

Gezuiverd afvalwater als grondstof voor de drinkwaterbereiding

Literatuurstudie

Een voorbeeld van het gebruik van effluent van een rioolwaterzuiveringsinstallatie voor drinkwaterbereiding, dat een direct hergebruik het meest nabijkomt wordt gevonden in de Windhoek Water Reclamation Plant in Zuid-West Afrika. In de engelstalige literatuur wordt het hergebruik aangegeven met termen als waste-water reclamation, waste-water re-use en waste-water renovation. Met deze uitdrukkingen worden niet altijd processen aangeduid waarbij een zo vergaande graad van zuivering wordt bereikt al op de installatie te Windhoek. Meestal wordt bedoeld dat het effluent van een oxydatief-biologische rioolwaterzuiveringsinstallatie een fysisch-chemische behandeling ondergaat. De uiteindelijke kwaliteit die met de verdergaande zuiveringsprocessen wordt nagestreefd hangt samen met het gebruik dat van het verkregen water zal worden gemaakt. Naar toepassingsgebied kan men onderscheid maken in:

- a. hergebruik voor industriële doeleinden;
- b. hergebruik voor agrarische doeleinden;
- c. hergebruik voor recreatieve doeleinden;
- d. hergebruik voor de drinkwatervoorziening.

Een overzicht uit de literatuur van het hergebruik voor de verschillende doeleinden wordt gegeven in de publicatie „Huishoudelijk afvalwater, nu en in de toekomst” van ir. W. A. H. Brouwer [1].

In het hiernavolgende overzicht wordt meer aandacht besteed aan het hergebruik voor de openbare drinkwatervoorziening. Middleton schrijft hierover: „Much interest and several projects are in various stages of development to

re-use treated municipal effluents for injecting underground, in recreational lakes and parks, industrial purposes, and irrigation. With these re-use applications serving as the testing grounds, it will be a logical step to extend re-use technology for providing direct supplementation of domestic waters” [2].

Het spreekt vanzelf dat het voor hergebruik ter beschikking komende afvalwater aanzienlijk in kwaliteit kan variëren. Het rioolwater kan door een gemengd rioolstelsel worden getransporteerd. Er kan uitsluitend huishoudelijk afvalwater worden aangevoerd, maar een combinatie van huishoudelijk- en industrieel afvalwater is ook mogelijk. Wordt van een gemengd rioolstelsel gebruik gemaakt dan zullen periodiek grote hoeveelheden met regenwater verdund rioolwater behandeld moeten worden. De situatie is weer anders wanneer bij regen het verdunde afvalwater in spaarbekkens wordt verzameld om nivellering van de aanvoer op de installatie te verkrijgen.

Een herhaald hergebruik van water zal een accumulatie van stoffen veroorzaken, die bij de zuivering niet uit het water worden verwijderd.

Tabel I, die aan literatuuropgave [3] ontleend werd, geeft een inzicht in de toeneming van de minerale en de organische verontreiniging na een eenmalig hergebruik voor huishoudelijke doeleinden. De in deze tabel aangegeven toeneming komt goed overeen met de door Brouwer in [1] weergegeven cijfers voor de gemiddelde toeneming van het gehalte aan minerale bestanddelen van stedelijk afvalwater in Israël (tabel II).

Middleton geeft de volgende toeneming per cyclus op:

	mg/l
natrium	40—700 (70?)
sulfaat	10—40
bicarbonaat	65—100
chloride	20—125
totaal opgeloste stof	100—500

Water, dat voor menselijke consumptie is bestemd moet vrij zijn van micro-organismen en van chemische stoffen die schadelijk zijn voor de gezondheid.

Brouwer zegt hierover:

„Microbiologische problemen:

De indentificatietechnieken voor virussen zijn thans nog onvoldoende ontwikkeld. Verscheidene studies hebben aangetoond, dat het aantal organismen van de Coli-

groep vaak een onvoldoende maatstaf is voor de beoordeling van het gehalte aan virussen in drinkwater, aangezien coliforme organismen in het algemeen gevoeliger zijn voor de gewoonlijk toegepaste zuiveringsprocessen dan bepaalde resistente enterovirusstammen. (Enterovirus is een groep virussen, opgebouwd uit DNA = desoxyribonucleïnezuur, die zich selectief hechten aan de cellen van het slijmvlies van het darmkanaal. De belangrijkste enterovirussen zijn het poliomyelitisvirus, het coxsackie en de ECHO-virussen).

Onderzoekers aan de Hebreeuwse universiteit in Jerusalem hebben aangetoond, dat de poliovirus onder bepaalde omstandigheden resistent kan zijn tegen hoge chloordoseringen. Ook het virus, dat de besmettelijke leverontsteking (hepatitis infectiosa) verwekt, is waarschijnlijk bijzonder resistent tegen de zuiveringsmethoden voor afvalwater en drinkwater.

Toch zijn de microbiologische problemen voor de toekomst waarschijnlijk niet zo groot, ook al omdat volgens de meeste medici ten gevolge van de succesvolle bestrijding van vele besmettelijke ziekten de frequentie ervan voortdurend afneemt.

Minder gunstig lijkt de zaak wat betreft de chemische problemen. De toenemende chemificatie van onze maatschappij en het steeds algemener wordend gebruik van zeer giftige stoffen, die vaak moeilijk of nauwelijks afbreekbaar zijn, alsmede de toepassing van steeds weer nieuwe moeilijk opspoorbare toxische werkende producten en cancerogene stoffen is een verontrustende ontwikkelings-tendens.

De ophoping van minerale zouten bij de recirculatie van afvalwater is een vraagstuk van geringer formaat. Een

TABEL I

	toeneming in mg/l
calcium (als CaCO ₃)	15—40
magnesium (als CaCO ₃)	15—40
natrium (als Na)	40—70
kalium (als K)	7—15
sulfaat (als SO ₄)	15—30
chloride (als Cl)	
(in combinatie met Ca, Mg en Na)	30—75
fosfaat (als PO ₄)	20—40
nitraat (als NO ₃)	0—18
totaal stikstof (als N)	20—40
totaal opgeloste stof	100—350
BOD	300
COD	500
synthetische dertergenten	6

TABEL II - Gemiddelde toeneming van het gehalte aan minerale bestanddelen van stedelijk afvalwater in Israël.

	g per hoofd per dag (bij een verbruik van 120 l)	
	mg/l	
N toeneming	40,0	5,00
K	20,0	2,50
P	7,0	1,0
Cl	80,0	10,0
B	0,4	0,05
Na	80,0	10,0
Totale hardheid (als CaCO ₃)	25,0	3,00
Totale hoeveelheid opgeloste stoffen	370,0	45,0

dergelijke ophoping kan voldoende in toom worden gehouden door demineralisatie-procédés toe te passen."

Het drinkwater moet ook in esthetisch opzicht aan zekere maatstaven voldoen. De afwezigheid van troebelheid, kleur, onaangename smaak en geur is voor de drinkwatervoorziening van groot belang.

Tabel III, die is overgenomen uit het artikel „Normen voor drinkwaterkwaliteit” van dr. C. O. Schaeffer uit het tijdschrift *H₂O* (4) 1971, nr. 12 geeft een samenvatting van de voornaamste Amerikaanse en Nederlandse drinkwaternormen.

In tabel IV staan de door de World Health Organization aanbevolen waarden voor

drinkwater vermeld (tenzij anders aangegeven in mg/l) [3].

