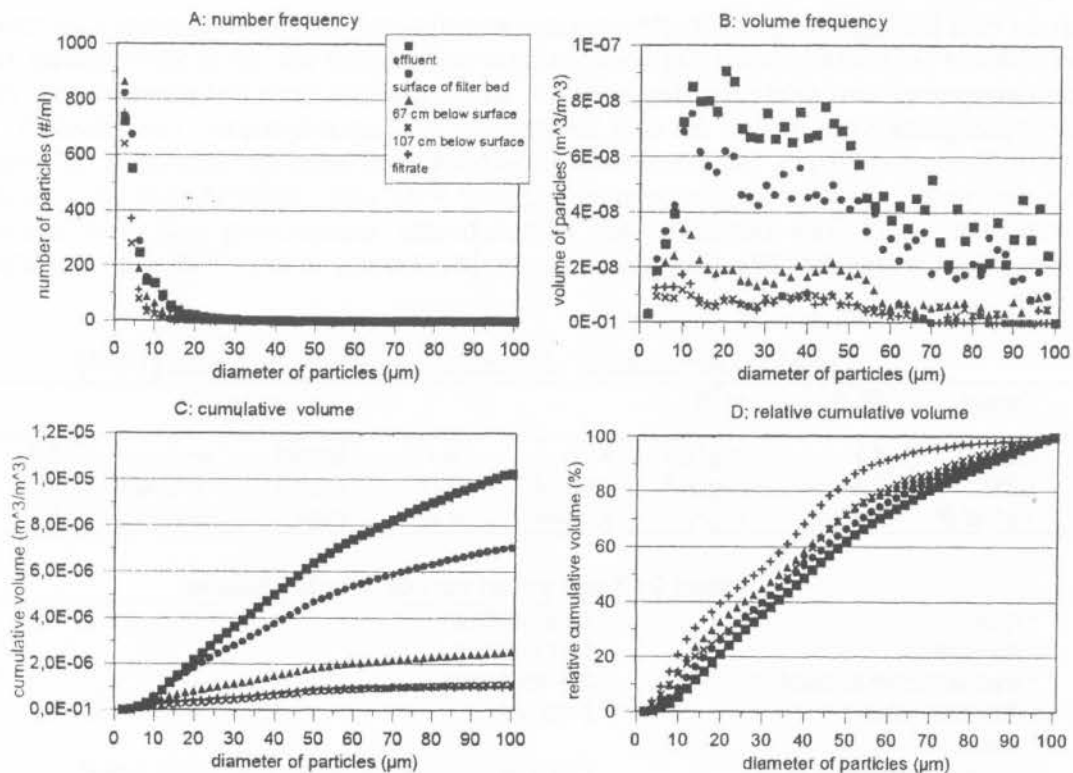
De gegevens, zoals die door een deeltjesteller worden gegenereerd, kunnen worden weergegeven als een deeltjesgrootteverdeling (DGV of Particle Size Distribution (PSD)). In een DGV wordt het aantal getelde deeltjes uitgezet tegen de deeltjesgrootte. Zie figuur 3, waarin een voorbeeld wordt gegeven van een DGV in het effluent van de rwzi Ede.



Figuur 3: Voorbeeld van een DGV in rwzi-effluent

Het voorbeeld in figuur 3 laat zien dat de deeltjes $<10\ \mu\text{m}$ overheersen.

De DGV kan worden omgerekend naar een deeltjesvolumeverdeling, aannemende dat de deeltjes bolvormig zijn (zie figuur 4b). Met de deeltjesvolumeverdeling kunnen de cumulatieve en de relatieve volumeverdeling worden bepaald (zie figuur 4c en 4d).



Figuur 4: Voorbeelden van deeltjesgrootteverdeling, deeltjesvolumeverdeling, cumulatieve volumeverdeling en relatieve volumeverdeling

Een cumulatieve deeltjesgrootteverdeling ($N(d_p)$) neemt altijd toe als de deeltjesgrootte toeneemt, totdat een maximum is bereikt. De helling van een dergelijke cumulatieve deeltjesgrootteverdeling ($dN(d_p)/dd_p$) is de deeltjesgrootteverdeling ($n(d_p)$). De deeltjesgrootteverdeling kan worden berekend met een machtsfunctie [Lawler, 1997; Neis et al., 1997]:

$$n(d_p) = \frac{dN}{d(d_p)} = A d_p^{-\beta} \quad \text{of} \quad \log n(d_p) = \log A - \beta \log d_p$$

waarin:

- N = aantal deeltjes in een grootteklasse;
- d_p = gemiddelde deeltjesgrootte in een grootteklasse;
- A = empirisch bepaalde coëfficiënt, gerelateerd aan de totale hoeveelheid zwevendestof;
- β = empirisch bepaalde coëfficiënt, voorstellende de helling van de lijn als de verdelingsfunctie dubbellogaritmisch wordt uitgezet.

Over de DGV in effluent van rwzi's is nog maar weinig bekend, dus ook numerieke waarden voor A en β zijn nog nauwelijks bekend. Duits onderzoek op drie rwzi's geeft de volgende waarden [Neis et al., 1997]: $A = 1,3 - 10$ en $\beta = 0,8 - 1,0$.

De omstandigheden in de biologische zuivering zijn ook van invloed op de DGV in het effluent. Bij een toenemende BZV-belasting in de actiefslibtank verschuift de DGV in het effluent naar een verdeling met meer kleinere deeltjes. Een goede nitrificatie levert een beter filterbaar effluent op.

Filtratie-experimenten

Algemeen

Op de rwzi Ede zijn langeduur filtratie-experimenten met effluent uitgevoerd. In tabel 1 wordt het effluent gekarakteriseerd. De voornaamste onderdelen van de proefinstallatie waren: een voedingspomp, een drielaags diepbedfilter, een installatie voor het doseren van vlokmiddel, een opslagtank voor filtraat en een lucht/water terugspoelsysteem (zie tabel 2). De totale filterbedhoogte bedroeg 147 cm en het supernatantpeil werd gehandhaafd op circa 155 cm. Het vlokmiddel werd in de voedingsleiding vlak voor een statische menger (mengtijd <1 s, $G=500-1000$ s⁻¹). Ten behoeve van een optimale vlokvorming was een roerder in het supernatant boven het filterbed geïnstalleerd [de Koning *et al.*, 1999, van der Graaf *et al.*, 2000].

Tabel 1: Gemiddelde effluentsamenstelling rwzi Ede (1998).

Debiet	35.000	m ³ /d						
CZV	40	mgO ₂ /l	Kj-N	3,1	MgN/l	pH	7,7	
BZV	2,9	mgO ₂ /l	NO ₃ -N	3,0	mgN/l	chloride	98	mg/l
Totaal-P	0,6	mgP/l	Zw.stof	4,0	mg/l	sulfaat	51	mg/l

Tabel 2: Kenmerken van de proefinstallatie.

