

Mededeling 62

Methodieken Centrale Ontharding

Rapport van de Commissie Methodieken Centrale Ontharding

Opgesteld door J.W. Blok

Rijswijk, 10 februari 1981

<u>INHOUD</u>	blz.
SUMMARY	5
SAMENVATTING	9
1. INLEIDING	13
1.1 Verantwoording	13
1.2 Algemene beschouwing over hardheid	14
1.3 Het begrip hardheid	16
1.4 Economische aspecten van hardheid	20
1.5 Medische aspecten van hardheid	20
1.6 Argumenten voor centrale ontharding	21
1.7 Mogelijkheden voor centrale ontharding	22
1.8 Criteria voor de keuze van een onthardingssysteem	22
2. METHODIEKEN CENTRALE ONTHARDING	25
2.1 Verwijdering van calciumionen door vorming van $\text{CaCO}_3$ en eventueel verwijdering van magnesiumionen door vorming van $\text{Mg}(\text{OH})_2$	26
2.2 Verwijdering van calcium-en magnesiumionen door uitwisseling tegen andere kationen in een ionenwisselaar	33
2.3 Verwijdering van calcium- en magnesiumionen door ontzouting	34
2.4 Verwijdering van calciumionen door vorming van calciumfosfaatslib	35
3. OVERZICHT VAN IN GEBRUIK ZIJNDE ONTHARDINGSSYSTEMEN	37
3.1 Ontharding in Nederlandse drinkwaterbedrijven	37
3.2 Ontharding in het buitenland	44

	blz.	
4. DE KEUZE VAN EEN ONTHARDINGSSYSTEEM	47	
4.1 De chemicaliekeuze	48	
4.2 De keuze van het onthardingsproces	69	
4.3 De systeemkeuze	75	
5. LITERATUUR	83	
BIJLAGE I	Definities en omrekenings- coëfficiënten van niet SI- eenheden voor hardheid	85
BIJLAGE II	Ontharding Water- en Licht- bedrijven der Gemeente Alphen a/d Rijn	87
BIJLAGE III	Ontharding Gemeentewaterlei- dingen (Amsterdam); p.s. Weesperkarspel	95
BIJLAGE IV	Ontharding N.V. Waterwinning- bedrijf Brabantse Biesbosch	101
BIJLAGE V	Ontharding GEB-Dordrecht zuiveringsstation Baanhoek zuiveringsstation Oranjelaan	111
BIJLAGE VI	Ontharding Stichting Drink- waterleiding "De Elf Gemeenten" p.s. De Hooge boom	121
BIJLAGE VII	Ontharding N.V. Waterleiding Mij. "Noord-West-Brabant" p.s. Schijf p.s. Altena	127

BIJLAGE VIII	Ontharding Gemeentelijk Waterleidingbedrijf Ridderkerk	147
BIJLAGE IX	Ontharding Waterleidingbedrijf "De Rijnstreek"	153
BIJLAGE X	Ontharding in enkele buitenlandse bedrijven	157
LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN		161

## SUMMARY

The hardness of water is defined as the sum of calcium and magnesium concentrations, expressed in mmol/l ( $\text{mol/m}^3$ ).

The disadvantages of water with a high degree of hardness are among other things:

- greater use of soap for household purposes;
- higher expenditure of energy through scaling in heating systems;
- increased wear of water supply systems fittings;
- unpleasant taste and appearance.

According to the EEC quality requirements for drinking water, softening may be carried out to a total hardness of 1,5 mmol/l. Therefore some methods are available:

1. Removal of  $\text{Ca}^{2+}$ -ions by formation of  $\text{CaCO}_3$
2. Exchange of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ -ions for other cations ( $\text{Na}^+$ ) by an ion exchanger
3. Various desalination techniques
4. Removal of  $\text{Ca}^{2+}$ -ions by formation of calcium phosphate sludge.

The first method is mostly used in drinking water purification.

Generally speaking the methods 2, 3 and 4 will be used only in cases if the first method does not lead to the wanted result. Formation of  $\text{CaCO}_3$  can take place in the homogeneous aqueous phase or at the water/solids interface. We shall henceforth refer to these processes as floc formation and crystallization respectively.

The flocculation process takes place in basins of various size (depending on the residence time desired) with or without sludge recirculation.

Separation is effected by settling (possibly in tilted plate separators), by separation in a floc

blanket or by filtration. The crystallization process takes place in upflow reactors with a fluidized sand bed.  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{CO}_3^{2-}$ -ions are incorporated in a crystal lattice at the water and grain interface.

In order to form  $\text{CaCO}_3$ , the solubility product  $K_s = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]$  must be exceeded. This can be achieved by adding  $\text{CO}_3^{2-}$ -ions [by adding soda] or by raising the pH value using  $\text{NaOH}$  or  $\text{Ca}[\text{OH}]_2$ , through which hydrogen carbonate is converted to carbonate.

The choice of a softening system resolves itself into choosing the softening chemicals and the softening process. The criteria for this are as follows:

- requirements for quality and stability
- technical reliability of the system in operation
- environmental effects from effluents
- cost aspects.

The choice of chemicals is determined mainly by the initial quality of the water and the requirements for quality and stability.

If there remain different possibilities, the choice can be determined by operational reliability, environmental effects and considerations of cost aspects.

The choice of the process depends strongly on the type of water to be purified. For purification surface water a coagulation process will generally be necessary and it is obvious that through a combination of softening and coagulation a reduction of the investment costs for softening can be achieved. In case the additional amount of sludge ( $\text{CaCO}_3$ ) produced is so that it causes problems of

sludge processing and removal, the crystallization method can be applied, but only if softening is possible with NaOH and/or Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> since, is using milk of lime, the crystallization process will pass off badly or not at all at low temperatures.

For the purification of groundwater, on the whole coagulation is not necessary, leaving crystallization as the obvious method. In particular cases consideration may be given to the combination of softening and removal of oxidized iron in a flocculation process.

UDC: 628.162.4

Trefwoorden: Ontharden

### SAMENVATTING

De hardheid van water wordt gedefinieerd als de som van calcium- en magnesiumionenconcentraties, uitgedrukt in mmol/l ( $\text{mol/m}^3$ ).

Nadelen van water met hoge hardheid zijn onder andere:

- hoger zeepverbruik in de huishoudingen
- hoger energieverbruik door afzettingen op verwarmingselementen
- verhoogde slijtage watertoestellen
- smaak- en visuele bezwaren.

Volgens de EG-kwaliteitseisen aan drinkwater mag ontharding plaatsvinden tot een totale hardheid van 1,5 mmol/l. Om dit te bewerkstelligen zijn een aantal methoden beschikbaar:

1. verwijdering van  $\text{Ca}^{2+}$ -ionen door vorming van  $\text{CaCO}_3$
2. uitwisseling van  $\text{Ca}^{2+}$ - en  $\text{Mg}^{2+}$ -ionen tegen andere kationen ( $\text{Na}^+$ ) in een ionenwisselaar
3. verwijdering van  $\text{Ca}^{2+}$ -ionen door vorming van calciumfosfaatslib.

De eerste methode is de meest toegepaste in de drinkwaterzuivering. De methoden 2, 3 en 4 zullen over het algemeen slechts toegepast worden als deze methode niet tot de gewenste resultaten leidt.

De vorming van  $\text{CaCO}_3$  kan plaatsvinden in de homogene waterfase of op het grensvlak watervaste stof. Deze processen worden in het vervolg respectievelijk genoemd vlokvormings- en kristallisatieproces. Het vlokvormingsproces vindt plaats in grotere of kleinere bassins (afhankelijk van de gewenste verblijftijd), met of zonder slibrecirculatie;



vlokafscheiding vindt plaats door bezinking (eventueel in lamellenseparatoren), afscheiding in een vlokkendeken, of door filtratie. Het kristallisatieproces vindt plaats in opwaarts doorstroomde reactoren, waarin zich een gefluidiseerd zandbed bevindt.

$\text{Ca}^{2+}$ - en  $\text{CO}_3^{2-}$ -ionen worden in een kristalrooster ingebouwd op het grensvlak van water en korrels.

Om de vorming van  $\text{CaCO}_3$  te bewerkstelligen moet het oplosbaarheidsprodukt  $K_s = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]$  overschreden worden. Dit kan bereikt worden door toevoeging van  $\text{CO}_3^{2-}$ -ionen (door middel van een soda-dosering), of door pH-verhoging met behulp van  $\text{NaOH}$  of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , waardoor waterstofcarbonaat in carbonaat wordt omgezet.

De keuze van de onthardingschemicaliën en de keuze van het onthardingsproces.

Criteria bij deze keuze zijn:

- kwaliteits- en stabiliteitseisen
- technische bedrijfszekerheid van het systeem
- milieu-effecten met betrekking tot de afvalstromen
- kostenaspecten.

De chemicaliekeuze wordt voornamelijk bepaald door de uitgangskwaliteit van het water en de gestelde kwaliteits- en stabiliteitseisen. Blijven dan nog verschillende mogelijkheden open, dan kunnen technische bedrijfszekerheid, milieu-effecten en kostenaspecten de keus verder bepalen.

De proceskeuze is sterk afhankelijk van de aard van het te zuiveren water. Voor de zuivering van oppervlaktewater is over het algemeen een coagulatieproces noodzakelijk; het ligt voor de hand ontharding en coagulatie te combineren, ten einde de investeringskosten voor de ontharding te beperken.

Is echter de extra te produceren hoeveelheid slib ( $\text{CaCO}_3$ ) dusdanig dat problemen ontstaan met verwerking en afvoer van het slib, dan kan de kristallisatiemethode worden toegepast, echter alleen dan wanneer ontharding mogelijk is met NaOH en/of met  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , daar het kristallisatieproces, met kalkmelk bedreven, bij lage temperaturen slecht of in het geheel niet verloopt.

Voor de zuivering van grondwater is coagulatie over het algemeen niet nodig, zodat de meest voor de hand liggende methode de kristallisatiemethode is.

In bijzondere gevallen kan overwogen worden ontharding en de verwijdering van geoxideerd ijzer te combineren in een vlokformingsproces.

1. INLEIDING

1.1 Verantwoording

Deze mededeling van de Commissie Methodieken Centrale Ontharding van het KIWA is opgesteld door J.W. Blok in samenwerking met de Commissie.

De samenstelling van de Commissie was tijdens het opstellen van de Mededeling:

dr. M. van Ammers (voorzitter), Waterleiding Friesland N.V.

ing. P.J. van Winsen (secretaris), KIWA N.V.

J.W. Blok

dr.ir. A. Graveland, Gemeentewaterleidingen (Amsterdam)

drs. L.A.C. Feij, Stichting Waterleidinglaboratorium Zuid

drs. B.G. van der Heijden, Drinkwaterleiding der gemeente Rotterdam

dr.ir. A.P. Meijers, KIWA N.V.

ir. E.A. van Naerssen, Gemeentelijk Energiebedrijf Dordrecht

drs. G. Oskam, Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch N.V..

De bijlagen van dit rapport zijn ontstaan met medewerking van:

ing. P.C. Ambachtsheer en L. de Groot, Waterleidingbedrijf der Gemeente Alphen a/d Rijn;

dr.ir. A. Graveland, Gemeentewaterleidingen (Amsterdam);

drs. G. Oskam, Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch;

ir. E.A. van Naerssen, Gemeentelijk Energiebedrijf Dordrecht;

ing. A. de Kruyf en ing. R.J.W. Pin, Stichting  
Drinkwaterleiding "De Elf Gemeenten";  
drs. L.A.C. Feij, Stichting Waterleidinglaborato-  
rium Zuid;  
L. Kint, Waterleiding Maatschappij "Noord-West-  
Brabant";  
A. Heijnsdijk, Gemeentelijk Waterleidingbedrijf  
Ridderkerk;  
ing. H.E.J. Boon, Waterleidingbedrijf De "Rijn-  
streek".

## 1.2 Algemene beschouwing over hardheid

De belangrijkste eis, die aan drinkwater wordt ge-  
steld, is de hygiënische betrouwbaarheid, waarbij  
tegenwoordig ook de effecten op lange termijn zorg-  
vuldig in ogenschouw worden genomen. Er wordt ech-  
ter niet alleen een hygiënisch betrouwbaar water  
verlangd, ook stelt men meer subjectieve eisen:  
kleur, smaak en reuk dienen "aangenaam" te zijn. De  
persoonlijke lichaamsverzorging verlangt water dat  
"prettig" is in het gebruik.

Door een toename van de automatisering in de huis-  
houdingen (wasmachines, vaatwasmachines, en derge-  
lijke), een steeds uitgebreidere warmwatervoorzie-  
ning, en industriële ontwikkelingen worden steeds  
hogere eisen aan het gedistribueerde drinkwater  
gesteld.

Eén van de aspecten die bij de beschouwing van de  
kwaliteit van drinkwater naar voren komt is de  
hardheid van het water.

In het persoonlijk gebruik van drinkwater wordt  
steeds de voorkeur gegeven aan "zacht" water; in  
de industrie is deze voorkeur minder eenduidig.

De bezwaren die aan hard water verbonden, zijn voor de huishoudingen onder andere:

- een hoger energieverbruik van warmwatertoestellen door afzettingen op verwarmingselementen
- verhoogde slijtage verwarmingselementen en een hoger preventief onderhoud
- afzettingen op wasbakken, kranen, douchekoppen en dergelijke
- wenselijkheid om onthardingsinrichtingen voor vaatwasmachines en dergelijke te schakelen
- verhoogde slijtage watertoestellen (meters en dergelijke)
- een hoger zeepverbruik in de textielwas
- verhoogde slijtage van textiel
- onaangename gewaarwording bij de persoonlijke lichaamsverzorging
- smaakbezwaren aan met hard water bereide voedingswaren
- visuele bezwaren (bijvoorbeeld vliesvorming op thee).

Voor de industrie gelden een aantal soortgelijke bezwaren. Daar in verschillende takken van industrie bepaalde eisen aan het gebruikswater worden gesteld, past men vaak onthardingsinstallaties toe om de gewenste eindkwaliteit te bereiken. Genoemd kunnen worden de levensmiddelen- en frisdrankenindustrie, bierbrouwerijen en de industrie die gebruik maakt van stoomketels.

In 1968 werd op verzoek van de Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN) door het Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen (KIWA) een commissie ingesteld die het vraagstuk van de centrale ontharding zou moeten bestuderen. Deze Commissie Centrale Ontharding

bracht in 1971 haar rapport uit (1), waarin geconcludeerd werd dat centrale ontharding aan te bevelen is, zowel op grond van milieuhygiënische en economische redenen als uit overwegingen van welbevinden, waarbij de uiteindelijke hardheid niet lager zou mogen zijn dan 1 mmol/l tijdelijke hardheid.

Voor de bestudering van de diverse uitvoeringsvormen van centrale ontharding werd in 1971 de Commissie Methodieken Centrale Ontharding ingesteld. Tijdens de werkzaamheden van de Commissie rees de vraag wat de gewenste eindkwaliteit na ontharden zou moeten zijn, met name of er naast de door de Commissie Centrale Ontharding genoemde aanbeveling van een minimale tijdelijke hardheid van 1 mmol/l nog andere richtlijnen gegeven zouden moeten worden.

Resultaten van dit onderzoek zijn vastgelegd in de eerste mededeling van de Commissie (2).

Hierop aansluitend wordt in dit rapport, na een overzicht van de chemie die bij ontharding een rol speelt, een overzicht gegeven van in Nederland in gebruik zijnde onthardingsinstallaties en wordt getracht een richtlijn aan te reiken voor degenen die overwegen ontharding toe te passen.

### 1.3 Het begrip hardheid

Voor het verschijnsel dat we hardheid noemen zijn in de loop der tijd verschillende omschrijvingen respectievelijk definities gegeven.

De oudste omschrijving van hardheid is het vermogen zeep te binden. In het water aanwezige kationen vormen met de negatief geladen vetzuren zeepionen.

(bijvoorbeeld het stearaat ion  $C_{17}H_{35}COO^-$ ) een onoplosbaar neerslag.

De kationen die een dergelijk neerslag kunnen veroorzaken zijn  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  en nog enkele andere sporen-metalen.

In drinkwater vormen de calcium- en magnesiumionen het overwegende bestanddeel van de hardheidsveroorzakende ionen, zodat men de totale hardheid tegenwoordig definieert als de som van calcium- en magnesiumionen, uitgedrukt in de eenheid molen per kubieke meter ( $mol/m^3$ ) ofwel in millimolen per liter ( $mmol/l$ ).

De in het water aanwezige calcium- en magnesiumionen zijn daarin opgelost toen het water tijdens het doorlopen van de hydrologische kringloop in contact kwam met calcium- respectievelijk magnesiumhoudende mineralen als calciëet en dolomiet, ofwel door verontreiniging ten gevolge van menselijk ingrijpen.

Vaak is in water kooldioxide aanwezig, hetzij door opname uit de atmosfeer (regenwater), hetzij door (biologische) oxidatieprocessen; dan verloopt het oplossen van calciumcarbonaat volgens onderstaande reactievergelijking:



Bij voldoende contacttijd zal een evenwichtssituatie ontstaan waarbij evenveel  $CaCO_3$  wordt opgelost als wordt afgezet. Wanneer dit evenwicht bereikt is, kan de hierbij behorende pH worden bepaald. Deze evenwichts-pH is voor een gegeven watersoort

een kenmerkende parameter. Wordt de pH door externe factoren gevarieerd, dan betekent dit dat de evenwichtssituatie verstoord is en  $\text{CaCO}_3$  opgelost respectievelijk afgezet kan worden. De situatie waarin een watersoort verkeert kan worden weergegeven door de Langelier-Index, de SI (Saturation Index). Op deze index wordt in hoofdstuk 2 verder ingegaan.

Behalve het bovengenoemde evenwicht is de onderstaande vergelijking belangrijk:



Aangezien de oplosbaarheid van magnesiumhydroxide in water veel geringer is dan de oplosbaarheid van magnesiumcarbonaat, is dit evenwicht maatgevend voor het voorkomen van magnesiumionen in water.

Niet alleen zijn beide evenwichten te beïnvloeden door de pH, ook zijn ze temperatuursafhankelijk, en wel in die zin dat bij toenemende temperatuur de hoeveelheid ionen in oplossing afneemt.

Hieronder worden enkele in de praktijk veel gebruikte definities gegeven:

totale hardheid = de som van calcium- en magnesiumionen, uitgedrukt in mmol/l.

tijdelijke hardheid = dat deel van de totale hardheid dat onder vorming van een neerslag van calciumcarbonaat onder koken bij 100 °C verdwijnt, uitgedrukt in mmol/l. Door het koken verschuift het kalk-koolzuurevenwicht naar links; het kooldioxide wordt uitgedreven en de calciumionen slaan neer in



een hoeveelheid stoichiometrisch met de aanwezige hoeveelheid waterstofcarbonaationen.

blijvende hardheid = het verschil tussen totale en tijdelijke hardheid, uitgedrukt in mmol/l. Deze bestaat uit opgeloste calciumzouten, anders dan calciumwaterstofcarbonaat.

waterstofcarbonaat-(bicarbonaat-, carbonaat-) hardheid = dat deel van de totale hardheid dat behoort bij de totale hoeveelheid waterstofcarbonaat- en carbonaationen, uitgedrukt in mmol/l. Bij deze definitie wordt de hoeveelheid calciumcarbonaat, die bij koken in oplossing blijft, verwaarloosd, dit in tegenstelling tot de tijdelijke hardheid.

In de praktijk verschillen de waarden van waterstofcarbonaat- en tijdelijke hardheid zo weinig dat deze begrippen door elkaar gebruikt worden.

Om verwarring te voorkomen wordt in dit rapport slechts het begrip totale hardheid gehanteerd, terwijl daarnaast de concentraties aan waterstofcarbonaat- en carbonaationen gegeven worden, zonder hieruit echter de waterstofcarbonaathardheid te berekenen. De pH van het betreffende water is over het algemeen zodanig dat het waterstofcarbonaat/carbonaatevenwicht geheel links ligt zodat alleen de waterstofcarbonaatconcentratie een rol speelt.

Zoals al genoemd is de SI-eenheid voor hardheid de mol per kubieke meter ( $\text{mol/m}^3$  of mmol/l). In de internationale praktijk is echter nog een heel scala van eenheden in gebruik. Bijlage 1 geeft deze eenheden en de coëfficiënten die benodigd zijn voor omrekening naar de SI-eenheid.

#### 1.4 Economische aspecten van hardheid

Hoewel de consument waarschijnlijk allereerst subjectieve waarde-oordelen zal uitspreken, die vanzelfsprekend niet gekwantificeerd kunnen worden, is het toch zinvol, ook economische nadelen van hard water te inventariseren. Men kan hierbij denken aan een verhoogd energieverbruik ten gevolge van afzettingen op verwarmingselementen, een hogere slijtage aan deze elementen en andere watertoestellen, een verhoogd zeepverbruik, mogelijke textielslijtage en dergelijke. Voor resultaten van onderzoek op dit gebied wordt verwezen naar het rapport van de Commissie Centrale Ontharding (1).