Het is niet uitgesloten dat de conventionele afvalwaterzuiveringsprocessen op den duur in onvoldoende mate de toename van de verontreiniging van de oppervlaktewateren kunnen beteugelen. Mede gezien het toenemend gebruik dat van deze wateren voor de drinkwa-

TABEL III

	USA		Nederland		
	USPHS Standards 1962		Waterleiding-besluit	VEWIN-aanbevelingen	
	I ¹	II ²	niet groter dan:	bij voorkeur kleiner dan:	niet groter dan:
alkylbenzeensulfonaat	0,5 mg/l	—	—	—	—
actieve kool-chloroformextract	0,2 mg/l	—	—	—	—
agressiviteit t.o.v. calciumcarbonaat	—	—	—	—	afwezig
agressiviteit t.o.v. koper	—	—	—	—	3 mg/l na 16 uur
agressiviteit t.o.v. lood	—	—	—	—	0,3 mg/l na 16 uur
agressiviteit t.o.v. zink	—	—	—	—	15 mg/l na 16 uur
ammonium	—	—	—	0,05 mg/l	0,2 mg/l
arsenicum	0,01 mg/l	0,05 mg/l	0,2 mg/l	—	—
barium	—	1,0 mg/l	—	—	—
cadmium	—	0,01 mg/l	—	—	—
chloride	250 mg/l	—	—	100 mg/l	250 mg/l
chromium	—	0,05 mg/l	0,05 mg/l	—	—
cyanide	0,01 mg/l	0,2 mg/l	0,01 mg/l	—	—
fluoride	— ³	—	—	—	1,2 mg/l ³
hardheid	—	—	—	—	5 mg/l (14 D°)
kleur	15 units	—	—	10 mg/l Pt	20 mg/l Pt
koper	1 mg/l	—	—	—	—
lood	—	0,05 mg/l	0,01 mg/l	—	—
mangaan	0,05 mg/l	—	—	afwezig	0,05 mg/l
nitriet	—	—	1 mg/l	—	—
nitraat	45 mg/l ⁴	—	100 mg/l	—	—
opgeloste stof (droogrest)	500 mg/l	—	—	—	—
organische stof (KMnO ₄ -verbruik)	—	—	—	10 mg/l	20 mg/l
phenolen	0,001 mg/l	—	—	—	—
reuk- en smaakgetal	3	—	—	—	2
selenium	—	0,01 mg/l	0,05 mg/l	—	—
sulfaat	250 mg/l	—	—	—	—
temperatuur	—	—	—	—	5 - 15° C ⁵
troebeling	5 units	—	—	0,1° SiO ₂	0,5° SiO ₂
ijzer	0,3 mg/l	—	—	0,05 mg/l	0,1 mg/l
zilver	—	0,05 mg/l	—	—	—
zink	5 mg/l	—	—	—	—
zuurstof	—	—	—	—	ten minste groter dan 2 mg/l zo mogelijk groter dan 4 mg/l bij voorkeur groter dan 6 mg/l
Ra - 226	—	3pc/l	—	—	—
Sr - 90	—	10pc/l	—	—	—
β-activiteit bij afwezigheid van Sr - 90 en α-stralers	—	1000pc/l	—	—	—
gemiddelde β-activiteit na aftrek van de kalium-activiteit over een vol kalenderjaar	—	—	—	—	10pc/l

¹ I = chemical substances that should not be present in excess of the listed concentrations in a water supply where other more suitable supplies are or can be made available.

² II = substances in excess of the listed concentration shall constitute grounds for rejection of the supply.

³ in de door de minister van Sociale Zaken en volksgezondheid aan de waterleidingbedrijven verleende vergunningen tot fluoridering van het drinkwater wordt bepaald, dat dient te worden gestreefd naar een gehalte van 1,1 mg F/l water, terwijl een gehalte van 1,2 mg/l incidenteel niet mag worden overschreden. De USPHS staat een belangrijk grotere marge toe maar houdt daarbij rekening met de gemiddelde temperatuur van het milieu:

annual average of maximum daily air temperatures (based on temperature data obtained for 2 minimum of five years)	recommended control limits fluoride concentrations in mg/l		
	lower	optimum	upper
10.0 - 12.1 °C	0.9	1.2	1.7
12.2 - 14.6 °C	0.8	1.1	1.5
14.7 - 17.6 °C	0.8	1.0	1.3
17.7 - 21.4 °C	0.7	0.9	1.2
21.5 - 26.2 °C	0.7	0.8	1.0
26.2 - 32.5 °C	0.6	0.7	0.8

⁴ in areas in which the nitrate content of water is known to be in excess of the listed concentration, the public should be warned of the potential dangers of using the water for infant feeding.

⁵ bovendien wordt verlangd, dat de temperatuur van het water zo gelijkmatig mogelijk is.

tervoorziening zal moeten worden gemaakt zal dan ook steeds meer worden aangedrongen op een verdergaande zuivering van het afvalwater.

Uit dien hoofde is het begrijpelijk dat de „advanced treatment”*) momenteel in de belangstelling staat. In 1960 startte in Amerika het „Advanced Waste-Treatment Research Program”. Een groot deel van de werkzaamheden van het Robert A. Taft Water Research Center in Cincinnati, Ohio is aan dit soort onderzoek gewijd [2].

Als alternatief voor het conventionele oxydatief-biologisch zuiveringsproces wordt op verschillende plaatsen chemische behandeling van ongezuiverd of mechanisch gezuiverd rioolwater en een daarop volgende behandeling met actieve kool onderzocht. Tabel 5 geeft de resultaten van een proef te Lebanon, Ohio [2].

Voor de toepassing van gegraneerde actieve kool kan naar literaturopgave [4] worden verwezen. Stander c.s. geeft een beschrijving van het gebruik van actieve kool in poedervorm als onderdeel van een installatie voor de behandeling van oxydatief-biologisch gezuiverd afvalwater [5].

Met behulp van verbeterde filtratietechnieken, „tube settlers” (bezinking in buizenpakketten), zeven en het gebruik van chemicaliën kan een aanzienlijke verbetering in de verwijdering van de bezinkbare stoffen worden verkregen. Actieve kool kan een verdere vermindering van de opgeloste organische stoffen bewerkstelligen. Voor de verwijdering van organische stof kunnen ozon en atomair chloor (verkregen uit Cl₂ onder invloed van Ultraviolet licht) gebruikt worden. Ten aanzien van fosfaatverwijdering bestaan een aantal werkwijzen die op chemische precipitatie berusten (zie het tijdschrift H₂O (4) 1971, nr. 4, blz. 79 - 85).

Ammoniak kan uit het afvalwater worden verwijderd door: a. het er met lucht uit te blazen na pH verhoging tot ca. 10,5 door kalktoevoeging; b. door adsorptie aan materialen voor selectieve ionenwisseling, gevolgd door regeneratie van de ionenwisselaar met kalkmelk en „air stripping”; c. door oxydatie met chloor; d. door nitrificatie met daaropvolgende denitrificatie.

Bij de laatste methode wordt als voedingsbron voor de organismen in de denitrificatietrap organische koolstof, meestal in de vorm van methylalcohol toegevoegd. McCarty c.s. hebben een empirische vergelijking voor het schatten van de benodigde hoeveelheid methanol

opgesteld: $C_m = 2,47 N_0 + 1,53 N_1 + 0,87 D_0$. In de vergelijking is C_m de concentratie methanol (mg/l) die nodig is om N_0 mg/l nitraat (als N) en N_1 mg/l nitriet (als N) te denitrificeren wanneer de aanvankelijke concentratie aan opgeloste zuurstof D_0 mg/l bedraagt [6]. Met behulp van het oxydenitroproces, dat door Pasveer in het tijdschrift H₂O (4) 1971, nr. 22 wordt beschreven zou tegen geringe kosten een hoge graad van denitrificatie bereikt kunnen worden zonder de nadelen die zijn verbonden met de andere denitrificatie processen. Voor een verdere ontwikkeling op technische schaal van het oxydenitroproces werd door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat een subsidie toegezegd. Demineralisatie kan met behulp van ionenwisselaars, elektrolyse, omgekeerde osmose en destillatie worden verkregen.

