



Anushka Salmin, TU Delft, thans Surinaamsche Waterleiding Maatschappij  
 Eric Baars, Waternet  
 Jasper Verberk, TU Delft  
 Hans van Dijk, TU Delft

# Conditionering van agressief grondwater in Suriname

**In Suriname komt veel zeer zacht en agressief grondwater voor. De Surinaamsche Waterleiding Maatschappij maakt voor het opharden/conditioneren van dit water gebruik van filtratie over een laag natuurlijke schelpen. In het kader van een afstudeerproject is onderzoek verricht naar de meest optimale volgorde van het conditioneringsproces van zuur grondwater en naar het mogelijke gebruik van alternatieve ophardingsmaterialen. Op basis van de waterkwaliteit van het grondwater is vastgesteld dat schelpenfiltratie voor de meeste pompstations niet noodzakelijk is. Vanwege de hoge bicarbonaatconcentratie kan voor deze pompstations worden volstaan met intensieve beluchting. Waar wel schelpenfiltratie nodig is, wordt aanbevolen om deze als eerste filtratiestap toe te passen teneinde te vermijden dat het gehalte aan kooldioxide (de drijvende kracht voor de schelpenfiltratie) al te veel is afgenomen door de voorafgaande beluchting/zandfiltratie.**

In Suriname is de Surinaamsche Waterleiding Maatschappij verantwoordelijk voor de voorziening van drinkwater in de gehele kustvlakte. Voor de bereiding van drinkwater wordt in Suriname voornamelijk grondwater als bron gebruikt. Het grondwater wordt onttrokken aan gebieden met kalkarme grondlagen. Als gevolg hiervan heeft het grondwater de eigenschappen

**Afb. 1: Locatie van de pompstations van de Surinaamsche Waterleiding Maatschappij (SWM) en van het ministerie van Natuurlijke Hulpbronnen (NH).**



van agressief water. Agressief water wordt gekarakteriseerd door een lage pH, een lage concentratie bicarbonaat en een lage concentratie calcium. Agressief water heeft als nadeel dat het snel leidt tot corrosie van metalen pijpleidingen en cement gebonden materialen.

In Suriname wordt agressief water geconditioneerd door filtratie over een bed van schelpen. De Surinaamse Waterleiding Maatschappij hanteert hierbij de richtlijnen van de VN-wereldgezondheidsorganisatie WHO voor schoon en veilig drinkwater. Deze geven echter geen strikte richtlijnen voor de conditioneringparameters pH, de concentraties bicarbonaat en calcium en de Saturatielindex (SI). Door het ontbreken van duidelijke waterkwaliteitsrichtlijnen worden de schelpenfilters niet optimaal bedreven. Kennis over het proces ontbreekt bij de werknemers van de pompstations, met als gevolg dat verschillende grondwaterpompstations agressief drinkwater distribueren en dat ernstige corrosie voorkomt, wat tot klachten over bruin water leidt.

Het gebruik van schelpen in Suriname voor het conditioneren van drinkwater staat onder druk. Schelpen worden namelijk ook gebruikt voor andere doeleinden, zoals het verbeteren en neutraliseren van zure landbouwgronden. Hierdoor dreigt de voorraad aan schelpen op termijn op te raken.

Door de Surinaamse overheid is een renova-

tieprogramma opgesteld voor de pompstations die momenteel onder de verantwoordelijkheid van het ministerie van Natuurlijke Hulpbronnen vallen. Na renovatie zullen deze overgedragen worden aan de Surinaamse Waterleiding Maatschappij. In dit kader dient een methode ontwikkeld te worden om afhankelijk van de ruwwaterkwaliteit de noodzakelijke zuiveringsprocessen en de juiste procesvolgorde te selecteren.

## Onderzoeksdoelen

In het kader van een afstudeerproject aan de TU Delft is onderzoek verricht dat operationele richtlijnen moet opleveren met betrekking tot het ontwerp en de bedrijfsvoering van schelpenfilters, een methode om de keuze van de benodigde processen en procesvolgorde voor pompstations met agressief grondwater te selecteren, gebaseerd op de kwaliteit van het ruwwater, én alternatieve ophardingsmaterialen.

Van zes pompstations van de Surinaamsche Waterleiding Maatschappij en zes pompstations van het ministerie van Natuurlijke Hulpbronnen is geprobeerd gegevens van de waterkwaliteit te achterhalen.