• type	Diepbedfilter
• diameter	800 mm
• hydraulische capaciteit	2,5-15,1 m ³ /h
• filtratiesnelheid	5-30 m/h
• filterbed:	
- bovenlaag	770 mm antraciet, 2,0-4,0 mm, 1.400 kg/m ³
- middenlaag	400 mm kwartszand, 1,7-2,5 mm, 2.600 kg/m ³
- onderlaag	300 mm granaatzand, 0,7-1,25 mm, 3.500 kg/m ³
• terugspoelsnelheid	lucht: max. 100 m/h, water: 50 m/h

Een set monsterpunten (elke 10 cm verdeeld over de hoogte van het filterbed) was aangebracht voor het nemen van monsters voor troebelheidsmetingen en deeltjestellingen. Een tweede set diende voor drukmetingen.

Onder verschillende omstandigheden, variërende filtersnelheden en verschillende vlokmiddelen, zijn proeven uitgevoerd (zie tabel 3).

Tabel 3: De proeven (november 1998-februari 1999).

Proef	Filtratiesnelheid (m/h)	Vlokmiddel	dosering proef (mg/l)	Filtratiesnelheid (m/h)	vlokmiddel	dosering (mg/l)
1	10	--	--	6	10	1 (Al ³⁺)
2	15	--	--	7	15	1 (Al ³⁺)
3	20	--	--	8	20	1 (Al ³⁺)
4	10	FeCl ₃	1 (Fe ³⁺)	9	10	2 (Al ³⁺)
5	10	FeCl ₃	2 (Fe ³⁺)			

Elke proef begon met een schoon filter en duurde meerdere dagen. Terugspoelen vond plaats na 24 uur of eerder indien de drukval over het filter te groot werd. Tijdens een filtratierun vonden op regelmatige tijdstippen deeltjestellingen plaats. Het merendeel van de hier besproken resultaten zijn gebaseerd op de metingen na 1 uur.

Resultaten

Algemeen

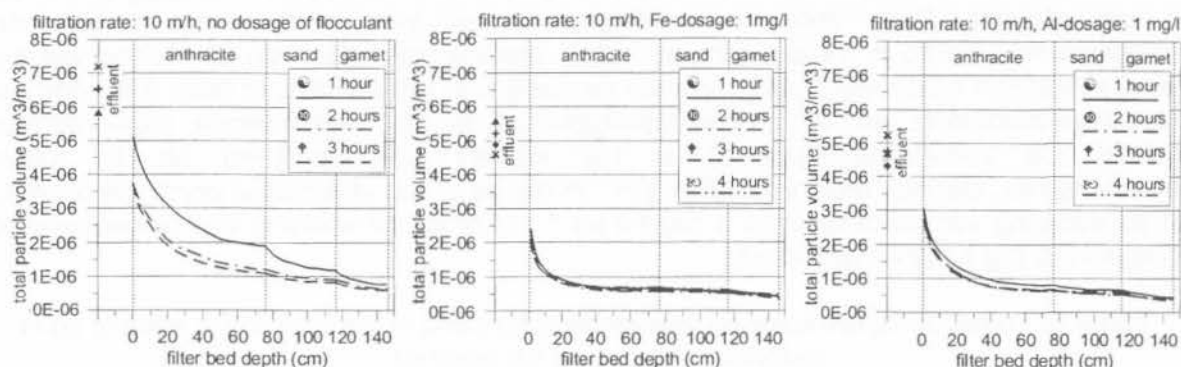
Enige algemene waarnemingen zijn samengevat in tabel 4. Uit hetgeen dat in deze tabel is weergegeven, zou kunnen worden geconcludeerd dat met de dosering van vlokmiddelen (experiment 4 t/m 9) de beste resultaten worden verkregen. Immers de troebelheid bereikt in die gevallen de laagste waarden en de drukval na 6 uur is lager. De berekeningen, gebaseerd op de deeltjestellingen, laten echter wat anders zien.

Tabel 4: Algemene waarnemingen gedurende de experimenten.

Experiment	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Troebelheid (NTU)									
• effluent	2,2	2,7	2,7	1,3	0,9	1,4	1,1	1,2	0,9
• vlak boven filterbed	2,0	2,4	2,4	1,3	1,1	1,5	1,2	1,3	0,8
• filtraat	0,9	1,0	0,9	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,3
Drukval over het gehele filterbed (in cm)									
• na 1 uur	40,2	57,1	76,6	30,0	39,0	35,9	45,4	69,2	40,7
• na 6 uur	42,3	60,2	80,1	31,6	41,5	43,9	68,5		43,6

Voortgang van filtratieproces

Uit de metingen tijdens de experimenten is naar voren gekomen dat na een korte opstartperiode van ongeveer 15 minuten de kwaliteit van het filtraat redelijk constant is. Figuur 5 geeft hiervan een voorbeeld. In de figuur is te zien dat na 4 uur de kwaliteit van het filtraat (gemeten naar het totale volume aan deeltjes in het filtraat) gelijk is aan de kwaliteit na 1 uur. Op basis van deze waarneming is aangenomen dat conclusies, gebaseerd op de metingen na 1 uur, gelden voor de gehele duur van een filtratierun.



Figuur 5: Voortgang van het filtratieproces bij een filtratiesnelheid van 10 m/h; totaal deeltjesvolume in water op verschillende hoogtes in het filterbed op verschillende tijdstippen.

Vlokmiddelen

Alleen een lage vlokmiddel dosering (Fe^{3+} , Al^{3+}) was effectief. Tot een dosering van 2 mg/l resulteerde de dosering in een verlaging van de troebelheid. Een hogere dosering leidde tot een toename van de troebelheid ten gevolge van een onvolledige flocculatie. Hierbij moet worden bedacht dat een dosering van 1 mg/l vlokmiddel theoretisch leidt tot een vorming 2-3 mg/l vaste stof, hetgeen van dezelfde orde van grootte is als het zwevendestofgehalte in het ongefilterde effluent (~4 mg/l). Ook het lage fosfaatgehalte in het effluent (~0,15 mg/l Ptot).

Dichtheid

Aan de hand van het gemiddelde totale deeltjesvolume en het gemiddelde zwevendestofgehalte in het ongefilterde effluent kan de "dichtheid" van de deeltjes worden bepaald. ("dichtheid" omdat er geen sprake van een dichtheid zoals we die kennen van bijvoorbeeld zand.) Het gemiddelde totale deeltjesvolume bedroeg $5,90 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^3$, bij een gemiddeld zwevendestofgehalte van 4 mg/l is de "dichtheid" $680 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Deeltjesverwijdering in de verschillende filterbedlagen

Tabel 5 geeft een overzicht van de deeltjesverwijdering in de verschillende filterbedlagen. Deze verwijdering is bepaald aan de hand van het totale deeltjesvolume na een bepaalde filterbedlaag ten opzichte van het totale deeltjesvolume in het water vlak boven het filterbed, dus na de vlokformingszone.

Tabel 5: Cumulatieve volumeverwijdering (%) in de drie filterbedlagen.

Experiment	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Antraciet	64	65	61	76	76	75	69	56	69
Kwartzand	78	84	85	79	80	81	78	68	79
Granaatzand	86	91	91	85	83	88	85	80	84

De verschillen zijn opvallend. Zonder een vlokmiddeldosering (experiment 1 t/m 3) werkt het filter als een diepbedfilter met een verwijdering van circa 60-65% in de antracietlaag, 15-20% in de kwartzandlaag en een laatste 5-10% in de granaatzandlaag. De verschillen bij variërende filtratiesnelheden zijn gering. Met een vlokmiddeldosering het beeld is totaal anders; de grootste verwijdering (70-75%) vindt plaats in de antracietlaag en dan met name in het bovenste gedeelte van deze laag. Van diepbedfiltratie is geen sprake. De totale verwijdering zonder vlokmiddel is uiteindelijk circa 85%.