Genoemde processen moeten voor toepassing op grote schaal nog verder ontwikkeld worden. Een beschrijving van de huidige stand van zaken ten aanzien van „advanced treatment” in Amerika, Engeland en Zuid-Afrika kan men vinden in de literaturopgaven [2, 7, 5]. Op te merken is hierbij dat in [5] de bestanddelen van het afvalwater worden geklassificeerd in stoffen die wel en stoffen die niet coaguleerbaar zijn. Deze klassificatie met de daarbij aangegeven zuiveringsprocessen is opgenomen als afb. 1.

In de literatuur [2, 8] wordt de South Tahoe Water Reclamation Plant beschreven als de installatie met de meest vergaande zuivering in Amerika. Afb. 2 geeft een schematische weergave van deze installatie [8].

Het eindproduct van het proces wordt echter niet voor de drinkwatervoorziening gebruikt, maar afgevoerd naar een reservoir en vervolgens gebruikt voor agrarische- en recreatieve doeleinden. De capaciteit van de installatie bedraagt 28.400 m³ per dag. De eerste trap van het zuiveringsproces is een conventionele oxydatief-biologische zuivering.

Aan het effluent daarvan wordt ± 400 mg kalk (als CaO) per liter toegevoegd, zodat een pH=11 wordt verkregen. De kalk wordt onder intensieve mechanische agitatie toegevoegd. In een daarop volgende tank wordt langzaam met lucht geroerd onder toevoeging van ± 0,2 mg/l polymeer, waarna de vloeistof in een bezinkbassin wordt gevoerd. Op deze

TABEL IV

	World Health Organization	
	Maximum acceptable (Desirable)	Maximum allowable (Permissible)
Total solids	500	1.500
Colour (Hazen scale)	5 units	50 units
Turbidity (Jackson)	5 units	25 units
Taste and odour	Unobjectionable	NS
pH	7.0 - 8.5	6.5 - 9.2
Ammonia (as NH ₃)	0.5	NS
Synthetic detergents (ABS)	0.5	1.0
Arsenic (as As)	Absent	0.05
Barium (as Ba)	Absent	1.0
Boron (as B)	Absent	1.0
Calcium (as Ca)	75	200
Cadmium (as Cd)	Absent	0.01
Chlorides (as Cl)	200	600
Carbon chloroform extract	0.2	0.5
Chromium (as Cr)	Absent	0.05
Copper (as Cu)	1.0	1.5
Cyanide (as CN)	Absent	0.2
Fluorides (as F)	1.0 - 1.5+	1.0 - 1.5+
Iron (as Fe)	0.3	1.0
Lead (as Pb)	Absent	0.05
Magnesium (as Mg)	50	150
Manganese (as Mn)	0.1	0.5
Nitrate and nitrite (as N)	10	10
Phenols	0.001	0.002
Selenium (as Se)	Absent	0.01
Sulphates (as SO ₄)	200	400
Magnesium + Na ₂ SO ₄	500	1.000
Zinc (as Zn)	5	15
Radio nuclides (gross beta activity)	NS	1.000 μμ/l
Total hardness (as CaCO ₃)	NS	NS
Alkalinity (as CaCO ₃)	NS	NS
Silica (as SiO ₂)	NS	NS

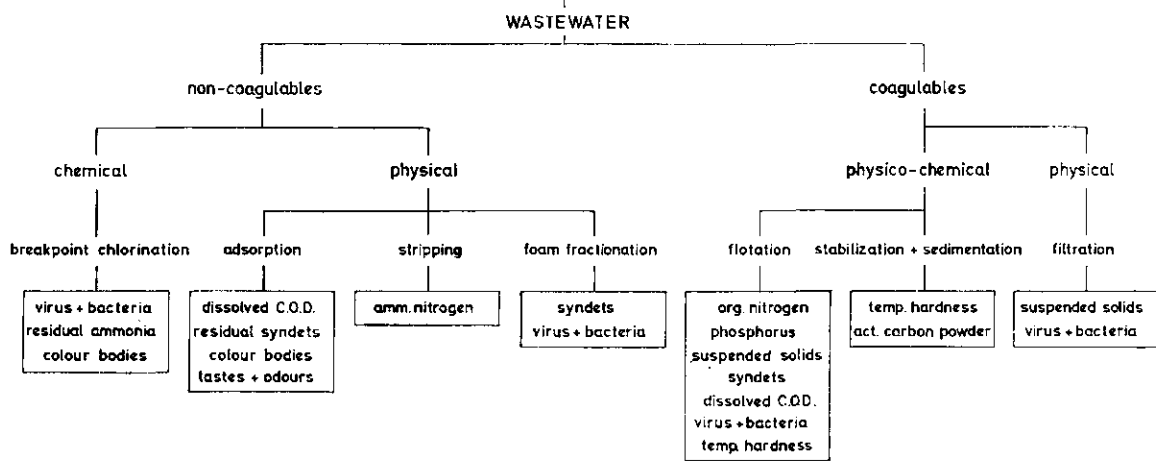
+ = depending on temperature
NS = not specified

wijze wordt een stevige goed bezinkbare vlok gevormd, daarboven wordt een zekere verwijdering van fosfaten verkregen. Van de „clarifier” wordt het water naar de inrichting voor het ammoniak „strippen” gepompt. Daar het

TABEL V

		na mechanische zuivering	na klaring	na actieve koolbehandeling
BOD	mg/l	76	25	10
COD	mg/l	192	67	27
Zwevende stof	mg/l	85	< 10	< 1
Fosfor	mg/l	8,8	< 1	< 1
Troebelheid (Jackson Unit)		55	1,7	1,1

*) Onder „advanced treatment” wordt verstaan: a. fysisch-chemische behandeling van het effluent van een oxydatief-biologische zuiveringsinstallatie; b. reiniging van het afvalwater met behulp van een installatie, die zonder gebruik te maken van biologische zuivering vergelijkbare resultaten met het onder a. genoemde systeem levert.



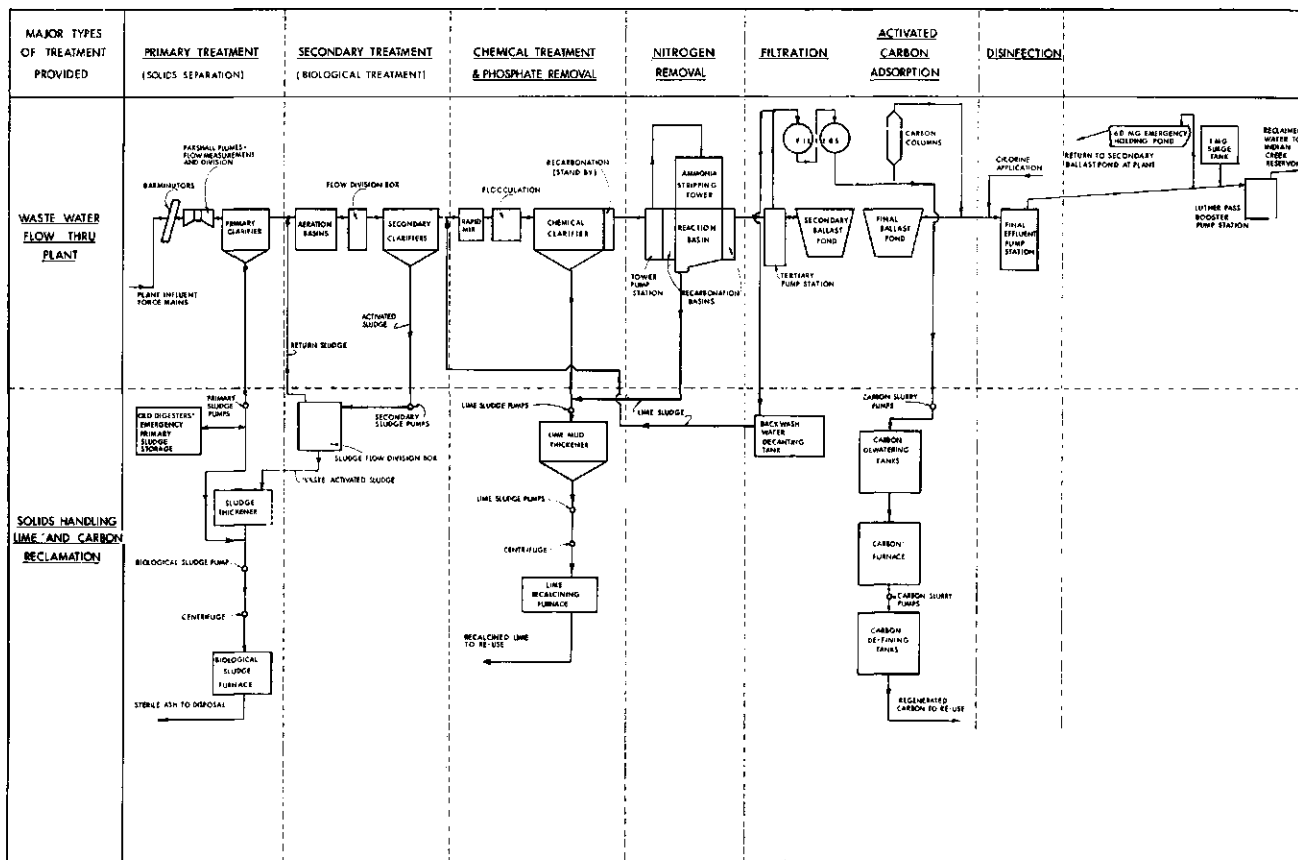
Afb. 1.

