

# **Die Uitvoerbaarheid van Dubbelwatervoorsieningstelsels**

**J Botha • WA Pretorius**

**Verslag aan die Waternavorsingskommissie  
deur die  
Departement Chemiese Ingenieurswese  
Universiteit van Pretoria**

**WNK Verslag No KV 113/98**



#### **Disclaimer**

This report emanates from a project financed by the Water Research Commission (WRC) and is approved for publication. Approval does not signify that the contents necessarily reflect the views and policies of the WRC or the members of the project steering committee, nor does mention of trade names or commercial products constitute endorsement or recommendation for use.

#### **Vrywaring**

Hierdie verslag spruit voort uit 'n navorsingsprojek wat deur die Waternavorsingskommissie (WNK) gefinansier is en goedgekeur is vir publikasie. Goedkeuring beteken nie noodwendig dat die inhoud die siening en beleid van die WNK of die lede van die projek-loodskomitee weerspieël nie, of dat melding van handelsname of -ware deur die WNK vir gebruik goedgekeur of aanbeveel word nie.

**DIE UITVOERBAARHEID VAN  
DUBBELWATERVOORSIENINGSTELSELS**

**Finale Verslag aan die  
Watervorsingskommissie**

**deur**

**J Botha\* en WA Pretorius\*\***

**\* Infratec Consulting**

**\*\* Department Chemiese Ingenieurswese, Universiteit van Pretoria**

## EXECUTIVE SUMMARY

The feasibility of dual water supply systems was evaluated in this study. The applicable terminology was reviewed, followed by a literature survey of the merits of dual systems. The fact that dual systems are increasingly being developed in the international arena points to a necessity for considering such systems as an additional option for water supply planning.

Dual systems should not be considered a panacea for the world's water problems. They do, however, offer new possibilities for augmenting water shortages and for keeping available water resources fit for use. Prevailing objections to dual systems in favour of reusing reclaimed effluents in conventional single supply systems should be countered by a technology transfer seminar where the water community can debate the merits of dual systems in relation to established water supply practices.

Dual systems attract attention in cases where expensive treatment such as desalination is required to produce drinking water. The following conditions pose such possibilities:

- where sea or brackish water (with high TDS concentrations) is the closest available water source;
- where intensive indirect reuse of water may cause high TDS concentrations in the source (as with the Vaal River barrage); and
- where the high incremental cost of developing new fresh water sources may dictate consideration of reclamation and direct reuse of treated sewage effluents. The mass balances and cost comparisons in this study indicated that reuse in dual systems would entail smaller desalination streams, less salts to be removed, better water utilisation indices and probably better economics than to reclaim effluents for direct potable reuse.

It is concluded that dual systems offer new possibilities for maintaining adequate water supply in South Africa and for maintaining fitness for use of available water for the legitimate water uses. Dual systems should therefore be considered as an additional option when water supply schemes are planned.

## INHOUDSOPGAWE

|                                                                                          | Bladsy |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. INLEIDING                                                                             | 1      |
| 2. AGTERGROND                                                                            | 4      |
| 3. DIE MERIETE VAN DUBBELSTELSELS                                                        | 8      |
| 4. WATERGEHALTE IN DUBBELSTELSELS                                                        | 14     |
| 5. WATERHOEVEELHEDE IN DUBBELSTELSELS                                                    | 17     |
| 6. KONFIGURASIES VAN WATERBRONNE, PYPNETWERKE EN<br>SUIWERINGSPROSESSE IN DUBBELSTELSELS | 20     |
| 7. FISIESE EIENSKAPPE VAN DUBBELSTELSELS                                                 | 27     |
| 8. MASSABALANSE EN KOSTEVERGELYKING                                                      | 30     |
| 8.1 Ontsouting                                                                           | 32     |
| 8.2 Omsetverhouding                                                                      | 35     |
| 8.3 Kostevergelyking                                                                     | 37     |
| 9. AANBEVELINGS VIR TOEPASSING IN SUID-AFRIKA                                            | 42     |
| 10. VERWYSINGS                                                                           | 44     |

## 1. INLEIDING

Water is 'n kritieke hulpbron in Suid-Afrika. Oppervlakwater is die hoofbron en die benutbare hoeveelheid word deur verskeie natuurlike faktore tot ca. 33 km<sup>3</sup>/jr beperk (DWW, 1986). Die oorhoofse aanvraag was 19 km<sup>3</sup>/jr in 1990 en daar word beraam dat dit 26 km<sup>3</sup>/jr in 2010 sal wees. Hierdie raming maak voorsiening vir 'n verhoging van die huishoudelike watervoor-sieningskoers van 12,0% in 1990 tot 17,3% in 2010. Groot eise word dus aan die versoening van wateraanbod en -aanvraag gestel.

Bogenoemde gemiddelde waterbalans word in die metropolitaanse gebiede versteur deur groter ekonomiese aktiwiteit, hoër bevolkingsdigtheid en voortdurende verstedeliking. Die Gautengstreek benodig tans byvoorbeeld sowat 2,4 maal soveel water as wat die Vaalrivier se opvanggebied kan lewer (DWW, 1986). Water moet dus van lae- na hoë-aanvraag gebiede oorgedra word en moet opgegaar word om voorsieningstekorte die hoof te bied. Die potensiaal vir sulke oordragskemas binne Suid-Afrika se grense is reeds in 'n groot mate ontgin en word aangevul met invoerskemas soos die Lesotho Hooglandse Waterprojek (LHWP). Uiteindelik sal onkonvensionele bronne soos die ontsouting van seewater ontwikkel moet word om die wateraanvraag te bevredig (Olivier, 1980).

Die inkrementele koste van water wat deur opeenvolgende skemas gelewer word, neem eksponensieel toe (DWW, 1985). Die ontwikkeling van 'n nuwe bron is telkens moeiliker as die vorige een en die water moet verder vervoer word. Daarby vereis invoerskemas ingewikkelde onderhandelinge om interstaatlike waterregte te skik.

Teen hierdie agtergrond is dit noodsaaklik dat die beskikbare water optimaal benut moet word. Dit behels dat die hoogste moontlike *omsetverhouding* (totale gebruiksomset tot bron-waterstroom) nagestreef moet word, met die inherente implikasie dat die water maksimaal hergebruik moet word. Die teenpool hiervan is eenmalige gebruik, met 'n omsetverhouding van een. Bogenoemde doelwit word deur verskeie faktore gestrem, naamlik:

- die noodwendige konsumptiewe verbruik van water vir doeleindes soos die opname daarvan in produkte, die wegdoening van gekonsentreerde onsuiverhede, besproeiing en verdampingsverkoeling;

- verliese weens gebreke in verspreidingstelsels en verdamping vanaf opgaardamme en oppervlakstrome;
- die verlaging van watergehalte tydens gebruik;
- die koste van water- en afvalwatersuiwering om die gehalte daarvan tot die gewenste vlakke vir-volgende gebruike te verhoog; en
- die koste van die hersirkulasie van water in geslote hergebruiksiklusse.

Die opjaar- en gebruikspatroon van water in Suid-Afrika lei tot voortdurende verswakking van die watergehalte (DWW, 1986). Versouting is die grootste probleem. In droë, landelike gebiede vind dit weens natuurlik verwering en loging plaas, terwyl dit in stedelike en nywerheidsgebiede met die intensiewe gebruik en hergebruik van beperkte watervoorrade verband hou. Eutrofikasie en die akkumulasie van mikrobeseoedelingstowwe dra ook by om die water minder geskik vir die bestemde gebruike te maak. Benewens indirekte kostes weens versouting (Heynike, 1981) lei hierdie probleme tot hoër suiweringskoste.

Alle water vir huishoudelike en nywerheidsvoorsiening in Suid-Afrika word tradisioneel tot drinkwatergehalte verhoog. 'n Deel van normale gebruik hoef egter nie aan sulke hoë gehalte-vereistes (DWW, 1993) te voldoen nie. Dit sluit water vir toiletspoel en tuinbesproeiing in, asook water vir nywerheidstoepassings soos die was van produkte en oppervlakke, en die vervoer van materiale en afval. Hierdie insig het tot die konsep van dubbele watervoorsiening-stelsels gelei (Okun, 1966).

'n Dubbelstelsel is essensieel een waarin drinkbare en nie-drinkbare water deur aparte pypnetwerke voorsien word, met verskeie moontlike bron- en suiweringskonfigurasies. Dit word in ander wêrelddele as 'n bykomende opsie oorweeg wanneer waterskemas beplan word (AWWA, 1976, 1983 & 1985 ).

Die doel van hierdie studie is om die rol van dubbelstelsels, in vergelyking met dié van ander voorsieningstelsels, in die optimale benutting van water in residensiële dorpsgebiede in Suid-

Afrika te ondersoek. Die projek is gedeeltelik deur die Waternavorsingskommissie gefinansier en hul bydrae word met dank erken.

## 2. AGTERGROND

Die idee van dubbele watervoorsieningstelsels is baie oud. Die eerste bekende dubbelstelsel is sowat 2 000 jaar gelede in Rome gebou (Frontinus, 1913) om te verhoed dat goeie gehalte waterbronne vir nie-drinkdoeleindes gebruik word. In party Suid-Afrikaanse dorpe was oop leivore vir tuinwater tot enkele dekades gelede nog 'n bekende gesig. Die moderne dubbelstelsel verteenwoordig 'n gevorderde benadering tot watervoorsiening. Dit raak die hele veld van watergehaltebestuur en is op die veilige, optimale en ekonomiese benutting van beperkte watervoorrade gemik. Die definisies en begripstellings hieronder dien om die omvang van die moontlike watervoorsieningsopsies duidelik af te baken.

Die American Water Works Association (AWWA, 1983) definieer 'n *dubbelwatervoorsieningstelsel* (dubbelstelsel) as 'n watervoorsieningsfasiliteit wat twee grade water in dieselfde diensgebied versprei - die een drinkbaar en die ander moontlik nie-drinkbaar. Die gehalte, hoeveelheid en druk wat in elke gebied beskikbaar is, is funksies van die bronne en die beoogde gebruike vir elke graad water. Boegly (1985) voeg later by dat verspreiding deur *aparte pypnetwerke* geskied. 'n Stelsel waarin een of albei grade water anders as deur 'n pypnetwerk voorsien word (byvoorbeeld drinkwater in bottels), is dus streng gesproke nie 'n dubbelstelsel nie. Daarteenoor kan 'n *enkelvoorsieningstelsel* (enkelstelsel - die konvensionele metode in Suid-Afrika) dan gedefinieer word as 'n pypnetwerk waardeur water van drink-gehalte vir alle gebruike voorsien word.

*Drinkwater* is water van uitstekende gehalte, geskik vir drink-, kook- en wasdoeleindes (AWWA, 1983). Dit voldoen aan die geldende vereistes vir drinkwatergehalte, byvoorbeeld die Suid-Afrikaanse Riglyne vir Huishoudelike Watergehalte (DWW, 1993).

*Nie-drinkwater* is water wat aanvaarbaar is vir gebruike anders as dié wat drinkwatergehalte vereis (AWWA, 1983; Haney & Hagar, 1985). Hierdie water is veilig vir toevallige, onbedoelde menslike inname, maar word nie in dieselfde mate as drinkwater gesuiwer nie. Die gehalteverskil hou veral verband met die hoeveelheid opgeloste stowwe (totale opgeloste soute (TOS), en 'n seleksie van spesifieke ione) in die water.

Opmerking: Bogenoemde onderskeid tussen drink- en nie-drinkwater is ietwat misleidend. Dit kan die indruk wek dat nie-drinkwater in alle opsigte van laer gehalte as drinkwater is (tweede graad), terwyl dit in werklikheid meer toepaslik vir die beoogde gebruiksdoel kan wees, naamlik tuinbesproeiing en toiletspoel. Tuinbesproeiing kan byvoorbeeld baat by hoë nutriëntkonsentrasies in die water, terwyl selfs seewater vir toiletspoel gebruik kan word. Die gehalte van water vir tuinbesproeiing kan ook weer anders as dié vir die besproeiing van produksiegewasse wees, waar sensitiwiteit vir sekere waterbestanddele van groot ekonomiese belang kan wees. Dit sal dus meer sinvol wees om van **drinkwater** en **tuinwater** in 'n dubbelstelsel te praat. Tuinwater kan vir toiletspoel gebruik word, maar is glad nie geskik vir drink, kook- en wasdoeleindes nie. Daarteenoor is drinkwater nie noodwendig van die beste gehalte vir tuinbesproeiing nie, en is dit eintlik dom om drinkwater vir toiletspoel te gebruik. Hierdie terme word derhalwe voorts in hierdie dokument gebruik.

Die omvang van dubbelstelsels kan volledig of beperk wees (AWWA, 1983):

- 'n *volledige dubbelstelsel* bestaan uit 'n drinkwater- en 'n parallelle tuinwaternetwerk wat 'n totale diensgebied dek, met beperkte risiko van kruiskoppeling; en
- 'n *beperkte dubbelstelsel* bestaan uit 'n drinkwaternetwerk wat 'n totale diensgebied dek en 'n tuinwaternetwerk wat 'n beperkte gebied bedien.

Baie van die dubbelstelsels in die literatuur gerapporteer is beperkte stelsels met tuinwatervoorsiening vir besproeiing en nywerheidsgebruik. Die dubbelstelsels in St Petersburg, Florida (Crook & Johnson, 1991) en in Rouse Hill, Sydney, Australië (Law, 1995), is die grootstes tot dusver geïmplementeer, en kan albei as volledige dubbelstelsels beskou word. Herwonne afvalwater word daarin as die tuinwaterbron gebruik.

Alhoewel waterhergebruik nie 'n voorvereiste vir dubbelstelsels is nie, vind hergebruik algemeen in die een of ander vorm plaas. Daar kan tussen die volgende tipes hergebruik onderskei word (Okun, 1985):

- *indirekte drinkbare hergebruik* - die onttrekking van water vir drink- en ander doeleindes uit 'n ondergrondse of oppervlakbron waarin behandelde of onbehandelde afvalwater gestort is;
- *direkte drinkbare hergebruik* - die direkte voer van behandelde afvalwater na 'n drinkwatervoorsieningstelsel;
- *indirekte nie-drankbare hergebruik* - die onttrekking van water vir een of meer nie-drankbare gebruike uit 'n ondergrondse of oppervlakbron waarin behandelde of onbehandelde afvalwater gestort is; en
- *direkte nie-drankbare hergebruik* - die direkte voer van behandelde afvalwater na 'n stelsel wat water vir een of meer nie-drankbare gebruike voorsien.