Van elk pompstation zijn waterkwaliteitsdata aanwezig (zie tabel 1), zij het voor sommige pompstations slecht in beperkte mate en niet voor alle relevante parameters. Voor het inventariseren van de toegepaste zuiveringsprocessen is een bezoek gebracht

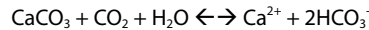
aan de stations en zijn interviews afgenomen met de bedrijfsleiders en technische en productiemedewerkers om operationele gegevens te verzamelen. Tijdens de bezoeken werd geconstateerd dat op enkele pompstations geen schelpenmateriaal in de filters aanwezig was. Omdat de schelpen te vaak aangevuld moesten worden, liepen de operationele kosten te hoog op.

### Normstelling conditioneren

In Suriname worden de WHO-richtlijnen gebruikt als maatstaf voor gezond en veilig drinkwater. Deze bevatten echter geen waarden voor de conditioneringparameters, zoals SI, pH en de concentraties calcium en bicarbonaat. De WHO-richtlijnen zijn namelijk gebaseerd op de effecten op de publieke gezondheid. De conditioneringparameters hebben geen directe relatie met de volksgezondheid, maar meer met de corrosie van het distributienet en de kosten die daarmee gemoeid zijn. Tabel 2 geeft de Surinaamse en Nederlandse normen. De normen in Nederland worden in het vervolg van dit artikel gebruikt als richtlijn waaraan de waterkwaliteitsdata van het drinkwater van de pompstations getoetst worden.

### Theorie conditioneren agressief water

Conditionering van agressief water door filtratie over kalksteen kan worden uitgedrukt door onderstaande vergelijking. Deze wordt het kalkkoolzuurevenwicht genoemd.



Wanneer de concentraties pH, calcium en bicarbonaat bekend zijn, kan de saturatie-index (SI) berekend worden met behulp van de twee onderstaande vergelijkingen<sup>2)</sup>:

$$\text{pH}_1 = \log K_1 - \log K_2 (\text{Ca}^{2+}) (\text{HCO}_3^-)$$

$$\text{SI} = \log \left[ \frac{(\text{Ca}^{2+})(\text{HCO}_3^-)^2}{K_2} \right] = \text{pH} - \text{pH}_1$$

Wanneer uitgegaan wordt van de veronderstelling dat de verhouding  $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$  1:2 is (Tillmans-conditie), kan afbeelding 1 (links) geconstrueerd worden. Deze grafiek geeft de evenwichtsconcentratie  $\text{HCO}_3^-$  en dus ook van  $\text{Ca}^{2+}$  bij een bepaalde pH. Aan de hand van de grafiek kan bepaald worden of water kalkafzettend of -agressief is. Afbeelding 1 kan direct afgeleid worden uit de welbekende Tillmanscurve<sup>3)</sup>. Door de Nederlandse normen in te passen in het

linkerdeel van de grafiek kan rechts worden afgelezen in welk gebied de optimale watersamenstelling voor publieke drinkwater ligt<sup>4)</sup>.

### Alternatieve conditioningsmaterialen

Het criterium voor het vinden van alternatieven ter vervanging van de schelpen was het vinden van carbonaatrijke materialen die gebruikt kunnen worden als filtermedium. Uit interviews met onder meer de geologische mijnbouwdienst bleek dat naast schelpen geen alternatieve filtermedia in Suriname beschikbaar zijn voor de conditionering van agressief water.

In Nederland wordt voor de conditionering van agressief water marmersfiltratie toegepast, waarbij het filterbed uit marmerskorrels bestaat. Voor dit onderzoek is gekeken of kalksteenkorrels, ook wel marmerskorrels genoemd, geschikt zijn voor de conditionering van agressief water in Suriname.

Een ander alternatief voor schelpen zijn de onthardingspellets die verkregen worden na het proces van ontharding. Door het hoge gehalte aan calciumcarbonaat zijn de onthardingspellets in theorie geschikt voor de conditionering van agressief water. Net als voor de kalksteenkorrels is gekeken of de onthardingspellets geschikt zijn als filtermedium voor de conditionering van agressief water in Suriname.