ammoniak door de hoge pH hoofdzakelijk als opgelost gas aanwezig is en de hoeveelheid ammonium-ion gering is, kan het ammoniak in een goed gedimensioneerde inrichting vergaand verwijderd worden. De overdracht van het gas uit het water aan de lucht is afhankelijk van de oppervlaktespanning aan het grensvlak water-lucht, van de ammoniakconcentratie in de omgevende lucht en van de temperatuur van de lucht en van het water. Voor het proces zijn zeer grote

hoeveelheden lucht vereist. Culp vermeldt dat ongeveer 3 m³ lucht per m³ water nodig is. Omdat een regeling van de temperatuur van lucht en water niet economisch kon worden opgelost, neemt men bij koud weer genoegen met een geringe reductie van de ammoniak. De reductie varieert van 50-98 %, afhankelijk van de temperatuur. Middleton wijst op het probleem van de vervuiling van de installatie door absorptie van koolzuur uit de lucht door de alkalische

vloeistof, waarbij calciumcarbonaat wordt gevormd. De aanroesting die hiervan het gevolg is, is niet altijd eenvoudig te bestrijden [2]. Het effluent van de stripinrichting wordt met CO₂-gas in een tweetrappige carbonatatie installatie behandeld. Tussen de twee carbonatatiebasins is een bezinkinrichting gesitueerd waaruit calciumcarbonaatslib continu wordt verwijderd. In de eerste trap wordt de pH teruggebracht van 11 tot 9,3, in de tweede trap van 9,3 tot 7,5.

Afb. 2.



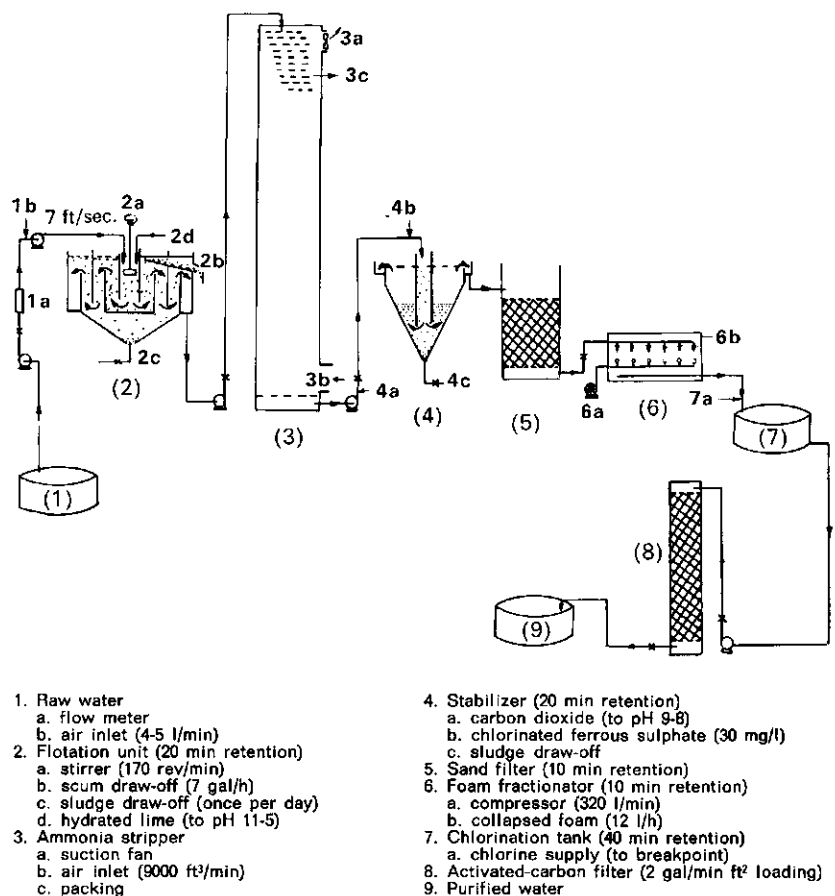
Het behandelde water wordt daarna in twee vijvers opgeslagen, die als een egalisatie buffer dienen voor de daarop volgende behandeling in zandfilters. Het water naar deze drukfilters wordt met ± 5 mg/l aluminium behandeld. Er staan drie paar filters met een zogenaamd mixed-media bed opgesteld.

Wanneer één paar filters een effluent van onvoldoende kwaliteit levert worden de filters buiten bedrijf gesteld en terugspoeld. Het spoelwater wordt in een voorraadtank opgevangen en geleidelijk naar het begin van het zuiveringsproces gevoerd. Na de filtratie stroomt het water onder druk naar acht actieve koolfilters, die elk 22 ton gegranuleerde kool bevatten ter verwijdering van nog aanwezige organische stof. De contacttijd bedraagt 15-45 minuten. Het effluent van de koolfilters heeft een zodanige kwaliteit dat het gebruik van chloor voor de desinfectie zeer efficiënt is. In tabel VI staan enkele resultaten vermeld, die met de beschreven installatie te Lake Tahoe werden verkregen [2].

Zoals in het begin van dit overzicht werd vermeld is de installatie te Windhoek het meest bekende voorbeeld van het gebruik van afvalwater voor de drinkwatervoorziening. Aan de uiteindelijke bouw van de installatie ging een onderzoek met behulp van een proefinstallatie vooraf dat in [9] wordt beschreven. In afb. 3 is de proefinstallatie tezamen met de grondslagen weergegeven. De installatie heeft een capaciteit van 4545 liter per uur.

Het onderzoek werd verricht met mechanisch gezuiverd afvalwater en met het effluent van een tweetrappige biologische zuiveringsinstallatie met oxydatiebedden.