Rand Water se versnydingsopsie (SS&O, 1985), wat tans nie in werking is nie, is 'n voorbeeld van indirekte drinkbare hergebruik. Met *versnyding* word beoog om wisselende hoeveelhede hoë- en lae-TOS water sodanig uit verskillende bronne (Barrage en Vaaldam in hierdie geval) te onttrek dat die TOS-konsentrasie van die gelewerde water binne 'n gestelde perk gehand-haaf word. Direkte drinkbare hergebruik word in Windhoek, Namibië (Haarhoff & Van der Merwe, 1995) toegepas. Landboubesproeiing is 'n algemene voorbeeld van indirekte nie-drankbare hergebruik, terwyl direkte nie-drankbare hergebruik veral in dubbelstelsels toepas-sing kan vind.

*Indirekte hergebruik* kan volgens Hamann en McEwan (1991) verder geklassifiseer word as:

- *onbeplande hergebruik* wanneer water uit 'n bron waarin afvalwater as 'n wegdoeningsmetode gestort is, onttrek word; en
- *beplande hergebruik* wanneer die afvalwater gestort is met die doel om hergebruik te word.

Onbeplande indirekte drinkbare hergebruik was en is steeds algemene praktyk sedert die mens begin het om sy afvalwater in waterbronne te stort. Daar is byvoorbeeld min

oppervlakwater-liggende wat nie die afvalwater van stroom-op gebruikers ontvang nie (Miller & Newsome, 1967). Egte *eenmalige gebruik* van water is dus 'n raar verskynsel. Die Waterwet vereis dat uitvloeisels in die bron van oorsprong gestort moet word (Waterwet, 1956), dui in 'n mate op beplande indirekte hergebruik.

*Afvalwaterherwinning* behels die behandeling van afvalwater om dit herbruikbaar te maak (Asano, *et al.*, 1992), met ander woorde om dit van disponeringsgehalte tot hergebruikgehalte op te gradeer. *Waterhergebruik* is die benutting van herwonne water vir enige van die erkende voordelige gebruike.

In teenstelling met direkte hergebruik soos hierbo gedefinieer, betrek *hersirkulasie* gewoonlik slegs een gebruik of gebruiker in die sin dat die uitvloeisel van 'n skema herwin en in dieselfde skema hergebruik word (Asano, *et al.*, 1992). Dit word veral in nywerhede toegepas. *Grys-waterstelsels* (Asano, *et al.*, 1986; Baz, 1987) behels ook hersirkulasie, maar slegs van her-wonne waswater vir gebruike soos toiletspoel in dieselfde skema. Dit vind tipies toepassing in groot residensiële en kantoorgeboue, met die implikasie dat die gebou 'n dubbelverspreiding-stelsel moet hê.

Die begrip *zero storting* is ook van belang. Optimum waterbenutting impliseer maksimale hergebruik, en dus minimale storting van uitvloeisels. Die oogmerk van zero storting is *zero besoedeling*, en nie *zero afvalwaterstorting* nie (Blake, *et al.*, 1992). Te midde van talle vrae hieroor is die sleutelvraag of zero besoedeling (van water en ander media) nodig en haalbaar is. Blake, *et al.*, verskaf nie absolute antwoorde op hierdie vrae nie, maar kom tot die gevolgtrekking dat besoedelingsvoorkoming 'n belangrike element van enige omgewingsbeheer-program moet wees. Die mate waarin waterbesoedeling voorkom word, moet dus ook 'n maatstaf in die vergelyking van dubbelstelsels met ander voorsieningstelsels wees.

### 3. DIE MERIETE VAN DUBBELSTELSELS

'n Beleidstelling van die United Nations Economic and Social Council (UNESCO) in 1958 onderskryf die beginsel van 'n dubbelstelsel, naamlik dat *'geen hoër gehalte water vir 'n doel waarvoor 'n laer graad geskik is, gebruik behoort te word nie, tensy dit in oormaat beskikbaar is'*. Daaruit is afgelei dat die reservering van beperkte hoeveelhede goeie gehalte water vir drinkwatervoorsiening die hoof dryfveer vir die ontwikkeling van dubbelstelsels behoort te wees (AWWA, 1983). Daarby is daar verskeie ekonomiese en strategiese redes waarom dubbelstelsels as 'n bykomende opsie oorweeg moet word wanneer watervoorsieningskemas beplan word. Tipiese situasies wat hierdie redes illustreer, word hieronder geskets (AWWA, 1983).

#### (a) **Wateraanvulling**

Wanneer wateraanvraag die -aanbod oorskry, word die bestaande bron tradisioneel verder ontgin, of word 'n nuwe bron ontwikkel. Die tegnologiese eise en inkrementele koste daarvan is meestal baie hoër as dié van die vorige aanvullingskema. In sulke gevalle kan die geleidelike infasering van 'n nie-drinkbare stelsel ekonomies voordelig wees, veral indien herwonne afvalwater vir dié doel hergebruik word.

#### (b) **Beperkte waterbronne**

In baie gevalle maak mededinging om bestaande waterbronne dit polities en finansiële moeilik om bykomende bronne te verkry. Voorbeelde van sulke beperkende omstandighede is:

- die hoë inkrementele koste (R3,37/kl - 1998-waarde) van water uit die LHWP (Kriel, 1995);
- die vertraging en bykomende koste verbonde aan dispute oor byvoorbeeld mineraalregte wat deur oorstroming van damkomme aangetas word;
- die omgewingsimpak van groot wateropgaar- en -oordragskemas en die aksies van drukgroepe om dit te beperk (Van Robbroeck, 1995); en

- die aanduidings dat die skaarste aan hernubare waterbronne tot verskerpte konflik tussen nasies kan lei (Homer-Dixon, *et al.*, 1993; Ohlsson, 1995).

Beperkte waterbronne skep derhalwe 'n situasie waarin waterhergebruik in dubbelstelsels met vrug as 'n strategiese of 'n ekonomiese opsie oorweeg kan word.

**(c) Besoedelde bronne**

Gemeenskappe ontgin die bekombare bronne met die hoogste watergehalte gewoonlik eerste, met die gevolg dat meer besoedelde bronne (insluitend stroomaf water waarin hul uitvloeisels gestort word) dan vir wateraanvulling ontwikkel moet word. Alhoewel feitlik enige besoedelde water drinkbaar gemaak kan word, vereis konserwatiewe stowwe (soos TOS) en nabywende stowwe (soos sintetiese organiese chemikalieë) duur behandelingsprosesse. Toenemende diffuse besoedeling en indirekte hergebruik, en strenger drinkwatergehaltevereistes, verhoog die druk op behandelingstechnologie en -koste. Dit kan daartoe lei dat besoedelde bronne ongeskik vir drinkwaterproduksie bevind word, maar wel vir nie-drinkbare watervoorsiening aangewend kan word. Onder hierdie omstandighede dikteer die behoefte aan groot hoeveelhede water wat nie noodwendig van drinkgehalte hoef te wees nie, dat dubbelstelsels as 'n voorsienings-opsie oorweeg moet word.

**(d) Strawwe afvalwaterbehandeling**

Die oorhoofse doel van watergehaltebestuur in Suid-Afrika is om die land se waterhulpbronne voortdurend geskik vir gebruik te hou (DWW, 1991). Dit vereis streng besoedelingsbeheer. Ingevolge die Spesiale Uitvloeiselstandaarde (DWW, 1991) moet nutriënte (stikstof en fosfor) in gedefinieerde gebiede in meerdere mate as ingevolge die Algemene Standaard uit hierdie uitvloeisels verwyder word. Die koste daaraan verbonde is besonder hoog, en die meriete daarvan word in sekere opsigte deur kenners bevraagteken (Pretorius, 1983). Volgens die Departement van Waterwese en Bosbou se besluitnemingshiërargie vir watergehaltebestuur (DWW, 1991) kan selfs strenger standaarde in spesifieke gevalle gestel word. Dit kan daartoe lei dat die uitvloeisels te waardevol vir disponering word (Okun, 1982) en dus liever direk hergebruik moet word.

Nutriënte in water het min menslike gesondheidsimpak, maar veroorsaak eutrofikasie van ontvangende waterliggame en maak watersuiwering gevolglik moeiliker. As die uitvloeisels herwin en vir nywerheidsgebruik en stedelike besproeiing hergebruik kan word, kan dit wees dat gevorderde behandeling nie nodig is nie (AWWA, 1983).

Nutriëntverwydering kan selfs onwenslik wees, omdat nutriënte in besproeiingswater die behoefte aan bemestingstowwe in stedelike gebiede kan verminder. Die moontlike kostebesparings in hierdie verband is in die verlede deur die subsidiëring van afvalwateriaanlegte (DWW, 1986) verskans. Dit kan egter daartoe bydra dat die hergebruik van water in dubbelstelsels gunstig teen ander voorsieningsopsies opweeg (AWWA, 1983).

Daar is ook verskeie faktore wat teen die gebruik van dubbelstelsels inwerk en wat deeglik by die ondersoek na en beplanning van sulke stelsels in ag geneem moet word. Die belangrikste beperkende faktor is die koste van 'n tweede verspreidingsnetwerk, soos deur onder andere Deb en Weston (1976) en McDonald en Bliss (1981) se ontledings bevestig. Hierdie koste is tot dusver as die belangrikste rede vir die nie-oorweging van dubbelstelsels in Suid-Afrika beskou (Laburn, 1976; DWW, 1986). Die volgende redes word ook aangevoer (Haney & Hagar, 1985):

- *traagheid van beplanners en ontwerpers om onkonvensionele metodes toe te pas* - dit is makliker om gevestigde praktyke voort te sit, maar dis nie geregverdig om alternatiewe wat tegnologieë en ekonomies gangbaar is, om dié rede buite rekening te laat nie;
- *die prys van goeie drinkbare water is nog relatief laag, met die gevolg dat daar min ekonomiese druk is om goedkoper water vir nie-drinkbare doeleindes te voorsien* - die prys van water is omgekeerd eweredig aan die beskikbaarheid van goeie gehalte rouwater, dus sal gebiede met watertekorte gouer sodanige druk voel;
- *die installasie van 'n tweede verspreidingsnetwerk in bestaande dorpe is onprakties* - dit sal ook nie kostedoeltreffend wees nie, tensy dit as 'n strategiese opsie in die opgradering van lae-koste landelike watervoorsiening oorweeg word; en

- *parallelle netwerke van 'goeie' water en 'slegte' water hou gesondheidsrisiko's in - enersyds word hierdie beswaar deur die definisie van tuinwater weerspreek, en andersyds sal effektiewe voorkoming van kruiskoppeling tussen die twee netwerke nodig wees.*

Opsommend meen Okun (1982) dat die aanvaarding van dubbelstelsels as 'n uitvoerbare opsie in die Verenigde State van Amerika (VSA) deur die omkeer in AWWA se sienswyse sedert 1968 bevestig word. 'n Programrede deur hom by AWWA se jaarlikse konferensie in 1968 waarin hy die oorweging van dubbelstelsels voorgestel het, het soveel kontroersie veroorsaak dat dit met 'n sterk weerlegging in die AWWA-joernaal gepubliseer is.

Desnieteenstaande het AWWA agt jaar later 'n seminaar oor dubbelstelsels by sy jaarlikse konferensie geborg en 'n komitee saamgestel om die saak te bevorder (AWWA, 1976).

Hierdie seminaar is opgevolg met 'n handleiding oor dubbelstelsels (AWWA, 1983) en 'n verdere seminaar oor dubbele watervoorsiening in 1985 (AWWA, 1985).

Die beste demonstrasie van die lewensvatbaarheid van dubbelstelsels is egter dat daar begin is met die bou van sulke stelsels. Die jongste bekende geval is in 1994 in Rouse Hill, Sydney, Australië in gebruik geneem (Law, 1995). Kernbesonderhede van 'n aantal stelsels wat omvattend in die literatuur beskryf is, word in **Tabel 1** verskaf. Die meeste daarvan is volledige dubbelstelsels waarin herwonne afvalwater as tuinwaterbron gebruik word, om twee hoofdoelwitte te bereik, naamlik:

- om die aanvraag na drinkwater te verminder - tot soveel as 50% in St Petersburg se geval; en
- om die storting van afvalwater in die omgewing, en dus die besoedeling van oppervlak-waterbronne, te verminder.

Tabel 1 : Voorbeelde van dubbelstelsels

| Ligging van projek             | Jaar begin | Omvang (mees onlangse rapportering)                             | Tuinwaterbronne                                                                    | Tuyinwatergebruike                             | Outeurs                                                    |
|--------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Rome, Italië                   | 40-103     | 317 MI/d in Frontinus se tyd (950 MI/d skema in 1960-70 beplan) | Tiber-rivier, putte & fonteine                                                     | Nywerheidsgebruik, tuinbesproeiing & straatwas | Abrahams, 1975; Boegly, Jr., 1976; Robertson 1985          |
| Gibraltar                      | <1890      | 22 000 inwoners, 10 000 toeriste & gasarbeiders                 | Aanvanklik brakwater uit putte - tans seewater                                     | Vloer- & straatwas, rioolspoel                 | Conzalez, 1966                                             |
| Grand Canyon Village           | 1926       | Hele toeristedorp (1,36 MI/d)                                   | Herwonne afvalwater                                                                | Besproeiing & toiletspoel                      | Garthe & Gilbert, 1966; Okun, 1982; Schorr & Dewling, 1988 |
| Irvine Ranch, Kalifornië       | 1960       | 57 MI/d                                                         | Herwonne afvalwater                                                                | Besproeiing, nywerheidsgebruik & ontspanning   | Schorr & Dewling, 1988; Parsons, 1990                      |
| Colorado Springs, Colorado     | 1960       | Kliënte wat > 4 kl/d gebruik                                    | Herwonne afvalwater (filtrasie van sekondêre uitvloeiing)                          | Besproeiing                                    | Schorr & Dewling, 1988                                     |
| Coalinga, Kalifornië           | 1960       | 6 300 inwoners                                                  | Brakwater - direk as tuinwater (elektrodialise vir drinkwater)                     |                                                | Cary, et al, 1960                                          |
| Avalon, Kalifornië             | 1965       | 1 600 inwoners & 10 000 toeriste                                | Seewater - direk as tuinwater                                                      | Toiletspoel & brandbestryding                  | Haney & Hamann, 1965; Jinkens, 1983                        |
| St Petersburg, Florida         | 1976       | > 7 000 kliënte (76 MI/d) 26% van die totale aanvraag           | Herwonne afvalwater (koagulasie & filtrasie van sekondêre uitvloeiing)             | Besproeiing, verkoeling & lugreëling           | Johnson, 1978; Boegly, Jr., 1985                           |
| Hong Kong                      | 1976       | 90 kl/d                                                         | Seewater                                                                           | Toiletspoel                                    | Okun, 1982                                                 |
| Jurong Estate, Singapoer       | -          | 40 kl/d                                                         | Herwonne afvalwater (filtrasie van sekondêre uitvloeiing)                          | Toiletspoel & nywerheidsgebruik                | Okun, 1982                                                 |
| Shinjuku-distrik, Tokio, Japan | 1984       | 19 hoë sakegeboue (4,3 MI/d)                                    | Herwonne afvalwater (filtrasie van sekondêre uitvloeiing)                          | Toiletspoel                                    | Maeda, et al, 1995                                         |
| Shoulihaven, Sydney, Australië | 1993       | Demonstrasieprojek: 17 huise vir 18 maande                      | Herwonne afvalwater (filtrasie van sekondêre uitvloeiing)                          | Toiletspoel & besproeiing                      | Anderson, 1995                                             |
| Rouse Hill, Sydney, Australië  | 1994       | 50 000 inwoners                                                 | Herwonne afvalwater (flokkulasie, besinking & filtrasie van sekondêre uitvloeiing) | Toiletspoel, motorwas & besproeiing            | Law, 1995                                                  |