Tabel 1: Waterkwaliteitsdata van het ruwe water van diverse pompstations.

pompstation	pH (-)	concentratie calcium (mmol/l)	concentratie bicarbonaat (mmol/l)	SI (-)	pH <sub>s</sub> (= pH-SI) (-)
Koewarasan	6	0.55	1.44	-2.3	8.3
La Vigilantia	3.9	0.05	< 0.02	-7.3	11.2
Leiding 9A	6.2	0.8	2.51	-1.7	7.9
Leysweg	5.7	0.63	1.80	-2.4	8.1
Meerzorg	6.25	0.13	1.52	-2.7	8.95
Pontbuiten	6	1.9	1.31	-1.8	7.8
Tourtonne	6.55	0.25	2.64	-1.8	8.35
Uitkijk	6.25	0.2	1.0	-2.7	8.95
Flora	5.99	0.27	1.42	-2.6	8.59
Helena Christina	5.81	0.31	1.13	-2.8	8.61
Republiek	4.98	0.02	0.17	-5.7	10.68
Van Hattemweg	6.10	0.22	1.39	-2.6	8.7

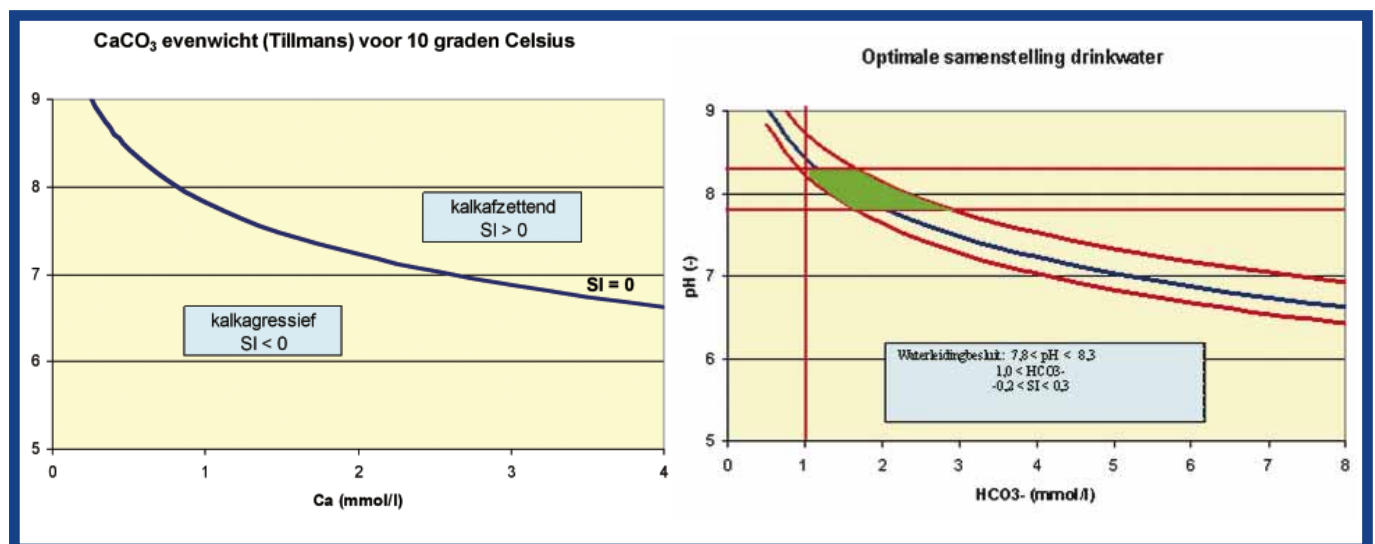
### Experimenten

Voor het opstellen van operationele richtlijnen en het vinden van alternatieve

Tabel 2. De normen voor conditioneringsparameters.

parameter	normen in Suriname	normen in Nederland (Waterleidingbesluit 2004)
pH	geen	7.8 > pH > 8.3
concentratie bicarbonaat	geen	> 1 mmol/l
SI	geen	-0.2 < SI < 0.3

Afb. 1: Evenwichts-pH als functie van de calciumconcentratie (links) en gebied van optimale watersamenstelling volgens de Nederlandse normstelling (rechts).