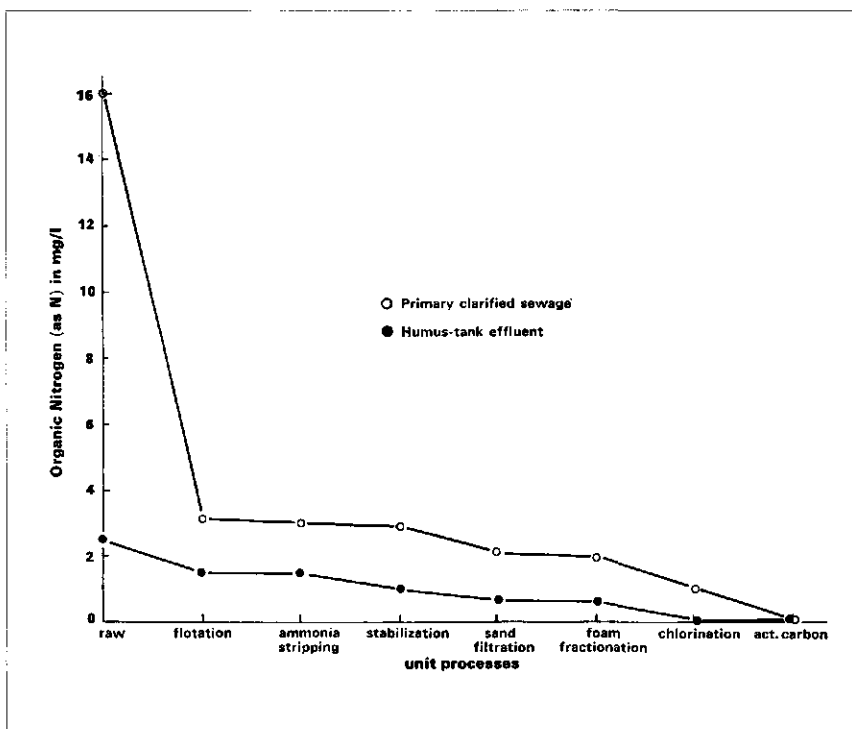
Met behulp van een speciaal ontwikkelde flotatie techniek wordt de eerste zuivering verkregen. Door een luchtaansluiting op een centrifugaalpompe worden gedispergeerde luchtbellen ontwikkeld, die het opdrijven van de zwevende en de geaguleerde stoffen bevorderen. De drijfslaag bestaat uit uitgevlokte organische stof, magnesiumhydroxide en calciumcarbonaat. De drijfslaag is stabiel en wordt continu door een schrapermechanisme verwijderd. Aangezien door de behandeling met een overmaat kalk een hoge alkaliteit is verkregen, worden de bacteriën en de virussen gereduceerd. De ammoniak wordt door strippen met



1. Raw water
 - a. flow meter
 - b. air inlet (4-5 l/min)
2. Flotation unit (20 min retention)
 - a. stirrer (170 rev/min)
 - b. scum draw-off (7 gal/h)
 - c. sludge draw-off (once per day)
 - d. hydrated lime (to pH 11-5)
3. Ammonia stripper
 - a. suction fan
 - b. air inlet (9000 ft³/min)
 - c. packing
4. Stabilizer (20 min retention)
 - a. carbon dioxide (to pH 9-8)
 - b. chlorinated ferrous sulphate (30 mg/l)
 - c. sludge draw-off
5. Sand filter (10 min retention)
 - a. scum draw-off
 - b. collapsed foam (12 l/h)
6. Foam fractionator (10 min retention)
 - a. compressor (320 l/min)
 - b. collapsed foam (12 l/h)
7. Chlorination tank (40 min retention)
 - a. chlorine supply (to breakpoint)
8. Activated-carbon filter (2 gal/min ft² loading)
9. Purified water

Afb. 3.

Afb. 4.



TABEL VI

		procenten van de tijd		
		50	80	100
BOD	mg/l	< 1,0	2,5	3,9
COD	mg/l	< 9	10	22
zwevende stof	mg/l	< 0	0	0
fosfor (als P)	mg/l	< 0,06	0,12	0,27
troebelheid (JU)		0,4	0,5	1,3

De pH was 6,6 - 8,7.

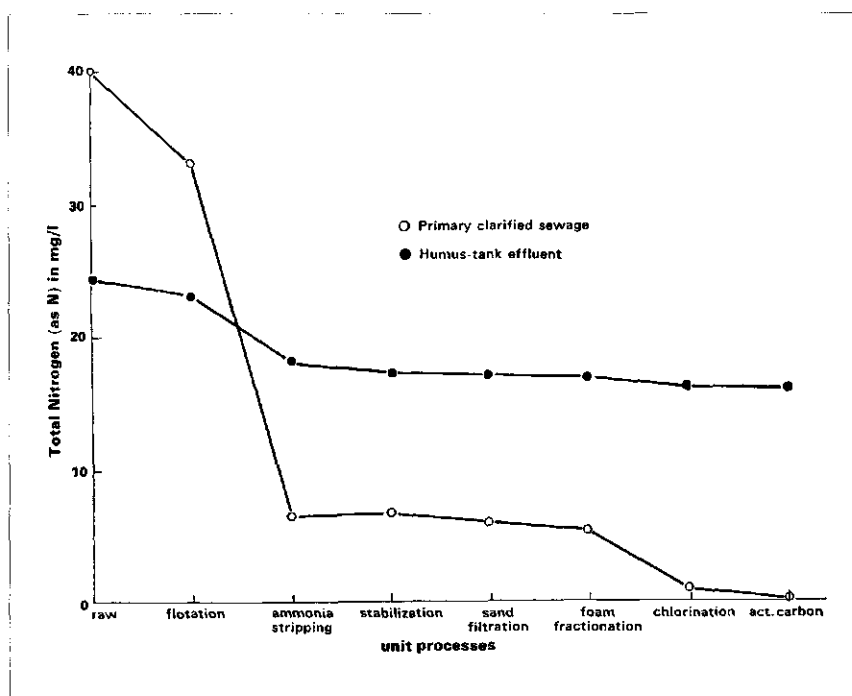
lucht verwijderd. De verwijdering van ammoniak door middel van breekpunt-chloring vereiste bij hoge ammoniak-concentraties aanzienlijk hogere kosten dan het proces van „air-stripping”. In de carbonatatie-eenheid wordt de overmaat kalk na carbonatatie tot een pH = 9,8 — 10,2 grotendeels als calcium-carbonaat neergeslagen. Om de bezinking van het fijn gedispergeerde CaCO₃ te bevorderen wordt nog een dosis van 30 mg gechloreerd ijzersulfaat toegevoegd. In deze proces-eenheid wordt de tijdelijke hardheid tot een minimum gereduceerd; de biochemische kwaliteit van het water verbetert door adsorptie van bacteriën en virussen aan de vlok. Door snelfiltratie wordt de resterende zwevende stof verwijderd. De snelfiltratie vormt bovendien nog een barrière voor bacteriën en virussen. In een schuimafscheider worden synthetische detergents uit de vloeistof verwijderd. Het effluent van de schuimafscheider ondergaat een breekpuntchloring:

- als absolute (?) veiligheid tegen bacteriën en virussen;
- voor een totale oxydatie van het restgehalte ammoniak en
- voor verwijdering van kleur door sporen opgelost humusachtig materiaal.

Tot slot is een actief koolfilter ingeschakeld. Hier worden resten van detergents en organische stof geadsorbeerd. De chloorsmaak en de geur worden weggenomen. De resultaten van de proefnemingen zijn in de figuren 4 tot 12 overzichtelijk weergegeven.

Gedurende de zomermaanden werd een vermindering van de ammoniakconcentratie in het effluent van de biologische installatie waargenomen; het gehalte aan nitraten was dan hoog. Bij de lage concentraties van ammoniak was breekpunt-chloring economisch te verantwoorden. Maar tijdens de wintermaanden was het strippen noodzakelijk om voor de desinfectie met geringe hoeveelheden chloor te kunnen werken. Tabel VII geeft een samenvatting van de resultaten. Het verschil in kwaliteit tussen het verkregen water uitgaande van het effluent van de biologische installatie en van het mechanisch gezuiverd afvalwater komt voornamelijk tot uitdrukking in het nitraatgehalte.