Voorbehandeling

Voordat het effluent wordt gefiltreerd passeert het een aantal processtappen, die van invloed zijn op de eigenschappen van de deeltjes in het effluent. Achtereenvolgens passeert het effluent de voedingspomp en een statische menger, waar vlokmiddel kan worden gedoseerd, waarna het via een overstort (met hoge turbulentie) in een waterlaag van circa 155 cm stroomt. Door voor de voedingspomp en vlak boven het filterbed de deeltjesgrootteverdeling te meten, kan een indruk worden verkregen van de invloed van de diverse processen op de eigenschappen van de deeltjes in het effluent. In tabel 6 worden de totale deeltjesvolumes en de zwevendestofgehalten bij de verschillende experimenten gegeven. De zwevendestofgehalten in het effluent zijn berekend uit de totale deeltjesvolumes, met als "dichtheid" 680 kg/m^3 . In het geval dat vlokmiddel wordt gedoseerd, leidt de dosering van respectievelijk 1 mg Fe en 1 mg Al tot de vorming van respectievelijk 1,9 mg en 3,0 mg aan zwevendestof.

Tabel 6: Totaal deeltjesvolume en zwevendestofgehalte in oorspronkelijk effluent en in het water vlak boven het filterbed

Experiment	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Totaal deeltjesvolume in $10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^3$									
Effluent	6,55	10,28	8,40	5,22	4,33	4,76	3,51	3,63	6,41
Vlak boven filterbed	5,11	7,06	6,26	2,31	2,70	2,86	2,16	1,81	2,40
Filtraat	0,72	0,60	0,54	0,35	0,46	0,34	0,33	0,37	0,38
Zwevendestofgehalte (berekend) in mgds/l									
Effluent	4,4	7,0	5,7	3,5	2,9	3,2	2,4	2,5	4,3
Vlak boven filterbed	4,4	7,0	5,7	5,4	6,7	6,2	5,4	5,5	10,3
Filtraat	0,5	0,4	0,4	1,0	1,3	0,9	0,9	1,0	1,1

Uit de getallen in tabel 6 wordt duidelijk dat het doseren van vlokmiddelen (exp. 4 t/m 9) logischerwijs leidt tot een toename van de hoeveelheid zwevendestof, echter tegelijkertijd neemt het totale deeltjesvolume sterk af. Als gevolg van de dosering van vlokmiddelen neemt de "dichtheid" tot circa 2770 kg/m^3 . De dosering van vlokmiddelen leidt dus tot een ineen krimpen van de vlokken veroorzaakt door het verlies van de waterbindende eigenschappen van de vlokken als gevolg van de neutralisatie van het negatief geladen oppervlak.

Machtsfactor β

Tabel 7 geeft de berekende waarden van de machtsfactor β . De waarde van β in het ongefiltreerde effluent is redelijk constant en bedraagt gemiddeld 2,75. Na vlokmiddeldosering (exp. 4 t/m 9) de waarde van β neemt toe tot gemiddeld 3,04. Dit betekent dat de deeltjesgrootteverdeling verschuift naar de kleinere afmetingen. Ook zonder vlokmiddeldosering verschuift de deeltjesgrootteverdeling naar de kleinere afmetingen, echter niet zover als met een vlokmiddeldosering. Waarschijnlijk breken de vlokken in de voedingspomp. Dit wordt bevestigd door de deeltjestellingen; het totaal aantal deeltjes is na de voedingspomp groter dan voor de pomp.

De toename van de waarde van β in het filtraat ten opzichte van het water vlak boven het filterbed geeft aan dat alleen de grotere deeltjes worden verwijderd in het filter, de kleinere deeltjes passeren gedeeltelijk het filterbed [Kaminski *et al.*, 1997].

Tabel 7: Vergelijking van de waarde van β in het effluent, vlak boven het filterbed, in het filterbed en in het filtraat.

Experiment	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Effluent	2,83	2,69	2,78	2,82	2,79	2,74	2,80	2,73	2,60
Vlak boven filterbed	2,96	2,93	2,98	3,22	3,06	3,02	3,01	2,94	3,00
In het filterbed (cm onder filterbedoppervlak)									
7	2,98	3,00	3,02	3,43	3,21	3,09	3,02	2,96	2,99
67	3,07	3,25	3,21	3,36	3,37	3,14	3,02	2,95	3,02
107	3,31	3,24	3,22	3,04	3,23	3,03	3,17	2,96	3,07
Filtraat	3,60	3,62	3,50	2,96	3,48	3,22	3,15	2,80	3,18

Conclusies

- De resultaten van de experimenten zijn kenmerkend voor het effluent van een moderne rwzi, zoals de rwzi Ede is. Als gevolg van de zeer lage gehalten aan zwevendestof en aan precipiteerbare stoffen (ortho-fosfaat) is vlokvorming slechts in beperkte mate mogelijk. De verschillen met ervaringen elders zijn groot.
- Een deeltjesteller is een nuttig instrument gebleken voor het volgen van het filtratieproces. Op basis van deeltjesgrootteverdelingen konden lage zwevendestofgehalten (< 5 mg/l) worden berekend.
- Met een drielaagsfilter is bij filtratiesnelheden tot 20 m/h een goed verwijderingsrendement (tot 90%) gevonden. De invloed filtratiesnelheid op het verwijderingsrendement was beperkt.
- Hoewel de troebelheid van het filtraat verlaagd werd, had het doseren van vlokmiddelen (Fe en Al) een negatief effect, zelfs bij een lage dosering van 1 mg/l. De vlokmiddeldosering leidde tot een afname van de waterbindende eigenschappen van de vlokken, met als gevolg kleinere vlokken echter met een hogere "dichtheid", waardoor de hoeveelheid zwevendestof in het filtraat toenam.
- De waarde van β nam tijdens filtratie toe, hetgeen betekent dat de deeltjesgrootteverdeling verschuift naar de kleinere afmetingen.

Literatuur

Van der Graaf J.H.J.M., J. de Koning en J. Tang (2000). *Particle size analyses as a tool for performance measurements in high rate effluent filtration*, te presenteren op 3rd International Symposium on Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse, 3-7 juli 2000, Parijs.

KIWA (1998). *Workshop deeltjestelling, 25 juni 1998*, rapport SWI 98.175, Nieuwegein, oktober 1998.

KIWA (1999). *Deeltjesverwijdering door zuiveringsprocessen: ervaringen met deeltjestellers en relatie met micro-organismen*, rapport SWI 99.123, Nieuwegein, juni 1999.

Kaminski I., N. Vescan en A. Adin (1997). *Particle size distribution and waste water filter performance*, Water Science & Technology, 36(4), p. 217-224.

De Koning J. en A.F. van Nieuwenhuijzen (1999). *Optimal combination of flocculating filtration and ultra filtration for advanced effluent treatment in the Netherlands*, Water Science & Technology, 40(4-5), p. 285-292.

Lawler D.F. (1997). *Particle size distribution in treatment processes: theory and practise*. Water Science & Technology, 36(4), p. 15-23.

Neis U. en A. Tiehm (1997). *Particle size analyses in primary and secondary wastewater effluents*, Water Science & Technology, 36(4), p. 151-158.

DE EENVOUD VAN HERGEBRUIK

NIEUWE INZICHTEN IN ULTRAFILTRATIE MAKEN RWZI-EFFLUENT EEN ALTERNATIEVE WATERBRON

Ir. J.H. Roorda

Technische Universiteit Delft, Sectie Gezondheidstechniek

Postbus 5048, 2600 GA Delft

Inleiding

Achtergrond

Tegen de achtergrond van het Nederlandse overheidsbeleid wordt hergebruik van water meer en meer gezien als een optie om aan de veranderende vraag van water te voldoen. Het overheidsbeleid is gericht op de ontwikkeling van een duurzame watervoorziening en een sluiting van de stedelijke waterkringloop (VROM, 1995). Onder andere hierdoor zijn de kosten voor grondwateronttrekking en drinkwaterproductie gestegen. Daarnaast is er binnen de industrie behoefte aan water op maat, wat betekent dat water van verschillende kwaliteit voor verschillende doeleinden moet worden ingezet.

Niet alleen het hergebruik van goed gedefinieerde, industriële afvalwaterstromen wordt overwogen en toegepast, maar ook hergebruik van stedelijk afvalwater is een optie geworden. Met name in gebieden waar oppervlaktewater een schaars goed is, kan stedelijk afvalwater een uitstekende optie zijn. Daarnaast is de (recente) ontwikkeling van zuiveringstechnieken er de oorzaak van dat hergebruik ook een reële en rendabele optie is geworden. Hierbij moet met name gedacht worden aan de ontwikkeling van de membraanfiltratie. De huidige generatie membranen vervuilt minder snel dan voorheen het geval was, en ook de prijs van de membranen is enorm gedaald.

Ondanks genoemde ontwikkelingen zijn er in Nederland nog geen praktijkinstallaties op stedelijke afvalwater gerealiseerd. Hier zijn diverse oorzaken voor aan te geven, waarbij de vervuiling van de membranen en de wisselende waterkwaliteit en -kwantiteit van het afvalwater technisch gesproken de belangrijkste zijn. In deze presentatie wordt ingegaan op manieren om met deze vervuiling om te gaan. Hierbij wordt aangegeven op welke manieren vervuiling gemeten, voorkómen en verwijderd kan worden. Er zal een schets gegeven worden van een ultrafiltratie-installatie die in de nabije toekomst gerealiseerd zal worden. Met een dergelijke installatie is het mogelijk om stedelijk afvalwater op te waarderen tot water met een uitstekende kwaliteit voor een concurrerende prijs.

Kenmerken van stedelijk afvalwater en vergelijking met andere watertypen

De kwaliteit van het gezuiverd stedelijk afvalwater is in de laatste decennia sterk verbeterd en zal in de nabije toekomst alleen nog maar beter worden. Zo is de vuillast in het effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) ten opzichte van twintig jaar geleden meer dan gehalveerd, hetgeen voor een aantal soorten verontreinigingen is weergegeven in tabel 1 (CBS, 1996; van der Graaf, 1999).

Tabel 1: Gemiddelde kwaliteit van rwzi-effluent in Nederland

Soort		1981	1995	Toekomst
CZV	mg O ₂ /l	112	60	<40
BZV	mg O ₂ /l	29	9	<5
N-Kjeldahl	mg N/l	18	10	<4
P-totaal	mg P/l	10	2,4	<0,5
Droge stof	mg DS/l	-	10	5

De gegevens in tabel 1 doen vermoeden dat het rwzi-effluent een constante en overal gelijke kwaliteit heeft, maar niets is minder waar. Onder invloed van lokale omstandigheden als het weer (temperatuur, dwa/rwa) en invloeden van dag en nacht zal de kwaliteit en de kwantiteit van het water sterk variëren. Daarnaast wordt deze beïnvloed door de verhouding en

samenstelling van industrieel en huishoudelijk afvalwater wat gezamenlijk gezuiverd wordt in een rwzi. Tot slot heeft ook de soort zuivering een belangrijke invloed op de uiteindelijke kwaliteit van het effluent. Deze variaties kunnen een knelpunt vormen in de praktische uitvoering van zuiveringstechnieken om het effluent aan te wenden voor hergebruik doeleinden.

Het rwzi-effluent is qua samenstelling uniek te noemen. In vergelijking met bijvoorbeeld met een veel gebruikte bron voor de bereiding van drinkwater, namelijk oppervlaktewater, blijkt dat de concentraties van een aantal parameters duidelijk afwijken. In tabel 2 is de gemiddelde waterkwaliteit van het rwzi-effluent, de rivier de Maas en de rivier de Rijn weergegeven. Voor de opwerking van rwzi-effluent uit gegaan wordt van globaal dezelfde technieken als voor de zuivering van oppervlaktewater. Maar door de verschillen in waterkwaliteit is het niet mogelijk om ervaring die met een techniek is opgedaan in de zuivering van bijvoorbeeld oppervlaktewater, rechtstreeks te vertalen naar de opwerking van rwzi-effluent.

Tabel 2: Gemiddelde kwaliteit van rwzi-effluent, de Maas en de Rijn

Soort		Rwzi-effluent ¹	Maas ²	Rijn ²
CZV	mg O ₂ /l	60	15	14
N-totaal	mg N/l	16,8	1,87	0,47
P-totaal	mg P/l	2,4	0,47	0,22
Droge stof	mg DS/l	10	-	-
Bacteriën	Concentratie	Hoog	Laag	Laag

¹ data 1995 (CBS, 1996)

² data 1996 (CBS, 1998)

Technieken voor de opwerking van rwzi-effluent

Het opgewerkte rwzi-effluent kan aangewend worden ten behoeve van grondwatersuppletie (infiltratiewater), proceswater (waar onder ketelvoedingswater), huishoudwater en in de toekomst wellicht als drinkwater. De opwerking van rwzi-effluent voor hergebruik zal in eerste instantie gericht zijn op de verwijdering van deeltjes, bacteriën en opgeloste stoffen. Hiervoor is een veelvoud van met name fysisch-chemische processen beschikbaar, waarvan hieronder een kort overzicht (van der Graaf, 1999):

- Verwijdering van deeltjes: verschillende filtratietechnieken, zo nodig in combinatie met coagulatie en/of flocculatie; hieronder vallen de verschillende vormen van membraanfiltratie en diep-bed filtratie;
- Verwijdering van bacteriën: chlorering, ozonisatie, UV-bestraling en membraanfiltratie;
- Verwijdering van opgeloste stoffen: adsorptietechnieken, met name actief kool en ionenwisseling.

Met behulp van membraanfiltratie is het mogelijk om grote deeltjes (micro- en ultrafiltratie) tot zeer kleine, opgeloste deeltjes (nano- en hyperfiltratie, omgekeerde osmose) te verwijderen. In het onderzoek aan de TU Delft is gekozen voor ultrafiltratie boven microfiltratie, omdat ultrafiltratie, op grond van de poriegrootte (1-100 nm), een betere waterkwaliteit levert dan microfiltratie (0,05-10 µm). Daarnaast bleek dat de procesomstandigheden en de optredende vervuiling voor beide technieken vergelijkbaar was (van der Graaf *et al.*, 1998).

Ultrafiltratie is een techniek waarmee met behulp van een drukverschil (0,2-1,0 bar) stoffen op grond van grootte verwijderd kunnen worden. De toepassing van ultrafiltratie voor de opwerking van rwzi-effluent maakt het mogelijk om met een compacte en relatief eenvoudige techniek een zeer hoge kwaliteit water te produceren. De kwaliteit zal in veel gevallen voldoende zijn voor hergebruik doeleinden, of fungeren als een uitstekende voorzuivering voor verdere zuivering zoals bijvoorbeeld omgekeerde osmose.

Variaties in kwaliteit en kwantiteit kunnen met behulp van ultrafiltratie goed tot zeer goed opgevangen worden. Het is bijvoorbeeld mogelijk om gedurende en kortere periode een groter debiet te behandelen. Een voorzuivering met diep-bed filtratie of in-line coagulatie

maakt het mogelijk om nog flexibeler in te kunnen spelen op variaties. Zo zal onafhankelijk van schommelingen in de kwaliteit van het voedingswater van een diep-bed filter, het geproduceerde water (filtraat) vrijwel constant in kwaliteit zijn. Hierdoor is het mogelijk om een ideaal voedingswater voor de ultrafiltratie te produceren.

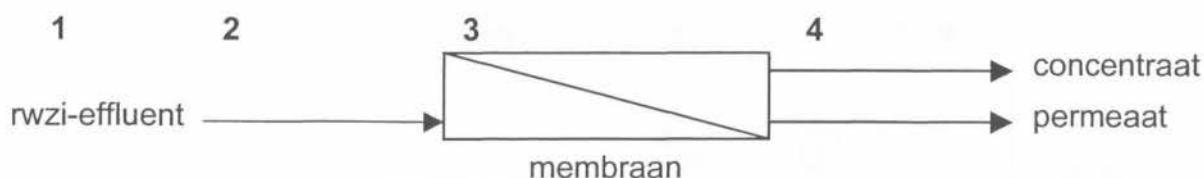
Vervuiling van ultrafiltratiemembranen

Algemeen

Eén van de belangrijkste factoren die de grootschalige toepassing van membraanfiltratie in de weg staat, is de vervuiling van de membranen. Deze vervuiling wordt over het algemeen aangeduid met de engelse term *fouling*. De internationale definitie luidt verkort als volgt: 'het proces dat resulteert in een afname van de prestatie van een membraan' (naar: Koros *et al.*, 1996). *Fouling* wordt daarom altijd gemeten als een effect op het debiet per membraanoppervlak (de flux in $\text{l/m}^2\cdot\text{h}$). Voorspellen van een fluxafname is niet eenvoudig, daar geen rechtstreeks verband te vinden is tussen bestaande parameters en de fluxafname. In ieder geval kan *fouling* als een verzamelnaam voor alle soorten membraanvervuiling onderverdeeld worden op grond van de fysisch-chemische interactie tussen rwzi-effluent en membraan. Hieronder vallen de volgende soorten:

- Adsorptie aan het membraanoppervlak;
- Verstopping van de membraanporie;
- Depositie op het membraanoppervlak waardoor er een laagje vuil (koek) ontstaat;
- Hogere concentratie opgeloste verontreiniging aan het membraanoppervlak (concentratie polarisatie);
- Vorming van een biofilm aan het membraanoppervlak (*biofouling*).

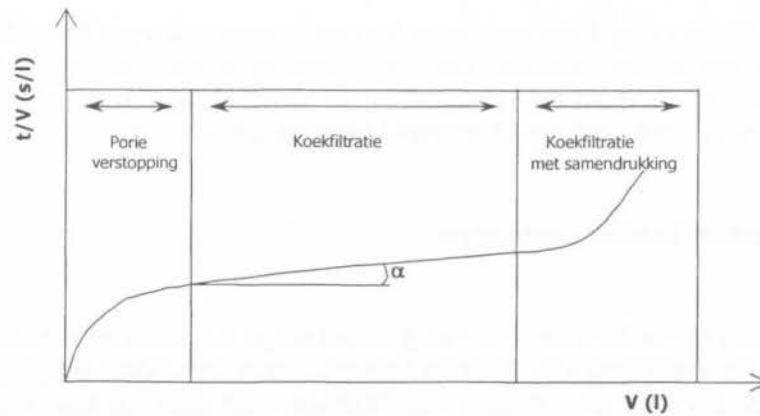
Het reduceren van *fouling* kan op verschillende manier plaatsvinden. In figuur 1 is schematisch weergegeven op welke factoren in het ultrafiltratie proces van belang zijn om *fouling* en de gevolgen ervan te verminderen. Hiertoe kunnen aanpassingen uitgevoerd worden aan het rwzi-effluent, de procesconfiguratie, het membraan en de reinigingsmethoden. Voor elke nieuwe situatie zal een optimale combinatie tussen deze factoren gezocht moeten worden.



Figuur 1: Schematische weergave van ultrafiltratie-installatie met daarin de factoren die van invloed zijn op het effect van de vervuiling: 1 – voorbehandeling rwzi-effluent; 2 – optimalisatie procesconfiguratie; 3 – aanpassen membraanoppervlak (low-fouling membraan); 4 – reinigingsmethoden om vervuiling te verwijderen.

Kwantificeren van 'fouling'

Voorspellen van *fouling* met de MFI-UF_n Een indirecte methode om vervuiling te beschrijven is gebaseerd op de Membraan Filtratie Index (MFI), die ontwikkeld is om vervuiling van hyperfiltratiemembranen en verstopping van infiltratieputten te beschrijven (Schippers, 1989; Boerlage *et al.*, 1998). De basis van deze meting vormt de theorie voor koekfiltratie, waarin beschreven wordt dat filtratie aanvangt met porie verstopping, vervolgens zal er koekfiltratie optreden en tot slot treedt er samendrukking van de ontstane koek op. Hiervoor wordt bij constante druk over het membraan een verband afgeleid tussen de filtratietijd gedeeld door het volume (t/V) en het volume (V), zoals weergegeven in figuur 2.



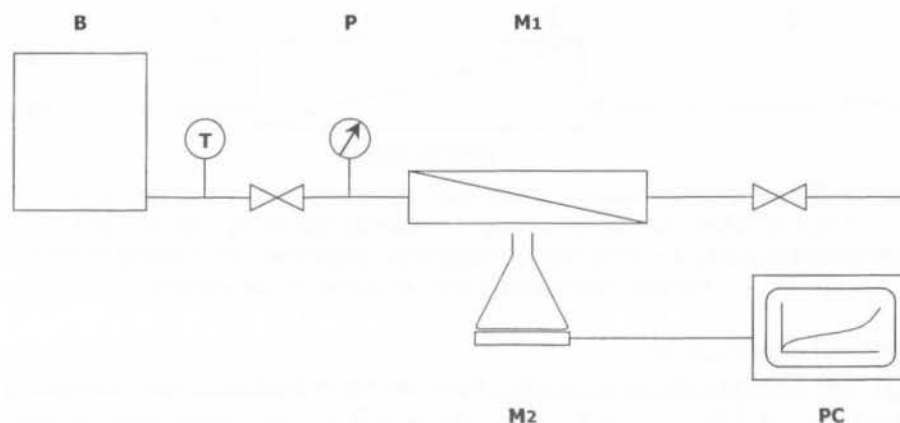
Figuur 2: Verband tussen filtratietijd en het gefiltreerd volume als functie van het gefiltreerd volume (bij constante TMD) waarbij onderscheiden kan worden: porieverstopping, koekfiltratie en koekfiltratie met samendrukking; $\tan \alpha$ wordt gebruikt als fouling index.

De richtingscoëfficiënt van het tweede deel in de curve wordt gebruikt als index voor de vervuilingspotentie van een voedingswater. Deze is de *fouling index* van het gemeten water en wordt $MFI-UF_n$ genoemd. In formulevorm is deze hieronder weergegeven (zie ook: Roorda en van der Graaf, 2000).

$$MFI-UF_n = \frac{\eta_{20}}{\eta_T} \cdot A_m^2 \cdot \frac{d \frac{t}{V}}{dV} \quad (1)$$

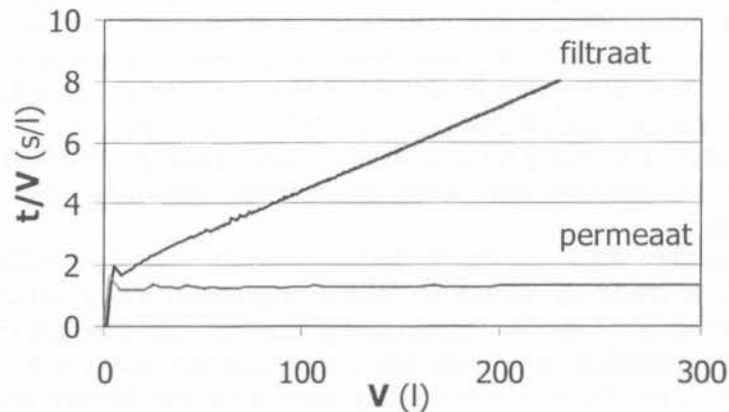
Waarin: $MFI-UF_n$ = fouling index bij $A = 1 \text{ m}^2$ en $TMD = 1 \text{ bar (s/l}^2\text{)}$
 η_{20}, η_T = dynamische viscositeit van voedingswater bij $T = 20^\circ\text{C}$ en $T^\circ\text{C}$ (N.s/m^2)

De $MFI-UF_n$ wordt gemeten in een labschaal opstelling (figuur 3) waarbij een ultrafiltratiemembraan gebruikt wordt dat qua samenstelling hetzelfde is als in een praktijkinstallatie maar een kleiner oppervlak heeft ($2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$).



Figuur 3: Schematische tekening van de opstelling waarmee de $MFI-UF_n$ bepaald wordt. Hierin is B: buffervat, T: temperatuurmeter, P: drukmeter, M1: membraan, M2: massabalans en PC: personal computer.

De $MFI-UF_n$ kan dienen als een parameter om het vervuiligingsgedrag van een voedingswater te bepalen. Een lage waarde geeft aan dat er door het voedingswater weinig vervuiling op het membraan ontstaat en daardoor de filterbaarheid hoog is. Zeer schoon water zoals ultrafiltratie permeaat zou op grond van het voorgaande daarom een zeer lage $MFI-UF_n$ waarde moeten hebben. In figuur 4 is een voorbeeld gegeven van een t/V tegen V curve gemeten van het filtraat van een diep-bed filter en van het permeaat van een ultrafiltratieinstallatie. De $MFI-UF_n$ van het permeaat is inderdaad zeer laag (de curve loopt bijna horizontaal) en de $MFI-UF_n$ van het hier gemeten diep-bed filtraat is substantieel hoger.



Figuur 4: Filtratiecurve t/V tegen V gemeten bij een constante TMD (1.0 bar), A_m is 0.0021m^2 ; $MFI-UF_n$ van ultrafiltratie permeaat is 0.018 s/l^2 ; $MFI-UF_n$ van diep-bed filtraat is 0.109 s/l^2 .

In tabel 3 zijn de resultaten weergegeven van de meting van de $MFI-UF_n$ op twee locaties, waarbij op beide locaties een ander type membraan gebruikt is. De waarden gemeten voor het filtraat van het diep-bed filter zijn lager dan die van het rwzi-effluent. Dit geeft de indicatie dat de vervuiling van het membraan minder wordt door de voorbehandeling van het rwzi-effluent met behulp van een diep-bed filter (Roorda en van der Graaf, 2000)

Tabel 3: $MFI-UF_n$ (s/l^2) gemeten op rwzi Ede en rwzi Kaffeberg

Voeding	Rwzi Ede	Rwzi Kaffeberg
Effluent	0.079 ± 0.026	0.148 ± 0.025
Filtraat	0.058 ± 0.020	0.140 ± 0.043

Kwantificeren van fouling in praktijkinstallatie. In praktijkonderzoek wordt *fouling* van de ultrafiltratiemembranen al snel opgemerkt door een lagere flux. De totale weerstand van het membraan neemt toe door de afzetting van componenten uit het voedingswater. Het kwantificeren van deze *fouling* kan op een eenvoudige manier plaatsvinden met behulp van de installatie zelf. Hiertoe zijn de filterbaarheid van het voedingswater (F) en de reversibiliteit van de vervuiling als functie van reinigingsmethode x (R_x) gedefinieerd (Roorda en van der Graaf, 1999). De basis hiervoor wordt gevormd door de wet van Darcy, die het mogelijk maakt om de flux, de TMD, de temperatuur van het voedingswater en de totale membraanweerstand met elkaar in verband te brengen. Hieronder zijn in formule (2) en (3) de beide karakteristieken weergegeven.

$$F = \frac{V_{tot}}{\Delta R_{fo} \cdot A_m} \quad (2)$$

Waarin: F = Filterbaarheid van voedingswater (m^2)
 V_{tot} = Total volume voedingswater gefiltreerd door een membraan (m^3)
 ΔR_{fo} = Weerstand van de vuillaag na ultrafiltratie van een voedingswater, zonder reiniging van het membraan; $\Delta R_{fo} = R_{tot,eind} - R_{tot,start}$ ($1/\text{m}$)
 A_m = Membraan oppervlak (m^2)

$$R_x = \frac{\Delta R_{fo} - \Delta R_{fo,x}}{\Delta R_{fo}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Waarin: R_x = Reversibiliteit van de vuillaag als functie van reinigingsmethode x (%)
 $\Delta R_{fo,x}$ = Weerstand van de vuillaag na reinigingsmethode x (1/m)

Het verband tussen flux en TMD wordt gemeten met voedingswater (de Voeding Water Flux, VWF), maar ook met ultrafiltratie permeaat (de Schoon Water Flux, SWF). De filtreerbaarheid dient als maat om verschillende procesomstandigheden met elkaar te vergelijken en de vuilopbouw gestandaardiseerd te kwantificeren. Een hoge filtreerbaarheid impliceert een lage vervuilingssnelheid. De reversibiliteit dient als maat om de effectiviteit van de reiniging te bepalen. Een hoge reversibiliteit impliceert een groot effect van de toegepaste reinigingsmethode en daarom een klein percentage vervuiling die achterblijft op het membraanoppervlak.

Uit onderzoek waarin de F en de R_x bepaald werden van rwzi-effluent zonder en na voorbehandeling door diep-bed filtratie en in-line coagulatie, bleek dat de filtreerbaarheid F nauwelijks veranderde door de voorbehandeling van het rwzi-effluent (Roorda en van der Graaf, 1999). De reversibiliteit van de vervuiling daarentegen nam toe door voorbehandeling. Hierbij bleek dat zich na de voorbehandeling door diep-bed filtratie de meest reversibele vuillaag ontwikkelde.

Alternatieve methoden om fouling te bepalen. Naast de hierboven besproken methoden om *fouling* te kunnen kwantificeren, zijn er nog een aantal methoden om meer inzicht in de vuillaag te verkrijgen. Door autopsie op het membraan uit te voeren en vervolgens verschillende chemische analyses uit te voeren op de vuillaag die zich op het membraanoppervlak bevindt, is het mogelijk om meer te weten te komen over de chemische aard van de vervuiling. Deze meting kan alleen plaatsvinden als (een gedeelte van) de membraanmodule niet verder gebruikt zal worden. Meting van chemische componenten na autopsie geeft informatie over met name de moeilijk te verwijderen vervuiling (irreversibele vervuiling).

Andere alternatieve methoden om *fouling* te bepalen zijn niet bekend en worden in de recente literatuur ook niet beschreven en hier ligt dan ook een uitdaging voor verder onderzoek.

Reduceren van fouling

Voorbehandeling rwzi-effluent. De beste manier om *fouling* tegen te gaan is door te voorkómen dat het membraan vervuild raakt. Aangezien rwzi-effluent per definitie het ultrafiltratie membraan vervuilt, is het een goede optie om de karakteristieken van dit effluent te veranderen waardoor minder vervuiling ontstaat. Dit kan in principe op twee manieren, nl. door vervuilende componenten uit het effluent te verwijderen of juist componenten aan het effluent toe te voegen die een beter verwijderbare vuillaag veroorzaken. In het geval van ultrafiltratie van rwzi-effluent is ervaring opgedaan met voorfiltratie door middel van een meerlaags diep-bed filter, waarbij een groot gedeelte van de aanwezige zwevende stof verwijderd wordt. Een andere methode door de componenten van eigenschap te laten veranderen is bijvoorbeeld de dosering van chloor aan het rwzi-effluent, waardoor continu een gedeelte van de organische stof geoxideerd wordt.

Een tweede methode is in-line coagulatie met een anorganische vlokmiddel (veelal Al^{3+} of Fe^{3+}), waarbij aanwezige deeltjes samen kunnen klitten en/of ladingsneutraal kunnen worden. Hierdoor is het mogelijk dat er een meer homogene verontreiniging ontstaat die ook een meer homogene (en daardoor makkelijker te verwijderen) vuillaag op het membraanoppervlak kan vormen. Hierbij kan gedurende de hele productiecycclus een vlokmiddel gedoseerd worden, maar ook gedurende een korte tijd om daardoor een laagje

op het membraan te vormen dat gaat fungeren als scheidende wand. Een andere toeslagstof zou bijvoorbeeld poederkool kunnen zijn.

Optimalisatie procesconfiguratie. Daarnaast heeft de procesconfiguratie van het membraanfiltratie proces een effect op fouling van de ultrafiltratie membranen. Een belangrijk onderscheid is cross-flow filtratie, waarbij de te filtreren vloeistof langs het membraan wordt gepompt parallel aan het membraanoppervlak en dead-end filtratie waarbij er niet gerecirculeerd wordt, maar al het aangeboden voedingswater gefiltreerd wordt. Vervolgens wordt er een onderscheid gemaakt tussen filtratie bij constante druk over het membraan (Trans Membraan Druk, TMD) en bij constante flux. In het eerste geval neemt de flux af, in het laatste geval neemt de druk toe. In praktijksituaties worden beide configuraties toegepast.

Een laatste parameter die in dit verband genoemd kan worden is de temperatuur van het voedingswater. Over het algemeen leidt een hogere temperatuur tot een hogere flux (of lagere TMD), hetgeen veroorzaakt wordt door het verschil in viscositeit.

Aanpassen membraanoppervlak. De basis van membraanfiltratie is het membraan, waarvan de fysische en chemische eigenschappen in eerste instantie een verband hebben met het ontstaan en reduceren van vervuiling. Het membraan heeft een interactie met de membraanvervuiling die een combinatie is van materiaal- en structureigenschappen. In dit verband zijn de belangrijkste eigenschappen van het materiaal de hydrofobiciteit en de lading van het membraan. Verontreinigingen adsorberen over het algemeen minder aan hydrofiele membranen dan aan hydrofobe membranen. De belangrijkste structureigenschappen zijn de ruwheid van het membraanoppervlak, de porie-diameter, de porositeit en de poriegrootteverdeling. In het algemeen leidt een minder ruw membraanoppervlak tot minder vervuiling, ook een grotere porie-diameter leidt tot minder vervuiling. De porositeit (% open oppervlak) en de poriegrootteverdeling van het membraan zeggen iets over de verdeling van de poriën over het membraanoppervlak. In het algemeen leidt een homogene porieverdeling met een hoge porositeit tot een lagere membraanvervuiling.

De keuze voor een bepaald membraan wordt vaak gemaakt op basis van praktijkervaring van de membraanleverancier, de gebruiker en ervaring uit de literatuur. Daarnaast zijn er diverse methoden ontwikkeld om het vervuilingsgedrag van verschillende typen membranen te meten. De door KIWA N.V. ontwikkelde Quick Scan is in Nederland de meest bekende (Galjaard *et al.*, 1998). Ook is bij het VITO in België een methode ontwikkeld om het vervuilingsgedrag van membranen op een eenvoudige en snelle manier objectief te vergelijken (Doyen *et al.*, 1998).

Reinigingsmethoden. De vervuiling die ontstaat op de membranen kan verwijderd worden met behulp van verschillende spoelmethoden, waarbij er globaal twee soorten onderscheiden kunnen worden. De eerste is de back flush waarbij de stroomrichting in tegengestelde richting is dan tijdens productie, nl. van de permeaat-zijde naar de voedingszijde. Om ook hardnekkige vervuiling door met name adsorptie-mechanismen te verwijderen kunnen tijdens een back flush chemicaliën gedoseerd worden. Deze chemicaliën oxyderen de organische verontreiniging (bijvoorbeeld Chloorbleekloog (NaOCl) of Peroxide (H_2O_2)) of laten verontreinigingen oplossen door de pH aan te passen (bijvoorbeeld Zoutzuur (HCl) of Natronloog (NaOH)).

Naast de back flush wordt de forward flush toegepast, hierbij wordt het voedingswater langs het membraan geleid, waardoor de vuillaag losgespoeld wordt en verwijderd kan worden. In voorkomende gevallen wordt hier lucht gedoseerd om meer turbulente stroming te veroorzaken waardoor de vuillaag op het membraan beter verwijderd zou kunnen worden. (van der Meer *et al.*, 1999). Een mogelijke andere methode om de vervuiling op ultrafiltratiemembranen te verwijderen is door middel van ultrasoon geluid.

De back flush en de forward flush worden in de regel uitgevoerd op basis van een van tevoren vastgestelde tijdsinterval. In de toekomst zal gereinigd worden op basis van de

drukopbouw over het membraan ($\Delta R/\Delta V$). Daarnaast zal het door on-line meting van parameters als de $MFI-UF_n$ mogelijk zijn om op grond van veranderingen in de gemeten vervuilingsskarakteristiek te reinigen op grond van een dergelijk signaal.

Toekomstig gebruik van ultrafiltratie voor hergebruik van rwzi-effluent

Verbetering ultrafiltratie techniek

Inzicht in de processen die verantwoordelijk zijn het ontstaan van *fouling* in ultrafiltratie van rwzi-effluent leidt er toe dat de problemen aangepakt kunnen worden. Hier zijn vier richtingen voor aan te geven waarin aanpassing doorgevoerd kunnen worden: (i) het rwzi-effluent, (ii) de procesomstandigheden, (iii) de reinigingsmethoden en (iv) het membraan. Met name het eerste en het derde punt geven aanleiding tot verdere ontwikkeling in de besturing van een praktijkinstallatie. Maar hiervoor is het noodzakelijk om het ontstaan van *fouling* te kunnen voorspellen en de hoeveelheid *fouling* te kwantificeren. Hiertoe staan de installatiebouwer twee tools ter beschikking, te weten de parameter $MFI-UF_n$ en de standaard kwantificatie middels de filtreerbaarheid (F) en de reversibiliteit (R). In de toekomst zal de hoeveelheid tools toenemen, waardoor het mogelijk wordt om de installatie flexibel te bedrijven op grond van wisselende *fouling*-eigenschappen.

Als de *fouling*-eigenschappen van het rwzi-effluent veranderen, kan gedurende een kortere of langere periode in-line coagulatie plaatsvinden. Het is noodzakelijk dat al op voorhand inzicht is verkregen in de relatie tussen gemeten *fouling*-eigenschappen en de invloed van diverse vlokmiddelen daarop. Daarnaast is het mogelijk om bijvoorbeeld in geval er gedurende een langere periode een verandering in het effluent plaatsvindt, het effluent gefiltreerd wordt in een diep-bed filter.

In de tweede plaats de reinigingsmethoden. Het reinigen van de ultrafiltratie membranen kan effectiever worden als gestuurd wordt op drukopbouw en absolute druk. Praktijkgegevens zullen inzichtelijk maken dat wanneer een bepaalde drukopbouw plaatsvindt er een grote mate van irreversibele vervuiling optreedt. Op dat moment zal men een juist reinigingsprogramma moeten starten, vaak in combinatie met chemicaliën.

Inzicht in het karakter van de vervuiling van ultrafiltratie membranen en de interactie tussen membraan en rwzi-effluent zal leiden tot betere strategie om de vervuiling aan te pakken. Een flexibele besturing van de installatie, op voorzuivering en reinigingsmethoden, zal er toe leiden dat er een stabielere bedrijfsvoering ontstaat. Het is noodzakelijk dat hierbij de gegevens uit het verleden opgeslagen worden, zodat als vergelijkbare omstandigheden optreden de gegevens uit deze databank gebruikt worden. Het gebruik van neurale netwerken om de installatie te sturen is daarbij zeer waardevol. Zo is door Delgrange *et al.* (1998) aangetoond dat modellering van ultrafiltratie door een neurale netwerk op grond van een minimum aan parameters mogelijk is.

Resultaat van de verbeteringen

De hier genoemde verbeteringen zullen binnen een termijn van vijf jaar voor het grootste gedeelte zijn doorgevoerd. Ultrafiltratie is daarmee ook voor de zuivering van complex voedingswater volwassen geworden. Hierdoor zal de prijs per m^3 behandeld water aanzienlijk dalen. Waarschijnlijk zal een m^3 water die op deze manier is behandeld beneden de 100ct gaan dalen.

De directe gevolgen zijn namelijk dat de flux hoger wordt ($> 80 l/m^2.h$), de levensduur van de membranen toeneemt (> 5 jaar) en de spoelverliezen lager zijn ($< 5\%$). Ook de verwijdering van verschillende componenten zal nog beter beheersbaar zijn.

Literatuur

Boerlage, S. F. E., Kennedy, M. D., Aniye, M. P., Abogrean, E. M., Galjaard, G. en Schippers, J. C. (1998). Monitoring particulate fouling in membrane systems. *Desalination*, 118, 131-142.

CBS (1996), *Waterkwaliteitsbeheer, deel B; zuivering van afvalwater 1995*.

CBS (1998), *Statistisch Jaarboek 1998*.

Delgrange, N., Cabassud, C., Cabassud, M., Durand-Bourlier, L. en Lainé, J. M. (1998). Modelling of ultrafiltration fouling by neural network. *Desalination*, 118, 213-227.

Doyen, W., Baéé, B., Lambrechts, F. en Leysen, R. (1998). Methodology for accelerated pre-selection of UF type of membranes for large-scale applications. *Desalination*, 117, 85-94.

Galjaard, G., Schippers, J. C., Nederlof, M. M. en Oosterom, H. A. (1998). Quick Scan: selection of micro- and ultrafiltration membranes. *Desalination*, 117, 79-84.

Graaf, J. H. J. M. van der, Kramer, J. F., Pluim, J., Koning, J. de en Weijs, M. (1998). Experiments on membrane filtration of effluent at wastewater treatment plants in the Netherlands. *Water Science and Technology*, 39 (5), 129-136.

Koros, W. J., Ma, Y. H. en Shimizu, T. (for: International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)) (1996). Terminology for membranes and membrane processes – IUPAC recommendations 1996, *Journal of Membrane Science*, 120, 149-159.

Meer, W. van der, Termeulen, R., Moel, P. de en Dalfsen, H. van (1999). 'Luchtspoeling' bij ultrafiltratie. *H₂O*, (4), 20-22.

Ministerie van VROM (1995). *Beleidsplan drink- en industriewatervoorziening, deel 3: Kabinetsstandpunt, 1995-1996*.

Roorda, J. H. en Graaf, J. H. J. M. van der (2000). New parameter for monitoring fouling in ultrafiltration of wwtp-effluent. *Proceedings 3rd International symposium on waste water reclamation, recycling and reuse; 1st World congress of the International Water Association (IWA)*, Parijs, 3-7 juli 2000.

Roorda, J. H. en Graaf, J. H. J. M. van der (1999). Understanding membrane fouling in ultrafiltration of wwtp-effluent. *Proceedings international specialised conference on membrane technology in environmental management*, Tokyo, November 1-4, 1999.

Schippers, J. C. (1989). *Vervuiling van hyperfiltratiemembranen en verstopping van infiltratieputten*. Proefschrift Universiteit Twente.