Schelpen die gebruikt zijn voor de ophardings-experimenten en een filtratiekolom vol schelpen.

ophardingsmaterialen heeft proefonderzoek plaatsgevonden in het laboratorium van Gezondheidstechniek van de TU Delft in bekerglasexperimenten en kolomproeven. De proeven zijn uitgevoerd met twee agressieve watersoorten (zie tabel 3). Als kalkhoudend filtermateriaal is gebruik gemaakt van kleine schelpen (0.5-3 mm), grote schelpen (2-12 mm), onthardingspellets (1-1.7 mm) en kalksteenkorrels (1.8-2.5 mm). Tijdens de kolomproeven varieerden de filtratiesnelheden tussen drie en tien meter per uur.

**Resultaten experimenten**

De bekerglasproeven hebben aangetoond dat zowel de kalksteenkorrels als de onthardingspellets geschikt zijn voor de conditionering van agressief water. Het soort materiaal heeft geen grote invloed op het conditioneringsproces. De verschillende soorten onthardingspellets (afkomstig van DZH, Oasen en Waternet) hebben allemaal vrijwel dezelfde oplosnelheid. De benodigde contacttijd voor het bereiken van het kalk-koolzuurevenwicht neemt toe bij toenemende korreldiameter.

Uit de kolomproeven blijkt dat een minimale contacttijd nodig is om een SI > -0,2 te bereiken (zie afbeelding 2). In aanvulling op de experimenten van Tillmans (1932) hebben de kolomproeven aangetoond dat de filtratiesnelheid van invloed is op de benodigde contacttijd voor het bereiken van het kalk-koolzuurevenwicht (zie afbeelding 3). De benodigde contacttijd neemt af bij een toenemende filtratiesnelheid. De reden hiervoor is dat door verhoging van de filtratiesnelheid de turbulentie in de kolom verhoogd wordt met als gevolg een hogere stofoverdracht.

**Modellering**

In de praktijk is het gewenst om op basis van de waterkwaliteit van het ruwwater de waterkwaliteit van het drinkwater te kunnen voorspellen bij een gegeven filterbedconfiguratie en bedrijfsvoering. De waterkwaliteit van het reine water kan berekend worden door het conditioneringsproces te simuleren met modellen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de waterkwaliteitsdata van het ruwe water en het modelleringsprogramma Stimela. Voor het conditioneringsproces is het belangrijk de reactieconstante *k* te weten.

De reactieconstante wordt berekend volgens de eerste orde-reactie:

$$\frac{dc}{dt} = -k(c-c_e)$$

waarvan de algemene oplossing is:

$$\frac{c-c_e}{c_0-c_e} = e^{-kt}$$

Deze reactieconstante geeft aan met welke snelheid het conditioneringsproces verloopt. Uit de eerder genoemde kolomproeven is de reactieconstante *k* berekend. Voor de kleine en grote schelpen en de kalksteenkorrels is een reactieconstante van 1,9 per



uur berekend; voor de onthardingspellets 4,5 per uur. Deze experimenteel gevonden reactieconstanten zijn vergeleken met de in literatuur gegeven reactieconstanten (zie tabel 4). Het verschil in de reactieconstanten van kolomproeven van dit onderzoek, Anderlohr en Aqua-Techniek wordt verklaard door het verschil in de gebruikte korreldiameter. De kolomproeven van dit onderzoek zijn uitgevoerd met een korreldiameter van 1,8 tot 2,5 millimeter, terwijl de experimenten van Anderlohr en Aqua-Techniek zijn uitgevoerd met een korreldiameter van respectievelijk 0,9 tot 1 millimeter en 1,2 tot 1,8 millimeter. Volgens de theorie neemt de reactieconstante toe bij afnemende korreldiameter.

Na invulling van de reactieconstante

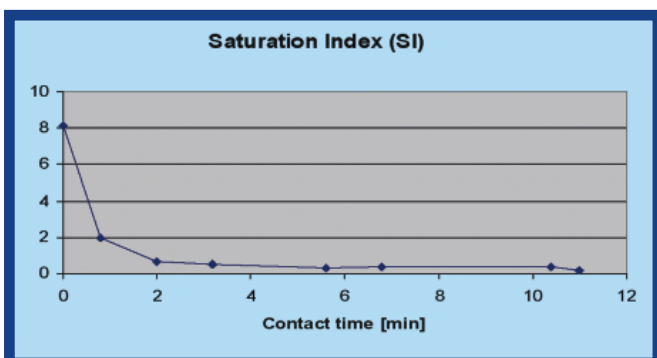
Tabel 3. Kwaliteit van het ruwwater in bekerglas- en kolomproeven.