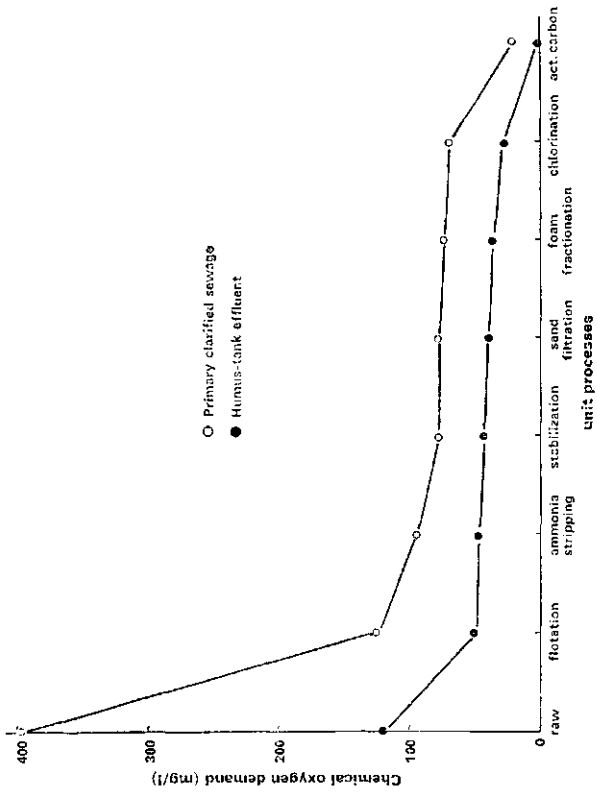
De Windhoek Water Reclamation Plant werd in januari 1970 officieel geopend. De installatie heeft een capaciteit van 200 m³ per uur. Het afvalwater wordt in een conventionele oxydatief-biologische installatie behandeld. Het effluent van de installatie wordt naar een stelsel van vijvers afgevoerd, waarin het een verblijftijd van 14 dagen heeft. In de vijvers vindt 's zomers door de activiteit van algen een efficiënte verwijdering van ammoniak plaats; in de wintermaanden worden hogere ammoniakconcentraties dan 10 mg/l gemeten. Afb. 12 geeft een schematische weer-



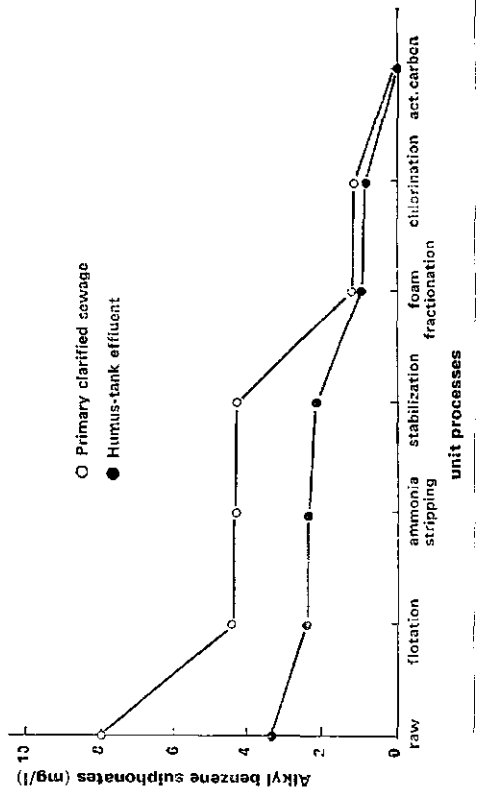
Afb. 5.

TABEL VII

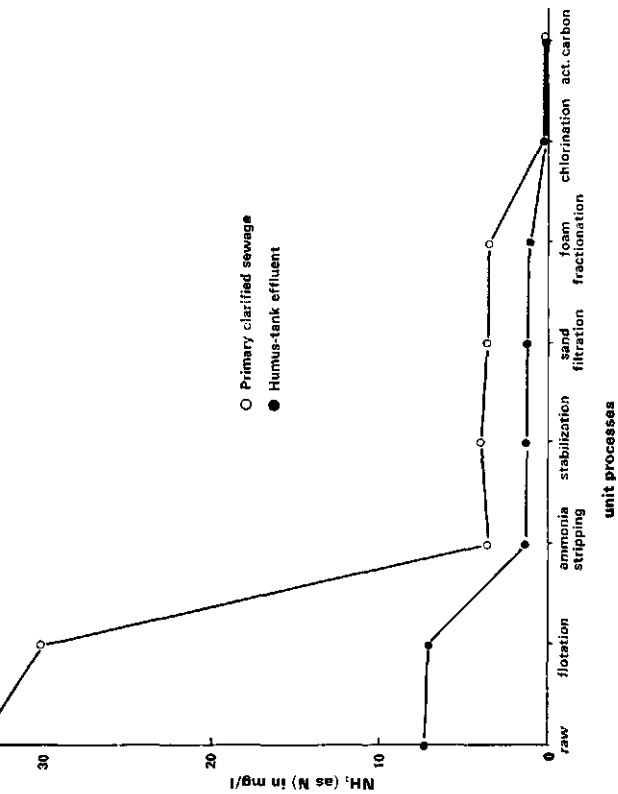
Chemical substances which serve as criteria for:	Reclaimed water from double biofiltration	Reclaimed water from primary clarified sewage
1. Potability		
Total solids	350 mg/l	390 mg/l
Colour	Less than 5 units	Less than 5 units
Turbidity	Less than 5 units	Less than 5 units
Taste	Excellent	Excellent
Odour	None	None
Iron (Fe)	0.1 mg/l	0.1 mg/l
Manganese (Mn)	0.0 mg/l	0.0 mg/l
Copper (Cu)	0.0 mg/l	0.0 mg/l
Zinc (Zn)	0.2 mg/l	0.2 mg/l
Calcium (Ca)	20 mg/l	30 mg/l
Magnesium (Mg)	5 mg/l	5 mg/l
Sulphate (SO ₄)	60 mg/l	60 mg/l
Chloride (Cl)	100 mg/l	100 mg/l
pH range	7.0 - 8.0	7.0 - 8.0
Magnesium + sodium sulphate	120 mg/l	120 mg/l
Phenolic substances (as phenol)	Nil	Nil
Carbon chloroform extract (CCE: organic pollutants)	0.05 mg/l	< 0.5 mg/l
Alkyl benzyl sulphonates (ABS: surfactants)	Nil	Nil
2. Hazardous to Health		
Nitrate as NO ₃	50 to 100 mg/l	Nil
Fluoride	Less than 0.5 mg/l	Less than 0.5 mg/l
3. Toxicity		
Phenolic substances	Nil	Nil
Arsenic	Nil	Nil
Cadmium	Nil	Nil
Chromium (Cr hexavalent)	Nil	Nil
Cyanide	Nil	Nil
Lead	0.01 mg/l	0.01 mg/l
Selenium	Nil	Nil
4. Chemical Indicators of Pollution		
Chemical oxygen demand (COD)	0 - 10 mg/l	0 - 30 mg/l
Biochemical oxygen demand (BOD)	0 - 5 mg/l	0 - 20 mg/l
Total nitrogen exclusive of NO ₃	Less than 1 mg/l	Less than 1 mg/l
NH ₃	Nil	Nil
Carbon chloroform extract (CCE: organic pollutants)	0.05 mg/l	< 0.5 mg/l



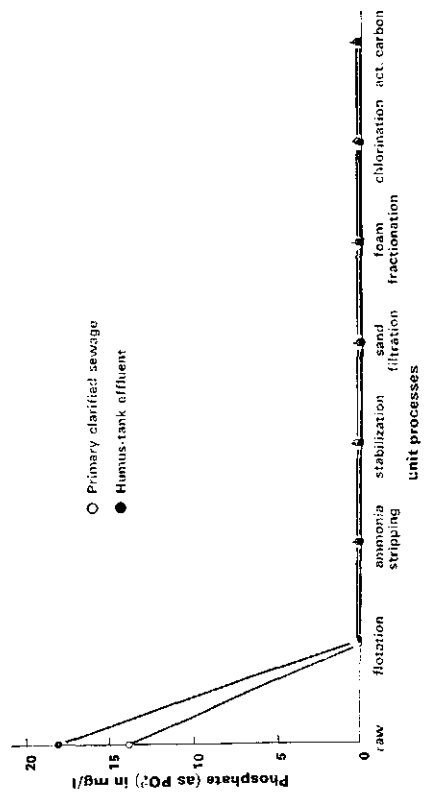
Afb. 8.