In teenstelling met die versameling werkende dubbelstelsels in **Tabel 1** gelys, is daar slegs enkele gevalle van *direkte drinkbare hergebruik* in enkelstelsels in die literatuur aangeteken. naamlik:

- **Chanute, Kansas** (Metzler, *et al*, 1958; Suhr, 1971), waar afvalwater tydelik as 'n noodmaatreël herwin is vir gebruik as drinkwater;
- **Windhoek, Namibië** (Clayton, *et al*, 1982; Haarhoff & Van der Merwe, 1995), waar 'n herwinningsaanleg vir drinkwater uit afvalwater sedert 1968 in bedryf is en onlangs na 'n vermoë van 21 Ml/d opgegradeer is; en
- **Denver, Colorado en San Diego, Kalifornië** (Hamann & McEwan, 1991), waar direkte drinkbare herwinningsaanlegte langer as 'n dekade suksesvol as demonstrasieprojekte bedryf is, maar in 1991 nog nie permanent aan die drinkwaternetwerke gekoppel was nie.

Uit bogenoemde kan dus afgelei word dat nie-drinkbare hergebruik (in dubbelstelsels) op 'n wye front meer lewensvatbaar en aanvaarbaar beskou word as drinkbare hergebruik (in enkelstelsels).

#### 4. WATERGEHALTE IN DUBBELSTELSELS

Spesifikasies en riglyne vir drinkwatergehalte is wêreldwyd oor 'n lang tyd ontwikkel, met die beskerming van menslike gesondheid as die belangrikste kriterium. Kort- en langtermyn-effekte word in ag geneem. Riglyne vir tuinwatergehalte in dubbelstelsels het nie dieselfde evolusiegeleentheid gehad nie en is dus nie in dieselfde mate nagevors nie. Riglyne vir die gehalte van landboubesproeiingswater kom die naaste aan dié wat nodig is vir tuinwater. Daar moet egter op gelet word dat die sensitiwiteit van produksiegewasse vir sekere waterbestanddele van groter ekonomiese belang as dié van tuinplante kan wees. Tipiese konsentrasiegebiede vir besproeiingswater in sewe lande teenoor dié vir Suid-Afrika (DWW, 1993) word in **Tabel 2** opgesom.

**Tabel 2 : Riglyne vir die gehalte van besproeiingswater**

| Veranderlike               | Chang, et al. 1995 |               | SA watergehalteriglyne |             |
|----------------------------|--------------------|---------------|------------------------|-------------|
|                            | Min/maks bereik    | Mediaanbereik | Ideaal                 | Aanvaarbaar |
| Elektriese geleiding, mS/m |                    |               | 40                     | 90          |
| TOS                        | 500 - 3 500        | 1 000 - 2 000 | (270)                  | (600)       |
| pH                         | 5,5 - 9,0          | 6,5 - 8,4     | 6,5 - 8,4              | 6,5 - 8,4   |
| Natrium, mg/l              |                    |               | 70                     | 117         |
| Mangaan, mg/l              | 0,2 - 5,0          | 0,5 - 2,0     | 0,2                    | 5,0         |
| Boor, mg/l                 | 0,5 - 3,0          | 1,0           | 0,2                    | 0,9         |
| TKS, mg/l                  | 1 - 30             | 12 - 24       |                        |             |
| Nitraat, mg/l              |                    |               | 5                      | 30          |
| Chloried, mg/l             | 175 - 2 000        | 250 - 280     | 105                    | 140         |
| Fluoried, mg/l             | 1,0 - 3,0          | 2             | 2,0                    | 7,5         |
| Sulfaat, mg/l              | 200                | 200           |                        |             |
| Sweefstowwe, mg/l          | 10 - 200           | 100 - 150     |                        |             |
| BSB, mg/l                  | 10 - 150           | 80            |                        |             |
| CSB, mg/l                  | 90 - 300           | 150 - 200     |                        |             |

Alhoewel die inligting in **Tabel 2** nie sondermeer as riglyne vir tuinwatergehalte gebruik kan word nie, kan dit wel as basis vir die ontwikkeling van sulke riglyne dien. In die lig daarvan dat daar nog nie omvattende gehalteriglyne vir tuinwater bestaan nie, het McDonald (ongedateerd - ca. 1980) 'n aantal oorwegings in dié verband voorgestel vir bespreking:

- Haney en Hamann (1965) stel dit duidelik dat beide die drink- en tuinwater mikrobiologies veilig moet wees om gebruikers teen korttermyn gesondheidsgevaare weens toevallige inname te beskerm. In terme van beskerming teen die moontlike

langtermyn-effekte van chemiese residue hoef die water in die twee netwerke nie ewe veilig te wees nie;

- in praktyk beteken bogenoemde dat die moontlikheid van toevallige inname van tuinwater beperk moet word, onder andere deur te verhoed dat kruiskoppeling tussen die drink- en tuinwaternetwerke plaasvind. In sekere gevalle, byvoorbeeld lekkasie van hoë-TOS tuinwater na die drinkwaternetwerk, sal kruiskoppeling maklik deur middel van smaak waargeneem kan word, terwyl in ander, byvoorbeeld lekkasie van nitrate, kan 'n gesondheidsgevaar ontstaan voordat die lekkasie waargeneem word;
- drinkwater moet aan die algemeen aanvaarde standaard vir drinkwater voldoen. Vir mikrobiologiese veiligheid moet die tuinwater ook aan daardie standaard voldoen. Daarvoor is dit nodig dat lae troebelheid en 'n vrychloorresidu gehandhaaf moet word. Hoë troebelheid en die teenwoordigheid van ammoniak en organiese materiaal benadeel die ontsmettingsvermoë van chloor;
- natuurlike kleur is nie skadelik vir menslike gesondheid nie en hoef dus in die algemeen nie beperk te word vir tuinwater nie. Yster, mangaan en hardheid kan esteties onaanvaarbare effekte hê, maar hoef ook nie beperk te word nie;
- 'n TOS-limiet van 3 000 mg/l, gebaseer op die soutverdraagsaamheid van stedelike grasperke, struik en bome, word vir tuinwater voorgestel. Waar die nie-drinkbare water in 'n dubbelstelsel nie vir tuinbesproeiing aangewend word nie, kan seewater byvoorbeeld vir toiletspoel gebruik word - korrosie van metaalpype kan dan 'n probleem wees;
- soos vroeër gemeld, kan nitrate 'n gesondheidsgevaar inhou as kruiskoppeling sou plaasvind, en behoort die nitraatkonsentrasie, soos in drinkwater, tot 10 mg/l beperk te word. Daarteenoor moet die ekonomiese waarde van nutriëntryke tuinwater ook oorweeg word (Okun, 1982), veral as herwonne afvalwater die tuinwaterbron is; en
- bekende toksiese stowwe soos kwik, arseen en lood moet, soos in drinkwater, beperk word.

Dit blyk uit bogenoemde bespreking dat gehalteriglyne spesifiek vir tuinwater ontwikkel sal moet word as die beginsel van dubbelstelsels aanvaar sou word en dit tot die implementering van sulke stelsels sou lei.

## 5. WATERHOEVEELHEDE IN DUBBELSTELSELS

Drinkwater is streng gesproke slegs die 1,2 - 1,5 l/p.d wat regstreeks gedrink word. Water vir 'n paar ander huishoudelike gebruike moet egter ook as drinkwater geklassifiseer word (Haney & Hamann, 1965), byvoorbeeld:

- water vir kookdoeleindes en vir die was van skottelgoed, wat, alhoewel die meeste daarvan deur die kook- en wasprosesse ontsmet word, tog geleentheid vir besmetting van die mens kan bied;
- water wat vir persoonlike reiniging gebruik word, wat ook tot 'n mikrobiologies veilige standaard vir dié doel gesuiwer moet word; en
- water wat verhit word vir die beoogde gebruike, wat, indien dit byvoorbeeld hoë hardheid bevat, tot toekalking van die warmwaterpype en tot verhoogde seep- en wasmiddelverbruik kan lei.

As dit aanvaar word dat drinkwater al die bogenoemde gebruike insluit, kan tuinwater dan omskryf word as water wat vir tuinbesproeiing en die spoel van toilette gebruik word. Alhoewel die skeidslyn tussen drink- en tuinwater ook anders getrek kan word, is hierdie een die sinvolste in terme van die gehalte-onderskeid, en bied dit die beste moontlikheid vir die handhawing van 'n waterbalans in direkte waterhergebruikskemas.

Die gebruik van water deur die verskillende grondgebruiksektore in 'n residensiële dorp kan tipies verdeel word soos in **Tabel 3** uiteengesit (% van totaal). Die volgende aanname is in die opstel van die tabel toegepas:

- die totale konsumptiewe verbruik wissel gewoonlik tussen 30 en 40%. 'n Syfer van 35% is hier as tipies geneem, wat 'n terugvloei van 65% as riool tot gevolg het;
- die totale verdeling tussen grondgebruike (Totaal 1) is gebaseer op tipiese syfers deur Badenhorst (1989) verskaf;

- die konsumptiewe:nie-konsumptiewe verdeling tussen grondgebruike is uit gegewens van Garlipp (1978) en die Riglyne vir die Verskaffing van Ingenieursdienste in Residensiële Dorpsgebiede (Departement van Gemeenskapsontwikkeling, 1983) afgelei;
- die verdere verdeling van die watergebruikspatroon in drink- en tuinwater, en in konsumptiewe en nie-konsumptiewe komponente soos dit waarskynlik in 'n tipiese dubbelstelsel sal lyk, berus weens 'n gebrek aan gepaste statistiek grotendeels op berekende skattings. Die huishoudelike verdeling kon nietemin met redelike vertroue uit Malan, *et al* (1983) se navorsing oor watergebruikspatrone in stedelike gebiede afgelei word;
- 'n verspreidingsverlies van 12% is aanvaar (Garlipp, 1978). Die helfte daarvan is as onder-registrasie van watermeters aanvaar (Malan *et al*, 1983), en kan dus slegs gedeeltelik as 'n konsumptiewe verlies beskou word;
- daar is verder aangeneem dat 2% van die water wat verskaf word (by die 12% verlies inbegrepe) uit die tuinwaternetwerk onttrek en vir brandbestryding, pypspoel, ensovoorts gebruik word; en
- waterverliese by water- en rioolsuiwering en in die hooftoevoerstelsel is onderskeidelik as 1%, 1,5% en 0,5% geneem.

Tabel 3 : Verdeling van watergebruike in dubbelstelsel

| Grondgebruik | Konsumptief |       |      | Nie-konsumptief |       |      | TOTAAL 1 |
|--------------|-------------|-------|------|-----------------|-------|------|----------|
|              | Totaal      | Drink | Tuin | Totaal          | Drink | Tuin |          |
| Huishoudelik | 16.5        | 0.8   | 15.7 | 37.6            | 26.1  | 11.5 | 54       |
| Kommersieel  | 1.0         | 0.1   | 0.9  | 6.1             | 0.9   | 5.2  | 7        |
| Nywerheid    | 3.9         | 1.5   | 2.4  | 14.2            | 6.6   | 7.6  | 18       |
| Openbaar     | 5.8         | 0.2   | 5.6  | 3.0             | 0.8   | 2.2  | 9        |
| Verlies      | 7.8         | 0.1   | 7.7  | 4.1             | 3.5   | 0.6  | 12       |
| TOTAAL 2     | 35          | 2.7   | 32.3 | 65              | 37.9  | 27.1 | 100      |

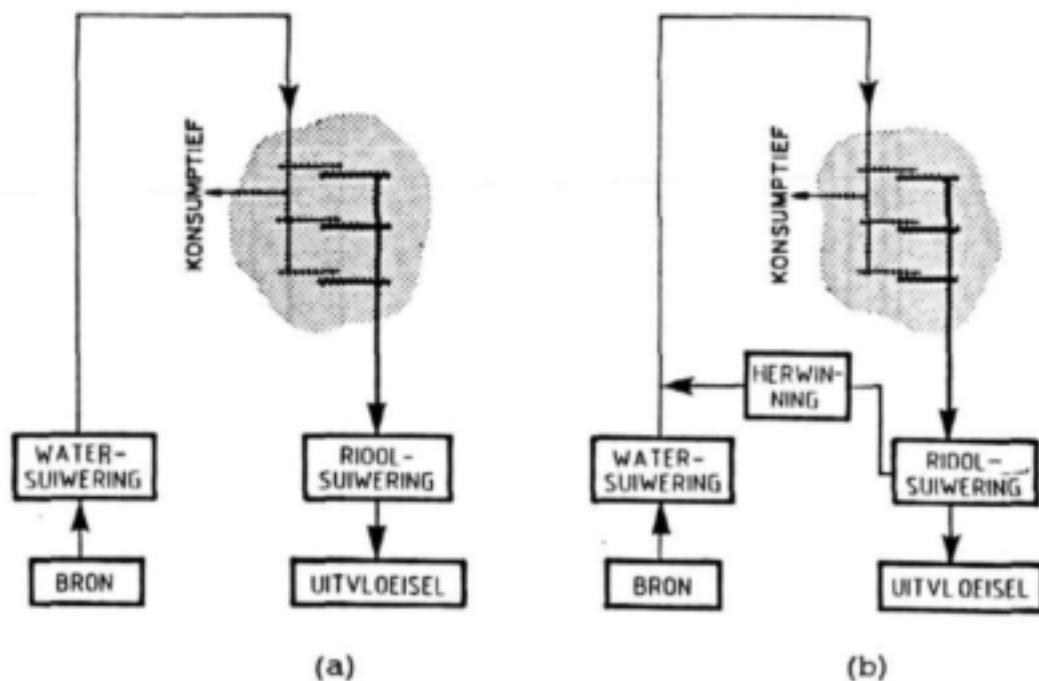
Die totale voorsiening in 'n enkelstelsel bestaan uit drinkwater, waarvan 35% konsumptief verbruik word. Verder kan die volgende afleidings ten opsigte van 'n dubbelstelsel uit **Tabel 3** gemaak word:

- soos hierbo, word 35% van die totale voorsiening konsumptief verbruik;
- *ca.* 40% van die totale aanvraag word as drinkwater voorsien (kan wissel tussen 20% en 50%); en
- *ca.* 7% van die drinkwater en 54% van die tuinwater word konsumptief verbruik (eersgenoemde kan wissel tussen 5% en 15%). Die balans van die tuinwater (46%) word vir toiletspoel gebruik - dit verteenwoordig *ca.* 27% van die totale voorsiening. Hierdie fraksie moet om redes wat later verskaf word, as deel van die rioolstelsel in 'n totale diensgebied beskou word.