soort water	pH (-)	p-getal (mmol/l)	calcium (mmol/l)	m-getal (mmol/l)	SI (-)
1	3.8	0.15	0	0.15	- 5.7
2	6.1	2.65	0	1.35	- 1.1

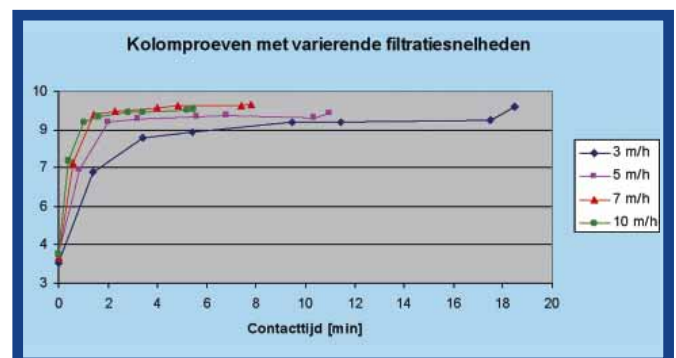
Tabel 4. Reactieconstanten voor verschillende filtermedia.

filtermedium	reactieconstante per uur kolomproeven		
	Anderlohr <sup>5)</sup>	Aqua-Techniek <sup>2)</sup>	
kalksteenkorrels	1.9	3.6	2.8
schelpen	1.9	--	--
onthardingspellets	4.5	--	--

Afb. 2: De SI als functie van EBCT. De kolomproef is uitgevoerd met watersoort 1 en grote schelpen bij een filtratiesnelheid van vijf meter per uur.



Afb. 3: De pH als functie van EBCT. De kolomproef is uitgevoerd met watersoort 1 en grote schelpen bij variërende filtratiesnelheden.



in Stimela kan de benodigde minimale contacttijd bepaald worden om een SI > -0,2 te bereiken. Deze contacttijd bedraagt ten minste 15 minuten. In die 15 minuten wordt een bepaalde hoeveelheid CaCO<sub>3</sub> geconsumeerd. Bij een gegeven debiet en filteroppervlak kan de filtratiesnelheid worden bepaald. Aan de hand van de geconsumeerde hoeveelheid CaCO<sub>3</sub>, een gegeven debiet en gegeven filteroppervlak kan de benodigde bedhoogte worden berekend. Bij een gekozen bedhoogte groter dan de benodigde bedhoogte, kan worden berekend hoe vaak het schelpenbed moet worden aangevuld. Voor pompstation La Vigilantia is deze berekening uitgewerkt. Bij een debiet van 130 kubieke meter per uur en een filtratiesnelheid van vijf meter per uur is berekend dat de benodigde bedhoogte 1,3 meter bedraagt. Bij een gekozen bedhoogte van 1,5 meter moet het schelpenbed na vier maanden worden aangevuld.

### Proceskeuze en -volgorde

De huidige procesvolgorde van de pompstations met agressief water is: winning, beluchting/ontgassing, snelfiltratie, beluchting/ontgassing, schelpenfiltratie, opslag en distributie. Doordat beluchting/ontgassing als eerste stap in de zuivering wordt toegepast, wordt een deel van de aanwezige kooldioxide uit het water verwijderd. Deze kooldioxide is juist nodig als drijvende kracht voor het conditioneringsproces.

Door de waterkwaliteitsdata van het ruwe water (tabel 2) te combineren met de evenwicht pH als functie van de bicarbonaatconcentratie (afbeelding 1 links) is het mogelijk snel inzicht te krijgen in de benodigde zuiveringsvolgorde. In afbeelding 4 is dit gedaan voor diverse pompstations in Suriname. Aan de hand van de waterkwaliteit van de watersoort kan worden gezien in welk gebied de te conditioneren watersoort zich bevindt. Gegeven de kwaliteit van het ruwwater en de normen voor de conditioneringsparameters pH en

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, kunnen drie conditioneringsprocessen worden toegepast:

- kooldioxidedosering en marmerfiltratie  
De pH en de concentratie HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> zijn te laag. Marmerfiltratie moet worden toegepast. Indien het water te weinig kooldioxide bevat, moet eerst kooldioxide worden toegevoegd aan het water;
- ontgassing en marmerfiltratie  
De pH en de concentratie HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> zijn te laag. Het water kan worden geconditioneerd door gedeeltelijk te ontgassen en marmerfiltratie toe te passen;
- ontgassing  
Het water bevat voldoende HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Alleen de pH moet worden verhoogd. Dit kan worden gedaan door te ontgassen.