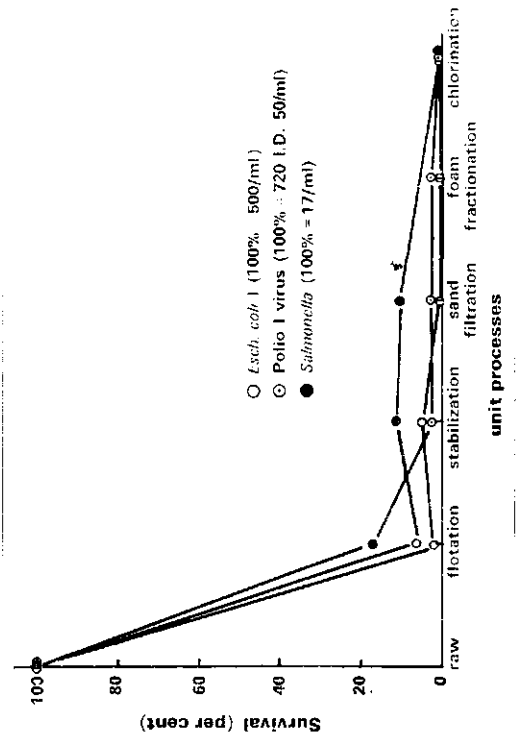
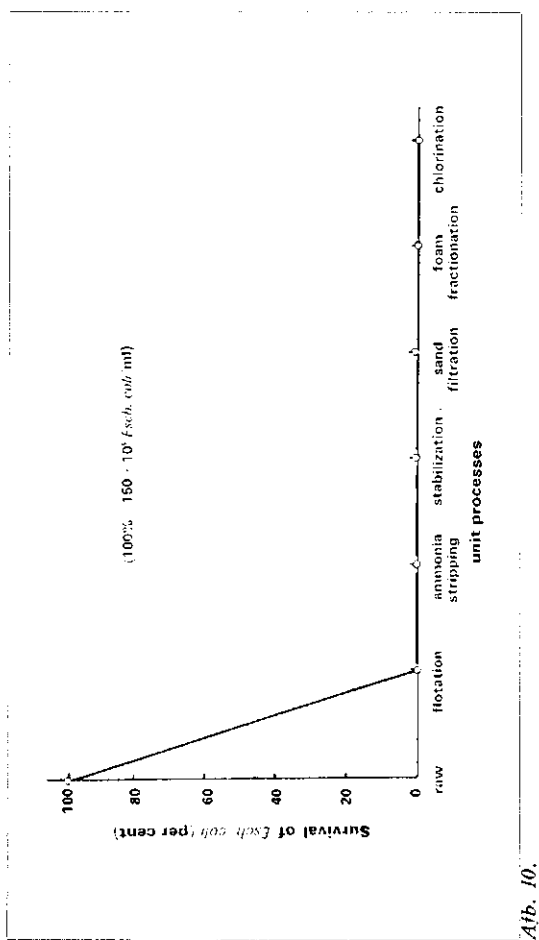
Afb. 9.



Afb. 6.



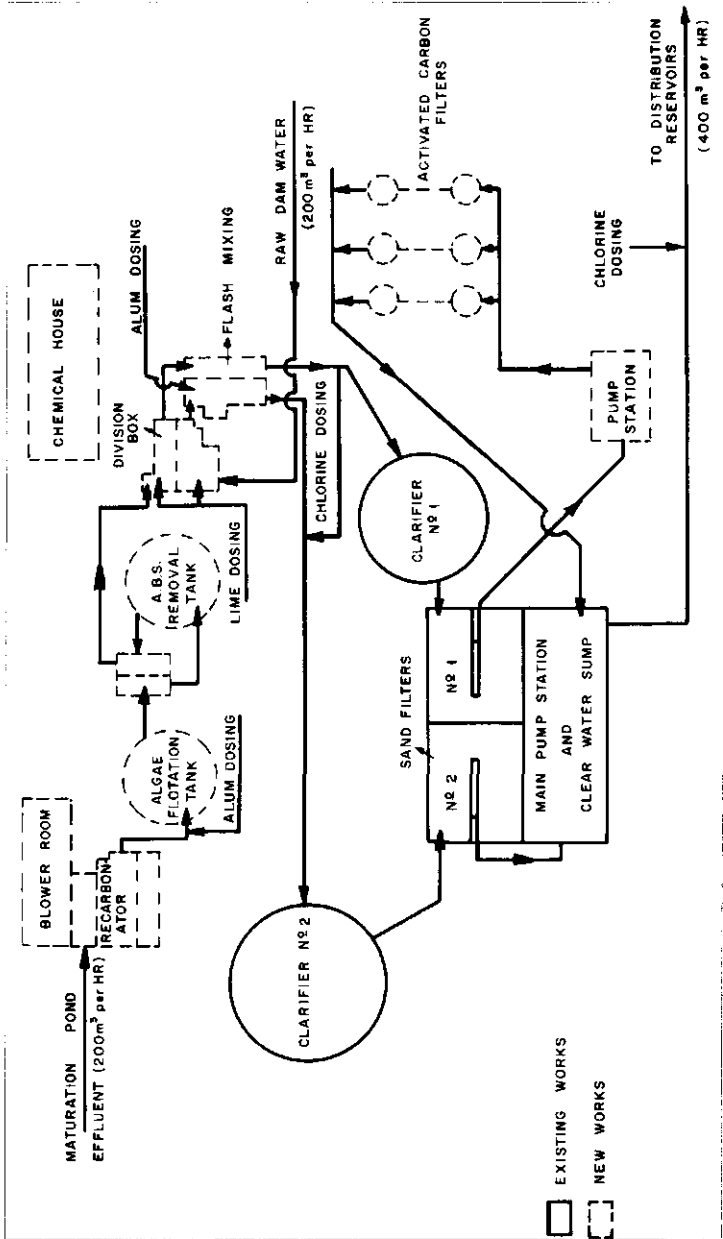
Afb. 7.



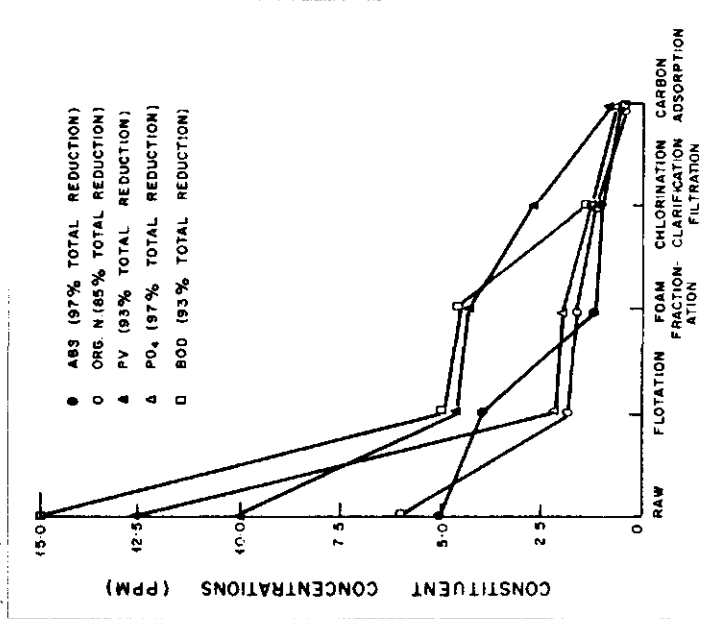
Afb. 10.