## 6. KONFIGURASIES VAN WATERBRONNE, PYPNETWERKE EN SUIWERINGSPROSESSE IN DUBBELSTELSELS

Die konvensionele watervoorsieningstelsel soos in **Figuur 1(a)** aangetoon, behels kortweg die volgende:

- water word uit die bron onttrek, tot drinkwatergehalte gesuiwer en aan alle gebruikers verskaf. 'n Deel daarvan gaan as gevolg van suiwerings- en verspreidingsverliese en konsumptiewe verbruik verlore; en
- die afvalwater word versamel, tot die Algemene of die Spesiale Uitvloeiselstandaarde gesuiwer en in die bron van oorsprong gestort. Dit lei daartoe dat afvalwater feitlik altyd in 'n mate indirek vir die bereiding van drinkwater hergebruik word. Swaarmetale en mikrobiesoedelingstowwe beland dus noodwendig in die drinkwater.



**Figuur 1 : (a) Konvensionele stelsel, (b) Direkte hergebruik as drinkwater**

Die direkte drinkbare hergebruikmodel, soos in Windhoek, Namibië, (kyk **Figuur 1(b)**) behels dieselfde elemente as die konvensionele model, met byvoeging van die volgende:

- gevorderde behandelingsprosesse word gebruik om drinkwater uit die uitvloeisel van die konvensionele rioolsuiweringsaanleg te berei. Mikrobeseoedelingstowwe word dus in 'n groot mate uit die drinkwater verwyder; en
- die uitvloeisel kan geheel of gedeeltelik herwin en hergebruik word. In laasgenoemde geval sal ontsouting ingesluit moet word om die TOS-konsentrasie in die verspreidingsnetwerk binne perke te hou. Uitvloeisel wat nie herwin word nie, word in die bron van oorsprong gestort.

'n Dubbelstelsel is primêr daarop gerig om goeie gehalte waterbronne wat betreklik vry van chemiese besoedeling is, spaarsaam te benut en te beskerm (AWWA, 1983). Die drinkwaterbron kan grondwater, 'onbesoedelde' oppervlaktwater soos dié van die Vaaldam, of ontsoute brak- of seewater wees. Dit sluit alle water in wat gedrink word, met kos in aanraking kom, vir bad- en wasdoeleindes verhit word, en wat in ligte nat-werhede gebruik word. 'n Betrekklike klein deel daarvan gaan weens verliese en konsumptiewe verbruik verlore.

Anders as in bogenoemde twee stelsels, word die grootskaalse gebruik van herwonne afvalwater as drinkwaterbron nie oorweeg nie, wat beteken dat swaarmetale en mikrobeseoedelingstowwe effektief uit die drinkwater gehou word. Die tuinwaterbron kan herwonne afvalwater of hoogs gemineraliseerde, brak- of seewater wees. Tuinwater word in 'n afsonderlike netwerk aan alle gebruikers verskaf vir doeleindes waarvoor 'n gehalte laer as dié van drinkwater geskik is. Dit sluit water in wat vir toiletspoel, tuinbesproeiing, brandbestryding, en vir verkoeling en die was van vloere en toerusting in ligte droë-nywerhede gebruik word. 'n Groot deel daarvan word konsumptief verbruik.

Die afvalwater van albei die verspreidingsnetwerke word in een rioolstelsel versamel en tot die Algemene of Spesiale Uitvloeiselstandaarde gesuiwer. As die uitvloeisel herwin word om direk in die tuinwaterstelsel hergebruik te word, is nutriëntverwydering nie nodig nie, maar kan systroom ontsouting (teen hoë, ekonomiese toevoerkonsentrasies) nodig wees om die

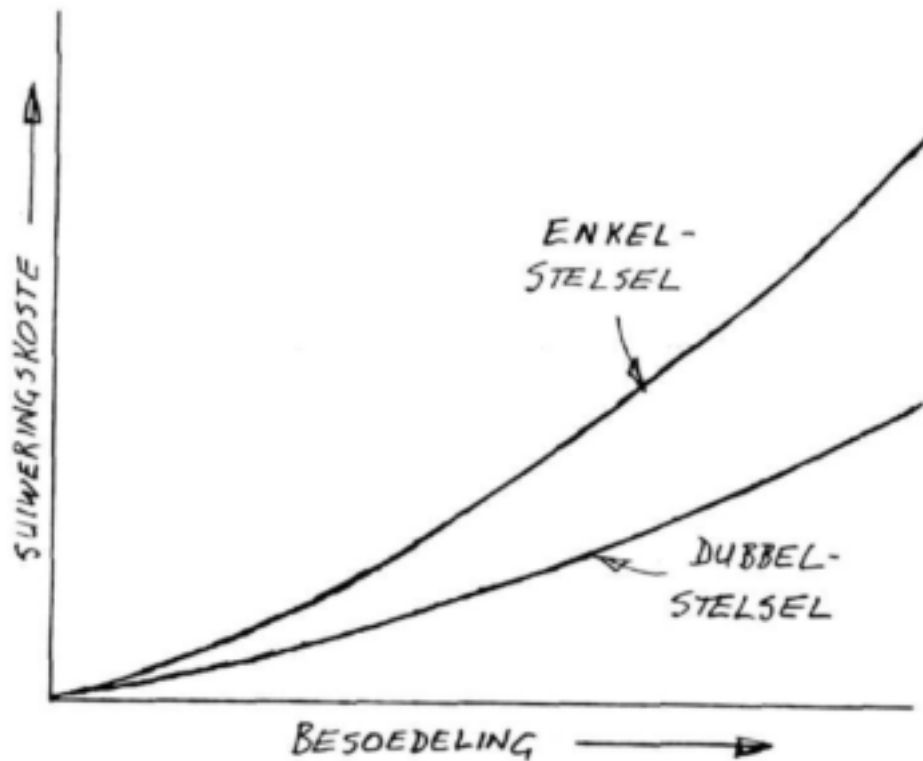
TOS in die netwerk te beheer. As die uitvloeisel nie herwin word nie, word dit in die tuinwaterbron gestort.

Afhangend van die grootte en aard van die waterbronne wat in 'n bepaalde gebied beskikbaar is, kan 'n verskeidenheid van moontlike voorsieningskonfigurasies vir dubbelstelsels bedink word. Tipiese bronne met toepaslike suiweringsprosesse vir die bereiding van drink- en tuinwater word in **Tabel 4** opgesom (AWWA, 1990; Haarhoff, 1997).

**Tabel 4 : Waterbronne en suiweringsprosesse**

| Tipe waterbron                                           | Prosesse om drinkwater te berei                                            | Prosesse om tuinwater te berei                                        |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Grondwater, vars en onbesoedeld, landelik                | Geen                                                                       | Geen                                                                  |
| Grondwater, vars en besoedeld, stedelik                  | Ontsmetting                                                                | Ontsmetting                                                           |
| Oppervlakwater met lae troebelheid (< 5 NTU)             | Stadige sandfiltrasie of direkte filtrasie + ontsmetting                   | Ontsmetting                                                           |
| Oppervlakwater met hoë alkaliniteit & troebelheid        | Konvensionele suiwing (koagulasie, besinking, filtrasie, ontsmetting)      | Konvensionele suiwing (koagulasie, besinking, filtrasie, ontsmetting) |
| Oppervlakwater met lae alkaliniteit & troebelheid        | Konvensionele suiwing + neutralisasie/bentoniet                            | Direkte filtrasie                                                     |
| Grondwater met relatief hoë TOS/hardheid (Brakwater)     | Ontsouting/versagting                                                      | Geen ontsouting/versagting, of slegs klein systroom                   |
| Oppervlakwater met hoë TOS/hardheid                      | Konvensionele suiwing + ontsouting/versagting                              | Konvensionele suiwing                                                 |
| Oppervlakwater met swaar-metale/mikrobesoedelingstowwe   | Konvensionele suiwing + verwydering van swaarmetale/mikrobesoedelingstowwe | Konvensionele suiwing                                                 |
| Riooluitvloeisel tot Algemene Standaard gesuiwer         | NVT                                                                        | Filtrasie + ontsmetting                                               |
| Riooluitvloeisel tot Spesiale Standaard gesuiwer         | Herwinning (Multiparameter beveiliging)                                    | NVT (Nutriëntverwydering onnodig)                                     |
| Riooluitvloeisel met hoë TOS/ hardheid                   | Herwinning + ontsouting/versagting                                         | Filtrasie + ontsmetting                                               |
| Riooluitvloeisel met swaar-metale/mikrobesoedelingstowwe | Herwinning + verwydering van swaarmetale/mikrobesoedelingstowwe            | Filtrasie + ontsmetting                                               |
| Seewater                                                 | Distillasie-ontsouting                                                     | NVT (Gesik vir toiletspoel)                                           |

Die bronne verskyn min of meer in volgorde van afnemende watergehalte, terwyl die ooreenstemmende suiweringsprosesse se volgorde dui op toenemende kompleksiteit en koste. Die prosesse vir tuinwater is eenvoudiger (en dus goedkoper) as dié vir drinkwater, veral met betrekking tot die laer gehalte bronne. Hierdie verwantskappe word konsepsueel in **Figuur 2** aangetoon.



**Figuur 2 : Verwantskap tussen watergehalte en suiweringsprosesse**

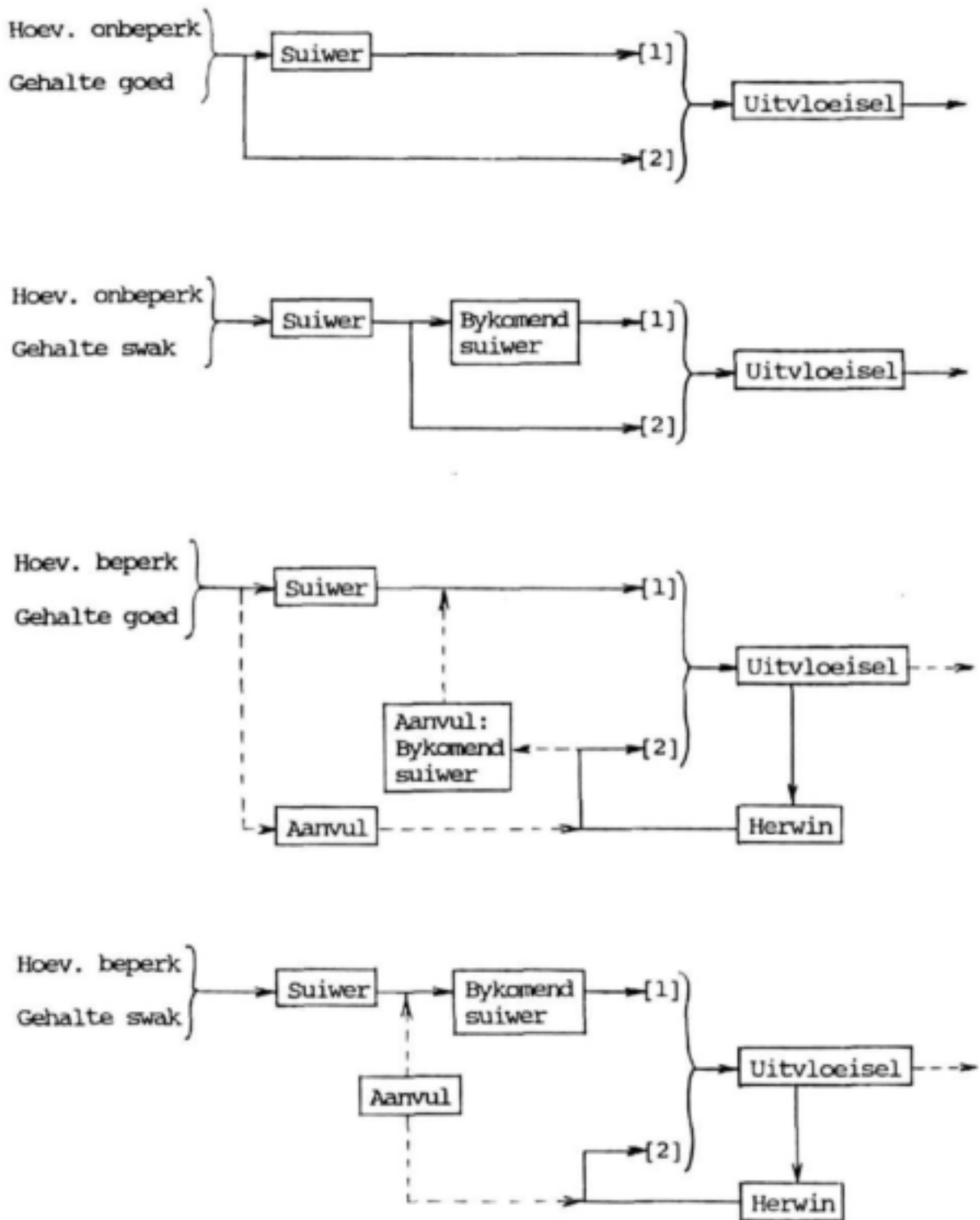
Die volgende faktore moet bykomend in aanmerking geneem word ten einde bron-, proses- en netwerkkonfigurasies vir dubbelstelsels te formuleer:

- *die grootte van die bronne met betrekking tot wateraanvraag.* Water is per se 'n beperkte hulpbron, maar die beskikbare hoeveelheid kan in sekere gevalle as onbeperk beskou word (as en solank vraag  $\ll$  aanbod), terwyl dit in ander gevalle beperk is (vraag  $>$  aanbod);
- *die koste van ontwikkeling van die bron.* Die ontwikkeling van 'n nuwe bron is meestal baie duurder as wat die geval met die vorige ontwikkeling was. Die afstand tussen die bron en die suiweringsaanleg dra ook by tot dié koste. As die rouwater teen hoë eenheidskoste by die aanleg gelewer word, kan dit meer ekonomies wees om riool-uitvloeisel plaaslik in 'n dubbelstelsel te hergebruik. Die LHWP dien as goeie voorbeeld hiervan;

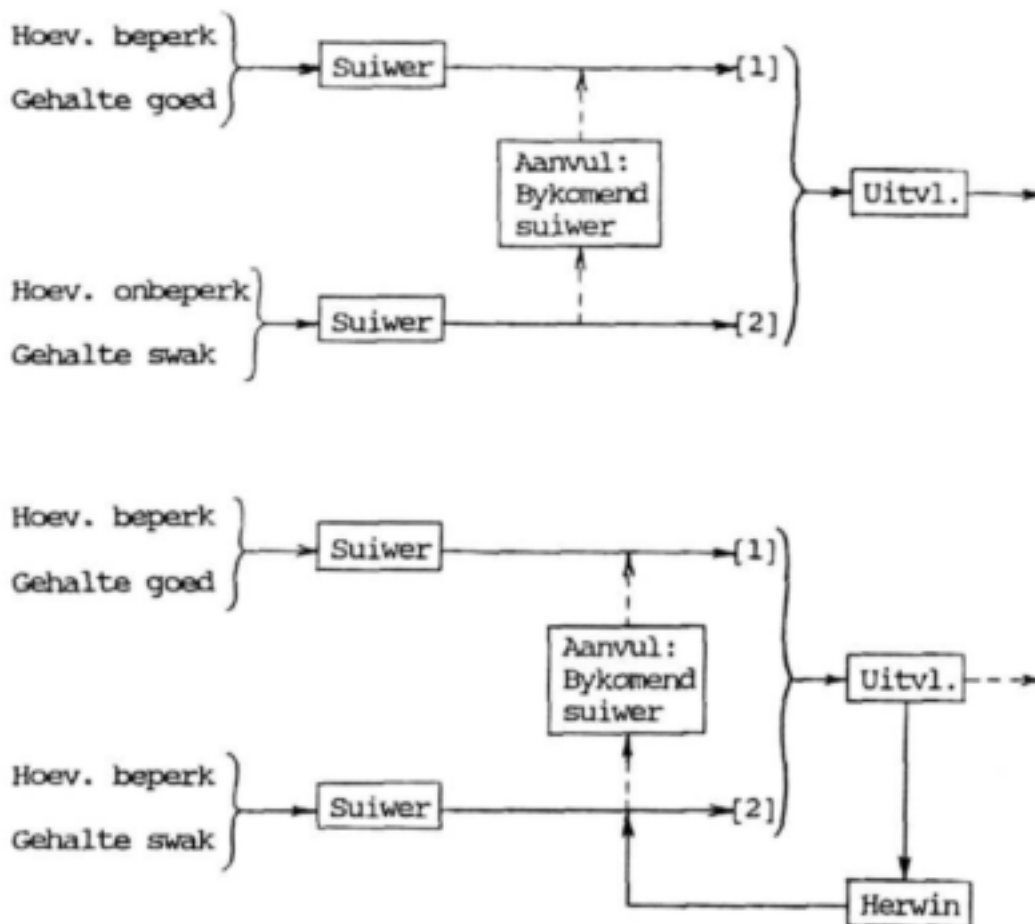
- *die afstand tussen die suiweringsaanleg en die voorsieningsgebied* (byvoorbeeld vanaf Rand Water na Rustenburg) wat, soos hierbo, die skaal ten gunste van hergebruik in 'n dubbelstelsel kan laat swaai;
- *die effek van indirekte hergebruik op stroomaf gebruikers (beide vir landbou-besproeiing en huishoudelike gebruik).* Opeenvolgende indirekte hergebruik (die gewone situasie in Suid-Afrika) kan die stroomaf watergehalte in so 'n mate laat verswak dat groot hoeveelhede bykomend besproei moet word om versouting van die grond en die effek daarvan op sensitiewe produksiegewasse teen te werk, of dat die water slegs teen hoë koste vir drinkbare gebruik gesuiwer kan word. Direkte hergebruik in 'n dubbelstelsel is weer eens die aangewese metode, omdat dit:
  - minder goeie gehalte water uit die stroomop bron onttrek,
  - wel tot versouting van die stedelike grond lei, maar met minder ekonomiese impak op die betrokke nie-produksiegewasse,
  - nie besoedelde uitvloeisel in die bron van oorsprong stort nie (of baie min stort),
  - en omdat dit dus die deurlating van beter gehalte water vir stroomaf gebruike fasiliteer; en
- *die fasering van watervoorsiening, ter plaatse sanitasie en spoelriolering in ontwikkelende gebiede.* Ongeveer 'n kwart van konvensionele watervoorsiening word vir toiletspoel gebruik en moet na regte by die verskaffing van 'n rioolstelsel ingereken word (dus nie as deel van die drinkwatervoorsieningstelsel nie). Dit gee eerstens 'n getrouer raming van die koste van spoelriolering, en laat tweedens ruimte vir die latere installasie van 'n tweede verspreidingsnetwerk spesifiek vir toiletspoel en tuinbesproeiing (in gevalle waar geventileerde putlatrines aanvanklik verskaf word, met riolering as 'n opgraderingsopsie).

Voortvloeiend uit bogenoemde word 'n aantal moontlike dubbelstelselkonfigurasies in

Voortvloeiend uit bogenoemde word 'n aantal moontlike dubbelstelselkonfigurasies in **Figuur 3** voorgestel, min of meer in ooreenstemming met uitlegte soos deur Haney en Hamann (1965), Haney en Beatty (1977), McDonald en Bliss (1981), Deb en mede-outeurs (1980 - 1983), en andere geëvalueer.



Figuur 3 : (a) Dubbelstelselkonfigurasies met een bron



Verklaring van terme en simbole:

- (a) [1] en [2] beteken die eerste- en tweedegraad netwerke.
- (b) Suiwer beteken een of meer van die konvensionele suiweringsprosesse, nl flokkulasie, besinking, filtrasie en ontsmetting.
- (c) Bykomend suiwer beteken een of meer gevorderde suiweringsprosesse, soos koolstoffiltrasie, ontsouting, ens.
- (d) Herwin beteken een of meer van die gevorderde afvalwaterbehandelingsprosesse, meestal gerig op die bereiking van tweedegraad watergehalte.
- (e) ———→ beteken die normale waterstroom.
- (f) - - - -> beteken moontlike bykomende waterstrome.

Figuur 3 : (b) Dubbelstelselkonfigurasies met twee bronne

## 7. FISIESE FIENSKAPPE VAN DUBBELSTELSELS

Die drinkwaternetwerk dek gewoonlik die hele voorsieningsgebied, terwyl die tuinwaternetwerk die hele gebied (volledige stelsel) of slegs 'n gedeelte daarvan bedien (beperkte stelsel). Die belangrikste fisiese oorweging by die ontwerp en konstruksie van 'n dubbelstelsel

is om te verhoed dat hierdie twee netwerke toevallig onderling gekoppel word, of dat tuinwater vir drinkdoeleindes aangewend word (AWWA, 1983). Dit vereis dat die verskillende stelselkomponente eenduidig onderskei moet kan word. Benewens akkurate rekordhouding van geïnstalleerde dubbelstelsels (tekeninge, spesifikasies, ensovoorts), moet die pypwerk, toebehore en huisaansluitings positief *in situ* geïdentifiseer kan word. Drie scenario's is in hierdie verband van belang:

- *die ontwikkeling van 'n nuwe volledige dubbelstelsel*, wat die mees ekonomiese benadering tot die vestiging van 'n dubbelstelsel is. In hierdie geval kan verskillende materiale, kleure of merke gebruik word om die twee netwerke van mekaar te onderskei;
- *die infasering van 'n tuinwaternetwerk by 'n bestaande drinkwaternetwerk*. Volgens Haney en Beatty (1977) is dit in so 'n geval meer koste-effektief om die bestaande netwerk vir tuinwatervoorsiening te gebruik, en om 'n nuwe drinkwaternetwerk te installeer. Dit sal egter onmoontlik wees om die ondergrondse komponente van die bestaande netwerk voldoende as 'n tuinwaternetwerk te merk. Die bogrondse komponente sal wel maklik as sodanig gemerk kan word; en
- *die installering van 'n drinkwaternetwerk met beplande latere infasering van 'n spoelrioolstelsel*. Die verskil tussen hierdie scenario en eersgenoemde het grotendeels met die relatiewe waterhoeveelhede te doen. Die beginsel met betrekking tot die identifisering van die drink- en tuinwaternetwerke is egter dieselfde. Riglyne vir die minimum afstande (horisontaal en vertikaal) tussen drink- en tuinwaterpype kan egter wel verskil.

Die pypmateriale en -toebehore in die twee netwerke moet minstens van gelyke standaard wees (AWWA, 1983). Omdat die tuinwater egter hoër hardheid- en TOS-konsentrasies kan hê, moet die tuinwaternetwerk bestand wees teen korrosie en aankalking. Plastiekpype is dus verkieslik vir dié doel. Spesiale identifisering en toebehore is nodig om die moontlikheid van kruiskoppeling, terugvloei en toevallige gebruik van tuinwater vir drinkdoeleindes te elimineer of in 'n groot mate te verminder. Gebaseer op die Kaliforniese riglyne vir die hergebruik van herwonne afvalwater, stel AWWA (1983) voor dat spesiale plastiekbande direk bokant tuinwaterpype geïnstalleer word om die pype as sodanig herkenbaar te maak, en/of dat pype op verskillende plekke met die woorde *Herwonne (tuin)water* gemerk word.

Dit sou ook sinvol wees om 'n kleurkode vir die pypmateriale in die drink- en tuinwater-netwerke te aanvaar, byvoorbeeld *blou vir drinkwater* en *groen vir tuinwater*, en om die betrokke SABS-spesifikasies en bouregulasies in ooreenstemming daarmee te bring. Die pypvervaardigers kan die praktiese en ekonomiese uitvoerbaarheid daarvan deur onderlinge skakeling uitsorteer. Plastiekpype kan byvoorbeeld in die gekose kleure vervaardig word (verkieslik), terwyl ander pypmateriale deur middel van oppervlakbedekkings gekleur kan word.

Verskeie metodes kan gebruik word om pyptoebehore te identifiseer en te beveilig, naamlik:

- ondergrondse installasie van alle pyptoebehore (behalwe brandkrane), met gekleurde of geverfde klepkaste, ensovoorts (in die gekose kleurkode) waarop die woorde *drinkwater* of *tuinwater* ingegiet is;
- peutervrye brandkrane (bogronds), met spesiale sleutels om hulle oop of toe te draai; en
- toepaslike waarskuwingsborde in gevalle waar die publiek teen toevallige drink van, of kontak met tuinwater beskerm moet word.

Die pyplyne van die twee stelsels moet so ver as prakties moontlik van mekaar af geïnstalleer word (horisontaal en vertikaal) om die kanse op die meng van die twee tipes water in geval van 'n pypbreek of lekkasie tot die minimum te beperk. Dieselfde beginsel geld vir die

afstand tussen water- en rioolpype. In die derde scenario hierbo geskets, kan in beginsel egter oor-weeg word om die tuinwaterpyplyne in dieselfde uitgraving as die rioolpyplyne te installeer. Die motivering hiervoor is dat dit die koste van 'n spoelrioolstelsel moontlik binne bereik van die betrokke inwoners kan bring. Die voordelige inkrement vanaf 'n putlatrine na 'n riool-stelsel met die tuinwater- en rioolpype in dieselfde sloot, is baie groter as die voordele verbonde aan dié twee pype in aparte slote.

Streng administratiewe beheer moet oor die installering en bedryf van dubbelstelsels uitgeoefen word en die publiek moet oor die veilige gebruik van sulke stelsels opgevoed word. Wanneer 'n bestaande drinkwaternetwerk na 'n tuinwaternetwerk omgeskakel word, moet seker gemaak word dat alle aansluitings by die bestaande netwerk ontkoppel en by die nuwe netwerk aangesluit word. In volledige dubbelstelsels moet terugvloei-beheertoestelle in die drinkwateraansluitings verskaf word.

Reservoirs wat vir die opgaar van nutriëntryke tuinwater gebruik word, moet sodanig bedek word dat dit die groei van alge beperk en dat dit verhoed dat atmosferiese uitsakking (stof, ensovoorts) in die water beland. Dit sou ook sinvol wees om die drinkwater reservoirs hoër as dié vir tuinwater te plaas, sodat die drinkwaterstelsel teen 'n hoër druk bedryf kan word, wat verdere beskerming teen die gevolge van 'n toevallige kruiskoppeling sal bied.

## 8. MASSABALANSE EN KOSTEVERGELYKING

Vloei- en massabalans, en kostevergelykings loop hand aan hand en word hier derhalwe saam bespreek. Verskeie lessenaarstudies oor die koste van dubbelstelsels is in die literatuur aangeteken. Weens die uiteenlopendheid van die watergebruikspatrone en stelselkonfigurasies, kom hierdie ondersoeke nie tot 'n eenparige skerp omlynde slotsom nie. 'n Paar algemene gevolgtrekkings kan nietemin daaruit gemaak word. Haney en Hamann (1965) se bevindinge vir dubbelstelsels sonder uitvloeiselherwinning, soos later deur Haney en Beatty (1977) bevestig, word soos volg opgesom:

- waar drinkwater met konvensionele suiwing, en selfs met bykomende geaktiveerde koolstof-filtrasie verkry kan word, is die konvensionele stelsel die goedkoopste;
- waar duur behandeling soos ontsouting nodig is, het dubbelstelsels 'n marginale kostevoordeel, maar nie genoeg om dit as betekenisvol te beskou nie; en
- waar daar 'n beperkte bron van goeie gehalte grondwater beskikbaar is wat die drinkwaterbehoefte kan bevredig, swaai die skaal beslis in die guns van dubbelstelsels - 'n kostevoordeel van tot 20% kan onder bepaalde omstandighede bereik word.

Wat van besondere betekenis is, is dat 'n dubbelstelsel met twee bronne 'n metode bied waardeur 'n beperkte voorraad goeie gehalte water beskerm kan word.

Deb en mede-outeurs (Deb & Ives, 1975; Deb & Weston, 1976; Deb & Evans, 1980) het verskeie ekonomiese vergelykings tussen konvensionele en dubbelstelsels getref. Hul model is op die ontwikkeling van nuwe skemas gebaseer. Deb en Evans (1980) se gevolgtrekkings sluit die volgende in:

- waar 'n enkele bron beskikbaar is, drinkwater deur middel van konvensionele suiwing met koolstoffiltrasie daaruit berei kan word en konvensionele suiwing vir die tuinwater in 'n dubbelstelsel nodig is, is die konvensionele stelsel meer ekonomies wanneer die drinkwater meer as 20% van die totale aanvraag uitmaak; en

- in 'n soortgelyke situasie, maar waar die drinkwater vir die dubbelstelsel uit 'n nabygeleë goeie gehalte grondwaterbron verkry kan word, is die dubbelstelsel minstens 15% goedkoper as die konvensionele stelsel vir alle verhoudings van drinkwater tot totale aanvraag.

Volgens die vroeëre ondersoek van Deb en Weston (1976), wat in die algemeen meer konserwatief ten opsigte van die dubbelstelsel is, is laasgenoemde in alle gevalle waar ontsouting nodig is om drinkwater te berei, aansienlik goedkoper as die konvensionele stelsel. Hierdie waarneming word deur McDonald en Bliss (1981) bevestig, alhoewel hulle in die algemeen tot die slotsom kom dat dubbelstelsels slegs in enkele ander gevalle ekonomies is.

Al die bogenoemde outeurs meen dat dubbelstelsels oorweeg moet word wanneer die hergebruik van uitvloeisels ter sprake kom. Sulke studies is egter nie breedvoerig onderneem nie. Dit blyk wel uit **Tabel 1** dat hergebruik toenemend in dubbelstelsels toegepas word.

'n Beperkte lessenaarstudie is derhalwe in dié verband onderneem. 'n Rekenaarmodel is ontwikkel om:

- die vloedings van opgeloste vastestowwe en, voortvloeiend daaruit, die behoefte aan ontsouting in direkte herwinningstelsels te bepaal;
- die omsetverhoudings van die konvensionele en herwinningstelsels te bepaal; en om
- die koste van sodanige stelsels met mekaar te vergelyk.

'n Gebruikswateraanvraag van 50 MI/d, met gebruiksverdeling vir 'n enkelstelsel en 'n volledige dubbelstelsel, soos in **Tabel 3** uiteengesit, is as basis vir bogenoemde vergelykings gekies. Die volgende bykomende aannames is gemaak:

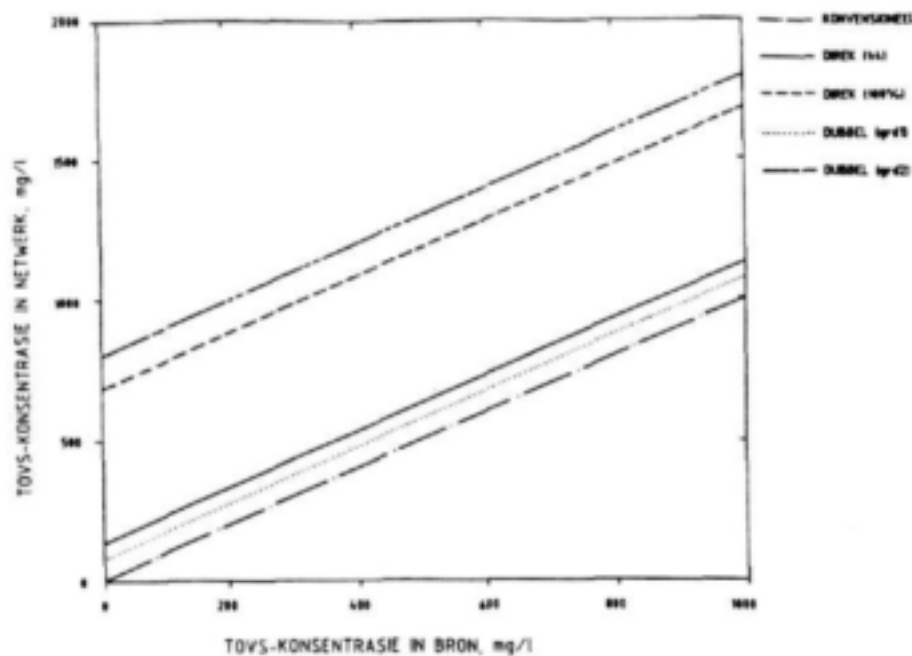
- rouwater vir al die stelsels word uit dieselfde oppervlakwaterbron onttrek. Die troebelheid en TOS-konsentrasie (300 mg/l) is sodanig dat konvensionele suiwing nodig is om drink-water daaruit te berei;

- die maksimum TOS-konsentrasie in die drinkwaternetwerke is 300 mg/l, wat 'n redelik aanvaarbare norm is (DWW, 1993);
- die maksimum konsentrasie in die tuinwaternetwerk is 1 000 mg/l, wat veilig vir toevallige menslike inname is (DWW, 1993), en vir landboubesproeiing as 'n redelik aanvaarbare limiet beskou word (Meiring & vennote, 1982);
- die soutwins uit huishoudelike gebruik is 100 g/p.d, wat met 'n konsentrasiewins van *ca.* 400 mg/l ooreenstem; en
- ontsouting word deur middel van tru-osmose in 'n systroom konfigurasie gedoen, met aanname van 80% waterherwinning en 92% soutverwerping.

## 8.1 Ontsouting

Massabalans is vir TOS in die voorsieningsnetwerke bereken vir bronkonsentrasies van 0 tot 1 000 mg/l, om aan te toon hoe die behoefte aan ontsouting met verswakende gehalte van water in die bron sal verander. As geen ontsouting gedoen word nie, sal die TOS-konsentrasies in die netwerke op die waardes soos in **Figuur 4** uitgebeeld, stabiliseer.

In die konvensionele stelsel bly die TOS-konsentrasie dieselfde as dié in die bron. As uitvloeisel direk in die drinkwaterstelsel hergebruik word, toon dit vir 'n versnydingsverhouding van 25% 'n toename van slegs *ca.* 130 mg/l bo die bronkonsentrasie. By 100% hergebruik is die toename aansienlik hoër, naamlik in die orde van 680 mg/l. Dit beteken dat 'n groot deel van die hersirkulasiestroom ontsout sal moet word om 'n konsentrasie van 300 mg/l in die netwerk te handhaaf, selfs al is die bronkonsentrasie minder as 300 mg/l.



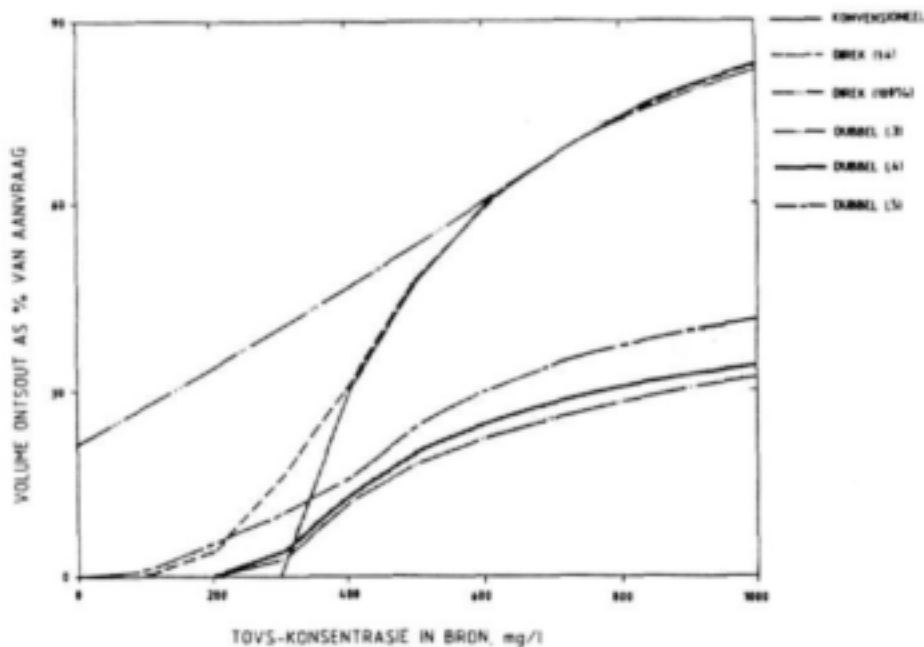
**Figuur 4 : TOS-konsentrasies sonder ontsouting in verspreidingsnetwerke**

Die dubbelstelsel vertoon merkwaardig beter. Die konsentrasie in die drinkwaternetwerk is dieselfde as, of marginaal hoër (ca. 75 mg/l in hierdie geval) as die in die bron, terwyl dit in die tuinwaternetwerk met sowat 800 mg/l toeneem. Ontsouting sal van 'n toevoerkonsentrasie van 200 mg/l af gedoen moet word om die konsentrasie in die drinkwaternetwerk (40% van die aanvraag) op 300 mg/l, en die in die tuinwaternetwerk op 1 000 mg/l te handhaaf.

'n Verdere betekenisvolle waarneming is dat die grootste deel van die konsumptiewe verbruik vir tuinbesproeiing aangewend word en dus uit die tuinwaternetwerk teen 'n hoër konsentrasie (meestal 1 000 mg/l) onttrek word. Dit beteken dat 'n groot deel van die opgeloste soute oor die hele stadsgebied versprei word, in plaas daarvan dat dit in die bron gestort word. Hierdie beginsel hou groot belofte vir die ekonomie van waterontsouting in, maar vereis verdere navorsing oor:

- die hoeveelheid soute wat deur die stedelike grondkors geabsorbeer kan word, en
- die hoeveelheid wat deur middel van stormwater in die bron sal beland nadat attenuasie plaasgevind het.

As ontsouting gedoen word, sal die volumes wat in die onderskeie stelsels ontsout moet word, uitgedruk as persentasie van die totale aanvraag, wissel soos in **Figuur 5** aangetoon. Die berekenings is ook vir drinkwater:totale aanvraagverhoudings van 30% en 50% gedoen om die moontlike ontsoutingsvariasies wat daarmee verband hou, te illustreer.



**Figuur 5 : Volumes ontsout in verskillende stelsels**

Daar sal in die konvensionele stelsel met ontsouting begin moet word wanneer die sout-konsentrasie in die bron 300 mg/l oorskry. Die volume wat ontsout moet word, neem skerp toe met toenemende bronkonsentrasies en plat later af na 'n punt waar die totale volume ontsout sal moet word.

Die 100% direkte herwinningstelsel vereis in alle gevalle 'n hoë ontsoutingsvolume, wat by hoër bronkonsentrasies met dié van die konvensionele stelsel ooreenstem. Die ontsoutingsvolumes vir gedeeltelike herwinning sal altyd tussen bogenoemde twee uiterstes lê. In hierdie geval, met 'n versnydingsverhouding van slegs 25%, is dit min of meer dieselfde as dié van die konvensionele stelsel, behalwe dat daar by laer bronkonsentrasies met ontsouting begin sal moet word.

Die volume water wat in die dubbelstelsel ontsout sal moet word, is feitlik deurgaans aansienlik minder as dié in die ander stelsels. By 'n konsentrasie van 400 mg/l in die bron is die ontsoutingsvolume in die dubbelstelsel respektiewelik *ca.* 45% en 28% van dié in die

konvensionele en die 100% direkte herwinningstelsels. By konsentrasies groter as 600 mg/l bly die verhouding in albei gevalle min of meer konstant op 40%. 'n Groter verhouding van drinkwater tot totale aanvraag in die dubbelstelsel lei tot groter ontsoutingsvolumes, wat egter steeds noemenswaardig minder is as dié in die ander stelsels, met 'n maksimum verhouding van ongeveer 50%.

Hierdie resultate kan 'n ingrypende invloed ten gunste van die ekonomie van dubbelstelsels hê, veral gesien teen die agtergrond van die verwagte toename in die mineraalinhoud van water-bronne soos die Vaalrivier Barrage, en die bykomende koste wat daarmee verband hou (Heynike, 1984). Dit hang in 'n groot mate daarvan af of die beginsel van soutverspreiding oor die hele stadsgebied aanvaarbaar gevind word.

## 8.2 Omsetverhouding

Die water- en soutbalanse vir die tipiese stelselkonfigurasies soos hierbo beskryf, met 'n TOS-konsentrasie van 300 mg/l in die bron, word in **Tabel 5** opgesom. Die volgende afleidings kan uit die inligting in die tabel gemaak word:

- die enkel- en dubbelherwinningstelsels onttrek baie minder water uit die bron as wat die geval met die konvensionele stelsel is (ca. 47% en 39% respektiewelik);
- die herwinningstelsels stort geen uitvloeisel terug in die bron nie (pekelstrome buite rekening gelaat), terwyl die konvensionele stelsel ca. 32 MI uitvloeisel per dag stort;
- die netto verbruik van die konvensionele en die dubbelstelsel is ongeveer dieselfde (20,5 MI/d), terwyl dié van die drinkwaterherwinningstelsel ca. 21% hoër is; en
- die ooreenstemmende omsetverhoudings, sonder korreksie vir die swakker uitvloeisel-gehalte van die konvensionele stelsel, is respektiewelik ca. 2,4 en 2,0. Direkte drinkwaterherwinning verbruik dus meer bronwater om 'n totale gebruiksomset van 50 MI/d met 'n drinkwater TOS-konsentrasie van 300 mg/l te handhaaf.

Tabel 5 : Water- en soutbalanse

| Hoofdstroom                                           | Enkelstelsel, eenmaal |           |           | Enkelstelsel, herwin |           |           | Dubbelstelsel, herwin |           |           |
|-------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|
|                                                       | Q<br>Ml/d             | S<br>mg/l | M<br>kg/d | Q<br>Ml/d            | S<br>mg/l | M<br>kg/d | Q<br>Ml/d             | S<br>mg/l | M<br>kg/d |
| Onttrek uit bron                                      | 52.61                 | 300       | 15783     | 24.80                | 300       | 7441      | 20.52                 | 300       | 6156      |
| Soutwinnings uit dorp                                 |                       |           | 16667     |                      |           | 16667     |                       |           | 16667     |
| TOTAAL IN                                             | 52.61                 |           | 32449     | 24.80                |           | 24107     | 20.52                 |           | 22823     |
| Konsumptief + drinkwaterverlies                       | 18.01                 | 300       | 5402      | 18.01                | 300       | 5402      | 2.20                  | 300       | 661       |
| Konsumptief + tuinwaterverlies                        | 0.00                  |           |           | 0.00                 |           |           | 15.80                 | 1000      | 15803     |
| Pekelstroom                                           | 0.00                  |           |           | 4.68                 | 3739      | 17493     | 1.04                  | 5176      | 5375      |
| Verlies by suiweringsprosesse                         | 2.59                  |           | 1026      | 2.12                 |           | 1213      | 1.48                  |           | 984       |
| Uitvloeisel                                           | 32.01                 | 813       | 26022     | 0.00                 |           |           | 0.00                  |           |           |
| TOTAAL UIT                                            | 52.61                 |           | 32449     | 24.80                |           | 24107     | 20.52                 |           | 22823     |
| Beskikbaar vir besproeiing                            | 32.01                 | 813       | 26022     | 0.00                 |           |           | 0.00                  |           |           |
| Netto verbruik met korreksie vir loging:              |                       |           |           |                      |           |           |                       |           |           |
| Geen korreksie                                        | 20.60                 |           |           | 24.80                |           |           | 20.52                 |           |           |
| Hoë toleransie                                        | 23.98                 |           |           |                      |           |           |                       |           |           |
| Medium toleransie                                     | 25.54                 |           |           |                      |           |           |                       |           |           |
| Lae toleransie                                        | 30.74                 |           |           |                      |           |           |                       |           |           |
| Totale gebruiksomset                                  | 50.00                 |           |           | 50.00                |           |           | 50.00                 |           |           |
| Omsetverhouding<br>(= gebruiksomset/bronwaterstroom): |                       |           |           |                      |           |           |                       |           |           |
| Geen korreksie                                        | 2.43                  |           |           | 2.02                 |           |           | 2.44                  |           |           |
| Hoë toleransie                                        | 2.09                  |           |           |                      |           |           |                       |           |           |
| Medium toleransie                                     | 1.96                  |           |           |                      |           |           |                       |           |           |
| Lae toleransie                                        | 1.63                  |           |           |                      |           |           |                       |           |           |
| Ontsooutingstroom                                     | 0.00                  |           |           | 23.39                | 813       | 19014     | 5.19                  | 1125      | 5842      |
| Soute geabsorbeer                                     |                       |           | 5402      |                      |           | 5402      |                       |           | 16464     |

Korreksie is nodig om vir die hoë TOS-konsentrasie (813 mg/l) in die uitvloeisel van die enkelstelsel met eenmalige gebruik te kompenseer. Die gekose metode is gebaseer op die behoefte aan bykomende besproeiingswater wanneer produksiegewasse met hoë-TOS water besproei word (Meiring & vennote, 1982). Bykomende water is nodig om die akkumulاسie van opgeloste soute in die wortelsone van die plante deur middel van uitloging binne vas-gestelde perke te hou. Plante met 'n lae verdraagsaamheid vir opgeloste soute vereis meer logingswater as dié met hoër verdraagsaamheid.

Die bykomende volumes soos in **Tabel 5** aangetoon, is op gegewens van Meiring en vennote (1982) gebaseer. Die netto verbruik in die konvensionele stelsel vir plante met medium verdraagsaamheid is 24% hoër as dié in die dubbelstelsel. Die ooreenstemmende omsetverhouding is ca. 2,0 (dieselfde as dié van die enkelherwinningstelsel).

Die oorhoofse gevolgtrekking is dat die omsetverhouding van die dubbelstelsel tussen 20% en 25% hoër is as dié in beide die enkelstelsels met en sonder herwinning. Water word dus

aansienlik beter benut in die dubbelstelsel wanneer die uitvloei 100% vir hergebruik herwin word.

### 8.3 Kostevergelyking

Die kostevergelyking in hierdie studie is op bogenoemde balanse en op die werk van verskeie outeurs gebaseer (Haney & Beatty, 1977; Deb & Evans, 1980; McDonald & Bliss, 1981; Leconte, *et al*, 1987 & 1988; Qasim, *et al*, 1992; Kriel, 1995). Die doel was om 'n oorhoofse beeld van kosteverhoudings te kry, eerder as om eksakte kostes te bereken. Kriel (1995) se inkrementele eenheidskostes vir Rand Water se voorsieningsgebied is so ver as moontlik met die nodige aanpassings gebruik, en is aangevul met toepaslike kostefaktore en -verhoudings uit die ander outeurs se werk.

'n Residensiële stad met 'n totale gebruikswateromset van 50 MI/d is as basis gebruik, met water- en soutbalanse soos in **Tabel 5** aangeteken. Kriel (1995) se eenheidskostes is met die volgende aannames aangepas na 1998-geldwaarde, met inagneming van die ekonomie van skaal vir die verskillende prosesstroomgroottes:

- al Kriel se kostes geld vir 'n gebruiksomset van 50 MI/d;
- 'n inflasiekoers van 15% per jaar, soos deur Kriel voorgestel, is steeds geldig vir die periode 1990 tot 1998;
- die volgende vergelyking vir die ekonomie van skaal van suiweringsaanlegte is deur middel van regressie ( $R^2 = 0,9999$ ) uit Kriel se aanpassingskaal afgelei:

$$\text{Eenheidskoste, EK} = \text{EK}_{50} \times 2,29 Q^{-0,21} \text{ R/kl}$$

waar:  $\text{EK}_{50}$  = eenheidskoste vir 'n stroom van 50 MI/d

$Q$  = prosesstroom, MI/d;

- 'n kwart van die rioolsuiweringskoste word aan N- en P-verwydering toegedeel;

- die koste van tuinwaterherwinning uit gesuiwerde riooluitvloeisel is 20% laer as dié van drinkwaterherwinning; en
- verdamping uit Vaaldam is 5% van die bruto onttrekking vir die bereiding van drinkwater.

Die kostevergelyking word op grond van die jaarlikse inkrementele koste van die onderskeie prosesstrome en die ooreenstemmende eenheidskostes gedoen. Met die eenheidskostes van die retikulasiestelsels voorlopig buite rekening gelaat, word die resultaat van die 'eksterne' kostevergelyking (stroomop en stroomaf van die gebruiksgebied) in **Tabel 6** aangetoon. Die volgende afleidings word daaruit gemaak:

- die inkrementele eenheidskoste van herwonne water in 'n enkelstelsel is 14% hoër as dié van drinkwater in 'n enkelstelsel met eenmalige gebruik; en
- die inkrementele koste van water in 'n dubbelstelsel met herwinning (drink- en tuinwater gesamentlik) is 24% laer as dié van drinkwater in 'n enkelstelsel met eenmalige gebruik, en 33% laer as dié van herwonne water in 'n enkelstelsel.

Tabel 6 : Inkrementele kostevergelyking

| Stelselkomponent                                      | Enkelstelsel, eenmaal |            |               | Enkelstelsel, herwin |            |               | Dubbelstelsel, herwin |            |              |
|-------------------------------------------------------|-----------------------|------------|---------------|----------------------|------------|---------------|-----------------------|------------|--------------|
|                                                       | Q<br>Ml/d             | EK<br>R/kl | JK<br>mR/jr   | Q<br>Ml/d            | EK<br>R/kl | JK<br>mR/jr   | Q<br>Ml/d             | EK<br>R/kl | JK<br>mR/jr  |
| LHW - Opgaar & lewer in Vaaldam                       | 55.24                 | 3.37       | 67.95         | 26.04                | 3.37       | 32.03         | 21.55                 | 3.37       | 26.50        |
| Verdampingsverlies in Vaaldam                         | 2.63                  |            |               | 1.24                 |            |               | 1.03                  |            |              |
| Onttrek uit dam, suwer & lewer by aanjaagpomp         | 52.61                 | 1.83       | 35.20         | 24.80                | 2.15       | 19.44         | 20.52                 | 2.23       | 16.73        |
| Netto gesuiwerde water by aanjaagpomp                 | 50.00                 |            |               | 23.57                |            |               | 19.50                 |            |              |
| Lewer herwonne water by aanjaagpomp                   | 0.00                  |            |               | 26.43                | 0.53       | 5.11          | 0.50                  |            |              |
| Lewer drinkwater aan dorp                             | 50.00                 |            |               | 50.00                |            |               | 20.00                 |            |              |
| Drinkwater konsumptief verbruik                       | 17.50                 |            |               | 17.50                |            |               | 2.00                  |            |              |
| Lewer tuinwater aan dorp                              | 0.00                  |            |               | 0.00                 |            |               | 30.00                 |            |              |
| Tuinwater konsumptief verbruik                        | 0.00                  |            |               | 0.00                 |            |               | 15.50                 |            |              |
| <b>Rioolsuiweringstrome:</b>                          |                       |            |               |                      |            |               |                       |            |              |
| C-verwydering                                         | 32.50                 | 0.93       | 10.98         | 32.50                | 0.93       | 10.98         | 32.50                 | 0.93       | 10.98        |
| N&P-verwydering                                       | 32.50                 | 0.31       | 3.66          | 32.50                | 0.31       | 3.66          | 32.50                 |            |              |
| Herwinning                                            | 0.00                  |            |               | 32.01                | 2.74       | 32.05         | 32.17                 | 2.19       | 25.74        |
| Ontsooting                                            | 0.00                  |            |               | 23.39                | 3.61       | 30.86         | 5.19                  | 4.96       | 9.40         |
| Stort uitvloeisel in Vaalrivier                       | 32.01                 |            |               | 0.00                 |            |               | 0.00                  |            |              |
| Pekelstroom                                           | 0.00                  |            |               | 4.68                 |            |               | 1.04                  |            |              |
| <b>Totale inkrementele koste, mR/jr*</b>              |                       |            | <b>117.80</b> |                      |            | <b>134.13</b> |                       |            | <b>89.36</b> |
| <b>Inkrementele eenheidskoste, R/kl gebruikswater</b> |                       |            | <b>6.45</b>   |                      |            | <b>7.35</b>   |                       |            | <b>4.90</b>  |

**Opmerkings:**

Verliese is by al die stelselkomponente in berekening gebring, maar word nie hier aangetoon nie

Q = vloei by die betrokke stelselkomponent gelewer, voor aftrekking van die verlies by daardie komponent

EK = inkrementele eenheidskoste (Kriel, 1995), aangepas vir 1998 geldwaarde (15% p) & vir ekonomie van skaal

JK = jaarlikse inkrementele koste, miljoen Rand/jaar

\* Die inkrementele koste van die retikulasielnetwerke is nie hierby ingereken nie - kyk teks vir verduideliking

Bogenoemde waardes moet egter aangepas word met die kostes van die retikulasies in die enkel- en dubbelstelsels. Omdat die dubbelstelsel nie as 'n moontlike alternatief deur Kriel (1995) oorweeg is nie, en hy dus nie eenheidskoste daarvoor bereken het nie, word sodanige kostes op 'n ander wyse in berekening gebring. Deur grotendeels van McDonald en Bliss (1981) se kostefaktore gebruik te maak, kon die volgende verhoudings tussen die tersaaklike kostekomponente by benadering bepaal word:

- die retikulasiekoste in die konvensionele stelsel (mR39,08/jr) is *ca.* 11% hoër as die verbandhoudende koste van onttrekking, suiwering en lewering by die aanjaagpompe (mR35,20/jr); en
- die koste van die retikulasie in die dubbelstelsel (mR62,68/jr) is *ca.* 62% hoër as dié van die enkelstelsel (mR39,08/jr). In hierdie berekening is voorsiening gemaak vir die kapitaal- en bedryfskoste van bykomende loodgieterswerk in die dubbelstelsel, die verspreidings-netwerke, diensreservoirs, hooftoevoerpipe en die pompstasies.

Die volgende aannames is in bogenoemde berekeninge gemaak:

- 'n rentekoers van 18% per jaar is vir kapitaaldelging gebruik;
- die enkel- en dubbelstelsels se retikulasienetwerke het dieselfde oorhoofse lewerings-vermoë (50 ML/d) en is aan dieselfde hidrouliese gradiënt onderhewig;
- die reservoirkapasiteite is as 2 x die daaglikse aanvraag geneem;
- die lengte van die hooftoevoerpipe is as 50 km vir drinkwatervoorsiening geneem (vanaf die aanjaagpompe) en 10 km vir tuinwatervoorsiening (vanaf die herwinningsaanleg). Pypgroottes is vir 'n vloeisnelheid van 2 m/s bepaal; en
- die pomphoogte is in albei gevalle as 100 m geneem.

Omdat hierdie benadering tot kosteberekening 'n groot mate van onsekerheid inhou, veral met betrekking tot die verhouding tussen retikulasie- en suiweringskoste, is daar 'n sensitiwiteits-analise gedoen om die effek van hierdie verhouding op die totale inkrementele kostes te bepaal. Die resultaat van al hierdie berekeninge, uitgedruk as R/kl gebruikswater, word in **Tabel 7** opgesom.

**Tabel 7 : Vergelyking van totale inkrementele kostes**

| Kostes in R/kl                                                            | Enkelstelsel, eenmaal |        | Enkelstelsel, herwin |        | Dubbelstelsel, herwin |        |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------|----------------------|--------|-----------------------|--------|
| 'Eksterne' koste vanaf Tabel 6                                            | 6.45                  |        | 7.35                 |        | 4.90                  |        |
| Kostes vir die volgende verhoudings van retikulasie- tot suiweringskoste: | Retikulasie           | Totaal | Retikulasie          | Totaal | Retikulasie           | Totaal |
| 70%                                                                       | 1.71                  | 8.16   | 1.71                 | 9.06   | 2.40                  | 7.30   |
| 90%                                                                       | 1.93                  | 8.38   | 1.93                 | 9.28   | 3.09                  | 7.99   |
| 110%                                                                      | 2.35                  | 8.80   | 2.35                 | 9.70   | 3.77                  | 8.67   |
| 130%                                                                      | 2.78                  | 9.23   | 2.78                 | 10.13  | 4.46                  | 9.36   |
| 150%                                                                      | 3.21                  | 9.66   | 3.21                 | 10.56  | 5.15                  | 10.05  |

Die volgende gevolgtrekkings met betrekking tot die ordegrottes van stelselkoste word uit die tabel gemaak:

- herwinning van uitvloeisel en hergebruik as drinkwater in 'n enkelstelsel is *ca.* 10% duurder as eenmalige gebruik in die konvensionele stelsel;
- vir die waarskynlike verhouding van retikulasiekoste tot suiweringskoste in 'n konvensionele stelsel (110 - 130%), kos die dubbelstelsel ongeveer dieselfde as die konvensionele stelsel. As die relatiewe koste van die retikulasie in die dubbelstelsel heelwat laer sou wees (< 90% van die suiweringskoste), kan die dubbelstelsel tot *ca.* 10% meer ekonomies as die konvensionele stelsel wees; en
- binne dieselfde bereike word afgelei dat die dubbelstelsel tipies *ca.* 10% meer ekonomies as die enkelstelsel met herwinning is.

## 9. GEVOLGTREKKINGS EN AANBEVELINGS VIR TOEPASSING IN SUID-AFRIKA

Die belangrikste gevolgtrekkings en aanbevelings uit hierdie ondersoek sluit die volgende in:

- dubbelwatervoorsieningstelsels het 'n staanplek in die internasionale arena verwerf en word toenemend as 'n bykomende opsie by die beplanning van watervoorsieningskemas oorweeg;
- dubbelstelsels is nie 'n alleroplossing vir die wêreld se waterprobleme nie, maar dit bied moontlikhede vir die aanvulling van watertekorte en vir beskerming van die water-omgewing teen die opbou van veral konserwatiewe bestanddele. Die prys wat hiervoor betaal moet word, is dat opgeloste soute oor die hele watergebruiksgebied versprei sal word. Die aanvaarbaarheid daarvan moet verder ondersoek word;
- as teenpool vir aanvaarding van die beginsel van dubbelstelsels is daar steeds 'n denkskool wat onaanvaarbare probleme met die tweede verspreidingsnetwerk voorsien, en wat waterhergebruik ('n onvermydelike praktyk in die toekoms) in 'n konvensionele enkelstelsel verkies. Dit sou wenslik wees om hierdie verskil van mening deur middel van 'n openbare debat in die watergemeenskap by te lê. Daar word voorgestel dat die Waternavorsings-kommissie 'n seminar, soortgelyk aan dié van AWWA in 1976 en 1985, organiseer om die gesprek oor dubbelstelsels in Suid-Afrika aan die gang te kry; as daar met die toepassing van dubbelstelsels begin sou word, sal dit nodig wees om riglyne vir die gehalte van tuinwater en vir die vervaardiging en installasie van die fisiese komponente (pype, toebehore, ensovoorts) van dubbelstelsels te ontwikkel;
- dubbelstelsels word aantreklik wanneer duur behandeling soos ontsouting nodig word om drinkwater te berei. Die volgende kan as tipiese sodanige gevalle beskou word:
  - waar see- of brakwater (met hoë TOS-konsentrasies) die naaste beskikbare waterbron is,
  - waar intensiewe indirekte hergebruik van water tot hoë TOS-konsentrasies in

die bron lei (soos die Vaalrivier Barrage).

- waar die hoë inkrementele koste van die ontginning van nuwe varswaterbronne dit regverdig om die direkte herwinning en hergebruik van gesuiwerde uitvloeisels te oorweeg; en
- die massabalans en kostevergelykings in hierdie ondersoek toon dat direkte hergebruik in dubbelstelsels meebring dat kleiner strome ontsout moet word, minder soute verwyder hoef te word, beter omsetverhoudings verkry word, en dat dit waarskynlik meer ekonomies is as om uitvloeisels direk vir drinkbare hergebruik te herwin.

**Oorhoofs word die gevolgtrekking gemaak dat dubbelstelsels nuwe moontlikhede bied vir die handhawing van watervoorsiening in Suid-Afrika en vir die handhawing van die geskiktheid van water vir die erkende gebruike. Dubbelstelsels moet dus as 'n bykomende opsie by die beplanning van watervoorsieningskemas oorweeg word.**

## 10. VERWYSINGS

ABRAHAM, H.J. 1975. The water supply of Rome. *Jour. AWWA*. Desember 1975.

ANDERSON, J.M. 1995. Residential use of reclaimed water in Australia. Aangebied by *IAWQ Second International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse*. 17 - 20 Oktober 1995. International Association on Water Quality. Iraklio, Kreta, Griekeland.

ASANO, T., Y. Nagasawa, N. Hayakawa & T. Tamaru. 1986. On-site wastewater reclamation and reuse systems in commercial buildings and apartment complexes. *Plumbing Engineer*. September 1986.

ASANO, T., D. Richard, R.W. Crites & G. Tchobanoglous. 1992. Evolution of tertiary treatment requirements in California. *Water Environment & Technology*. Februarie 1992.

AWWA. 1976. *Seminar Proceedings: Dual Distribution Systems*. Seminaarverhandelinge No. 20135. 20 Junie 1976. American Water Works Association. Denver, Colorado, VSA.

AWWA. 1983. *Dual Water Systems: AWWA Manual M24*. American Water Works Association. Denver, Colorado, VSA.

AWWA. 1985. *Seminar Proceedings: Dual Water Systems*. Seminaarverhandelinge No. 20189. 23 Junie 1985. American Water Works Association. Denver, Colorado, VSA.

AWWA. 1990. *Water Quality and Treatment: A handbook of community water supplies*. McGraw-Hill, Inc. New York, VSA.

BADENHORST, S.J. 1989. Persoonlike mededeling, 16 Mei 1989. Universiteit van Pretoria.

BAZ, J. 1987. Grey water systems - saving precious water. *Plumbing Engineer*. Maart 1987.

BLAKE, D., L. Ford, P. Freedman, J. Marti & L. Melton. 1992. Zero discharge: A goal whose time has come? *Water Environment & Technology*. Oktober 1992.

BOEGLY, W.J. Jr. 1976. International experiences with dual distribution systems. Aangebied by *AWWA Seminar: Dual Distribution Systems*. 20 Junie 1976. American Water Works Association. Denver, Colorado, VSA.

BOEGLY, W.J. Jr. 1985. Experiences with dual distribution systems. Aangebied by *AWWA Seminar: Dual Water Systems*. 23 Junie 1985. American Water Works Association. Denver, Colorado, VSA.

CARY, E.S., H.J. Ongerth & R.O. Phelps. 1960. Domestic water supply demineralisation at Coalinga. *Jour. AWWA*. Vol. 52, No. 5.

- CHANG, A.C., A.L. Page, T. Asano & I. Hespanhol. 1995. Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed wastewater irrigation. Aangebied by *IAWQ Second International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse*. 17 - 20 Oktober 1995. International Association on Water Quality. Iraklio, Kreta, Griekeland.
- CLAYTON, A.J., L.R.J. van Vuuren & B. Roux. 1982. Development of water reclamation technology in South Africa. *Wat. Sci. Tech.*. Vol. 14.
- CROOK, J. & W.D. Johnson. 1991. Health and water-quality considerations with a dual water system. *Water Environment & Technology*. Augustus 1991.
- DEB, A.K. & K.J. Ives. 1974. *Dual water supply systems*. Verslag aan British Science Research Council. Februarie 1974.
- DEB, A.K. & R.F. Weston. 1976. Dual water supply for British towns. Aangebied by *AWWA Seminar: Dual Distribution Systems*. 20 Junie 1976. American Water Works Association. Denver, Colorado, VSA.
- DEB, A.K. & M.P. Evans. 1980. Dual distribution systems analysis. *Jour. AWWA*. Vol. 72, No. 2.
- DEB, A.K. & W.G. Richards. 1983. Evaluating the economics of alternative technology for small water systems. *Jour. AWWA*. Vol. 75, No. 4.
- DEPARTEMENT VAN GEMEENSKAPSONTWIKKELING. 1983. Guidelines for the Provision of Engineering Services in Residential Townships. Departement van Gemeenskapsontwikkeling. Pretoria.
- DWW. 1986. *Bestuur van die Waterhulphronne van die Republiek van Suid-Afrika*. Departement van Waterwese. Pretoria.
- DWWB. 1991. *Water Quality Management Policies and Strategies in the RSA*. Departement van Waterwese en Bosbou. Pretoria.
- DWWB. 1993. *South African water Quality Guidelines: Domestic Use*. Departement van Waterwese en Bosbou. Pretoria.
- FRONTINUS, S.J. 1973. *Water Supply of the City of Rome* (2 volumes) - vertaal deur C. Herschel, 1973. Londen, VK.
- GARLIPP, K-D.C.O. 1978. *Water Consumption Patterns in Urban Areas*. MSc Ing Verhandeling. Universiteit van Pretoria. Pretoria.
- GARTHE, E.C. & W.C. Gilbert. 1968. Wastewater reuse at the Grand Canyon. *Jour. Wat. Poll. Control Fed.*. Vol. 40, No. 9.
- GONZALEZ, F.J. 1966. The water supply in Gibraltar. *Aqua*. Quarterly Bulletin No.2, 1966.

- HAARHOFF, J. & B. van der Merwe. 1995. 25 Years of wastewater reclamation in Windhoek, Namibia. Aangebied by *IAWQ Second International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse*. 17 - 20 Oktober 1995. International Association on Water Quality. Iraklio, Kreta, Griekeland.
- HAARHOFF, J. 1997. Process selection. In: *Water Purification Works Design*, Ed. F.A. van Duuren. Watnavorsingskommissie. Pretoria.
- HAMANN, C.L. & B. McEwen. 1991. Potable water reuse. *Water Environment & Technology*. Januarie 1991.
- HANEY, P.D. & F.K. Beatty. 1977. Dual water systems design. *Jour. AWWA*. Vol. 69, No. 10.
- HANEY, P.D. & C.L. Hamann. 1965. Dual water systems. *Jour. AWWA*. Vol. 57, No. 9.
- HANEY, P.D. & C.B. Hagar. 1985. Dual water system design. Aangebied by *AWWA Seminar: Dual Water Systems*. 23 Junie 1985. American Water Works Association. Denver, Colorado, VSA.
- HEYNIKE, J.J.C. 1981. *The Economic Effects of the Mineral Content Present in the Vaal River Barrage on the Community of the PWVS Complex*. WNK-verslag, Junie 1981. Watnavorsingskommissie, Pretoria.
- HOMER-DIXON, T.F., J.H. Boutwell & G.W. Rathjens. Environmental change and violent conflict. *Scientific American*. Vol. 268, No.2.
- JINKENS, D.M. 1983. Salt water for fire protection and sanitation - A water conservation alternative. *Public Works*. Februarie 1983.
- JOHNSON, M.J. 1978. Good riddance to drinking water problems. *Water & Wastes Engineering*. Augustus 1978.
- KRIEL, J.P. 1995. Die potensiele voordele van die herwinning en hergebruik van stedelike afvalwater. *Joernaal van die Suid-Afrikaanse Instituut van Siviele Ingenieurs*. Vol. 37 No. 1.
- LABURN, R.J. 1976. Some aspects of water management in the P.W.V. Metropolitan region. *Water Resources Bulletin*. Vol. 12, No.1.
- LAW, I. 1995. Australia's first full scale domestic non-potable reuse application. Aangebied by *IAWQ Second International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse*. 17 - 20 Oktober 1995. International Association on Water Quality. Iraklio, Kreta, Griekeland.
- LECONTE, R., T.C. Hughes, & R. Narayanan. 1987. Economic efficiency and investment timing for dual water systems. *Water Resources Research*. Vol. 23, No. 10.
- LECONTE, R., T.C. Hughes, & R. Narayanan. 1988. Estimating costs model of dual water supply systems. *Jour. Wat. Resour. Plan. & Management*. Vol. 11, No. 5.

MAEDA, M., K. Nakada, K. Kawamoto & m. Ikeda. 1995. Area-wide use of reclaimed water in Tokyo, Japan. Aangebied by *IAWQ Second International Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse*. 17 - 20 Oktober 1995. International Association on Water Quality. Iraklio, Kreta, Griekeland.

MALAN, G.J., G.C. Simpson & D.W. Moore. 1983. *Research into Water Economy Measures for Water Distribution Systems in Urban Areas*. Nasionale Bounavorsingsinstituut. Finale verslag aan die Waternavorsingskommissie. Pretoria.

McDONALD, L.A. Ongedateerd - ca. 1980. The role of dual supplies in meeting demands for good quality water. Department of Public Works. New South Wales, Australië.

McDONALD, L.A. & P.J. Bliss. 1981. *The economics of dual water supplies for small communities*. Department of Public Works. New South Wales, Australië.

METZLER, D.F., R.L. Culp, H.A. Stoltenberg, R.L. Woodward, G. Walton, S.L. Chang, N.A. Clarke, C.M. Palmer & F.M. Middleton. 1958. Emergency use of reclaimed water for potable supply at Chanute, Kan.. *Jour. AWWA*. Vol. 50, No. 5.

MEIRING, P.G.J. & Vennote. 1982. *A Guide for the Planning, Design and Implementation of a Water Reclamation Scheme*. Waternavorsingskommissie. Pretoria.

MILLER, K.J. 1990. U.S. water reuse: Current status and future trends. *Water Environment & Technology*. November 1990.

OHLSSON, L. 1995. *Hydropolitics: Conflicts over water as a development constraint*. University Press Ltd. Dhaka.

OKUN, D.A. 1966. Tomorrow's methods to provide tomorrow's service. *Jour. AWWA*. Vol. 58, No. 8.

OKUN, D.A. 1982. Dual water supply - economically feasible. *Water Bulletin*. 17 September 1982.

OKUN, D.A. 1985. Overview of dual water systems. Aangebied by *AWWA Seminar: Dual Water Systems*. 23 Junie 1985. American Water Works Association. Denver, Colorado, VSA.

OLIVIER, H. 1980. Our water resources in perspective. *Construction in Southern Africa*. September 1980.

PARSONS, J. 1990. Irvine Ranch's approach to water reclamation. *Water Environment & Technology*. Desember 1990.

PRETORIUS, W.A. 1983. Should the phosphate concentration in sewage effluents be restricted? *IMIESA*. September 1983.

QASIM, S.R., S.W. Lim, E.M. Motley & K.G. Heung. 1992. Estimating costs for treatment plant construction. *Jour. AWWA*. August 1992.

- ROBERTSON, J.T. 1985. Roman water supply. *Plumbing*. Somer 1985.
- SCHORR, P. & R.T. Dewling. 1988. Reusing water. *Civil Engineering*. Augustus 1988.
- SS&O. 1985. *Vaal River Water Quality Management Study: Practical implications of the blending option*. Departement van Waterwese, Verslag PC 000/00/2885. Mei 1985.
- SUHR, L.G. 1971. Some notes on reuse. *Jour. AWWA*. Vol. 63, No. 10.
- UNESCO. 1958. *Water for industrial use*. Report No. E/3058 ST/ECA/50. 1958.
- VAN ROBBROECK, T.P.C. 1995. *33 ste Jaarlikse Hendrik van der Bijl-lesing*. 27 September 1995. Universiteit van Pretoria. Pretoria.
- WATERWET. 1956. *Wet 54 van 1956*. Republiek van Suid-Afrika.