Op alle pompstations uit tabel 1 wordt momenteel schelpenfiltratie toegepast voor de conditionering van het water. Afbeelding 4 laat echter zien dat voor de meeste pompstations schelpenfiltratie niet nodig is en dat alleen al met ontgassing kan worden voldaan om het chemisch te conditioneren. Schelpenfiltratie is alleen noodzakelijk voor de pompstations La Vigilantia en Republiek. Het probleem van de beperkte hoeveelheid schelpen wordt hierdoor deels opgelost. Deze zuiveringsopzet geldt alleen voor de chemische samenstelling van de gebruikte watersoort voor de kolom- en bekerglasproeven. Indien ijzer en mangaan in het water aanwezig zijn, zal onderzocht moeten worden of gelijktijdige verwijdering in het schelpenfilter mogelijk is, zoals bekend is van pompstation Bergen op Zoom<sup>6)</sup>.

### Conclusies

Door de theorie en praktijk van het conditioneren van agressief water te combineren met de waterkwaliteit van het ruwwater van de pompstations, is het goed mogelijk de benodigde zuiveringsopzet te bepalen voor elk pompstation. Schelpenfiltratie blijkt alleen nodig te zijn voor de pompstations La Vigilantia en Republiek. Het agressief water van de andere pompstations kan

worden geconditioneerd door middel van ontgassing. Aanbevolen wordt aan de Surinaamsche Waterleiding Maatschappij om van het ruwe water ook de waterkwaliteitsparameters Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en CH<sub>4</sub> te laten analyseren.

Het doel van de kolomproeven was onder andere om het gedrag van de schelpenfilters te bestuderen. De kolomproeven met schelpen en variërende filtratiesnelheden hebben aangetoond dat de reactieconstante wordt beïnvloed door de filtratiesnelheid. De reactieconstante neemt toe bij toenemende filtratiesnelheid. Dit wordt verklaard door de toenemende turbulentie van de stroming bij een hogere filtratiesnelheid. De kolomproeven hebben tevens aangetoond dat minimale contacttijd van ten minste 15 minuten nodig om een SI > -0.2 te kunnen bereiken. Voor de schelpen en kalksteenkorrels is een reactieconstante van 1.9 per uur gevonden en voor de onthardingspellen een reactieconstante van 4.5 per uur.

Door gebruik te maken van het modeleringprogramma Stimela kan voor elke agressieve watersoort het conditioneringsproces worden voorspeld en hiermee ook de waterkwaliteit van het productwater. Met behulp van de reactieconstante van het filtermateriaal kan dan de looptijd van het schelpenbed bepaald worden.

*Exemplaren van het afstudeerwerk zijn opvraagbaar bij de secretaresse van de sectie gezondheidstechniek: Mieke Hubert (015) 278 33 47.*

### LITERATUUR

- 1) Waterleidingbesluit (2004). Staatsblad nr. 576.
- 2) Van Dijk H. en P. de Moel (1983). Kalkkoolzuurevenwicht opnieuw bezien. DHV.
- 3) Tillmans J., P. Hirsch en A. Eschenbrenner (1932). Über die Geschwindigkeit der Entsauring kohlenzurehaltiger Wasser beim Marmarrieselungsverfahren. Vom Wasser pag. 59-91.
- 4) De Moel P., J. Verberk en H. van Dijk (2009). Hardness and conditioning of drinking water. Water Management Academic Press. In voorbereiding.
- 5) Anderlohr A. (1976). Experimentelle Untersuchungen zur Auflösung von Calciumkarbonat durch Kohlensäurehaltige Wasser in Schüttungen. Veröffentlichungen des Bereichs und des Lehrstuhls für Wasserchemie.
- 6) Oomen J., P. de Moel en H. van Dijk (1983). Marmerfiltratie van ijzerhoudend agressief grondwater. H<sub>2</sub>O nr. 2, pag. 40-44.

**Afb. 4: Waterkwaliteitsdata van het ruwwater van de pompstations van de Surinaamsche Waterleiding Maatschappij en de benodigde zuiveringsprocessen.**