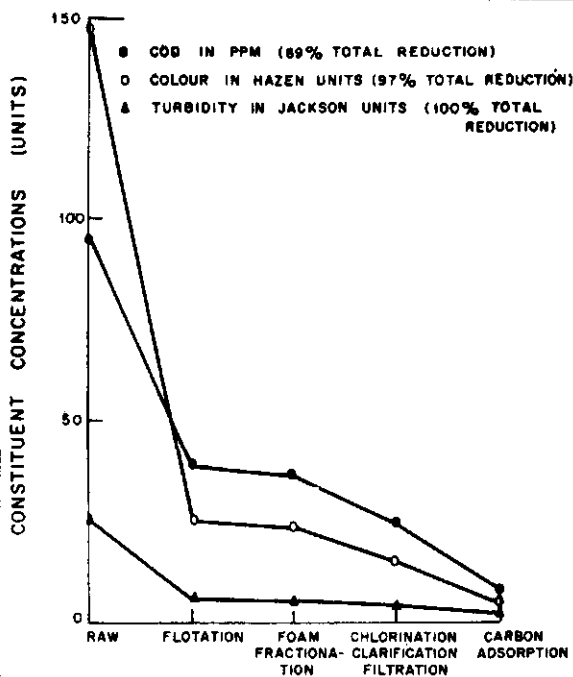
Afb. 11.

Afb. 12.

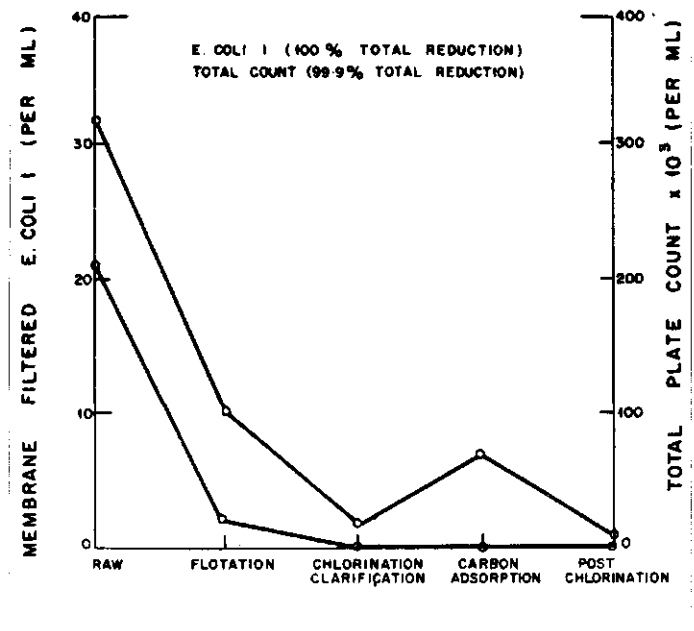


Afb. 14.





Afb. 13.



Afb. 15.

gave van de installatie voor de behandeling van het water uit de vijvers. Het effluent van de installatie (200 m³ per uur) wordt gemengd met 200 m³ water per uur uit een stuwmeer. De totale hoeveelheid water krijgt een nachloring voordat het water aan de drinkwaterreservoirs wordt toegevoegd. Het gehalte aan vrij restchloro bedraagt dan 0,2 mg/l. In de reservoirs wordt het water voor de uiteindelijke distributie nog gemengd met grondwater. De Windhoek installatie kan als volgt kort worden beschreven. Met behulp van koolzuur wordt de pH van het water uit het stelsel van vijvers op ongeveer 7,5 gebracht. Vermeld wordt dat hierdoor een reductie van 30 % wordt verkregen in de benodigde dosis aluminiumsulfaat, voor de flotatie eenheid; aluminiumsulfaat levert optimale resultaten bij een pH ≈ 7. In het geraadpleegde artikel wordt niet aangegeven met welke pH het water uit de vijvers wordt aangevoerd. De totale capaciteit van de carbonatatie-eenheid bedraagt 8165 gram CO₂ per uur.

Na de dosering van het aluminiumsulfaat (130 - 220 mg/l) stroomt het water naar de flotatie tank. De tank heeft een diameter van 7,00 m, de verblijftijd bedraagt 16 minuten. De vormgeving en de dimensies van de hierop volgende schuimafscheider zijn gelijk aan die van de flotatie tank. Door een lagere waterspiegel is de verblijftijd van de vloeistof in de schuimafscheider 10 minuten. Door in de schuimafscheider op 1 deel water, 5 delen lucht door te voeren wordt een eindconcentratie aan ABS bereikt van 1 mg/l. In het onderhavige geval wordt 15,6 m³ lucht per minuut bij een overdruk van 0,35 kg/cm² via Schumacherse beluchtingselementen in-

gebracht. In de toevoerleiding naar de klaring wordt breekpuntchloring toegepast. Het water heeft in de bezinkinrichting een verblijftijd van 2,2 uur. Voor de filtratie staan twee snelfilters opgesteld, elk met een hoogte van 0,76 m. De actieve koolinstallatie is opgebouwd uit driemaal twee kolommen, die parallel worden bedreven. De kolommen hebben een diameter van 3,05 m. De gegranuleerde actieve kool is aangebracht op een bed van zandlagen met verschillende korreldiameters. De koolfilters kunnen teruggespoeld worden. De afb. 13, 14 en 15 geven een overzicht van de resultaten die met behulp van de beschreven installatie zijn verkregen. Opvallend is het op-

lopen van het aantal E-coli door de behandeling met actieve kool.

Uit het bovenstaande overzicht van de literatuur mag wel geconcludeerd worden dat met behulp van de verschillende ontwikkelde processen voor verdergaande zuivering van afvalwater het gebruik van dit water als grondstof voor de drinkwaterbereiding, binnen afzienbare tijd technisch tot de mogelijkheden zal behoren. Daarbij is de juiste keuze van de verschillende processen en van de combinatie van deze processen van groot belang. „The optimum functioning of the reclamation plant is dependent on the manner in which the individual process units are combined” [5].

Literatuur

1. Brouwer, W. A. H. *Huishoudelijk afvalwater, nu en in de toekomst*. Vijfde vacatiecursus in behandeling van afvalwater, 21 en 22 mei 1970 te Delft. H₂O (3) 1970, nr. 21.
2. Middleton, F. M. *Advanced treatment of municipal waste waters in the United States of America*. Journal of the Institute of Water Pollution Control, volume 70, 1971, no. 2 (201).
3. Henzin, M. R. and Funke, J. W. *The appraisal of some significant problems in the re-use of waste water*. Journal of the Institute of Water Pollution Control, volume 70, 1971, no. 2 (177).
4. Water Pollution Control Research Series, ORD - 17050 DA 05/70. *Granular Carbon Treatment of Raw Sewage*. US Department of the Interior/Federal Water Quality Administration.
5. Stander, G. J., van Vuuren, L. R. J. and Dalton, G. L. *Current status of research on waste water reclamation in South Africa*. Journal of the Institute of Water Pollution Control, volume 70, 1971, no. 2 (213).
6. Carthy Mc. P., Beck, L. and Amant, P. St. *Biological denitrification of waste waters by addition of organic materials*. Paper presented to 24th Annual International Conference, Purdue University, Indiana, 1969.
7. Bayley, R. W. and Wagott, A. *Some recent advances in water reclamation*. Department of the Environment/Water Pollution Research Laboratory, Maart 1971.
8. Russell Culp. *Water reclamation at South Tahoe*. Water and Wastes Engineering, volume 6, no. 4, april 1969 (36).
9. Stander, G. J. and van Vuuren, L. R. J. *The reclamation of potable water from sewage*. Journal of the Institute of Water Pollution Control, volume 68, 1969, no. 5 (513).
10. *Description and performance of the Windhoek Water Reclamation Plant*. CSIR Special Report Wat 44; published in 1971 by the South African Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria.