



Kees Roest, KWR Watercycle Research Institute

Damir Brdjanovic, TU Delft / UNESCO-IHE

Guang-Hao Chen, The Hong Kong University of Science and Technology

Mark van Loosdrecht, KWR Watercycle Research Institute / TU Delft

Zee- en brakwater voor gebruik als tweede kwaliteit water

Voor het spoelen van toiletten en andere dergelijke watertoepassingen hoeft geen water van drinkwaterkwaliteit gebruikt te worden. Water van secundaire kwaliteit is hiervoor zeer geschikt. In Hong Kong gebruikt men al jaren zeewater voor onder andere toiletspoeling. Dit werkt goed en biedt veel potentie voor de watercyclus en het watermanagement in stedelijke kustgebieden, dus ook voor Nederland.

Wereldwijd is steeds meer sprake van watertekorten of 'waterstress'. Groeiende populaties, urbanisatie en klimaatverandering spelen hierbij een belangrijke rol. De meest dichtbevolkte steden en gebieden bevinden zich over het algemeen in de kustregio's (zie afbeelding 1), waar ongeveer de helft van de bijna zeven miljard wereldbewoners leeft. Nederland is een typisch deltaland. Ook hier is sprake van 'waterstress', bijvoorbeeld door verzilting van kustgebieden en verdroging in vooral het oosten en zuiden. Diverse alternatieve waterbronnen zijn beschikbaar voor productie van drinkwater of secundair water, zoals regenwater, grijswater, afvalwater of zout/brak water.

Een bekend voorbeeld van waterhergebruik is Singapore, waar NEWater wordt geproduceerd uit afvalwater. Het meeste NEWater heeft een betere kwaliteit dan normaal drinkwater en gaat naar de industrie. Het drinkwater bevat momenteel één tot twee procent hergebruikt water. In de loop van dit jaar kan NEWater voorzien in 30 procent van de watervraag in Singapore. Vooral in kustgebieden bestaat een overvloed aan zee- en brakwater. Uit zout water kan zoet water worden geproduceerd met technieken als distillatie, ionenwisseling, electrodialyse of membraanfiltratie. Twee technieken worden wereldwijd het meest gebruikt voor ontzouting: distillatie en membraanfiltratie. Bij *multi-stage flash distillation* en *multiple-effect distillation* wordt zout water verdampt en gecondenseerd zoet water gewonnen. Bij membraanfiltratie (omgekeerde osmose) wordt het water onder hoge druk door een membraan geperst dat het zout tegenhoudt. Ontzouting van zee- en brakwater is duur (0,21 tot 1,56 euro per kubieke meter), inefficiënt (slechts de helft

van het zee- en brakwater wordt omgezet in drinkwater¹⁾ en kost veel energie (1,8 tot 4 kWh per kubieke meter²⁾)

Secundaire kwaliteit water

Aangezien maar een klein deel van het drinkwatergebruik daadwerkelijk vraagt om water van excellente kwaliteit, ligt het voor de hand om voor minder kritische gebruiksdoeleinden water van secundaire kwaliteit te gebruiken. Nederlanders gebruiken dagelijks bijna 40 liter drinkwater voor het spoelen van het toilet (zie tabel 1): bijna een derde van het totale dagelijkse drinkwatergebruik. Het is in principe niet noodzakelijk om zoet water of drinkwater te gebruiken voor toiletspoeling en de meeste

andere watertoepassingen in de stedelijke watercyclus. Voor het spoelen van toiletten en dergelijke is een secundaire waterkwaliteit voldoende. Dit vraagt wel om een dubbel leidingstelsel zonder verkeerde kruiskoppelingen. Dit blijkt in de praktijk niet eenvoudig, zoals onder meer de ervaringen met een dubbel leidingstelsel in Leidsche Rijn hebben laten zien³⁾. Ook in Nederland zou zout of brak water een alternatief kunnen zijn als waterbron voor tweede kwaliteit water, zoals kwelwater uit polders. Verkeerde koppelingen aan het drinkwaternet worden dan direct waargenomen in verband met de zoute smaak. Daardoor is geen geavanceerde technologie of systeemmanagement nodig. In kustgebieden zijn zee- en brakwater

Tabel 1: Huishoudelijk drinkwatergebruik in Nederland (in liter per persoon per dag)²⁾.

	1995	1998	2001	2004	2007
bad	9,0	6,7	3,7	2,8	2,5
douche	38,3	39,7	42,0	43,7	49,8
wastafel	4,2	5,1	5,2	5,1	5,3
toiletspoeling	42,0	40,2	39,3	35,8	37,1
kleding wassen, hand	2,1	2,1	1,8	1,5	1,7
kleding wassen, machine	25,5	23,2	22,8	18,0	15,5
afwassen, hand	4,9	3,8	3,6	3,9	3,8
afwassen, machine	0,9	1,9	2,4	3,0	3,0
voedselbereiding	2,0	1,7	1,6	1,8	1,7
koffie en thee	1,5	1,1	1,0	1,0	1,2
water drinken	*	0,5	0,5	0,6	0,6
overig keukenkraan/tuin	6,7	6,1	6,7	6,4	5,3
totaal	137,1	131,9	130,7	123,8	127,5

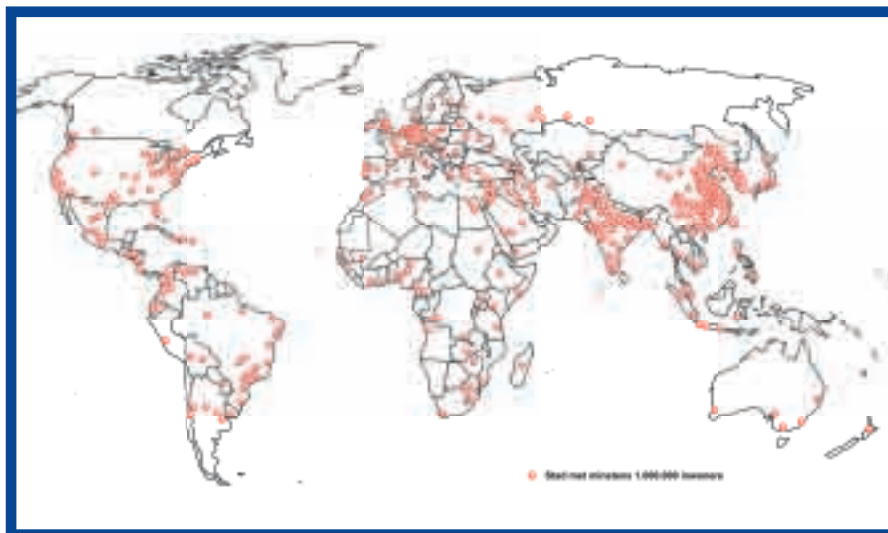
* niet opgenomen

uitermate geschikt voor een tweede kwaliteit watergebruik, omdat ze gemakkelijk en in bijna onbeperkte hoeveelheden te verkrijgen zijn. Zout water voor bijvoorbeeld toiletspoeling vergt geen uitgebreide voorbehandeling: enkele zeven zijn in principe voldoende. Een groot voordeel is ook dat zout water als secundair water potentieel minder gezondheidsrisico's geeft dan afvalwater: in het algemeen is de kwaliteit van zeewater beter dan van bijvoorbeeld grijs water.

Ervaringen in Hong Kong

In Hong Kong is inmiddels een halve eeuw ervaring opgedaan met een dubbel waterleidingstelsel en het gebruik van zeewater voor bijvoorbeeld toiletspoeling⁶⁾. Het zoute water wordt daar belucht voor geurverwijdering. Ook wordt drie tot zes milligram natriumhypochloriet per liter toegevoegd voor desinfectie. Het zoute en zoete afvalwater komen samen, zodat de afvalwaterzuivering in Hong Kong brak afvalwater reinigt. De energiekosten voor productie en transport van zout water bedragen 0,32 kWh per kubieke meter. Dit is veel minder dan de energiekosten van waterhergebruik en zeewaterontzouting (zie tabel 2).

In de afgelopen jaren is door de TU Delft (afdeling Biotechnologie) en de Hong Kong University of Science and Technology een onderzoek uitgevoerd naar optimalisatie van specifieke aspecten van een dergelijk systeem. In dit kader is getest of op basis van urineseparatie sulfaatreductie in het rioolsysteem te onderdrukken valt⁹⁾. Door de apart ingezamelde urine eerst te beluchten wordt ammonium geoxideerd tot nitraat. Dit nitraat limiteert in het riool de activiteit van sulfaat-reducerende organismen en beperkt zo corrosievorming. Daarnaast is een afvalwaterzuiveringssysteem ontwikkeld dat gebruik maakt van de specifieke samenstelling van het afvalwater: het sulfaatreductie, autotrofe



Afb. 1: Grote wereldsteden bevinden zich veelal in kustregio's.

denitrificatie en nitrificatie geïntegreerd systeem of SANI-proces^{6),7),8),9),10),11)}.

Afvalwaterbehandeling met SANI

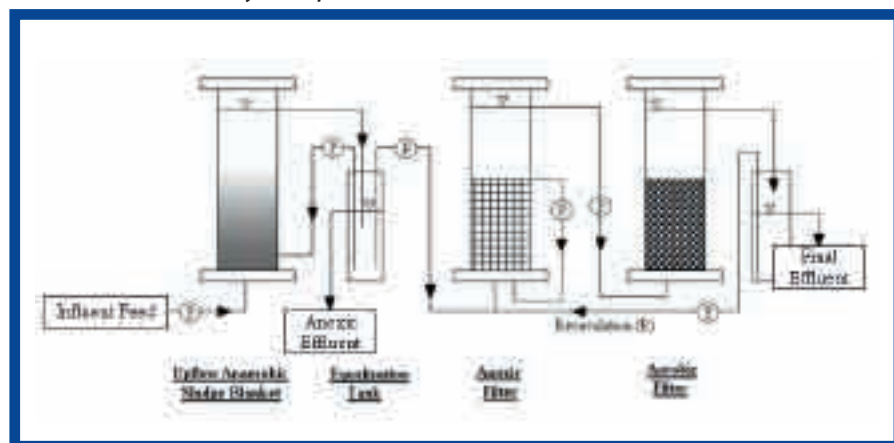
Een consequentie van het gebruik van zout water als tweede kwaliteit water is dat ook het afvalwater zouter is dan conventioneel afvalwater. Het afvalwater in Hong Kong bevat ongeveer drie tot zes gram chloride per liter en 600 milligram sulfaat (of 200 milligram zwavel). Dit sulfaat maakt het mogelijk om 400 milligram chemische zuurstofverbruik (CZV) te verwijderen door de reductie van sulfaat. Daardoor is beluchten niet meer nodig. Het geproduceerde sulfide kan daarna worden gebruikt voor autotrofe denitrificatie. Sulfaatreductie en autotrofe denitrificatie hebben beiden een lage slibopbrengst. Daarnaast kunnen de organismen makkelijk als korrelslib worden gekweekt. Zo wordt een compacte zuivering met een lage slibproductie mogelijk. Afbeelding 2 geeft een schematisch overzicht van de laboratoriumopstelling

voor het SANI-proces. Het brakke afvalwater wordt eerst behandeld in een *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB)-reactor, waar CZV-verwijdering is gekoppeld aan sulfaatreductie. Doordat vrijwel alle CZV in de eerste reactor is omgezet in sulfide, wordt in de anoxische *upflow filter*-reactor denitrificatie uitgevoerd door autotrofe denitrificeerders. Per 200 milligram sulfide-S kan globaal 140 milligram NO₃-N worden gedenitrificeerd. Autotrofe denitrificatie werkt met een relatief lage CZV/N-ratio, omdat de CZV-behoefte voor groei laag is. Tot slot wordt de rest sulfide en het ammonium geoxideerd in een aerob filter-reactor. Naar de optimale recirculatiestromen tussen de reactoren is al uitgebreid pilotonderzoek verricht⁹⁾. De pilotinstallatie in Hong Kong is gedurende een jaar stabiel bedreven. Gedurende dit jaar was de slibproductie minimaal en de verwijdering van biologisch zuurstofverbruik (BZV) en ammonium hoger dan 99 procent. De denitrificatie is natuurlijk afhankelijk van het retourdebiet, maar het stikstofeffluent kon gemakkelijk onder de tien milligram per liter worden gehouden. Het proces kan uiteindelijk compacter gemaakt worden, zoals schematisch weergegeven is in afbeelding 3 en op de foto.

Voordelen SANI-systeem

Het SANI-systeem heeft dus een lage energiebehoefte en produceert zeer weinig slib. Bovendien kunnen sulfiden op deze manier effectief worden beheerst; er ontsnapt geen gas uit de sulfaatreductie-reactor. In het afgas van de denitrificatie-reactor is ook geen sulfide waargenomen. Bovendien blijkt dat coliformen goed worden verwijderd⁶⁾. Fecale coliformen worden in een conventioneel actiefslibstelsysteem 1,5-1,7 log gereduceerd. Het (nog niet geoptimaliseerde) SANI-systeem komt

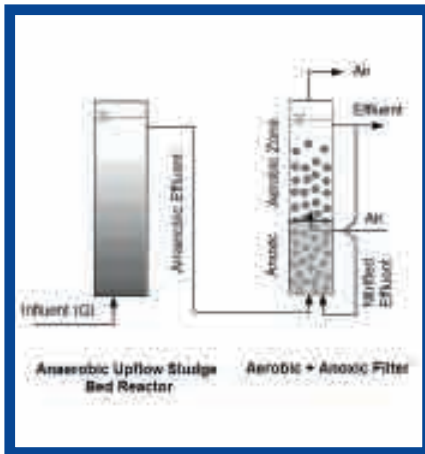
Afb. 2: Schema van het SANI-systeem op laboratoriumschaal.



Tabel 2: Globale vergelijking van de kosten van hergebruik rwzi-effluent, zout water RO en direct gebruik van zout water in Hong Kong¹²⁾.

	hergebruik rwzi-effluent	zeewaterontzouting	direct gebruik zout water
investeringskosten (HK\$/persoon)	2592	907	1520
levenscycluskosten (HK\$/m ³)	11,6	11,7	5,9
elektriciteitsgebruik (kWh/m ³)	1,38	5	0,32

* 1 euro is ruim 10 HK\$. De totale drinkwaterkosten bedragen 6,03 HK\$ per kubieke meter.



Afb. 3: Schema van een compact SANI-systeem.

tot een verwijdering van 2.2 log. Vooral in de sulfaatreducerende reactor (UASB) wordt een groot aantal coliformen geëlimineerd. Dit effect wordt waarschijnlijk voor een substantieel deel veroorzaakt door sulfide. Sulfide is toxisch en ontstaat bij de reductie van sulfaat. Deze desinfectie is een belangrijk aspect voor duurzame zuivering van zout afvalwater. Bovendien heeft het systeem een kleine zogeheten voetafdruk en lagere kosten dan een conventioneel actiefslib-waterzuivering. Het gebruik van brak of zout water als tweede kwaliteit water voor niet-kritische processen, zoals het spoelen van toiletten, kan zorgen voor een grote waterbesparing en een enorme verandering van de watercyclus, met een positief effect op het milieu.

Verder onderzoek

Een consortium van TU Delft, UNESCO-IHE en KWR in Nederland en enkele buitenlandse partijen, waaronder de Hong Kong University of Science and Technology en de University of Cape Town, zijn momenteel bezig deze op zout water gebaseerde watervoorziening en sanitatiesystemen verder te ontwikkelen. Hierbij wordt gewerkt aan een geïntegreerd systeemmodel, waarbij de invloed van zout



SANI-pilotinstallatie in Hong Kong.

water op sulfaat-, stikstof- en fosfaatreductie in zowel de riolen als in de afvalwaterzuiveringsinstallaties wordt onderzocht. Naast technologische en fundamentele vraagstukken wordt aandacht besteed aan de veranderingen in de watercyclus die deze innovatie met zich meebrengt.

LITERATUUR

- 1) Lopez-Vazquez C. *et al.* (2009). Use of saline water as secondary quality water in urban environments. In 1st IWA Development Congress in Mexico City.
- 2) Foekema H., L. van Thiel en B. Lettinga (2008). Watergebruik thuis 2007. TNS Nipo.
- 3) Oesterholt F. (2003). Beleidsonderbouwende monitoring huishoudwater - onderzoek naar de kwaliteit van huishoudwater en effecten van het gebruik op het milieu en de klant. KWR Watercycle Research Institute.
- 4) Li X. *et al.* (2007). Sustainability of toilet flushing water supply in Hong Kong. *Water and Environment Journal* nr. 2, pag. 85-90.
- 5) Mackey H. *et al.* (2010). Nitrification of source separated urine in a sequencing batch reactor. IWA. In druk.
- 6) Adbeen S. *et al.* (2010). Fecal coliform removal in a sulfate reducing autotrophic denitrification treatment process for saline sewage treatment. Submitted to *Water Science and Technology*.
- 7) Lau G. *et al.* (2006). Integration of sulphate reduction, autotrophic denitrification and nitrification to achieve low-cost excess sludge minimisation for Hong Kong sewage. *Water Science and Technology* nr. 3, pag. 227-235.
- 8) Lu H. *et al.* (2009). Steady-state model-based evaluation of sulfate reduction, autotrophic denitrification and nitrification integrated (SANI) process. *Water Research* nr. 14, pag. 3613-3621.
- 9) Lu H. *et al.* (2010). A pilot trial of SANI process with raw saline sewage. Submitted to *Water Research*.
- 10) Tsang W. *et al.* (2009). A novel sludge minimized biological nitrogen removal process for saline sewage treatment. *Water Science and Technology* nr. 10, pag. 1893-1899.
- 11) Wang J. *et al.* (2009). A novel sulfate reduction, autotrophic denitrification, nitrification integrated (SANI) process for saline wastewater treatment. *Water Research* nr. 9, pag. 2363-2372.
- 12) Tang S. *et al.* (2007). Engineering and costs of dual water supply systems. IWA Publishing.