De industrie kan in veel gevallen gebaat zijn bij de distributie van een minder hard water.

Het is echter moeilijk om de economische voordelen hiervan te kwantificeren.

#### 1.5 Medische aspecten van hardheid

Aan het begin der zestiger jaren werd er vanuit medische kringen op gewezen dat er mogelijk een verband zou kunnen bestaan tussen het voorkomen van hart- en vaatziekten en de hardheid van het gedistribueerde water, in die zin dat bij zachter water meer kans zou bestaan op hart- en vaatziekten dan bij hardere watersoorten.

Een statistisch verband tussen beide factoren is in een vrij groot aantal gevallen gevonden.

Een causaal verband tussen beide verschijnselen heeft men echter tot op heden niet eenduidig kunnen aantonen. Een aantal mogelijke oorzaken die in diverse onderzoeken genoemd worden zijn:

- deficiëntie van calcium
- deficiëntie van magnesium

- toxiciteit van het water, onder andere ten gevolge van agressiviteit van het water ten opzichte van leidingmaterialen; elementen en verbindingen die genoemd worden zijn:

SiO<sub>2</sub>, Li, Cd, Pb, Cr, Cu, Mn.

Een literatuuronderzoek waarin 31 tot 1973 verschenen publikaties worden geëvalueerd stelt dat geen doorslaggevende bewijzen zijn aangevoerd die de stelling ondersteunen dat er een causaal verband aanwezig zou zijn (3).

Een nog lopend onderzoek, toegespitst op de Nederlandse situatie, beschouwt onder andere de afgeleide correlatie tussen de hardheid van het water en het metaalgehalte. Circa 25 metalen werden in dit onderzoek meegenomen; verder onderzoek spitst zich toe op Li, SiO<sub>2</sub>, Pb, Cu en Cd. Er blijkt een significante relatie te bestaan tussen de pH en het gehalte aan opgeloste metalen; boven een zekere kritische grens blijkt het gehalte aan opgeloste metalen niet afhankelijk te zijn van de hardheid van het water. De relatie tussen deze metalen en het voorkomen van hart- en vaatziekten wordt verder onderzocht.

Dit onderzoek zal in 1982 worden afgesloten.

## 1.6

### Argumenten voor centrale ontharding

Ontharding is zowel centraal als bij de particuliere afnemer mogelijk. Om de volgende redenen is het aanbevelingswaardig centrale ontharding toe te passen:

- de hygiënische betrouwbaarheid kan bij centrale ontharding beter gegarandeerd worden dan bij particuliere installaties

- installaties voor ontharding in de huishouding ontharden vaak volledig; dit is strijdig met de eerder genoemde eisen en aanbevelingen
- centrale ontharding is economisch aantrekkelijker.

#### 1.7 Mogelijkheden voor centrale ontharding

In 1975 sprak de Commissie uit de Gezondheidsraad zich voorlopig uit tegen centraal ingrijpen in de hardheid van water (4), terwijl zij nader onderzoek aanbeval. Het totale onderzoekprogramma op dit gebied zal in 1982 worden afgesloten.

Dit betekent niet, dat ontharding niet mogelijk of niet toegestaan zou zijn. Besloten kan worden gedeeltelijke ontharding toe te passen die leidt tot een eindhardheid van het water die ligt in de range van 1,5 tot 2,5 mmol/l, "matig hard water", waarbij dan wel voldaan moet worden aan de EG-richtlijn voor de waterkwaliteit van onthard water.

In dit rapport wordt met de term ontharding nooit bedoeld een volledige ontharding, doch slechts een reductie tot de gewenste eindhardheid.

#### 1.8 Criteria voor de keuze van een onthardingssysteem

Er zijn verschillende mogelijkheden om de hardheid van water aan te passen aan de gewenste waarde.

Deze worden besproken in hoofdstuk 2; als criteria voor de keuze van een dergelijk systeem worden gehanteerd:

- wettelijke kwaliteitseisen aan onthard water en (niet-wettelijke) stabiliteitseisen

- technische bedrijfszekerheid van het systeem
- milieu-effecten
- kostenaspecten.

In hoofdstuk 6 zal verder worden ingegaan op de keuze van een onthardingssysteem aan de hand van deze criteria.

De richtlijnen van de Milieuraad van de Europese Gemeenschappen betreffende water voor menselijke consumptie zijn gepubliceerd op 17 juli 1980.

Voor onthard water zijn nadere richtlijnen gepubliceerd, zie tabel 1.

De inwerkingtreding van deze richtlijnen wordt geregeld in art. 19.

De Lid-Staten nemen de nodige maatregelen opdat de kwaliteit van het voor menselijke consumptie bestemde water binnen een termijn van vijf jaar na kennisgeving van deze richtlijn daarmee in overeenstemming wordt gebracht.

Tabel 1

parameters	minimaal vereiste concentratie	opmerkingen
totale hardheid	1,5 mmol/l $\text{Ca}^{2+}$	calcium of andere gelijkw. ionen
pH		het water mag niet agressief zijn
alkaliteit	0,5 mmol/l $\text{HCO}_3^-$	
opgeloste zuurstof		

In lit. (2) werden als stabiliteitseisen genoemd:

pH tussen 8,0 en 8,3 SI tussen 0,0 en 0,3 [ $\text{HCO}_3^-$ ] minimaal 2 mmol/l, maar niet te hoog.
--

2.

## METHODIEKEN CENTRALE ONTHARDING

Onder ontharding wordt in dit rapport verstaan het verlagen van de calcium- en eventueel de magnesiumconcentratie. Dit kan op verschillende wijzen worden bereikt. In onderstaande opsomming zijn de methoden gerubriceerd in volgorde van belangrijkheid voor de drinkwatervoorziening.

Met nadruk wordt gewezen op het feit, dat ontharding niet een afzonderlijke fase in het zuiveringsstelsel behoeft te zijn, maar heel wel gecombineerd kan worden met andere zuiveringsdoelstellingen.

1. Verwijdering van calciumionen door vorming van calciumcarbonaat en eventueel verwijdering van magnesiumionen door vorming van magnesiumhydroxide door middel van pH-verhoging.
2. Verwijdering van calcium- en magnesiumionen door uitwisseling tegen andere kationen in een ionenwisselaar.
3. Ontzouting.
4. Verwijdering van calciumionen door vorming van calciumfosfaatslib.

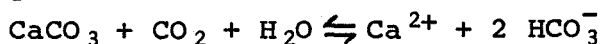
In het navolgende zal met name aandacht geschonken worden aan de eerste methode. Het ionenwisselingsproces is voornamelijk een industriële aangelegenheid; de methoden 3 en 4 zullen in dit kader slechts worden genoemd ter volledigheid; bij ontzouting is ontharding een neveneffect, terwijl calciumfosfaatslibvorming niet of nauwelijks in de drinkwatervoorziening wordt gehanteerd als onthardingsmethode.

2.1 Verwijdering van calciumionen door vorming van CaCO<sub>3</sub> en eventueel verwijdering van magnesiumionen door vorming van Mg(OH)<sub>2</sub>

2.1.1 Kalk-koolzuurevenwicht

Het kalk-koolzuurevenwicht is het evenwicht dat zich instelt in water, waarin kooldioxyde is opgelost, wanneer dit in contact is met vast calciumcarbonaat.

Calciumcarbonaat (CaCO<sub>3</sub>) is in water slechts weinig oplosbaar, maar als het water ook CO<sub>2</sub> bevat neemt de oplosbaarheid sterkt toe. Dit kan worden weergegeven door de evenwichtsvergelijking:



Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, calcium waterstofcarbonaat, is goed oplosbaar.

De vergelijking laat zien dat door toevoeging van CO<sub>2</sub> meer CaCO<sub>3</sub> in oplossing gaat door omzetting in Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

Omgekeerd, als er CO<sub>2</sub> uit de oplossing wordt verwijderd, bijvoorbeeld door de temperatuur te verhogen, dan heeft dit tot gevolg dat er CaCO<sub>3</sub> wordt gevormd dat neerslaat (ketelsteen).

In de praktijk stelt het kalk-koolzuurevenwicht zich niet momentaan in. Bij de waterzuivering komt het dan ook veelvuldig voor dat de samenstelling van het water afwijkt van die behorend bij het kalk-koolzuurevenwicht. Het water kan meer of minder CO<sub>2</sub> bevatten dan overeenkomt met het evenwicht. In het eerste geval vertoont het de neiging om CaCO<sub>3</sub> op te lossen als het daarmee in contact komt. Het water is dan kalkoplossend ofwel kalkagressief. Als het water te weinig kooldioxyde bevat vertoont



het de neiging om een  $\text{CaCO}_3$ -neerslag te vormen. Het water noemt men dan kalkafzettend.

De afwijking van het kalk-koolzuurevenwicht kan, behalve door de over- of ondermaat kooldioxyde, ook worden aangegeven door de zogenaamde kalkverzadigingsindex (afkorting SI = saturation index). Deze grootte is ingevoerd door de Amerikaan Langelier en wordt ook wel Langelier-index genoemd.

Men verstaat hieronder het verschil tussen de werkelijke pH van het water en de pH die het water zou hebben als het in kalk-koolzuurevenwicht verkeert (aangeduid als  $\text{pH}_s$ ).

$$\text{pH} - \text{pH}_s = \text{SI}$$

Als het water meer kooldioxyde bevat, dan overeenkomt met het evenwicht, is het water zuurder, dat wil zeggen dat de pH wat lager is dan bij het evenwicht. De verzadigingsindex is dan negatief.

Is er echter minder kooldioxyde aanwezig dan bij het evenwicht behoort, dan is het water wat minder zuur en de pH zal dan ook wat hoger zijn dan de evenwichts-pH ( $\text{pH}_s$ ). De verzadigingsindex is dan positief.

Een positieve SI geeft dus aan dat het water kalkafzettend is, een negatieve dat het water kalkoplossend is.

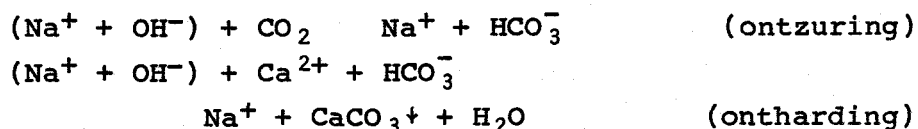
De agressieve koolzuurconcentratie is de meest voor de hand liggende parameter om de afwijking van het kalk-koolzuurevenwicht aan te geven omdat deze grootte een kwantitatieve maat is voor de hoeveelheid kalk die opgelost of afgezet kan worden.

Toch wordt de verzadigingsindex ook veel gebruikt, met name omdat de pH van water goed gemeten kan worden en ook kan dienen om de zuiveringsprocessen van ontharding en pH-correctie te bewaken of te regelen.

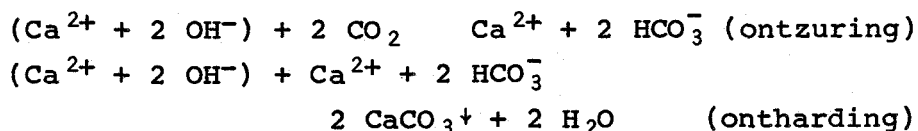
Verwijdering van calciumionen vindt nu plaats door het creëren van een positieve SI, zodat calciumcarbonaat afgezet wordt en dientengevolge een vermindering van de hoeveelheid calciumionen in oplossing plaatsvindt. Dit is mogelijk door de pH te verhogen door toevoeging van een base. Op economische gronden zijn hiervoor beschikbaar natriumhydroxide NaOH en kalk  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Wanneer deze basen aan het water worden toegevoegd, reageren zij eerst met het aanwezige kooldioxyde (de zogenaamde ontzuringreactie) en vindt vervolgens ontharding plaats. Onderstaande reactievergelijkingen geven deze reactie weer.

1. Met natriumhydroxide.



2. Met calciumhydroxide



Een kanttekening hierbij is dat het calciumhydroxide een slecht oplosbare base is, dat wil zeggen dat in de meestal toegepaste concentraties het calciumhydroxide slechts gedeeltelijk is opgelost en voor een groot deel in gesuspendeerde vorm aanwezig is.

De bovenstaande reacties vormen schematiseringen van zich in werkelijkheid snel na elkaar afspelende deelreacties; het waterstofcarbonaat wordt eerst omgezet in carbonaat, waardoor het oplosbaarheidsprodukt van calciumcarbonaat overschreden wordt en zich een neerslag hiervan gaat vormen. Hoewel het oplosbaarheidsprodukt van  $\text{CaCO}_3$  is overschreden kunnen  $\text{Ca}^{2+}$ - en  $\text{CO}_3^{2-}$ -ionen langere tijd metastabiel naast elkaar bestaan. Deze lage reactiesnelheid kan worden vergroot door óf de drijvende kracht te vergroten óf door kristallisatiekernen toe te voegen, of beide.

Als men in verhouding meer  $\text{Ca}^{2+}$ -ionen wil verwijderen dan  $\text{HCO}_3^-$ -ionen, om te voorkomen dat het minimum-gehalte aan  $\text{HCO}_3^-$  wordt onderschreden, moeten de waterstofcarbonaat- of carbonaationen worden toegevoegd, zodat het oplosbaarheidsprodukt van calciumcarbonaat wordt overschreden.

Hiervoor komt soda,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  in aanmerking.

In hoofdstuk 4 wordt verder ingegaan op de kwaliteitsveranderingen ten gevolge van ontharding met  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

### 2.1.2 Verwijdering van magnesium

Bij de vorming van  $\text{CaCO}_3$  zou men misschien ook de vorming van  $\text{MgCO}_3$  verwachten. Het oplosbaarheidsprodukt hiervan is echter dusdanig groot dat dit in de praktijk nooit het geval zal zijn. Aanzienlijk slechter oplosbaar is  $\text{Mg(OH)}_2$ .

De vorming van  $\text{Mg(OH)}_2$  is afhankelijk van de pH. Bij de in Nederlandse processen voorkomende pH's treedt geen (noemenswaardige) verwijdering van magnesium door vorming van  $\text{Mg(OH)}_2$  op; pas bij pH's van 11,3 en hoger kan magnesium verwijderd worden.

In de Verenigde Staten is op semi-technische schaal wel onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om coagulatie en ontharding te bewerkstelligen met behulp van magnesiumcarbonaat als primair vlokmiddel en calciumhydroxide als base. De proces-pH is hier aanzienlijk hoger dan in de gebruikelijke coagulatieprocessen en er treedt dan ook magnesiumverwijdering op (7). Theoretisch bestaat nog de mogelijkheid dat het mengkristal  $\text{CaMg(CO}_3)_2$  gevormd wordt.

### 2.1.3 De procesuitvoering

De vorming van  $\text{CaCO}_3$  kan op twee wijzen plaats vinden, te weten:

1. In de homogene waterfase in een volumineuze vlok.

Dit doet zich voor in gecombineerde coagulatie/onthardingsprocessen. De gevormde vlokken bestaan voor een deel uit de hydrolyseproducten van het primaire vlokmiddel.

2. Op het grensvlak van water en kristallisatiekernen.

In deze heterogene toestand wordt kristallijn calciumcarbonaat gevormd.

Deze methoden zullen in het vervolg genoemd worden: vlokvormingsproces en kristallisatieproces.

De wijzen waarop kristallisatiekernen in contact gebracht worden met het water, kunnen nog worden onderscheiden:

1. Een hoeveelheid recirculatieslib met daarin microkristallijn  $\text{CaCO}_3$  wordt gedoseerd in de onthardingsinrichting.
2. Het te ontharden water wordt na menging met de base(n) gevoerd door een gefluïdiseerd zandbed.

Opmerking: Ook in een niet gefluïdiseerd zandbed, dat dient voor de afvang van eerder gevormde vlokken, kan ontharding plaatsvinden door kalkafzetting op de zandkorrels.

Tabel 2 geeft een globaal overzicht van de verschillende uitvoeringsvormen van vlokvormings- en kristallisatieproces.

Tabel 2

Overzicht uitvoeringsvormen ontharding door middel van  $\text{CaCO}_3$ -vorming; verblijftijden bij benadering.

aard van het proces	uitvoeringsvorm:	verblijftijd: (orde van grootte)
vlokvorming	ontharding in spaarbekkens	enkele weken
	mengruimte, gevolgd door groot, horizontaal doorstroomd bassin en bezinkruimte	vier uur
	vlokkendekeninginstallaties, met name - precipitator - accelator - hydrotreater - pulsator - "Rotterdam" - clariflow - reactivator	één uur
	vlokvormingsgoot gevormd door filtratiefase	30 minuten à één uur
	vlokvormingsgoot, slibrecirculatie, <sup>1)</sup> vlokafscheiding in lamellenseparatoren	15 minuten
kristallisatie <sup>2)</sup>	opwaarts doorstroomd gefluïdiseerd zandbed kegelvormige (Spiractors of Spitzenreactoren) of cilindrische reactoren; alg. korrel- of pelletreactoren	enkele minuten

<sup>1)</sup>: hoewel kristallisatiekernen in het slib worden aangevoerd, zodat het kristallisatieproces zich gaat ontwikkelen, wordt dit proces onder de vlokvorming gerekend.

<sup>2)</sup>: kristallisatie in niet-gefluïdiseerde bedden blijft verder buiten beschouwing.

## 2.2 Verwijdering van calcium- en magnesiumionen door uitwisseling tegen andere kationen in een ionenwisselaar

Bij ionenwisseling vindt aan het oppervlak van een vast medium een omkeerbare uitwisseling plaats van ionen. Er zijn zowel anionen- als kationenwisselende media.

Sinds de ontwikkeling van de synthetische ionenwisselaars is het proces vooral in de industrie in zwang gekomen. Een belangrijke toepassing is de bereiding van ketelvoedingwater.

Met ionenwisselaars wordt volledige ontharding bewerkstelligd zolang het medium niet uitgeput is. Om ionenwisseling in de drinkwaterbereiding toe te passen moet dientengevolge altijd gebruik worden gemaakt van een "split-treatment"-proces, dat wil zeggen dat een deel van de hoofdstroom volledig onthard wordt, en vervolgens wordt gemengd met het niet ontharde deel van de hoofdstroom, in een dusdanige verhouding, dat de gewenste eindhardheid bereikt wordt.

Het ionenwisselingsproces wordt in de drinkwaterzuivering niet of slechts zeer beperkt toegepast om diverse redenen:

- ionenwisselaars in de Na-vorm (dat wil zeggen 1 calciumion wordt uitgewisseld tegen 2 natriumionen) verhogen het natriumgehalte van het drinkwater aanzienlijk
- er ontstaat geen reductie in het waterstofcarbonaatgehalte bij toepassing van een kationenwisselaar; om dit te bereiken zou tevens een anionenwisselaar ingeschakeld moeten worden
- er ontstaat een tamelijk grote afvalstroom, bestaande uit de regeneratiebrijn, die niet zonder

- grote gevolgen in het milieu geloosd kan worden;  
afvoer naar zee is een mogelijkheid
- de investeringskosten zijn relatief hoog.

Voor meer gegevens over ionenwisseling wordt verwezen naar (1).

### 2.3 Verwijdering van calcium- en magnesiumionen door ontzouting

Hieronder worden verstaan:

- verdampingsprocessen, met name flashverdamping
- uitvriesprocessen
- omgekeerde osmose
- hydraatvormingsprocessen
- elektrodialyse
- ionenwisseling met wisselaar in H- en OH-vorm.

De laatste twee processen berusten op het afscheiden van ionen uit de oplossing, terwijl de overige processen gericht zijn op de onttrekking van water aan de oplossing.

Aanleiding om één der bovengenoemde processen toe te passen kan zijn:

1. Een hoog zoutgehalte van het ruwe water (bijvoorbeeld de drinkwatervoorziening in aride gebieden met zeewater als enige drinkwatergrondstof)
2. Extra hoge eisen aan het zoutgehalte van het water (bijvoorbeeld wanneer het als ketelvoedingwater wordt gebruikt; gedemineraliseerd, steriel water voor gezondheidszorg en laboratorium; proceswater).

Deze processen zijn qua investerings- en exploitatiekosten (met name het energieverbruik) niet vergelijkbaar met de andere zuiveringsprocessen



en worden dientengevolge alleen overwogen wanneer de andere processen niet tot een voldoende resultaat leiden.

Bovenstaande processen zijn dan ook niet relevant voor de ontharding in gebieden waar voldoende grond- en oppervlaktewater met een relatief laag zoutgehalte aanwezig is; ze zijn slechts genoemd ter volledigheid. In de literatuur worden deze processen uitvoerig beschreven.

#### 2.4 Verwijdering van calciumionen door vorming van calciumfosfaatslib<sup>1)</sup>

Deze methode, waarbij de in het water aanwezige calciumionen gebonden worden aan de fosfaationen en een onschadelijk slib gevormd wordt, dat niet, zoals calciumcarbonaat en -sulfaat, schaalvorming ten gevolge heeft, wordt vooral toegepast in huishoudelijke warmwaterinstallaties met recirculatie, bijvoorbeeld in het circulatiesysteem van warmwaterinstallaties. De nadelen van hard water worden opgeheven zonder dat de calciumionen werkelijk verwijderd worden. Het slib is fijn verdeeld en verzamelt zich op de bodem van ketels, tanks, en dergelijke. Afhankelijk van de pH van het water kan trinatrium-, dinatriumwaterstof-, natriumdiwaterstoffosfaat of zelfs fosforzuur worden gedoseerd. In de Nederlandse drinkwaterzuivering wordt deze methode niet toegepast, en ook in het buitenland speelt dit proces geen rol van betekenis.

<sup>1)</sup> Er bestaat ook een methode waarbij door middel van polyfosfaten calciumionen gecomplexeerd worden. Hier is geen sprake van ontharding, omdat de gecomplexeerde calciumionen niet uit het water worden afgescheiden; wel worden de nadelen van hard water opgeheven.

3. OVERZICHT VAN IN GEBRUIK ZIJNDE ONTHARDINGSSYSTEMEN

In hoofdstuk 4 is een opsomming gegeven van mogelijke onthardingswijzen; in dit hoofdstuk zullen een aantal van deze wijzen naar voren komen aan de hand van beschrijvingen van bestaande bedrijven. Het zal blijken dat met name de in paragraaf 4.1 beschreven methode (vorming van  $\text{CaCO}_3$  en eventueel  $\text{Mg(OH)}_2$ ) toegepast wordt. Het eerste deel van dit hoofdstuk is gewijd aan Nederlandse bedrijven, terwijl het tweede deel een globaal overzicht geeft van ontharding in het buitenland.

3.1 Ontharding in Nederlandse drinkwaterbedrijven

Een aantal bedrijven in Nederland houdt zich al sinds langere of kortere tijd bezig met ontharding. In het onderstaande is per bedrijf de wijze van ontharding en de uitvoeringsvorm, het tijdstip van invoering, het onthardingstraject, en de capaciteit respectievelijk de jaarproduktie genoemd.

3.1.1 Water- en Lichtbedrijven der Gemeente Alphen a/d Rijn

Sinds 1975 vindt in het zuiveringsstation van dit bedrijf ontharding plaats. Ondiep grondwater met een hardheid van circa 5,4 mmol/l wordt in een geheel gesloten systeem gezuiverd. De zuivering bestaat uit voor- en na(druk)filters, met daartussen een onthardingsfase, bestaande uit korrelreactoren.

In het menggedeelte van de reactoren wordt natriumhydroxide gedoseerd waarna in het gefluïdiseerde zandbed kristallisatie van  $\text{CaCO}_3$  optreedt op het

oppervlak van de zandkorrels. Na de zuivering bedraagt de hardheid nog circa 2,7 mmol/l. De pH van het water is aan de uitgang van de zuivering zodanig, dat correctie door middel van een zuurdosering niet nodig is.

De maximale uurcapaciteit van het bedrijf bedraagt circa 500 m<sup>3</sup>; er zijn drie reactoren geïnstalleerd die ieder een nominale capaciteit van 200 m<sup>3</sup>/h hebben; de ontharding blijft goed verlopen tot een debiet van 180 m<sup>3</sup>/h per reactor.

De jaarproductie bedraagt circa 3.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

### 3.1.2 Gemeentewaterleidingen te Amsterdam

In het nieuwe bedrijf te Weesperkarspel wordt kwelwater uit de Bethunepolder gezuiverd.

Er vindt een gedeeltelijke voorzuivering plaats door coagulatie en zelfreiniging in de Waterleidingplas en een snelfiltratiefase. Na transport arriveert het water in Weesperkarspel waar ozonisatie, coagulatie, vlokafscheiding in lamellenseparatoren, snelfiltratie, langzame zandfiltratie en een veiligheidschloring plaatsvinden.

Ontharding vindt momenteel nog slechts op kleine schaal plaats. Uitbreiding is te verwachten als ook in het bedrijf te Leiduin ontharding toegepast gaat worden.

In de huidige situatie wordt een achtste deel van de hoofdstroom onthard in een korrelreactor, die geplaatst is tussen de ozonisatie- en coagulatiefase.

De ontharding wordt bewerkstelligd door een natriumhydroxidedosering, die plaatsvindt door een groot aantal sproeikoppen in de bodem van de korrelreactor, ten einde een zo homogeen mogelijke menging en fluïdisatie te verkrijgen.

De hardheid van het inkomende water bedraagt circa 2,4 mmol/l, terwijl men in de toekomst zou willen

gaan ontharden tot circa 1,5 mmol/l totale hardheid.

Het in 1976 in gebruik genomen bedrijf heeft in eerste instantie een jaarcapaciteit van  $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

### 3.1.3 Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch

Het Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch levert voorgezuiverd Maaswater aan de Drinkwaterleiding Rotterdam en aan N.V. Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant.

De levering startte in 1973 aan de gemeente Rotterdam. De voorzuivering bestaat uit een verregaande biologische zelfreiniging en bezinking in de spaarbekkens, een afvlakking van de kwaliteit ten gevolge van de berging, een ontharding en een transportchloring.

Momenteel (1979) zijn drie spaarbekkens, te weten de Honderd en Dertig, de Petrusplaat en de Gijster in gebruik.

Aan het water uit de Honderd en Dertig wordt, vlak voordat het in de Petrusplaat stroomt, natriumhydroxide toegevoegd. Het gevormde  $\text{CaCO}_3$  kan tijdens het verblijf in de Petrusplaat van enkele weken sedimenteren en vormt op de bodem van het bekken een tamelijk compacte massa met hoge drogestofgehalten. De oorspronkelijke hardheid van 2 mmol/l wordt op deze wijze verlaagd tot circa 1,4 mmol/l; oorspronkelijk werd verder onthard, maar op aandrang van de GGD te Rotterdam werd in 1974 besloten eerder genoemde waarde als eindwaarde voor het onthardingsproces in te stellen.

De jaarcapaciteit van het bedrijf zal met de ingebruikneming van een vierde bekken in de verre toekomst kunnen oplopen tot  $500 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . In 1978 bedroeg de produktie  $118 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  voorgezuiverd en gedeeltelijk onthard Maaswater.

### 3.1.4 Gemeentelijk Energiebedrijf Dordrecht

Het GEB-Dordrecht beschikt over twee zuiveringsstations; één voor de zuivering van grondwater, het zuiveringsstation Oranjelaan, en één voor de zuivering van oppervlaktewater, het zuiveringsstation Baanhoek.

Het zuiveringsstation aan de Oranjelaan is sedert 1946 in gebruik. De zuivering bestaat uit beluchten, vervolgens vlokvorming en -afscheiding in een vlokkendekenapparaat, een zogenaamde accelator, waarin tevens de ontharding plaatsvindt, gevolgd door droogfiltratie, snelfiltratie en ozonisatie. Sinds september 1979 wordt niet meer gezoniseerd aangezien van ondiep- naar diep grondwater is overgegaan.

Na menging met het gezuiverde oppervlaktewater vindt nog een veiligheidschloring plaats.

In de accelators vindt ontharding plaats door vlokvorming; als chemicalie wordt calciumhydroxide toegepast. De totale verblijftijd in de accelators bedraagt circa 45 minuten; iedere accelator heeft een ontwerpcapaciteit van  $200 \text{ m}^3/\text{h}$ , maar de huidige belasting is  $125 \text{ m}^3/\text{h}$ ; er zijn drie vlokkendekeninstallaties aanwezig. De hardheid wordt door deze ontharding teruggebracht van 2,7 naar 1,7 à 1,8 mmol/l. De produktie bedraagt circa  $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  per jaar.

Het oppervlaktewaterstation beschikt over de spaarbekkens De Grote en Kleine Rug. Na inname uit de bekkens wordt aan het water NaOH,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{FeSO}_4$  en even later een vlokhulpmiddel toegevoegd.

De gevormde vlokken worden in upflow filters afgevangen. Na snelfiltratie en ozonisatie wordt het gezuiverde oppervlaktewater gemengd met het gezuiverde grondwater.

De ontharding vindt plaats door vlokvorming.

NaOH en  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  worden gedoseerd in zodanige verhouding dat het waterstofcarbonaatgehalte van het gemengde water 2 mmol/l bedraagt; deze verhouding moet regelmatig worden bijgesteld. De hardheid wordt van 2,6 op 1,7 à 1,8 mmol/l gebracht.

De produktiecapaciteit van Baanhoek bedraagt 1200 m<sup>3</sup>/h. De laatste jaren bedraagt de jaarproduktie circa  $6,5 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>. Ontharding heeft plaats sinds 1972.

Beide onthardingsprocessen vinden plaats in een gecombineerde zuiveringstrap met ijzerverwijdering en troebelheidsverlaging als overige doelstellingen.

### 3.1.5 Stichting Drinkwaterleiding De Elf Gemeenten

In het pompstation "De Hooge Boom" wordt sinds 1973 ontharding toegepast. Dit bedrijf is vernieuwd en medio 1979 weer officieel in gebruik genomen.

Ondiep grondwater met een hardheid van 3,4 à 3,8 mmol/l wordt na cascadebeluchting en droogfiltratie in korrelreactoren onthard; na menging met natriumhydroxide treedt kristallisatie van  $\text{CaCO}_3$  op de zandkorrels op. Na de ontharding vindt nafiltratie plaats. De instandhouding van het korrelbed (afvoer van korrels en aanvoer van nieuw entmateriaal) geschiedt automatisch. Na de laatste filtratiefase wordt het ontharde water gemengd met door de WMN geleverd, licht agressief, water, zodat pH-correctie vooralsnog niet noodzakelijk is.

De capaciteit van het bedrijf bedraagt circa  $3 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> gezuiverd drinkwater per jaar, met een eindhardheid van circa 1,6 mmol/l.

### 3.1.6 N.V. Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant

In twee pompstations van de N.V. Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant wordt ontharding toege-

past, te weten in het pompstation Schijf en in het pompstation Altena.

Het pompstation Schijf levert sinds april 1972 gezuiverd grondwater aan de N.V. Watermaatschappij Zuid-West-Nederland.

Na beluchting worden natriumhydroxide en recirculatieslib aan het water toegevoegd. De gevormde vlokken, bestaande uit de hydrolyse-produkten van ijzer en calciumcarbonaat, worden in lamellenseparatoren afgescheiden.

Na pH-correctie met zoutzuur vindt dubbellaags filtratie plaats. Vanuit de reinwaterkelders wordt het water getransporteerd naar de reinwaterkelders van de N.V. Watermaatschappij Zuid-West-Nederland te Huijbergen.

De ontharding vindt plaats tijdens een vlokvormingsproces, waarbij in het retourlib microkristallijn  $\text{CaCO}_3$  aanwezig is, wat als kristallisatiekern kan functioneren. De verblijftijd in de vlokvormingsgoot is circa 15 minuten. De hardheid wordt verlaagd van 2,5 à 2,6 naar 1,25 mmol/l. De jaarcapaciteit van het bedrijf is  $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

Het pompstation Altena zuivert diep grondwater met een natuurlijke hardheid van circa 3 mmol/l.

De zuivering vindt plaats door middel van beluchting, ontharding in korrelreactoren, pH-correctie met zoutzuur, en dubbellaagsfiltratie.

De ontharding wordt bewerkstelligd door dosering van kalkmelk, een suspensie van calciumhydroxide. Het merendeel van het gevormde  $\text{CaCO}_3$  bestaat uit kristallijn, op de korrels afgezet materiaal, terwijl het overige deel als zeer fijne vlokjes (de zogenaamde carry-over) uit de reactoren naar de nafiltsers gespoeld wordt.

De uiteindelijke hardheid bedraagt 1,3 mmol/l; de jaarcapaciteit van het bedrijf in de huidige uitvoering bedraagt  $2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Er is voorzien in mogelijkheden om deze capaciteit te verdubbelen.

3.1.7 Gemeentelijk Waterleidingbedrijf Ridderkerk

Het diepe- en ondiepe grondwater die in dit bedrijf gezuiverd worden hebben een natuurlijke hardheid van circa 3,2 mmol/l. Ontharding wordt sedert 1973 door middel van twee korrelreactoren, bedreven met natronloog, bewerkstelligd.

Na winning van het grondwater vindt droogfiltratie over zes filters plaats. Het effluent van drie filters wordt naar drie nafilts geleid, waarna deze stroom onthard wordt, en vervolgens gemengd wordt met het effluent van de andere drie voorfilters waarna de totale, gemengde stroom over de overige nafilts wordt geleid.

Deze "split-treatment"-behandeling verlaagt de hardheid van de totale stroom tot 2,5 mmol/l.

Door de menging van onthard en niet-onthard water is de pH zodanig dat een correctie door middel van een zuurdosering niet nodig is.

De maximale uurproduktie bedraagt 500 m<sup>3</sup>; de jaarproduktie bedroeg in 1978 circa 2,15.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

3.1.8 Waterleidingbedrijf "De Rijnstreek"

Het pompstation te Hazerswoude onttrekt aan het ondiepe watervoerende pakket grondwater met een hardheid van 5,7-5,9 mmol/l. Voorheen bestond de zuivering uit voorfiltratie, beluchting en nafiltratie; sinds medio 1978 wordt ontharding toegepast tussen de beluchtungs- en de nafiltratiefase.

De onthardingsfase bestaat uit drie korrelreactoren die ieder een capaciteit van 200 m<sup>3</sup>/h hebben. Als base wordt natriumhydroxide gebruikt; de hardheid van het uitgaande water bedraagt 2,5-2,9 mmol/l.

Het effluent van de reactoren heeft een pH die zodanig is dat een pH-correctie met zuur niet noodzakelijk is.



De jaarproduktie bedraagt ongeveer  $2,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

In de bijlagen is van ieder van deze bedrijven een meer uitvoerige beschrijving te vinden.

### 3.2 Ontharding in het buitenland

Ontharding vindt in het buitenland, en met name in de Verenigde Staten, al sedert lang en op grote schaal plaats.

In 1945 werd er in de Verenigde Staten door 665 bedrijven centrale ontharding toegepast waardoor circa twaalf miljoen mensen van gedeeltelijk onthard drinkwater werden voorzien (8).

In Groot-Brittannië is ontharding voor sommige omstandigheden door de regionale autoriteiten voorgeschreven. In 1952 waren zeven bedrijven verplicht ontharding uit te voeren, terwijl nog eens zeven bedrijven op eigen initiatief ontharding toepasten (8).

De vlokvormingsmethode, waarbij grote hoeveelheden calciumcarbonaathoudend slib vrijkomen, werd bijna steeds toegepast. Dit slib werd over het algemeen geloosd in grote rivieren in de nabijheid van de zuiveringsbedrijven. De ontwikkeling van een uitgebreide wetgeving met betrekking op de oppervlaktewaterverontreiniging beperkt de mogelijkheden om het slib op deze manier af te voeren aanzienlijk.

Alternatieve methoden als ionenwisseling (met weer een geheel eigen afvalproblematiek) en kristallisatie worden in beperkte mate toegepast.

In West-Europa wordt ontharding slechts sporadisch toegepast; op industrieel niveau vindt ontharding

vanzelfsprekend wel plaats in verband met specifieke eisen voor het water. Ionenwisseling en in een enkel geval kristallisatie in korrelreactoren zijn hier de toegepaste methoden, wanneer water onttrokken wordt aan het drinkwaterleidingnet.

De meeste onthardingsinstallaties in de Verenigde Staten bestaan uit flocculatie-inrichtingen, waar het kalk-soda-proces bedreven wordt. Vaak wordt het flocculatieproces in twee trappen uitgevoerd.

"Split-treatment"-processen worden vrij algemeen toegepast; een deel van de hoofdstroom, vaak circa 50-75 %, wordt verregaand onthard en vervolgens gemengd met het niet-ontharde water ("blending"). Bij deze verregaande ontharding treedt vaak een zeer hoge pH op, vaak hoger dan 11, zodat magnesium in meerdere of mindere mate verwijderd kan worden. Omdat met het kalk-soda-proces het waterstofcarbonaatgehalte in sommige gevallen te laag wordt, past men wel kooldioxidedosering toe door middel van bellenkolommen ("recarbonation"), ten einde het water in een stabiele, niet-agressieve toestand te brengen.

Voor kleine bedrijven (met een capaciteit kleiner dan 20.000 m<sup>3</sup>/dag) is ionenwisseling in zeolietfilters een veel toegepaste mogelijkheid.

Door een dreigend tekort aan soda is een aantal bedrijven in de Verenigde Staten ertoe overgegaan in plaats van het kalk-soda-proces ontharding met natronloog toe te passen.

Ionenwisseling voor grotere bedrijven is slechts aantrekkelijk wanneer goede afvoermogelijkheden voor de regeneratiebrijn aanwezig zijn. De afvoer door middel van een pijpleiding naar zee wordt wel toegepast, maar is slechts economisch verantwoord wanneer het onthardingsbedrijf dicht bij zee gelokaliseerd is.

Om de slibproblemen van het kalk-soda-proces het hoofd te bieden, wordt ook wel terugwinning van calciumoxide uit slib door middel van hittebehandeling in ovens toegepast. Het teruggewonnen CaO kan deels worden verkocht, deels weer binnen het bedrijf voor de ontharding worden gebruikt.

Deze "recalcination" kan bijvoorbeeld plaats vinden in fluid-bed ovens met een reactietemperatuur van circa 900 °C.

Samenvattend kan gezegd worden dat in het buitenland en met name in de Verenigde Staten ontharding tot nu toe voornamelijk plaatsvindt in vlokvormingsprocessen, waarbij calciumhydroxide en soda de meest toegepaste chemicaliën zijn. Ionenwisseling en kristallisatie zijn minder toegepaste methoden, maar mogelijk is er een tendens waar te nemen naar een toename van het aandeel van deze processen in de centrale ontharding.

In de bijlagen zijn enkele bedrijven met name genoemd en daarbij zijn de toegepaste onthardingsmethoden vermeld.

4.

#### DE KEUZE VAN EEN ONTHARDINGSSYSTEEM

Bij de bepaling van de keuze van een deelonthardingssysteem spelen de volgende zaken een rol:

1. de wettelijke kwaliteitseisen aan (onthard) water en niet-wettelijke eisen in verband met de stabiliteit van het afgeleverde water
2. de technische bedrijfszekerheid van het systeem
3. milieu-effecten voor wat betreft de afvalstromen van het systeem
4. kostenaspecten.

In gedachten kan nog een onderverdeling worden gemaakt naar "absolute", door de overheid opgelegde, bindende, eisen, en "relatieve", binnen het bedrijf geformuleerde eisen.

Nogmaals wordt er hier de aandacht op gevestigd dat een onthardingssysteem niet noodzakelijkerwijze een afzonderlijke fase in de zuivering behoeft te betekenen, ook de ontharding in vlokvormingsprocessen is een voorbeeld van integratie van verschillende zuiveringsoogmerken.

Bij ontzoutingstechnieken is ontharding een, soms zelfs ongewenst, bijverschijnsel.

In principe zijn, om ontharding te bewerkstelligen, de processen beschikbaar zoals genoemd in hoofdstuk 2. In dit hoofdstuk zal echter alleen de eerste methode, waarbij calciumcarbonaat (en eventueel magnesiumhydroxide en/of magnesiumcalciumcarbonaat) gevormd wordt, beschouwd worden. De overige methoden, ionenwisseling, ontzouting en calciumfosfaat-slibvorming zullen verder buiten beschouwing blijven. Deze methoden zijn in de literatuur uitvoerig beschreven en vormen voor de Nederlandse situatie

geen aantrekkelijke mogelijkheden, waarbij met name de bezwaren van de afvalstromen en de hoge kosten genoemd kunnen worden.

De keuze van een onthardingssysteem zal voorlopig worden opgesplitst in:

1. de keuze van de chemicalie of chemicaliën
2. de keuze van de aard van het proces (vlokvorming of kristallisatie) en de uitvoeringsvorm.

In een latere fase worden deze beide keuzen geïntegreerd.

#### 4.1 De chemicaliekeuze

Zoals in hoofdstuk 2 al bleek zijn de op economische gronden in aanmerking komende basen NaOH en  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , terwijl als carbonaat om dezelfde reden  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  in aanmerking komt. Deze chemicaliën zullen getoetst worden aan de in het voorgaande genoemde criteria.

##### 4.1.1 De chemicaliekeuze met betrekking tot de in het proces verkregen eindkwaliteit

Hierbij zijn belangrijk de uitgangskwaliteit van het water en de wettelijke kwaliteitseisen en niet-wettelijke aanbevelingen met betrekking tot de stabiliteit.

In de EG-richtlijn van de Raad betreffende water voor menselijke consumptie, gepubliceerd 17 juli 1980, zijn onder meer de volgende richtlijnen gegeven:

voor onthard water:

totale hardheid            minimaal 1,5 mmol/l  
waterstofcarbonaat       minimaal 0,5 mmol/l  
magnesiumgehalte richtniveau 30 mg/l,  
   maximaal 50 mg/l  
pH,  $[\text{HCO}_3^-]$ ,  $[\text{O}_2]$  zodanig dat het water niet  
agressief is

algemeen:

natriumgehalte m.i.v. 1984 175 mg/l  
   m.i.v. 1987 150 mg/l  
(uitzonderingen mogelijk)

De Commissie Methodieken Centrale Ontharding heeft in haar eerste rapport (2) voorwaarden geformuleerd ten einde de wisselwerking tussen drinkwater en leidingmaterialen te minimaliseren. Deze zijn

aanbevelingen met betrekking tot de stabiliteit

pH tussen            8,0 en 8,3  
SI tussen            0,0 en 0,3  
 $[\text{HCO}_3^-]$  minimaal 2 mmol/l

Dit impliceert dat van de uitgangskwaliteit van het te ontharden water de volgende parameters belangrijk zijn ten aanzien van de eindkwaliteit:  
 $[\text{Ca}^{2+}]$ ,  $[\text{Mg}^{2+}]$ ,  $[\text{CO}_2]$ ,  $[\text{HCO}_3^-]$ ,  $[\text{CO}_3^{2-}]$ ,  $[\text{Na}^+]$ .

Andere parameters die van belang kunnen zijn maar die niet in deze beschouwing zijn opgenomen zijn bijvoorbeeld de geleidbaarheid,  $[Cl^-]$  en  $[SO_4^{2-}]$ . Deze beide laatste parameters kunnen een belangrijke rol spelen wanneer na de ontharding een pH-correctie met zuur noodzakelijk blijkt te zijn.

De hiervoor het meest in aanmerking komende zuren zijn zwavelzuur en zoutzuur.

Nagegaan dient te worden wat de eindkwaliteit van het te ontharden water wordt, wanneer men dit behandelt met één van de drie beschikbare chemicaliën of een combinatie uit deze drie.

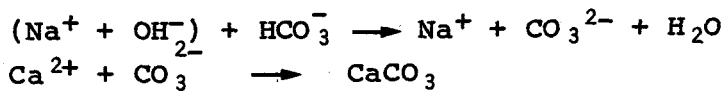
In principe zijn er zeven mogelijkheden om de chemicaliën toe te passen:

1. alleen NaOH
2. alleen  $Ca(OH)_2$
3. alleen  $Na_2CO_3$
4. NaOH en  $Na_2CO_3$
5.  $Ca(OH)_2$  en  $Na_2CO_3$
6.  $Ca(OH)_2$  en NaOH
7. NaOH,  $Ca(OH)_2$  en  $Na_2CO_3$ .

De laatste mogelijkheid is slechts volledigheidshalve aangegeven.

De reactievergelijkingen voor de vorming van calciumcarbonaat zijn:

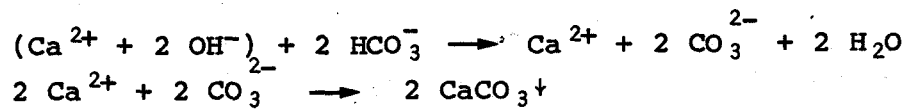
a. met NaOH



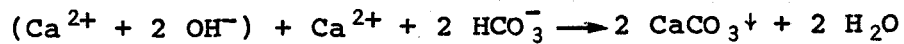
————— (overall reactie)



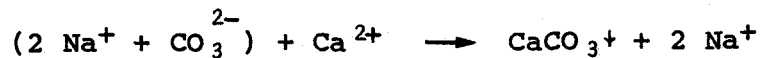
b. met Ca(OH)<sub>2</sub>



————— (overall reactie)



c. met Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



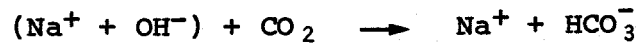


Zoals blijkt uit de reactievergelijkingen is de pH tijdens de reactie zodanig dat er carbonaat in de oplossing aanwezig is. In het uitgangswater is echter (soms in grote concentraties) kooldioxide aanwezig.

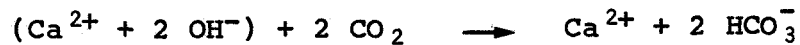
Voordat ontharding optreedt moet dus eerst het kooldioxide in waterstofcarbonaat worden omgezet.

Dit verloopt als volgt:

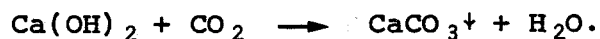
a. met NaOH



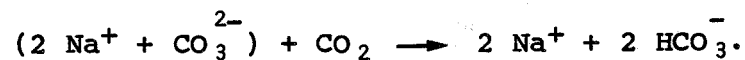
b. met Ca(OH)<sub>2</sub>



Bij de omzetting van kooldioxide in waterstofcarbonaat gaat calcium in oplossing, terwijl dit juist verwijderd zou moeten worden bij de ontharding. Er is dus extra Ca(OH)<sub>2</sub> benodigd om ook de Ca<sup>2+</sup> te verwijderen die ten gevolge van de verwijdering van CO<sub>2</sub> met Ca(OH)<sub>2</sub> is opgelost. Rekenwerk wordt vereenvoudigd door de volgende vergelijking toe te passen.



c. met Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



Dit zijn de zogenaamde ontzuringsreacties.

De vorming van magnesiumhydroxide heeft pas plaats bij hoge pH's. De orde van grootte van deze pH's is dusdanig dat dan alle watestofcarbonaat in carbonaat is omgezet.

De reacties voor de vorming van  $Mg(OH)_2$  zijn:

a. met NaOH



b. met  $Ca(OH)_2$



c. met  $Na_2CO_3$

De vorming van  $Mg(OH)_2$  met  $Na_2CO_3$  is niet mogelijk; de evenwichts-pH van een zuivere soda-oplossing is niet hoog genoeg om magnesiumhydroxidevorming te veroorzaken.

Omdat de bijdrage van magnesium aan de totale hardheid meestal gering is (circa 0 tot 20 % van de totale hardheid), en de verwijdering van magnesium over het algemeen genomen verwaarloosbaar is, wordt er hier in het vervolg ten behoeve van de eenvoud vanuit gegaan dat ontharding steeds betekent een verlaging van de calciumionenconcentratie.

Tabel 3 geeft een en ander nog eens overzichtelijk weer. Er is hier sprake van stoechiometrische hoeveelheden. In de praktijk moet men rekening houden met een overmaat van 0 tot 20 %, zodat de effecten slechts bij benadering overeenstemmen met de werkelijkheid.

Tabel 3 Stoechiometrisch benodigde hoeveelheden NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub> en Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> voor ontzuring en ont-harding.

te verwijderen:	benodigd:	effect(en):
1 mmol/l CO <sub>2</sub>	1 mmol/l NaOH  1 mmol/l Ca(OH) <sub>2</sub>  1 mmol/l Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	toename HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> met 1 mmol/l toename Na <sup>+</sup> met 1 mmol/l  vorming 1 mmol/l CaCO <sub>3</sub>  toename HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> met 2 mmol/l toename Na <sup>+</sup> met 2 mmol/l
1 mmol/l Ca <sup>2+</sup>	1 mmol/l NaOH  1 mmol/l Ca(OH) <sub>2</sub>  1 mmol/l Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	afname HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> met 1 mmol/l vorming 1 mmol/l CaCO <sub>3</sub> toename Na <sup>+</sup> met 1 mmol/l  afname HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> met 2 mmol/l vorming 2 mmol/l CaCO <sub>3</sub>  vorming 1 mmol/l CaCO <sub>3</sub> toename Na <sup>+</sup> met 2 mmol/l
1 mmol/l Mg <sup>2+</sup> (nadat alle HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> <sub>2-</sub> is omgezet in CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	2 mmol/l NaOH  1 mmol/l Ca(OH) <sub>2</sub>  Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	vorming 1 mmol/l Mg(OH) <sub>2</sub> toename Na <sup>+</sup> met 2 mmol/l  vorming 1 mmol/l Mg(OH) <sub>2</sub> vorming 1 mmol/l CaCO <sub>3</sub> afname CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> met 1 mmol/l  geen Mg <sup>2+</sup> -verwijdering mogelijk

<sup>1)</sup> er wordt CaCO<sub>3</sub> gevormd zolang er voldoende CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> in het water aanwezig is.

Gegeven de uitgangskwaliteit van het water en de gewenste eindhardheid kan nu globaal bepaald worden wat met ieder van de chemicaliën de typische eindkwaliteit zou worden.

Wanneer men stelt dat:

$$[\text{CO}_2] = a; [\text{HCO}_3^-] = b;$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = c; [\text{Mg}^{2+}] = d;$$

$$th_g = e; (\text{totale hardheid}_{\text{gewenst}})$$

$$[\text{Na}^+] = f.$$

(a t/m f uitgedrukt in mmol/l), kan met behulp van tabel 4 bepaald worden wat de samenstelling van het water wordt voor wat betreft calcium-, magnesium-, waterstofcarbonaat- en natriumconcentratie, het verbruik aan chemicalie en de gevormde hoeveelheid  $\text{CaCO}_3$  uitgedrukt in mg  $\text{CaCO}_3$ /l. Over de vorm waarin het  $\text{CaCO}_3$  wordt afgescheiden wordt hier geen uitspraak gedaan; deze is afhankelijk van de aard van het proces.

Tabel 4. Chemicalieverbruik en globale waarde van bij het onthardingsproces belangrijke parameters na ontzuring en ontharding, in mmol/l, en  $\text{CaCO}_3$ -produktie in mg/l. Geen magnesiumverwijdering.

	chemicalie verbruik					CaCO <sub>3</sub> - produktie in mg/l
	[Ca <sup>2+</sup> ]	[Mg <sup>2+</sup> ]	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	[Na <sup>+</sup> ]		
	mmol/l					
NaOH	a+c+d-e	e-d	d	a+b-c	a+c+d -d+e	100(c+d-e)
Ca(OH) <sub>2</sub>	a+c+d-e	e-d	d	b-2c	f -2d+2e	100a+ 200(c+d-e)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	a+c+d-e	e-d	d	b+2a	2a+2c+ 2d-2ef	100(c+d-e)

Met behulp van tabel 4 is het nu mogelijk een vergelijking te maken tussen de eindkwaliteiten behorend bij de verschillende chemicaliën.

De eindkwaliteiten moeten nu vergeleken worden met de kwaliteitseisen. Ook combinaties van chemicaliën kunnen in de beschouwing worden opgenomen door gebruikmaking van een gewogen coëfficiënt.

Onderstaande voorbeelden zullen het gebruik van tabel 4 nader toelichten.

Voorbeeld 1

Gegeven een grondwater met de volgende kenmerken:

$[\text{CO}_2]$	= 1,0 mmol/l na beluchten	a = 1,0
$[\text{HCO}_3^-]$	= 7,0 mmol/l	b = 7,0
$[\text{Ca}^{2+}]$	= 3,0 mmol/l	c = 3,0
$[\text{Mg}^{2+}]$	= 0,5 mmol/l	d = 0,5
totale hardheid <sub>gewenst</sub>	= (th) <sub>g</sub>	
	= 1,5 mmol/l	e = 1,5
$[\text{Na}^+]$	= 3,0 mmol/l	f = 3,0

Tabel 4 kan nu ingevuld worden:

chemicalie	verbruik mmol/l	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Na}^+$	$\text{CaCO}_3$ prod.
NaOH	3,0	1,0	0,5	6,0	6,0	200
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	3,0	1,0	0,5	3,0	3,0	500
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	3,0	1,0	0,5	9,0	9,0	200

Geconcludeerd kan worden:

1. met NaOH kan onthard worden; het natrium-gehalte neemt sterk toe, doch blijft beneden de maximum-grens die in 1987 gehanteerd zal worden (EG-aanbeveling). Het waterstofcarbonaatgehalte blijft relatief hoog
2. met  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  als chemicalie ontstaat een eindkwaliteit die voldoet aan alle normen en aanbevelingen
3. een  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -dosering resulteert in een te hoog natriumgehalte (eis 1984) en een hoog waterstofcarbonaatgehalte.

Afgezien wordt hier nog van de  $\text{CaCO}_3$ -produktie, die in 4.1.3 en 4.1.4 aan de orde komt.

Met betrekking tot de kwaliteits- en stabiliteits-eisen ligt het voor de hand om dit geval  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  toe te passen. Toepassing van NaOH is echter ook toelaatbaar.

#### Voorbeeld 2

Gegeven een oppervlaktewater met de volgende kenmerken:

$[\text{CO}_2]$	= 0	a = 0
$[\text{HCO}_3^-]$	= 2,0 mmol/l	b = 2,0
$[\text{Ca}^{2+}]$	= 2,0 mmol/l	c = 2,0
$[\text{Mg}^{2+}]$	= 0,5 mmol/l	d = 0,5
$\text{th}_g$	= 1,5 mmol/l	e = 1,5
$[\text{Na}^+]$	= 4,0 mmol/l	f = 4,0

De tabel ziet er nu als volgt uit:

chemicalie	verbruik	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	CaCO <sub>3</sub> - prod.
NaOH	1,0	1,0	0,5	1,0	5,0	100
Ca(OH) <sub>2</sub>	1,0	1,0	0,5	0,0	4,0	200
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1,0	1,0	0,5	2,0	6,0	100

**Conclusies:**

1. met NaOH of Ca(OH)<sub>2</sub> is het niet mogelijk de stabiliteitseis met betrekking tot het waterstofcarbonaatgehalte te halen
2. door de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-dosering blijft het waterstofcarbonaatgehalte (globaal) gelijk zodat dit de enige resterende mogelijkheid is tot ontharden.

**Voorbeeld 3**

Gegeven een oppervlaktewater met de volgende voor de ontharding belangrijke parameters:

[CO <sub>2</sub> ]	= 0,5 mmol/l	a = 0,5
[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]	= 3,0 mmol/l	b = 3,0
[Ca <sup>2+</sup> ]	= 2,0 mmol/l	c = 2,0
[Mg <sup>2+</sup> ]	= 0,5 mmol/l	d = 0,5
th <sub>g</sub>	= 1,5 mmol/l	e = 1,5
[Na <sup>+</sup> ]	= 4,0 mmol/l	f = 4,0

De tabel kan weer ingevuld worden:

chemicalie	verbruik	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	CaCO <sub>3</sub> - prod.
NaOH	1,5	1,0	0,5	2,5	5,5	100
Ca(OH) <sub>2</sub>	1,5	1,0	0,5	1,0	4,0	250
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1,5	1,0	0,5	4,0	7,0	100

Conclusies:

1. ontharding met Ca(OH)<sub>2</sub> resulteert in een te laag waterstofcarbonaatgehalte
2. Zowel met NaOH als met Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> zijn de kwaliteits-eisen haalbaar; met NaOH wordt echter een betere kwaliteit bereikt met betrekking tot het natrium- en waterstofcarbonaatgehalte.

Men kan nu, uitgaande van een bekende kwaliteit van het te ontharden water, bepalen welke chemicalie of chemicaliëncombinatie(s) in aanmerking komen om de ontharding te bewerkstelligen, met als criteria de kwaliteits- en stabiliteitseisen na afloop van de zuivering.

Wanneer hieruit meerdere mogelijkheden volgen, kan de keuze verder bepaald worden aan de hand van onderstaande factoren:

de technische bedrijfszekerheid van het systeem (besproken in 4.1.2)

de milieu-effecten (4.1.3)

de kostenaspecten (4.1.4).



4.1.2 De chemicaliekeuze met betrekking tot de technische bedrijfszekerheid van het systeem

Deze beschouwing kan worden gesplitst in twee delen, te weten:

1. aanvoer, opslag en dosering van de chemicaliën (slechts in beperkte mate afhankelijk van de waterkwaliteit)
2. de stabiliteit van het onthardingsproces als zodanig (indirecte afhankelijkheid van de waterkwaliteit).

De behandeling van de chemicaliën

Op deze plaats is het eerst nodig een globale beschrijving van de opslag-, aanmaak- en doseringsinstallaties te geven.

Een natronlooginstallatie is globaal opgebouwd uit enkele parallel geschakelde opslagtanks (met een volume van 15 m<sup>3</sup> of groter); deze tanks kunnen gekoppeld zijn aan een verdunningsinstallatie die zodanig is ingericht dat bij de inbreng van de natronloog in de tank een zodanige hoeveelheid water wordt aangevoerd dat de gewenste verdunning wordt bereikt. Verdunning van de aangevoerde (meest 50 %-ige) oplossingen wordt toegepast om uitkristalliseren te voorkomen bij lagere temperaturen. Onderstaande tabel geeft het verband tussen de NaOH-concentratie en de bijbehorende kristallisatietemperatuur.

Tabel 5. Verband tussen NaOH-concentratie en kristallisatietemperatuur.

uit: "Caustic soda", Solvay & Cie, Advertising Department.

NaOH-concentratie in g/100 g oplossing	kristallisatie- temperatuur, °C
18	- 28
22	- 24
24	- 17
32	+ 8
45	+ 7
50	+ 12

Uit de tabel is af te leiden dat 25 %-ige oplossingen 's winters in onverwarmde ruimten kunnen worden opgeslagen, terwijl 50 %-ige oplossingen daarentegen in verwarmde ruimten dienen opgeslagen te worden.

Wanneer onverdunde oplossingen worden gehanteerd dient ook de toevoerleiding naar de pompen en vervolgens naar het doseerpunt verwarmd te zijn. Bij verdunning van de oplossing kan een zekere ontharding van het verdunningswater optreden en vorming van  $\text{CaCO}_3$  plaatsvinden indien waterstofcarbonaat in het verdunningswater aanwezig is.

Dit leidt over het algemeen echter niet tot problemen bij een goede constructie.

Calciumhydroxide kan als zodanig in poedervorm worden gekocht (poederkalk, gebluste kalk) of kan worden bereid door calciumoxide,  $\text{CaO}$ , (ongebluste

kalk), te laten reageren met water.

Bij dit proces komt veel warmte vrij. In de drinkwatervoorziening wordt voor zover bekend slechts in een enkel geval gebruik gemaakt van CaO, voornamelijk omdat voor een CaO-installatie hogere investeringen vereist zijn.

De poederkalk wordt opgeslagen in silo's en van daaruit door middel van een doseerinrichting (bijvoorbeeld een bandweegapparaat) in een oplosvat gevoerd en gemengd met een bepaalde hoeveelheid water. Wordt weinig  $\text{Ca(OH)}_2$  toegevoerd dan ontstaat een heldere oplossing, waarbij het calciumhydroxide gedissocieerd is (kalkwater), terwijl bij grotere aangevoerde hoeveelheden een kalkmelksuspensie ontstaat (oplosbaarheid van  $\text{Ca(OH)}_2$  22 mmol/l bij 10 °C).

Ook hier kan ontharding van het verdunningswater optreden of  $\text{CaCO}_3$  gevormd worden door opname van  $\text{CO}_2$  uit de lucht aan het oppervlak van de suspensie in het (meestal open uitgevoerde) mengvat.

Vanuit dit vat wordt door middel van een rondpompleiding de suspensie naar het doseerpunt getransporteerd. In de rondpompleiding wordt een hoge stroomsnelheid gehandhaafd om verstoppingen en afzettingen te voorkomen.

De oplosnelheid van  $\text{Ca(OH)}_2$  in water is afhankelijk van de temperatuur en is ongunstiger naarmate de temperatuur lager is.

Een ander belangrijk aspect is de deeltjesgrootteverdeling van de  $\text{Ca(OH)}_2$  in de suspensie. Naarmate de deeltjes kleiner zijn, zal het rendement van de reactie hoger liggen.

Vergeleken met een NaOH-dosering is een  $\text{Ca(OH)}_2$ -dosering minder storingsvrij en vergt ze een intensiever onderhoud.

Soda wordt in de drinkwaterbereiding in Nederland

tot op heden niet toegepast zodat ervaringen in eigen land niet aanwezig zijn. In de V.S. wordt het kalk-soda-proces op grote schaal toegepast en is er dus een ruime ervaring op dit gebied. Soda is verkrijgbaar als water vrije soda (gecalcineerde soda) en als waterhoudende (kristal-)soda.

Gezien de produktiemethoden van deze chemicaliën kunnen verontreinigingen aanwezig zijn die schadelijk zijn voor de gezondheid of technische problemen opleveren wanneer ze in het drinkwater gebracht worden. Een controle hierop is noodzakelijk. NaOH kan verontreinigd zijn met metallisch kwik, terwijl de poederkalk  $\text{SiO}_2$  kan bevatten.

In Nederland worden momenteel alleen  $\text{Ca(OH)}_2$  en NaOH toegepast in de ontharding. De opslag en dosering van NaOH is aanzienlijk eenvoudiger en vereist minder toezicht dan de opslag van poederkalk, de aanmaak van een kalkmelksuspensie en de dosering daarvan.

De bedrijfszekerheid van het onthardingsproces.

Een zeer belangrijke factor is hier de temperatuur van het water. Grondwater heeft over het algemeen een constante temperatuur van circa 10-12 °C; oppervlaktewater daarentegen kan in temperatuur variëren van +0 tot bijvoorbeeld 25 °C.

Zoals al genoemd is in de voorgaande paragraaf wordt de oplosbaarheid van  $\text{Ca(OH)}_2$  in water minder naarmate de temperatuur daalt. Hierdoor is het moeilijk een kalkmelksuspensie met constante concentratie te bereiden. Dientengevolge kan de mate van ontharding niet geheel in de hand gehouden worden wanneer de dosering van de kalkmelk volume-gestuurd wordt.

Bekend is dat het kristallisatieproces met kalkmelk beneden de 10 °C minder goed verloopt en beneden de 5 °C in het geheel niet meer verloopt.

Dit impliceert direct dat de kristallisatiemethode, bedreven met kalkmelk, geheel ongeschikt is voor oppervlaktewater. Met NaOH zijn in dit proces geen temperatuursafhankelijkheden waar te nemen tot +0 °C.

In het kristallisatieproces met de korte verblijftijden (enkele minuten) kunnen  $\text{Ca(OH)}_2$ -partikeltjes die in de suspensie aanwezig zijn als carry-over uit de reactor gevoerd worden doordat het oppervlak van deze deeltjes bedekt is met  $\text{CaCO}_3$ . Het rendement daalt hierdoor en de belasting op de nafilts neemt toe.

Tot 35 % van het gevormde  $\text{CaCO}_3$  kan op deze wijze uit de reactor gespoeld worden.

De bedrijfszekerheid van het onthardingsproces zal met NaOH over het algemeen groter zijn dan met  $\text{Ca(OH)}_2$ . Kalkmelk kan niet worden toegepast wanneer oppervlaktewater door middel van het kristallisatieproces wordt onthard.

#### 4.1.3 De chemicaliekeuze met betrekking tot de milieueffecten

Nog afgezien van de vorm waarin het ontstane  $\text{CaCO}_3$  vrijkomt is de hoeveelheid gevormd materiaal belangrijk. Zoals uit tabel 4 en de bijbehorende voorbeelden al volgt is de  $\text{CaCO}_3$ -produktie van een onthardingsproces met NaOH even groot als wanneer  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  wordt toegepast. Wordt echter  $\text{Ca(OH)}_2$  gebruikt, dan treedt minstens een verdubbeling in de  $\text{CaCO}_3$ -produktie op.

Bij gecombineerd gebruik van twee chemicaliën wordt een tussenliggende waarde bereikt.

Daar momenteel noch voor  $\text{CaCO}_3$ -slib, noch voor  $\text{CaCO}_3$ -korrels een afzetmarkt is, moet het materiaal door middel van gecontroleerd storten verwijderd worden, hetgeen een belasting voor het milieu betekent. Wanneer  $\text{CO}_2$ -rijk water in contact komt met het gestorte  $\text{CaCO}_3$ , zal een deel daarvan opgelost worden en de hardheid van dit water toenemen.

Er moet dus gestreefd worden naar een minimale  $\text{CaCO}_3$ -produktie om het milieu minimaal te belasten.

Een mogelijkheid om de af te voeren hoeveelheid  $\text{CaCO}_3$  te beperken of zelfs tot nul te reduceren is de thermische behandeling van  $\text{CaCO}_3$  waardoor  $\text{CaO}$  ontstaat. Aangezien het slib van vlokvormingsprocessen en de korrels van het kristallisatieproces geen van beide zuiver  $\text{CaCO}_3$  bevatten, moet wel rekening gehouden worden met het ontstaan van een min of meer verontreinigd produkt.

In Nederland wordt deze methode (nog) niet toegepast, in de V.S. heeft dit proces echter al wel opgang gemaakt.

#### 4.1.4 De chemicaliekeuze met betrekking tot de kostenaspecten

De kosten kunnen als volgt worden gesplitst:

1. chemicaliekosten
2. investeringskosten voor opslag- en doseerinrichting
3. exploitatiekosten
4. kosten voor de verwijdering van gevormd  $\text{CaCO}_3$
5. eventueel; verborgen kosten in de verdere zuivering.

### Chemicaliekosten

De chemicaliekosten zijn sterk afhankelijk van de afgenomen hoeveelheden per jaar en de afstand waarover het transport plaatsvindt.

Bij de gebruikelijke jaarverbruiken lag de prijs van de chemicaliën in 1979 ongeveer als volgt:

natriumhydroxide: f 400,- à f 450,- per 1000 kg  
100 %-ige NaOH

calciumhydroxide: (afhankelijk van zuiverheid)  
f 140,- à f 160,- per 1000 kg circa 98 %-ige  
Ca(OH)<sub>2</sub>

soda: (sterk afhankelijk van mate van zuiverheid en de geleverde vorm, namelijk watervrij of waterhoudend) geen éénduidige prijs bekend. Eén bepaalde kwaliteit kostte f 400,- per 1000 kg 100 %-ige Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

De globale prijsverhouding tussen calcium- en natriumhydroxide is circa 1 : 3, wanneer de hoeveelheden in gewichten zijn uitgedrukt. Dit is echter niet correct, daar de onthardingseffecten beschouwd moeten worden. Om 1 mol calciumionen te verwijderen is volgens de reactievergelijkingen van 4.1.1 nodig 1 mol NaOH, 1 mol Ca(OH)<sub>2</sub> of 1 mol Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. De prijzen per gewichtshoeveelheid moeten worden omgerekend naar prijzen per mol met behulp van de moleculgewicht. Deze bedragen respectievelijk 40, 74 en 106 voor NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub> en Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, zodat de prijzen respectievelijk worden f 0,016-0,018 per mol, f 0,010-0,012 per mol, en f 0,042 per mol voor NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub> en Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. De chemicaliekosten voor ontharding van een bepaalde watersoort bedragen nu:

$$K_{\text{chem}} = ((th_u - th_g) + [CO_2]) \cdot e \cdot p \text{ (f/m}^3\text{)}$$

waarin:

$th_u$  = totale hardheid uitgangskwaliteit (mmol/l)

$th_g$  = gewenste totale hardheid (mmol/l)

$e$  = benodigde overmaat chemicalie, uitgedrukt in benodigde hoeveelheid/stoïchiometrische hoeveelheid.  $e$  heeft een waarde, die minimaal gelijk is aan 1,0 en afhankelijk van het proces en de gekozen chemicalie kan oplopen tot 1,3 à 1,4

$p$  = prijs van de chemicalie in f/mol.

Een eventuele pH-correctie door middel van een zuur (zwavelzuur, zoutzuur of eventueel koolzuur) verhoogt de chemicaliekosten van de ontharding.

#### Investeringskosten

De investeringskosten voor een opslag- en doseerinrichting zijn dusdanig afhankelijk van de omstandigheden dat hierover geen éénduidige uitspraken gedaan kunnen worden. Waarschijnlijk zal een kalkmelkaanmaak- en doseringsinrichting wat hogere investeringen vergen dan een natronlooginstallatie.

#### Exploitatiekosten

De exploitatiekosten zijn bij gebruik van  $Ca(OH)_2$  duidelijk hoger dan bij toepassing van NaOH. Ook hier is het echter niet mogelijk dit verschil te kwantificeren.

#### Kosten verwijdering gevormd $CaCO_3$

Bij vlokvormingsprocessen wordt het slib vaak in slibvijvers gelaten. Hier vindt indikking en compactie van het slib plaats tot zelfs een drogestofgehalte van 50 %, echter na lange verblijftijden.



Verdere afvoer vindt plaats door leegbaggeren van de slibvijver. In 1976 kostte het afvoeren van 1 m<sup>3</sup> materiaal circa f 11,-. Gezien de strenger wordende wetgeving met betrekking tot afvalstoffen kan verwacht worden dat deze prijzen aanzienlijk verhoogd zullen worden, tenzij gebruiksdoeleinden van slib gevonden kunnen worden.

De afvoer van korrels bij het kristallisatieproces is eenvoudiger wegens het veel kleinere volume.

De afvoerkosten bedragen circa f 20,- per m<sup>3</sup>, ofwel circa f 10,- per 1000 kg gevormd CaCO<sub>3</sub>.

Een beperking van de hoeveelheid geproduceerd CaCO<sub>3</sub> heeft economische voordelen. De grootte hiervan is echter sterk afhankelijk van de vorm van het CaCO<sub>3</sub> (als korrels of slib) en tevens de lokale omstandigheden.

#### Verborgene kosten in de verdere zuivering

Hier valt vooral te denken aan de gevolgen van een lichte na-ontharding en de carry-over van gevormd CaCO<sub>3</sub> van de onthardingsfase.

Na-ontharding in het bedrijf resulteert in afzettingen in leidingen, sproeikoppen, op filtermateriaal en dergelijke. Een grote carry-over betekent kortere looptijden voor de nafilts, dientengevolge een hoger spoelwatergebruik en eventueel zelfs andere filterconstructies met grotere berging in het filterbed (upflowfiltratie of dubbellaagsfiltratie).

Een kwantificering van deze verborgen kosten is niet mogelijk. Wel is bekend dat de carry-over van kristallisatieprocessen met kalkmelk bedreven tamelijk groot kan zijn en dientengevolge grotere verborgen kosten aanwezig zijn dan wanneer hetzelfde proces met natronloog zou worden bedreven.

#### 4.1.5 Samenvatting chemicaliekeuze

Over het algemeen zal een keus gemaakt moeten worden tussen NaOH en  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . In bijzondere gevallen zullen ook chemicaliecombinaties in de overwegingen betrokken moeten worden.

De wettelijke kwaliteitseisen en de geformuleerde (echter niet-wettelijke) stabiliteitseisen zijn een eerste criterium in de keuze. Wanneer blijkt dat na dit criterium nog meerdere mogelijkheden openstaan, kunnen deze worden getoetst aan de meer praktische criteria. Voor wat betreft de chemicaliekosten moet dan de voorkeur worden gegeven aan de toepassing van de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , terwijl de andere criteria in meerdere of mindere mate pleiten voor het gebruik van NaOH.

#### 4.2 De keuze van het onthardingsproces

Aan de hand van het voorgaande in hoofdstuk 4 kan worden gekomen tot een keuze van de chemicalie of chemicaliën die de ontharding teweeg brengen, nu moet de aard van het proces gekozen worden (kristallisatie of vlokvorming) en de geschikte uitvoeringsvorm.

Tabel 2, hoofdstuk 2 somt de verschillende mogelijkheden op.

De verschillende mogelijkheden kunnen getoetst worden aan de criteria die in de inleiding van hoofdstuk 4 zijn genoemd.

##### 4.2.1 De proceskeuze met betrekking tot de kwaliteits- en stabiliteitseisen

Dit is geen belangrijk criterium bij de proceskeuze<sup>1)</sup>,

<sup>1)</sup> De inbouw van mangaan en ijzer tijdens het kristallisatieproces kan van belang zijn bij de bepaling van het gehele zuiveringsschema.

daar de onthardingsreacties slechts in zeer beperkte mate afhankelijk zijn van het proces.

De pH is een procesvariabele die ook na de ontharding nog kan en zal veranderen. Toch dient de pH bij de proceskeuze betrokken te worden omdat deze eventueel kan nopen tot een pH-correctie met een zuur, of kan leiden tot na-ontharding.

Over het algemeen is de pH in het vlokformingsproces hoger dan bij het kristallisatieproces (aan de uitgang van de onthardingsfase).

#### 4.2.2

De proceskeuze met betrekking tot de stabiliteit

Bij de vlokformingsprocessen speelt de viscositeitsverandering bij veranderde temperatuur een grote rol.

Zowel de vlokvorming als de vlokafscheiding verlopen slechter bij lage temperaturen. Deze problematiek doet zich voor bij de ontharding van oppervlaktewater. Het vlokformingsproces kan dan verbeterd worden door gebruik van vlokhulpmiddelen en de vlokafscheiding kan worden verbeterd door vlokverzwaringmiddelen.

Het kristallisatieproces bedreven met kalkmelk verloopt in het geheel niet meer bij lage temperaturen en is dientengevolge ongeschikt voor de ontharding van oppervlaktewater. Met natronloog als chemicalie is het kristallisatieproces temperatuursonafhankelijk tot +0 °C.

Bij vlokformingsprocessen kunnen nog enkele factoren genoemd worden die het proces minder stabiel

maken, te weten bij vlokkendekenapparaten de debietsvariaties en bij alle processen met slibrecirculatie een variërend drogestofgehalte van het gedoseerde retourslib. In bassins met een slechte vormgeving treedt verder nog een ongunstige verblijftijdspreiding op.

Bij kristallisatieprocessen verloopt de ontharding over het algemeen al onderin de reactor en is het effluent tamelijk stabiel in kwaliteit. Wervelstromingen in het gefluidiseerde bed verstoren de stabiliteit echter. Een andere storing kan zijn de inbreng van nieuw entmateriaal\* in de reactor.

Sommige bedrijven zijn er dan ook toe overgegaan de reactor tijdens het bijvullen met nieuw entmateriaal af te schakelen.

Een essentieel verschil tussen beide procestypen vindt men in de verblijftijden. Gezien de korte verblijftijden in korrelreactoren zijn de mogelijkheden om door middel van kwaliteitsparameters in het effluent van de reactor de doseringen te sturen groter en kan een gelijkmatiger ontharding bij variabele ingangskwaliteit worden bereikt.

Nogmaals wordt er hier op gewezen dat de vlokvormingsprocessen meerdere doelstellingen hebben. Ook ijzerverwijdering en/of troebelheidsverlaging moeten bewerkstelligd worden en dit kan betekenen dat in een proces geen ideale procesomstandigheden voor zowel ontharding als ontijzering optreden.

Beide procestypen zijn onderhevig aan invloeden die de stabiliteits kunnen verminderen. Een vergelijking tussen beide processen zonder meer is

\* Zand- of marmerkorrels.

niet mogelijk zonder de bedrijfsomstandigheden te beschouwen. Belangrijk is hierbij de produktiewijze van het bedrijf. Wanneer een constant debiet geproduceerd wordt komt dit de stabiliteit aanzienlijk ten goede.

#### 4.2.3 De proceskeuze met betrekking tot de milieu-effecten

Het vlokvormingsproces produceert een afvalstroom, bestaande uit slib met een hoog  $\text{CaCO}_3$ -gehalte, en verder hydrolyse-produkten van  $\text{Fe(III)}$  en andere uitgevlokte bestanddelen. Het drogestofgehalte is voor indikking maximaal circa 2 %, zodat het aanzienlijke volumestromen betreft. Wanneer geen bestemmingen voor het (ingedikte) slib gevonden kunnen worden vindt uiteindelijk verwijdering door middel van gecontroleerd storten plaats. In het kristallisatieproces ontstaan korrels, bestaande uit een kwartskern omhuld door  $\text{CaCO}_3$ . Het gehalte aan  $\text{CaCO}_3$  is hier hoger dan in het slib.

Eventuele terugwinning van  $\text{CaO}$  uit het  $\text{CaCO}_3$  biedt dan ook meer perspectieven bij de korrels dan bij het slib.

Een andere mogelijke toepassing van de geproduceerde korrels is te vinden in de neutralisatie van zure oplossingen. Wanneer een zure oplossing door een bed van  $\text{CaCO}_3$ -korrels geleid wordt, kan de pH oplopen tot circa 8.

Momenteel wordt echter nog alle geproduceerde  $\text{CaCO}_3$  afgevoerd naar een stortplaats.

De vraag komt hierbij naar voren welke belasting hierdoor op het milieu wordt aangebracht.

Het is duidelijk, dat wanneer het  $\text{CaCO}_3$  (als slib of als korrels) weer in contact komt met water (regen- of grondwater) het oplosproces weer kan gaan plaatsvinden en de hardheid van het water weer kan toenemen.

4.2.4 De proceskeuze met betrekking tot de kostenaspecten  
Het mag duidelijk zijn dat in systemen waarin ontharding gecombineerd wordt met bijvoorbeeld ontijzing, dit gedaan is om de investeringskosten zoveel mogelijk te beperken; het is dan niet eenvoudig het aandeel van de onthardingskosten in het geheel te bepalen.

Het goedkoopste onthardingsproces is de ontharding in spaarbekkens; de investeringen belopen hier enkele tienden centen per  $m^3$  geproduceerd water. De investeringskosten voor de vlokvormingsprocessen kunnen oplopen tot f 0,05 per  $m^3$  geproduceerd drinkwater en meer. Wanneer ook om andere redenen een vlokvormingsproces gewenst is (verlaging ijzergehalte, troebelheid) dan daalt het kostenaandeel van de ontharding.

De investeringskosten voor het kristallisatieproces variëren minder omdat dit proces uitgesproken gericht is op de ontharding.

De investeringskosten bedragen circa f 0,03- f 0,05 per  $m^3$  geproduceerd drinkwater.

Een betere vergelijking tussen vlokvormings- en kristallisatieproces kan worden gevonden in het specifiek benodigd oppervlak, dit is het oppervlak wat benodigd is om een debiet van  $1 m^3/h$  te behandelen. Er bestaat een zekere, zij het niet eenduidige relatie tussen benodigd oppervlak en totale investeringen, daar de civiele bouwkosten een groot deel van de totale investeringen uitmaken.

Het aandeel van de civiele bouwkosten bedraagt minimaal 50-60 % van de totale investeringen.

Een vlokformingsproces met korte verblijftijd (circa 15 minuten) met slibrecirculatie en vlokafscheiding in lamellenseparatoren heeft een specifiek benodigd oppervlak van circa  $0,3 \text{ m}^2/\text{m}^3 \cdot \text{h}$  exclusief chemicaliënopslag en slibverwerking.

Hierin is het aandeel van de ontharding geschat op circa 1/3 van het totaal benodigd oppervlak.

Voor de berekening van deze waarde wordt verwezen naar de bijlage over het pompstation Schijf. De kristallisatieprocessen vereisen een specifiek benodigd oppervlak van circa  $0,1 \text{ m}^2/\text{m}^3 \cdot \text{h}$  exclusief chemicaliënopslag en korrel- en entmateriaalopslagruimten.

De vereiste constructiehoogte voor kristallisatieprocessen is echter weer wat groter dan bij de vlokformingsprocessen.

De bestaande zuiveringswijze in een bedrijf bepaalt in grote mate de mogelijkheden die beschikbaar zijn om te ontharden. Wanneer in een zuivering al een vlokformingsproces is opgenomen, zal ontharding in deze fase het goedkoopst zijn. Moet een afzonderlijke onthardingstrap worden ingebouwd, dan lijkt het kristallisatieproces lagere investeringskosten te hebben.

#### 4.2.5 Samenvatting proceskeuze

Er is geen éénduidige handleiding te geven om tot een goede keuze te komen. Buiten de gegeven omstandigheden (bestaande zuiveringswijze) en voorgaande ervaringen, spelen het beleid van het bedrijf en de persoonlijke voorkeuren van de ontwerpers een belangrijke rol.

De beschouwde criteria zijn niet alle duidelijk te kwantificeren.

De tendens die zich momenteel voordoet is een toename van de toepassing van het kristallisatieproces.

#### 4.3 De systeemkeuze

Om tot een verantwoorde systeemkeuze te komen, dienen alle criteria in de overwegingen betrokken te worden.

Wanneer de proceskeuze beperkt blijft tot vlokvormings- de kristallisatiemethode en de chemicalie-keuze in eerste instantie tot natrium- en calciumhydroxide (met in bijzondere gevallen soda als extra mogelijkheid), kunnen een aantal richtlijnen voor de systeemkeuze aangegeven worden.

Overwegingen hierbij zijn:

- bij uitbreidingen van bestaande installaties wil men zo min mogelijk ingrijpen in het overige deel van de zuivering
- als een enkelvoudige chemicaliedosering met betrekking tot de gestelde kwaliteits- en stabiliteitseisen mogelijk is, behoeven combinaties van chemicaliën niet in de overwegingen betrokken te worden
- in kleinere bedrijven zal men geneigd zijn lichte economische nadelen te accepteren als dit leidt tot een eenvoudiger en bedrijfszekerder bedrijfsvoering; voor grotere bedrijven kunnen economische motieven leiden tot het accepteren van een iets gevoeliger en mogelijk kwetsbaarder systeem; het personeelsbestand en de grotere mate van automatisering maken het mogelijk dergelijke systemen intensiever te begeleiden.



De systeemkeuze is sterk afhankelijk van de aard van het te zuiveren water. De beschouwing wordt daarom gesplitst in beschouwingen over oppervlakten en over grondwater.

#### 4.3.1 De systeemkeuze voor oppervlaktewater

In West-Europa is een zuivering van oppervlaktewater over het algemeen niet meer mogelijk met behulp van allen fysische en biologische methoden. De chemische zuivering maakt het voornaamste deel uit van geavanceerde zuiveringssystemen, terwijl biologische zuiveringstrappen vaak dienen als polijst- of veiligheidstrap.

Dit houdt in dat over het algemeen coagulatieprocessen een noodzakelijk deel van de zuivering vormen.

Wanneer dit het geval is, kan ontharding met de laagste investeringskosten worden toegepast in de vlokvorming. Afhankelijk van de geografische ligging van het zuiveringsbedrijf kan de verwerking van het extra te vormen slib al dan niet een doorslaggevend argument zijn om deze methode toe te passen. Ontharding met calciumhydroxide in vlokvormingsprocessen in grote bedrijven biedt de mogelijkheid tot terugwinning van calciumoxide, maar vergt hoge investeringen.

De kristallisatiemethode is voor oppervlaktewater in de gematigde klimaten alleen mogelijk met natriumhydroxide en biedt een alternatief wanneer de slibafvoerproblemen bij het vlokvormingsproces dit proces niet aantrekkelijk doen zijn.

De keuzebepaling kan nu als volgt verlopen:

- aan de hand van de kwaliteit van het te zuiveren water wordt met behulp van het in 6.1.1 ge-

vene bepaald welke chemicalie of chemicaliën in aanmerking komen

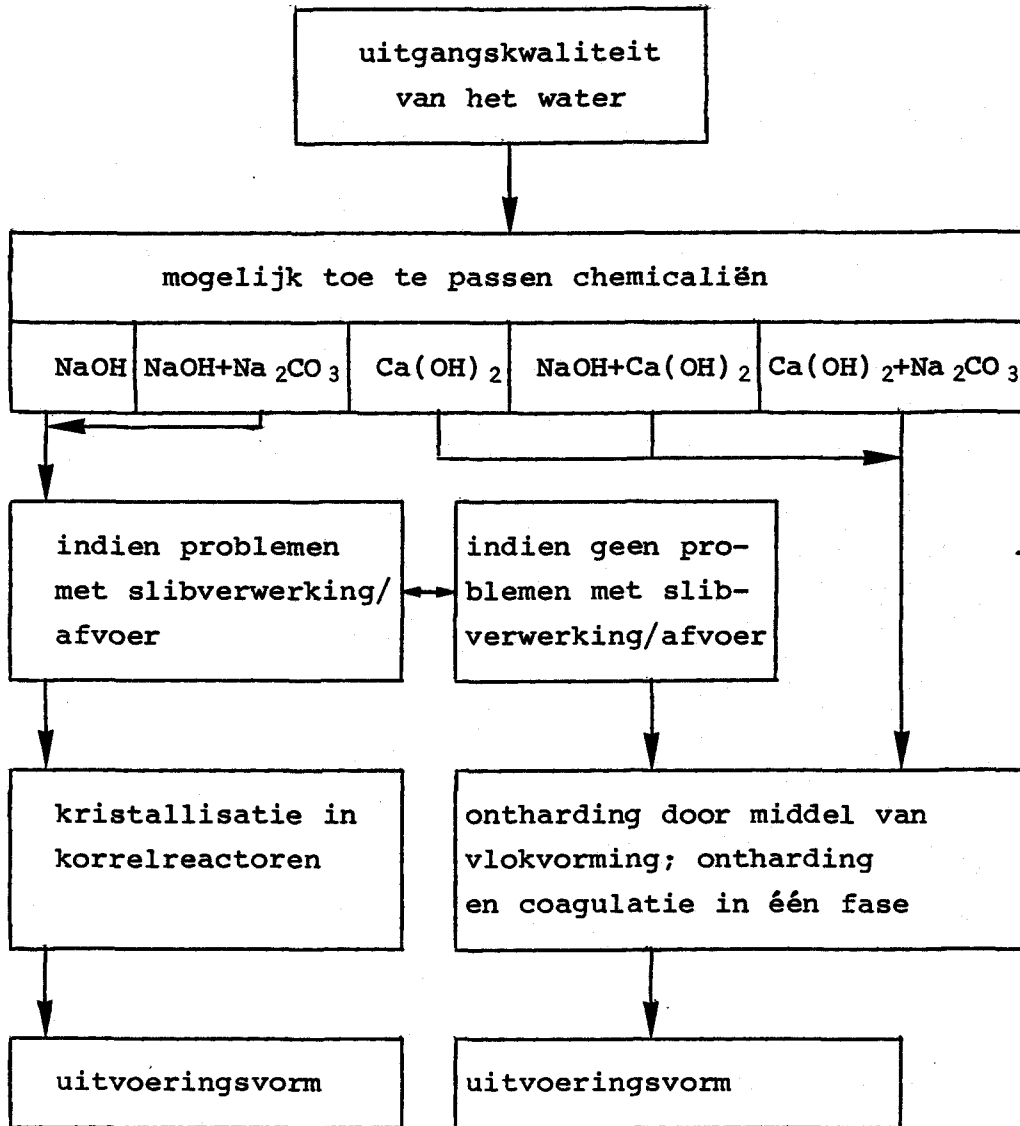
- blijkt dit calciumhydroxide of calciumhydroxide met natriumhydroxide of soda te zijn, dan is alleen het vlokformingsproces mogelijk; alleen de uitvoeringsvorm blijft nog ter discussie
- blijkt de keus te liggen tussen calcium- en natriumhydroxide, dan zal over het algemeen de voorkeur worden gegeven aan natriumhydroxide vanwege de eenvoudige opslag en dosering en de temperatuursonafhankelijkheid en de lage carry-over, ondanks de hogere chemicaliekosten; terwijl dit de mogelijkheid biedt het kristallisatieproces toe te passen als er problemen zijn met de slibafvoer; alleen voor grotere bedrijven is het mogelijk aantrekkelijk calciumhydroxide toe te passen en CaO terug te winnen uit het gevormde slib, echter tegen hogere investeringskosten
- wanneer de verwerking van slib problematisch is en de toepassing van natriumhydroxide met het oog op de kwaliteits- en stabiliteitseisen mogelijk, dan valt de keus op het kristallisatieproces
- tot slot moet de uitvoeringsvorm van het proces bepaald worden; voor het kristallisatieproces blijft dit voornamelijk beperkt tot het bepalen van de optimale superficiële snelheid van het water in de reactor aan de hand van resultaten van een proefinstallatie, het bepalen van de bodem- en looginvoerconstructie, en het aantal en de diameter van de reactoren, maar voor het vlokformingsproces zijn er meer procesvariabelen. Genoemd kunnen worden: verblijftijd, mengenergie, slibrecirculatie en wijze van vlokafscheiding. De keuze hierin wordt voornamelijk bepaald door de grootte van de benodigde investeringen en de regelbaarheid van het proces.

Een bijzonder geval is de ontharding door vlok-  
vorming in spaarbekkens, omdat hier niet echt  
sprake is van slibverwerking behalve een bagger-  
campagne, bijvoorbeeld eens in de tien jaar.

Een en ander is in het bijgaande schema nogmaals  
weergegeven (zie figuur 1).

Figuur 1

Schema ter bepaling van het onthardingssysteem voor oppervlaktewater; de mogelijk toe te passen chemicalie of chemicaliën volgt (volgen) uit 4.1.1



#### 4.3.2 De systeemkeuze voor grondwater

Kenmerken van grondwater zijn onder andere de slechts zeer langzaam variërende kwaliteit, de constante temperatuur, en de hygiënische betrouwbaarheid ten gevolge van lange verblijftijden en de filtrerende werking in het watervoerend pakket.

De capaciteit van grondwaterpompstations is in vergelijking met oppervlaktewaterpompstations over het algemeen laag. De capaciteit van de meeste grondwaterpompstations ligt in de orde van enkele miljoenen m<sup>3</sup> per jaar.

Licht verontreinigd grondwater met een niet te hoog ijzer- en ammoniumgehalte kan door middel van beluchting en snelfiltratie voldoende gezuiverd worden.

Er is hier geen vlokvormingsproces aanwezig waarin eventueel ook ontharding zou kunnen plaatsvinden; wanneer beluchting en enkelvoudige snelfiltratie voldoende is om een goede kwaliteit drinkwater te verkrijgen, zal men nooit een vlokvormingsproces toepassen in verband met de hogere investeringskosten. De aangewezen onthardingsmethode is hier de kristallisatie in korrelreactoren.

Wanneer het ruwe water niet veel CO<sub>2</sub> bevat, kan ontharding van anaeroob grondwater plaatsvinden. Eventueel aanwezig mangaan wordt vrijwel volledig en ijzer voor een groot deel ingebouwd.

Bevat het water meer CO<sub>2</sub>, dan is het gewenst eerst CO<sub>2</sub> te verwijderen door beluchting, om de te doseren hoeveelheid chemicalie te beperken. Ontharding van anaeroob grondwater in korrelreactoren wordt in Nederlandse bedrijven (nog) niet toegepast.

Wanneer het grondwater grotere hoeveelheden opgelost ijzer bevat, dan kan de verwijdering hiervan, behalve door middel van beluchting en filtratie, ook plaatsvinden door beluchting en vlokvorming, bijvoorbeeld in een vlokkendekenapparaat.

Het is dan mogelijk ontharding en ijzerverwijdering te combineren. Is echter de verwerking en afvoer van slib problematisch, dan is de kristallisatiemethode de meest voor de hand liggende oplossing.

De chemicaliekeuze is enerzijds vanzelfsprekend bepaald door de uitgangskwaliteit van het te zuiveren water, en is anderzijds afhankelijk van het door het bedrijf gevoerde beleid. Wanneer zowel toepassing van natrium- als van calciumhydroxide leidt tot het bereiken van een goede kwaliteit (dat wil zeggen aan de gestelde eisen is voldaan), dan is het een zaak van beleid of men een duurder chemicalie (NaOH) met een eenvoudiger dosering, of een goedkoper chemicalie ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) met een wat kwetsbaarder doseerinrichting wil toepassen.

De systeemkeuze is het eenvoudigst wanneer ontharding in een bestaande situatie moet worden ingepast. Is in deze situatie een vlokformingsproces aanwezig, dan ligt het voor de hand de ontharding hierin te laten plaatsvinden, tenzij de verwerking en afvoer van slib problematisch is. Is geen vlokformingsproces aanwezig, dan zal ontharding door middel van kristallisatie de aangewezen methode zijn.

Wanneer in de ontwerpfase van een pompstation ontharding overwogen wordt, dan moet de samenhang met het overige deel van de zuivering beschouwd worden.

Een combinatie van ontharding en verwijdering van geoxideerd ijzer in een vlokformingsproces behoort dan tot de mogelijkheden en moet nader beschouwd worden met betrekking tot kostenaspecten en slibproblematiek.

Gezien de mate van procesbeheersing zal vaak de voorkeur gegeven worden aan dubbele filtratie met tussen beide filtratiefasen ontharding door middel van kristallisatie boven het vlokformingsproces, gevolgd door snelfiltratie.

Samenvattend kan gezegd worden dat de meest voor de hand liggende onthardingsmethode voor grondwater het kristallisatieproces is; het vlokformingsproces kan echter niet zonder meer uit de overwegingen weggelaten worden.

5.

LITERATUUR

1. Centrale Ontharding, rapport van de Commissie Centrale Ontharding, 1971, KIWA N.V., Rijswijk ZH.
2. Wisselwerking tussen drinkwater en leidingmateriaal, (kwaliteitseisen in verband met de stabiliteit van het te distribueren drinkwater), mededeling nr. 54, Commissie Methodieken Centrale Ontharding, 1978, KIWA N.V., Rijswijk ZH.
3. Punsar, S., "Cardiovascular mortality and quality of drinking water, an evaluation of the literature from an epidemiological point of view", *Work-Env.-Health*, 10, (1973), p. 107.
4. Advies inzake Centrale waterontharding, Advies van de Gezondheidsraad, Min. van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Leidschendam, 1975.
5. Grohmann, A., "Indikatoren des Kalk-Kohlensäuregleichgewichtes", *Gesundh.Ing.* 90, (1969), p. 261.
6. "Die Kohlensäure in dem Deutschen Einheitsverfahren. II Die Kalkaggressivität von Wasser", *Vom Wasser* 38, (1971), p. 97-118.
7. Thompson, C.G., Singley, J.E., Black, A.P., Magnesium Carbonate - a Recycled Coagulant, *Journal AWWA* 64, (1972) 1, p. 11-19, en 2, p. 93-99.
8. Pieper, J.W., Literatuuroverzicht inzake Methodieken Centrale Ontharding, SW-118, oktober 1972, KIWA N.V., Rijswijk ZH.



BIJLAGE I

Definities en omrekeningscoëfficiënten van niet SI-eenheden voor hardheid

Bijlage bij hoofdstuk 1

1 °F = 1 Franse graad = 10 mg CaCO <sub>3</sub> per liter	
1 °D = 1 Duitse graad = 10 mg CaO per liter	
1 °C = 1 Clark graad = 1 grain CaCO <sub>3</sub> per Imp. gallon water	
1 GPG = 1 grain per gallon = 1 grain CaCO <sub>3</sub> per US gallon water	
1 °US = 1 °UK = 1 nieuwe Amerikaanse en Britse eenheid = 1 mg CaCO <sub>3</sub> per 1000 g water	
1 °R = 1 Russische graad = 1 mg Ca per liter water	
1 meq/l = 1 milli-equivalent per liter water = 1 mg ion/ionwaardigheid = 1 mmol/ionwaardigheid	
1 gallon (Imp.) = 4.5461.10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>	
1 gallon (US) = 3.785.10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>	
1 grain (troy) = 0.065 gr	
eenheid	uitgedrukt in mmol/l
1 °F	0.10
1 °D	0.18
1 °C	0.14
1 GPG	0.17
1 °US = 1 °UK	0.01
1 °R	0.025
1 meq/l	0.5

Per definitie; 1 l water = 1 kg water

BIJLAGE II

Ontharding Water- en Lichtbedrijven der Gemeente  
Alphen a/d Rijn

Bijlage bij 3.1.1

De watervoorziening van Alphen aan den Rijn bestaat uit een eigen winning van grondwater, en de aankoop van gezuiverd water van de Leidse Duinwatermaatschappij. Het grondwater wordt gewonnen op een diepte van 30 à 40 m door middel van veertien putten.

De hardheid van het gewonnen grondwater bedraagt circa 5,1 à 5,2 mmol/l; dit gaf in het verleden aanleiding tot klachten van de zijde van de verbruikers met betrekking tot de vorming van ketelsteen op verwarmingselementen, waardoor de levensduur hiervan sterk terugliep, aanslagen op wastafels en dergelijke, en smaakbezwaren van bijvoorbeeld thee, waarop zich ook een hinderlijk vlies vormde.

Dit alles leidde ertoe dat in samenwerking met het RID een onderzoek op gang kwam naar de mogelijkheid centrale ontharding toe te passen.

Daar de tot dan toe in gebruik zijnde installatie opgebouwd was uit (voor- en na-)drukfilters, moest ook de onthardingsfase een gesloten druksysteem zijn. Dit leidde tot de keus van korrelreactoren, met als base natronloog in verband met de relatief eenvoudige opslag en dosering in vergelijking met calciumhydroxide.

Er wordt onthard tot circa 2,7 à 2,8 mmol/l; het water is dan nog matig hard te noemen; de bezwaren van hard water zijn hierdoor grotendeels ondervangen, terwijl anderzijds geen pH-correctie nodig is na de reactoren zodat de procesvoering eenvoudig

blijft en geen opslag- en doseervoorzieningen voor zoutzuur of zwavelzuur behoeft te worden aangebracht.

Het onthardingssysteem werd begin 1975 in gebruik genomen. Voor een overzicht van het zuiveringssysteem wordt verwezen naar figuur b2.

De eigen produktie van het bedrijf bedraagt circa  $2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  per jaar, aangevuld met Leids water komt dit op een gemiddelde dagproduktie van  $9.000 \text{ m}^3$ . De maximale uurcapaciteit bedraagt circa  $500 \text{ m}^3$ . Er zijn drie reactoren geplaatst met een nominale capaciteit van  $200 \text{ m}^3/\text{h}$  ieder; in de praktijk blijkt de ontharding goed te verlopen tot een debiet van  $180 \text{ m}^3/\text{h}$  per reactor (de schijnbare opwaartse snelheid van het water bedraagt dan  $102 \text{ m/h}$ ); gemiddeld worden de reactoren bedreven met een debiet van  $155 \text{ m}^3/\text{h}$ . De looptijd per reactor bedraagt ca. 14 uur per etmaal.

De bouw van reactoren inclusief besturingsinstallaties en overige bijkomende apparatuur is opgedragen aan Werkspoor Water.

Voor een schets van de reactor wordt verwezen naar figuur b1.

De diameter van de reactoren bedraagt circa 1500 mm, zodat de doorsnede  $1,76 \text{ m}^2$  bedraagt. De invoer van water en natronloog geschieden tangentiëel in een mengkamer aan de onderzijde van de reactor. Om deze tangentiële beweging, die, wanneer hij over de gehele hoogte van de reactor zou doorzetten, een ongelijkmatige ontharding zou veroorzaken, te voorkomen, is in het onderste konische gedeelte van de reactor een kruisvorming schot aangebracht.

De verblijftijd in de reactor bedraagt circa 3 minuten.

In het effluent van de reactor is een pH-meting geïnstalleerd die de loogdosering regelt; deze is ingesteld op een pH = 8,6 in het effluent.

Na de nafilts is de pH nog circa 8,15 à 8,20, terwijl na menging met het Leidse water de pH circa 7,9 à 8,0 bedraagt.

De natronloog wordt in circa 50 %-ige oplossing aangevoerd met tankwagens; de opslag heeft plaats in twee tanks met een berging van 24 ton ieder.

Deze zijn opgesteld in een verwarmde ruimte ten einde uitkristalliseren te voorkomen. Daar de loog in een druksysteem moet worden ingebracht, wordt de loog allereerst in een drukvat (met een volume, voldoende voor circa 40 minuten bedrijf) onder een druk van 42,5 m waterkolom (0,425 MPa) gebracht, van waaruit transport plaatsvindt via een verwarmde leiding naar de reactoren; de loog wordt dus onverdund gedoseerd. Hoewel dit betekent dat slechts kleine volumina gedoseerd worden met behulp van een pH gestuurde Masonellan regelaafsluiter, levert dit geen problemen, terwijl op deze wijze tevens voorkomen wordt dat vroegtijdige ontharding optreedt van verdunningswater in de loogtanks.

Eenmaal daags wordt met een handbediende afsluiter aan de bovenzijde van de reactor, juist onder de verbreding, de hoogte van het korrelbed gecontroleerd.

Indien hier korrels geconstateerd worden, wordt door middel van een elektrisch-pneumatische vlin-derklep, gemonteerd aan de onderzijde van de reactor, en gecommandeerd door een instelbaar tijd- klokje, zoveel korrels afgetapt ( $\pm$  500 liter = 60 à 90 sec.), totdat het uitstromende water boven bij de

inspectie-afsluiter geen korrels meer bevat.

De af te tappen korrels worden met behulp van een drijfwaterpomp naar een container afgevoerd, waar ze kunnen uitdruipen. Gemiddeld 3 x per 2 weken geleegd.

Vervolgens wordt nieuw entmateriaal (zand 0,2-0,6 mm) met behulp van een waterstraalpomp naar de reactor getransporteerd. (35 liter = 1 zak à 50 kg). Dit zand wordt in een overloopvat stofvrij gemaakt om extra belasting op de nafilters ten gevolge van uitspoeling te voorkomen. Tijdens het inbrengen van het nieuwe entmateriaal wordt de reactor tijdelijk gestopt om uitspoelen van het nieuwe materiaal te voorkomen. Na enkele minuten spoelen wordt de reactor weer in gebruik genomen.

In onderstaande tabel is de kwaliteit van het ruwe water weergegeven en de kwaliteit van het gezuiverde water na menging met het aangekochte Leidse water.

Tabel b 1

parameter	ruw grondwater	gezuiverd en gemengd water
pH	7,1	7,9
SI	- 0,15	+ 0,20
geleidingsvermogen	1130	1000 (mS/m; 20 °C)
HCO <sub>3</sub>	420	286 (mg/l)
Na <sup>+</sup>	80	138
Ca <sup>2+</sup>	160	74
Mg <sup>2+</sup>	25,8	22,6
totale hardheid	5,1	2,8 (mmol/l)

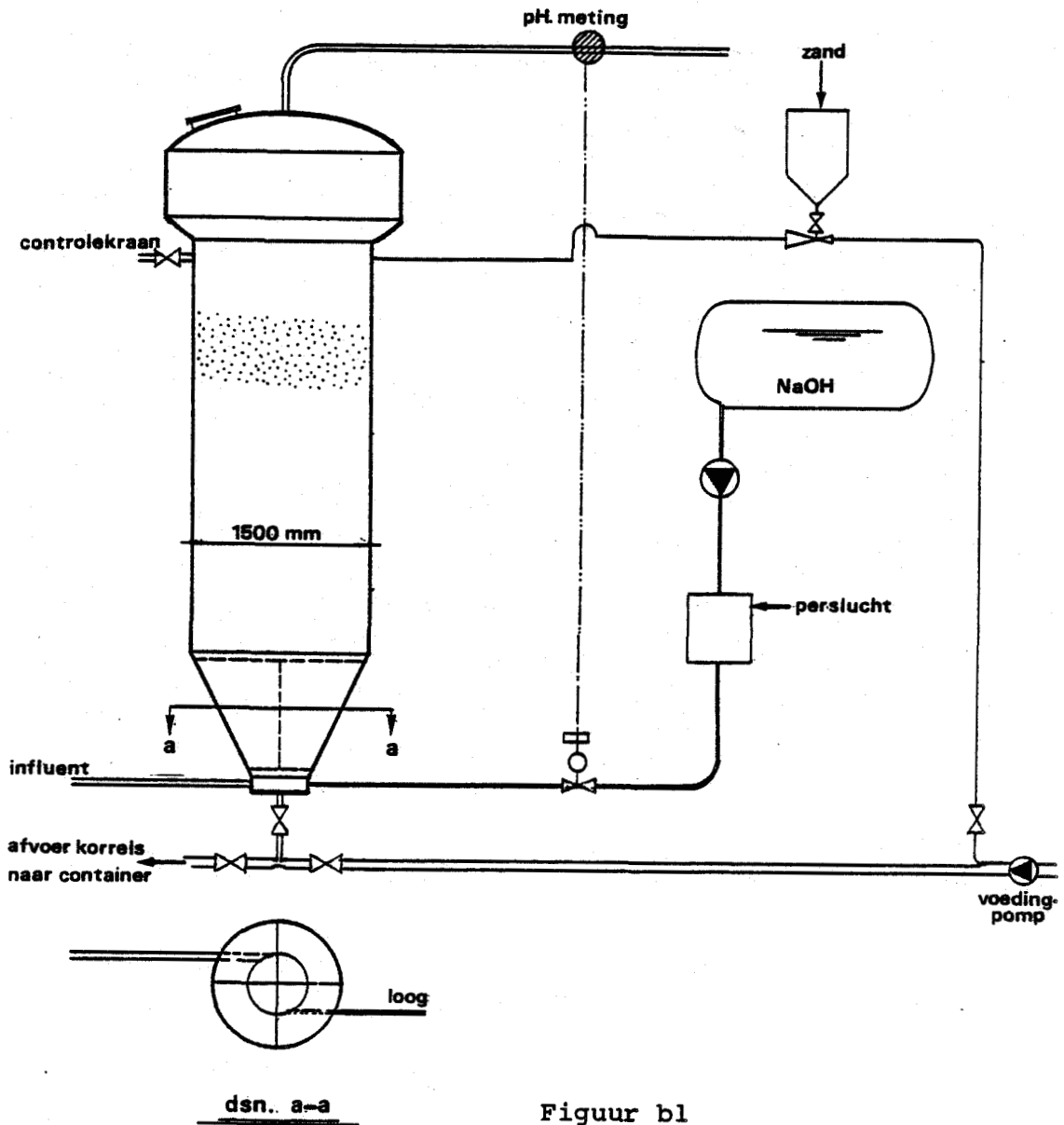
De invloed van de ontharding op de nafiltratie is tweeledig: doordat in de korrelreactoren in zekere mate ijzer en mangaan wordt ingebouwd, is de belasting hiervan op de nafilts minder, zodat tevens meer zuurstof beschikbaar is voor de nitrificatie; anderzijds is het effluent van de reactoren nog in lichte mate kalkafzettend; op de sproeikoppen in de drukfilters treedt in de loop der tijd een geringe afzetting op; de totale na-ontharding na de reactoren bedraagt minder dan 0,1 mmol/l.

In 1976 werd voor de ontharding een kostenschatting gemaakt die in onderstaande tabel is weergegeven.

Tabel b 2

Investerings installatie:	f 432.000,-
Afschrijving: 7,5 % =	f 32.400,-
Rente : 8,5 % =	f 37.720,-
Zand : 72 ton à f 65,- =	f 4.680,-
Natronloog : 600 ton à f 233,60	f 140.160,-
Chloorbleekloog	f 1.000,-
Afvoer korrels per container	<u>f 8.000,-</u>
totaal:	f 222.960,-
Totaal opgepompt $3 \cdot 10^6$ m <sup>3</sup> ,	
onthardingskosten per m <sup>3</sup> f 0,0743	

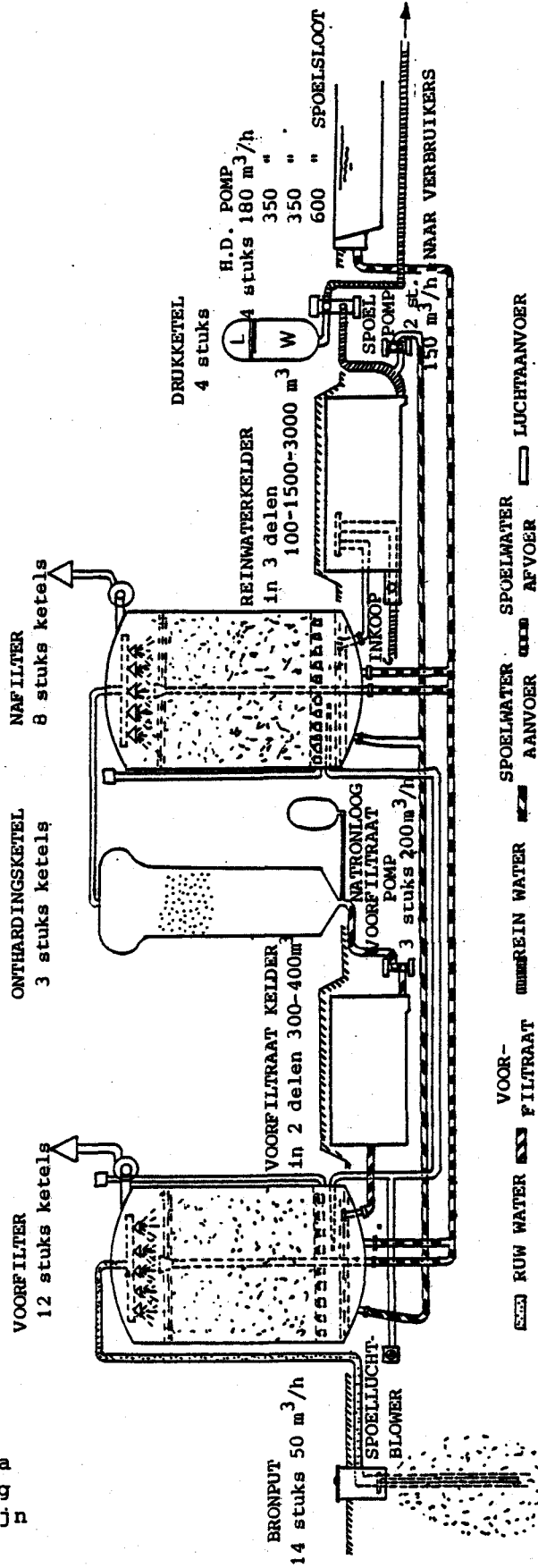
Hierbij moet worden opgemerkt dat in de bovenstaande tabel niet de civiele bouwkosten en de personeelslasten voorkomen. Omgerekend naar prijspeil 1979 zijn de onthardingskosten (inclusief personeelslasten) circa f 0,11 à 0,12 per m<sup>3</sup> gezuiverd drinkwater.



Figuur b1  
schets reactor met  
loog- en entmate-  
riaalaanvoer.

PRINCIPE SCHEMA DRINKWATERPRODUCTIE ALPHEN AAN DE RIJN

Figuur b2  
 principeschema  
 waterzuivering  
 Alphen a/d Rijn



30 à 40 m diep



BIJLAGE III

Ontharding Gemeentewaterleidingen (Amsterdam) p.s.  
Weesperkarspel

Bijlage bij 3.1.2

Zuiveringsbedrijf Weesperkarspel

De toenemende vraag naar drinkwater in de gemeente Amsterdam betekende dat een uitbreiding van de produktiecapaciteit noodzakelijk was. Het nieuwe bedrijf te Weesperkarspel heeft in de eerste fase een capaciteit van  $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  per jaar. Het bedrijf werd in 1976 in gebruik genomen.

Het te zuiveren water is kwelwater, afkomstig van de Bethunepolder, gelegen ten zuiden van de Loosdrechtse Plassen. In een tweede fase zou ook water uit het Amsterdam-Rijnkanaal ingenomen moeten worden.

Het gewonnen water wordt in de Waterleidingplas onderworpen aan een coagulatie en een zelfreinigingsproces; na snelfiltratie vindt transport plaats naar Weesperkarspel. De zuivering bestaat hier uit ozonisatie, coagulatie met vlokafscheiding in lamellenseparatoren, snelfiltratie, langzame zandfiltratie, en een veiligheidschloring.

Het streven is om uiteindelijk de gehele stroom te ontharden; momenteel vindt ontharding plaats van een achtste deel van de hoofdstroom (maximaal  $700 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

De toegepaste onthardingsmethode is die van kristallisatie in een korrelreactor. Momenteel is één grote korrelreactor opgesteld tussen ozonisatie- en coagulatiefase. De voordelen van dit proces zijn

met name het geringe ruimtebeslag, de korte verblijftijden en daarmee samenhangend relatief lage bouwkosten, en de afwezigheid van slibproblemen. Als chemicalie is gekozen voor NaOH op grond van de kwaliteit van het te zuiveren water (verhouding totale hardheid/waterstofcarbonaatgehalte) en de bedrijfstechnische voordelen, de temperatuursonafhankelijkheid van het proces en de lage carry-over.

De huidige situatie leent zich uitstekend om duurproeven met de korrelreactor uit te voeren en automatisering van de instandhouding van het gefluïdiseerde bed te bewerkstelligen.

De duurproeven met de reactor zijn zeer bevredigend geweest; de reactor heeft storingsvrij gewerkt tijdens een proefperiode van ruim een jaar. Daarna werd de reactor geopend en geconstateerd dat de installatie nog in goede staat was; op enkele plaatsen had zich aan de bodemrand wat  $\text{CaCO}_3$  afgezet, zonder dat dit echter het proces verstoorde.

De reactor heeft een diameter van 2600 mm, en het nuttig oppervlak bedraagt derhalve  $5,3 \text{ m}^2$ . Het bovenstuk is verwijd tot 3000 mm, waardoor de opwaartse snelheid verlaagd wordt en zandverlies wordt tegengegaan.

De bodem bestaat uit twee evenwijdige, horizontale platen; de ruimte hiertussen doet dienst als loogkamer. De reactorbodem is voorzien van 186 sproeikoppen (circa  $35/\text{m}^2$ ), die dienen om een zo goed mogelijke menging van water en loog te bewerkstelligen, een zo gelijkmatig mogelijke fluïdisatie van het zandbed te verkrijgen, en om  $\text{CaCO}_3$ -afzettingen (verstoppingen) te voorkomen.

De loogdosering vindt plaats door de tot 25 % verdunde oplossing vanuit een ringleiding in de loogkamer te pompen (zie figuur b4).

De dosering wordt gestuurd door een pH-meting in het effluent van de reactor; bij een pH = 8,7 vindt de gewenste ontharding van 2,4 naar 1,5 mmol/l plaats. Het loogrendement bedraagt 80-90 %.

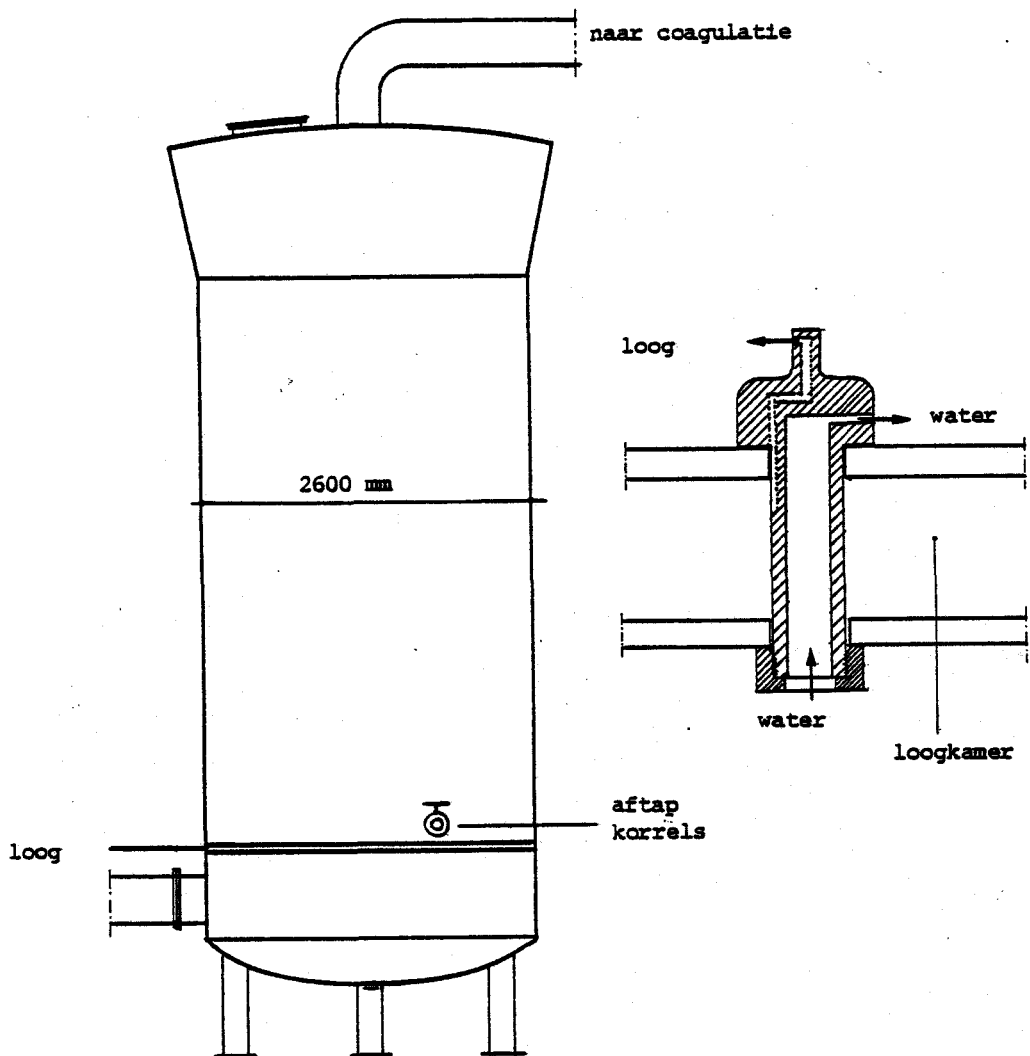
Het entmateriaal bestaat uit de fractie 0,5-0,8 mm; voorheen werd de fractie 0,2-0,6 mm gebruikt, maar de zwaardere fractie maakt het mogelijk de gefixeerde bedhoogte ( $H_{fix}$ ) te beperken. Hierdoor wordt de benodigde drukhoogte tevens beperkt.

De instandhouding van het gefluïdiseerde bed wordt bereikt door een voldoende grote opwaartse snelheid in de reactor. Bij fluïdisatie neemt het drukverschil over de hoogte niet meer toe bij overschrijding van de voor de fluïdisatie benodigde minimale snelheid. Deze waarde voor het drukverlies is dan nog slechts afhankelijk van het gewicht van het gefluïdiseerde bed. Dit gegeven biedt de mogelijkheid spuien en aanvoer van entmateriaal te automatiseren.

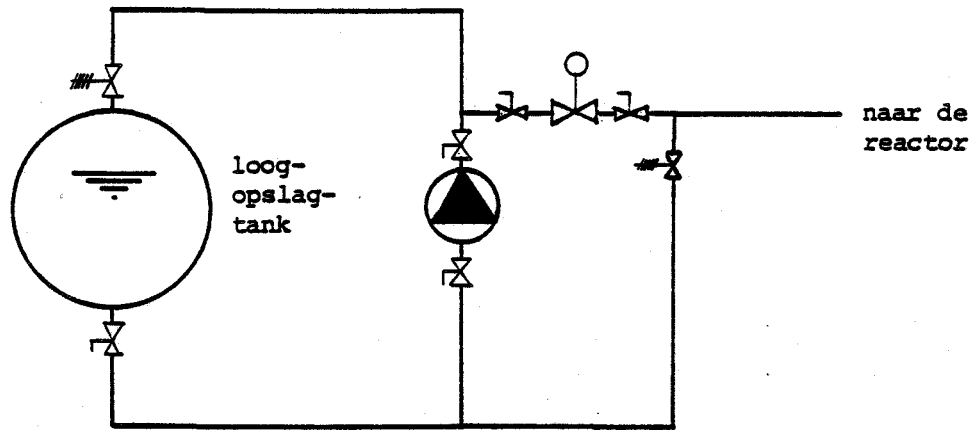
De reactor is gesloten uitgevoerd ten einde het energieverbruik te beperken. Dit heeft echter het nadeel dat ontgassing bovenin de reactor mogelijk is. Wanneer tot uitbreiding van de ontharding wordt overgegaan zullen dan ook open reactoren worden toegepast.

De investeringskosten voor de reactor inclusief reservebodem en sproeikoppen bedroegen circa f 70.000,- (1978). Afschrijving in acht jaar bij een rentepercentage van 8 % betekent bij lineaire afschrijving een bedrag van f 14.350,- in het eerste jaar, ofwel 0,4 ct/m<sup>3</sup>. Hierbij komen vanzelfsprekend nog kosten voor appendages, leidingwerk, bedieningapparatuur, loogdosering, korrel- en zandtransport, en dergelijke en de civiele bouwkosten.



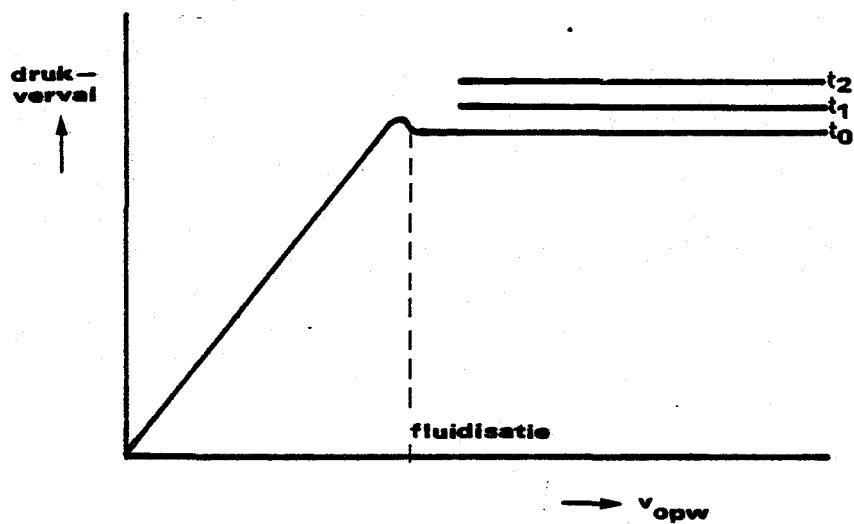


Figuur b 3  
schets korrelreactor en  
sproeikop Gemeentewa-  
terleidingen Amsterdam



Figuur b 4

Principeschets loogdosering. Sturing vindt plaats op pH-meting in het effluent van de reactor.



Figuur b 5

Verband tussen drukval en opwaartse snelheid in korrelbed; boven de fluïdisatiegrens blijft de drukval alleen nog afhankelijk van de massa van het bed.

Deze neemt toe in de tijd en biedt zo de mogelijkheid hierop het spuien van korrels te sturen.

BIJLAGE IV

Ontharding N.V. Waterwinningbedrijf Brabantse  
Biesbosch

Bijlage bij 3.1.3

Het waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch levert sedert april 1973 voorgezuiverd Maaswater aan de Drinkwaterleiding Rotterdam.

Dit was nodig, zoals bekend verondersteld mag worden, vanwege de steeds slechter wordende kwaliteit van het Rijnwater, dat tot dan toe als grondstof diende voor de drinkwaterbereiding van Rotterdam.

Sinds juni 1979 wordt ook water geleverd aan de N.V. Waterleiding Maatschappij "Noord-West-Brabant". De gedeeltelijke zuivering die plaatsvindt bestaat uit een verregaande zelfreiniging in de spaarbekkens.

Het spaarbekken "Honderd en Dertig" heeft een oppervlakte van 219 ha en een maximale inhoud van  $32 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , het bekken "Petrusplaat" beslaat 105 ha en heeft een maximale inhoud van  $13 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

Het derde bekken (in aanleg) zal 320 ha beslaan en een nuttige inhoud hebben van  $36 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , en draagt de naam "De Gijster".

Vanaf de start van de levering aan de Drinkwaterleiding Rotterdam in april 1973 wordt onthard water geleverd; de gedachte hierbij was dat het aantal huishoudelijke onthardingsinstallaties hierdoor beperkt zou blijven. Aanvankelijk werd water geleverd met een hardheid van circa 1,1 mmol/l, maar in de loop van 1974 werd op verzoek van de GGD Rotterdam deze waarde verhoogd tot 1,4 mmol/l, dit in verband met de met hardheid van water samenhangende gezondheidsaspecten.

De hardheid van het inkomende Maaswater bedraagt circa 2,0 mmol/l. De levering bedroeg in 1978 circa  $118 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

De ontharding vindt plaats in het laatste bekken, de Petrusplaat, door middel van een discontinue dosering van natronloog.

Eén van de grootste voordelen van deze wijze van ontharden is het ontbreken van de noodzaak voor een continue  $\text{CaCO}_3$ -slibverwerking.

Het blijkt dat na vijf jaar ontharding zich een slibsediment gevormd heeft van circa 5 cm dikte. Dit sediment heeft een hoog drogestofgehalte, in de orde van grootte van 50 %. Een campagnewijze verwijdering van dit slib behoeft pas na vele jaren ontharding plaats te vinden.

Een ander aspect van deze wijze van ontharding is het ontbreken van de noodzaak voor een filtratiefase, volgend op de ontharding. Het zwevende stofgehalte van het uitgaande, ontharde, water is niet hoger dan het de Petrusplaat inkomende water uit de Honderd en Dertig.

De natronloogdosering vindt plaats in een speciale mengkamer (zie figuur b6) ter plaatse van de inlaat vanuit de Honderd en Dertig in de Petrusplaat.

De dosering vindt plaats in een tijdsbestek van vier uur per dag, dat wil zeggen dat in deze periode de hoeveelheid natronloog wordt gedoseerd die benodigd is voor de ontharding van de hoeveelheid water die gedurende de gehele dag wordt ingelaten in de Petrusplaat. De gedachte hierbij was, dat de snelle vorming van kristallisatiekernen ten gevolge van de overdosering de precipitatie in de overige uren van de dag zou bevorderen.



Tevens heeft deze wijze van doseren een eenvoudige bediening en bewaking van het loogdoseersysteem ten gevolge.

Een aantal malen is het voorgekomen dat in korte tijd een plotselinge daling van de hardheid geconstateerd werd aan de ingang van het lagedrukpompstation. Deze plotselinge daling bedroeg dan circa 0,2-0,4 mmol/l. Een mogelijke verklaring hiervoor is de veronderstelling dat er een niet volkomen menging van overgedoseerd en niet-gedoseerd water zou optreden, een instabiele situatie, die verstoord zou kunnen worden door een weersomslag en veel wind, waardoor een plotselinge menging van beide watersoorten zou optreden.

De menging in het bekken wordt in de warmere delen van het jaar gerealiseerd door de inbreng van lucht op twee punten sinds 1973, en sinds 1974 op drie punten in het bekken. Hiermee werd bereikt dat de thermische stratificatie werd doorbroken en algengroei in het bekken meer beheersbaar werd.

In het voorjaar van 1979 viel de plotselinge daling van de hardheid ongeveer samen met het in werking stellen van de luchtinjectie.

Ook blijkt pH-verhoging ten gevolge van fotosynthetische activiteit van micro-organismen een verstoring in het onthardingsproces tot gevolg te kunnen hebben.

Om een betere menging van met loog gedoseerd water met de overige inhoud van het bekken te bewerkstelligen is met ingang van 1979 een kleine extra belenzuil bij de inlaat aangebracht.

Ontharding in een open bekken maakt een overdosering van natronloog noodzakelijk omdat door opname van CO<sub>2</sub> uit de lucht de pH wordt verlaagd waardoor

het onthardingsrendement wordt verminderd. Aan de hand van proeven in kleine proefbekkens werd in maart 1972 berekend dat voor een verwijdering van 40 mg/l calciumionen (1 mmol/l) 70 mg/l NaOH (1,75 mmol/l) nodig was, dat wil zeggen een overmaat van 0,75 mmol/l.

Om de hoge pH na de ontharding terug te brengen, om overmatige afzettingen op afsluiters in de transportleidingen te voorkomen, wordt zwavelzuur gedoseerd.

In de onderstaande tabel is het NaOH-verbruik voor de jaren '73-'75 opgesplitst naar de verschillende reacties:

Tabel b 3

NaOH-verbruik in mg/l	1973	1974	1975
CO <sub>2</sub> -neutralisatie	1,4	1,5	1,5
Ca <sup>2+</sup> -precipitatie	39,0	28,0	19,8
CO <sub>2</sub> -absorptie	6,9	5,6	5,2
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -neutralisatie	5,8	14,6	14,6
Cl <sub>2</sub> -neutralisatie	3,3	6,2	2,4
rest-CO <sub>3</sub>	14,0	10,7	7,3
totaal	70,4	66,6	50,8
berekende NaOH- dosering	70,6	65,9	50,4

Het is duidelijk dat niet alle hierboven genoemde posten, anders dan de calciumprecipitatie, verliesposten zijn. Immers, neutralisatie van kooldioxide

is onvermijdelijk, onafhankelijk van het gekozen systeem; het restgehalte aan carbonaat is gunstig in volgende delen van de zuivering waar zure chemicaliën gedoseerd worden (ijzer(III)zouten voor de coagulatie, chloor voor desinfectie).

Specifieke verliesposten voor dit systeem zijn de kooldioxideabsorptie uit de atmosfeer en de neutralisatie van gedoseerd zwavelzuur.

Het rendement van de loogdosering wordt bepaald uit de gedoseerde hoeveelheid natronloog en het daardoor bewerkstelligde onthardingseffect.

Onderstaande tabel geeft de rendementen van de loogdoseringen voor de jaren '73-'78.

Tabel b 4

NaOH-rendement t.a.v. ontharding	1973	1974	1975	1976	1977	1978
hardheid	2,0	2,0	2,0	2,1	2,0	2,0 mmol/l
NaOH-dosering	71	66	50	56	56	47 mg/l
onthardings- traject	0,98	0,7	0,55	0,65	0,6	0,58 mmol/l
rendement	55,2	42,4	44,0	46,4	42,9	48,9 %

De hardheidsverlaging bestaat geheel uit de verwijdering van calciumionen; de magnesiumionenconcentratie blijft gelijk.

Eén van de verwachte bijwerkingen van de loogdosering was een beperking van de algengroei door een coprecipitatie van algmateriaal uit de Honderd en Dertig, kooldioxyde als beperkende factor door de hoge pH, en een afname van het fosfaatgehalte door

vorming en neerslag van hydroxy-apatiet.

De loogaanvoer wordt over het water verzorgd.

Een scheepslading (groot circa 500 ton) 50 %-ige natronloog wordt met water verdund tot een circa 25 %-ige oplossing. Deze loogvoorraad wordt in één van twee aanwezige tanks met ieder een volume van 2200 m<sup>3</sup> opgeslagen.

In verband met de discontinue dosering van de loog wordt de regeling hiervan met de hand uitgevoerd.

De pH-correctie vindt plaats met zwavelzuur.

De pH wordt van circa 9,5 à 10 teruggebracht tot circa 9,0 à 9,1. De pH-meting vindt plaats bij het hogedrukpomstation.

's Winters wordt de zuurdosering ingeregeld op een pH van 9,3. De zwavelzuurdosering bedraagt ongeveer 18 mg/l. Er zijn twee opslagtanks aanwezig met ieder een capaciteit van 100 ton.

Het zwavelzuur wordt in tankwagens aangevoerd in 96 %-ige oplossing.

Navolgende tabel geeft een globaal overzicht van de gemiddelde kwaliteit en kwaliteitsveranderingen van het Maaswater over het jaar 1978.

Tabel b 5

parameter	Inlaat Amer	Honderd en Dertig	Petrus- Plaat	Afgel. water
slib (110 °C)	12,9	3,1	2,9	2,9
pH	7,90	8,20	9,55	8,75
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	160	153	100	122
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0	0,2	27	4
CO <sub>2</sub>	3	0,8	0	0
Ca <sup>2+</sup>	67	66	44	43
Mg <sup>2+</sup>	7,3	7,2	7,3	7,2
th	2,00	1,96	1,41	1,38
Na <sup>+</sup>	35	33	58	60
SO <sub>4</sub>	50	60	59	78

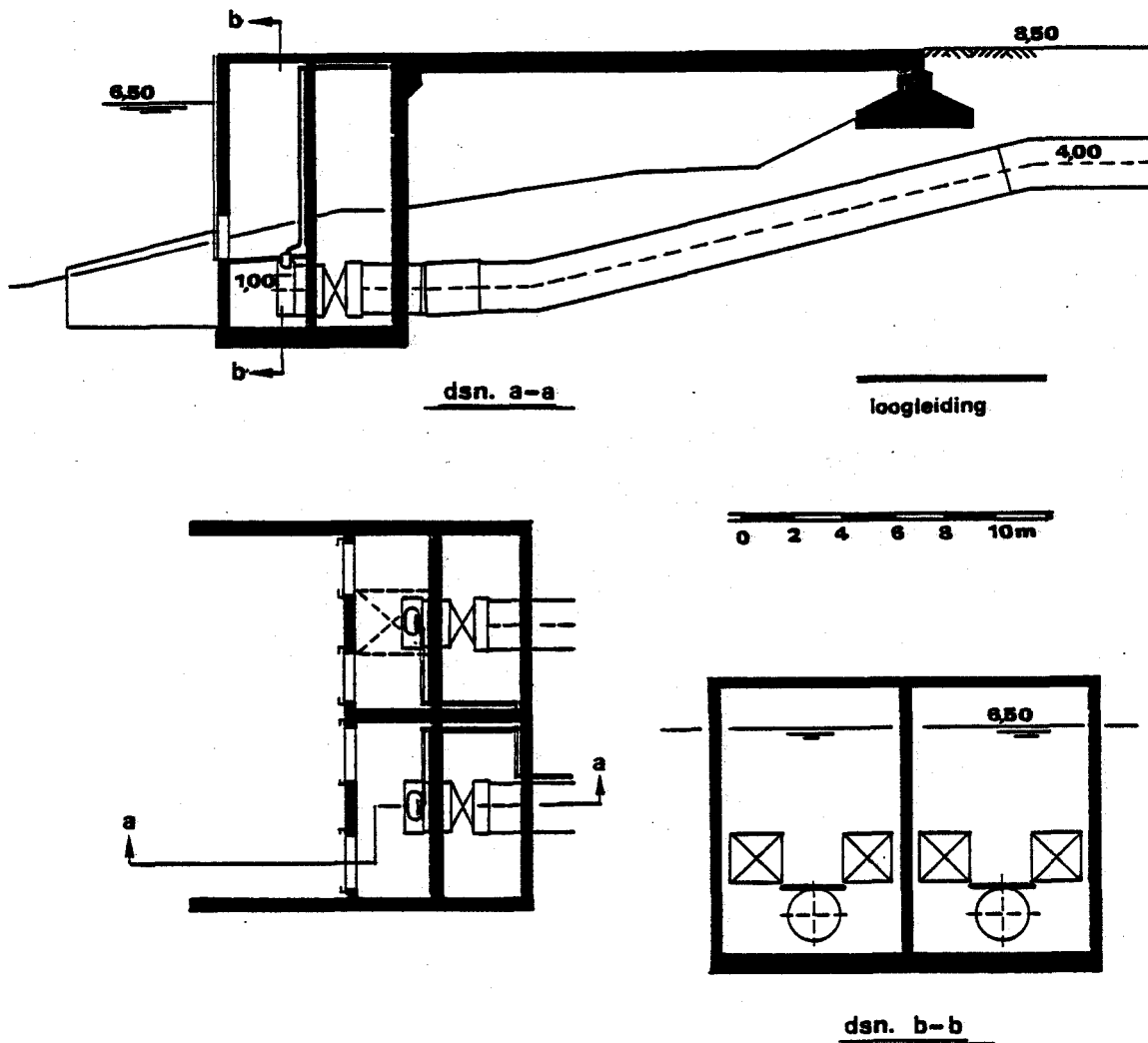
alle waarden in mg/l tenzij anders vermeld

In tabel b6 wordt een overzicht gegeven van de kosten, verbonden aan de ontharding in de Petrusplaat.

Tabel b 6

<u>Chemicaliën</u>	hoeveelheid	bedrag
natronloog	5.749 ton	f 2.060.000
zwavelzuur	2.397 ton	f 328.000
<u>Investerings</u>	bedrag	rente en af- schrijving
natronloog- leidingen, opslag en werktuigkun- dige voorzie- ningen	f 1.600.000	f 157.000
dosering (in- laatwerk)	f 1.300.000	f 109.000
zwavelzuur	f 800.000	f 85.000
<u>Onderhoud en bediening</u>		
1/2 manjaar		<u>f 28.000</u> +
Totaalkosten ontharding per jaar		f 2.777.000
Geleverde hoeveelheid water: 118.100.000 m <sup>3</sup> ;		
kosten per m <sup>3</sup> : f 0,0235 bij een onthardings- effect van 0,6 mmol/l.		
Alle bedragen betrokken op 1978		

Met het oog op de nieuwe richtlijnen van de EG met betrekking tot onthard water zal ontharding in de toekomst nog slechts kunnen gaan plaatsvinden tot een eindhardheid van 1,5 mmol/l.



Figuur b 6

Inlaatwerk in Petrusplaat met loogdosering in woelbak; constructie in beton uitgevoerd; peilhoogten ten opzichte van NAP.

BIJLAGE V

Ontharding GEB-Dordrecht

Bijlage bij 3.1.4

Zuiveringsstation Baanhoek

Baanhoek onttrekt via een spaarbekken ("De grote Rug") water aan het Wantij wat doorstroomd wordt met Rijnwater.

Het bedrijf stamt van 1968; sinds 1972 wordt ontharding toegepast. De noodzaak hiervan bleek bij een onderzoek van het elektriciteits- en gasbedrijf, daar de binnenwerken van geisers en boilers snel vervangen moesten worden; soms was de levensduur van een binnenwerk minder dan een jaar.

Het ruwe water heeft een hardheid van circa 2,6 mmol/l; gestreefd wordt naar een verlaging tot 1,75 mmol/l.

Een complicatie is dat het ontharde oppervlaktewater na zuivering gemengd wordt met onthard grondwater, terwijl men streeft naar een waterstofcarbonaatgehalte van circa 2 mmol/l in het afgeleverde water. Om aan deze eis te kunnen voldoen wordt, uitgaande van ontharding met  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  van het grondwater, het oppervlaktewater met een combinatie van NaOH en  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  onthard.

De zuivering in Baanhoek bestaat uit: zelfreiniging in het spaarbekken waar ferrosulfaat gedoseerd wordt om de algengroei te beperken; een voorchloring; een dosering van  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en NaOH, een vlokhelpmiddel in een doseergoot; upflow filtratie; downflow filtratie; pH-correctie met NaOH; ozonisatie, en, na buffering en menging met het gezuiverde grondwater, een veiligheidschloring. Dit is weergegeven in figuur b 8 (blz. 120).



De ontharding vindt plaats door (voornamelijk) het vlokformingsproces. In de doseergoot worden vlokken gevormd die voornamelijk bestaan uit complexe ijzer(III)hydroxideverbindingen en voor een gedeelte uit  $\text{CaCO}_3$ . Het water is nog oververzadigd aan calciumcarbonaat, zodat op de korrels van het zandbed nog  $\text{CaCO}_3$  uitkristalliseert. De vlokken worden in het filter afgevangen en verwijderd bij het spoelen van de filters; de kristallijne afzettingen zijn niet door spoelen te verwijderen. Dit betekent dat de gemiddelde diameter van de korrels in de tijd toeneemt en het rendement van de filters afneemt.

Na zekere tijd zal het filtermateriaal vervangen moeten worden.

De produktie van Baanhoek vindt plaats in één of twee stappen van  $600 \text{ m}^3/\text{h}$ . Daar de kwaliteit van het ruwe water door een verblijf in het spaarbekken van drie tot zes maanden aanzienlijk afgevlakt wordt, kan de dosering van  $\text{NaOH}$  en  $\text{Ca(OH)}_2$  met de hand ingesteld worden.

De verhouding gedoseerd  $\text{NaOH}/\text{Ca(OH)}_2$  varieert in de loop der tijd, mede doordat de verhouding gezuiverd grondwater/oppervlaktewater wisselt.

In november 1978 werd  $0,73 \text{ mmol/l}$   $\text{NaOH}$  en  $0,30 \text{ mmol/l}$   $\text{Ca(OH)}_2$  gedoseerd; in januari 1979 waren deze doseringen respectievelijk  $0,33$  en  $0,68 \text{ mmol/l}$ .

Navolgende tabel geeft het verloop van diverse parameters tijdens de zuivering (waarnemingen 1978).

Tabel b 7

parameter	Wantij	Spaar- bekken	Na ozon	
pH	7,60	8,15	8,70	
spec. geleidings- vermogen	84	78	76	mS/m (20°)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	173	155	91	mg/l
Ca <sup>2+</sup>	82	79	52	mg/l
Mg <sup>2+</sup>	12	11	11	mg/l
totale hardheid	2,55	2,39	1,74	mmol/l
Na <sup>+</sup>	84	78	97	mg/l

Een globale schatting voor het chemicaliënrendement bedraagt: verwijderde hardheid/gedoseerde NaOH + Ca(OH)<sub>2</sub>. Deze verhouding bedraagt ongeveer  $(2,39 - 1,74) / 1,02 = 0,63 = 63 \%$ . Hierin is niet betrokken de hoeveelheid base benodigd om ijzer(II) te oxideren en de ijzerhydroxidevlok te vormen. Bovendien bevat het spaarbekkenwater CO<sub>2</sub>.

De combinatie van ontharding en filtratie betekent enerzijds een besparing van investeringen, maar optimalisatie van één van beide processen kan in voorkomende gevallen belemmerd worden door het andere; gedacht kan bijvoorbeeld worden aan verkorte looptijden van het filter, het ontstaan van afzettingen in het filterbed waardoor geen gelijkmatige belasting van het bed meer plaatsvindt, verstoppingen in het verdeelsysteem en dergelijke. Eén maal per jaar worden de filters leeggehaald en worden de verdeelkoppen schoongemaakt hetgeen tame-

lijk arbeidsintensief is (per filter circa 100 man-uren en f 2.000,- aan materiaalkosten).

Van het gevormde  $\text{CaCO}_3$  wordt circa 10 % blijvend afgezet in het filterbed en het verdeelsysteem. Het overige deel van het  $\text{CaCO}_3$  vindt men terug in het filterspoelwater. Dit spoelwater wordt naar een slibvijver afgevoerd.

Na opwaartse filtratie is de ontharding geheel verlopen; het te distribueren water is licht kalkafzettend ( $\text{SI} = 0,1$  à  $0,2$ ).

De dosering van de  $\text{Ca(OH)}_2$  vindt als volgt plaats: vanuit een opslagsilo wordt poederkalk in een oplosvat gebracht; hier wordt de kalkmelk aangemaakt. Een rondpompleiding brengt de kalkmelk op de gewenste plaats, alwaar afgetapt kan worden.

In de rondpompleiding wordt een hoge snelheid gehandhaafd, ten einde afzettingen en bezinking van gesuspendeerde deeltjes te voorkomen.

De navolgende tabel geeft nog enkele gegevens over de opwaartse filters.

Tabel b 8

Aantal:	8 (waarvan 6 in bedrijf)		
Oppervlak:	3 x 12 m <sup>2</sup> = 36 m <sup>2</sup>		
Bedmateriaal:	steunlaag: 0,2 m grind (10-20 mm) bovenlaag: 1,3 m grind (2-3 mm)		
Verdeelsysteem:	in bodemplaat 1600 standaard filterpijpjes met uitgeboorde nozzles (filterkoppen zijn verwijderd)		
Schijnbare lineaire snelheid:	aantal filters in bedrijf	aantal lijnen	loopsnelheid (m/h)
	5	1	3,3
		2	6,7
	6	1	2,8
		2	5,6
	7	1	2,4
		2	4,7
	8	1	2,1
	2	4,2	

Zuiveringsstation Oranjelaan

Het ontwerp voor dit grondwaterzuiveringsbedrijf stamt van voor de tweede Wereldoorlog; in 1946 werd het in gebruik genomen.

Vanaf het puttenveld wordt het ruwe water naar een beluchtingsgebouw gevoerd. Het beluchte water wordt in een accelator gebracht door middel van een ringleiding met zeven aftappunten; hier vindt eerst snelle menging met kalkmelk plaats; even later wordt vlokhulpmiddel gedoseerd. Daarna ontstaat in opwaartse stroming een vlokkendeken, bestaande uit ijzer(III)hydroxidevlokken met daarin ten gevolge van de onthardingsreactie gevormd calciumcarbonaat. Deze vlokkendeken heeft een filterwerking, waar-

door ook zeer fijne vlokken en deeltjes kunnen worden afgevangen. De opwaartse snelheid moet wel laag blijven om te voorkomen dat de vlokkendeken wordt uitgespoeld. Via een overstort komt het water, met daarin nog wat calciumcarbonaat, op de droogfilters.

Daarna vinden droogfiltratie, snelfiltratie en ozonisatie plaats, en dan, via de reinwaterkelders, transport naar het reinwaterreservoir. Dit is schematisch weergegeven in figuur b 8.

Er zijn drie accelators aanwezig, ieder met een capaciteit van  $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ; thans bedraagt de belasting ongeveer  $125 \text{ m}^3/\text{h}$ . De verblijftijd van het water tot aan de vlokkendeken (de tijd waarin menging en vlokvorming plaatsvindt) bedraagt 16 minuten; de verblijftijd in de vlokkendeken belooft 30 tot 45 minuten.

De opwaartse snelheid in de vlokkendeken bedraagt circa  $2 \text{ m/h}$ . Voor een schets van de accelator wordt verwezen naar figuur b 7.

Er wordt continu slib afgetapt (circa  $70 \text{ m}^3/\text{dag}$ ), terwijl drie maal per dag nog eens extra slib wordt afgetapt (totaal  $170 \text{ m}^3/\text{dag}$ ). Het slib wordt geloosd in een slibvijver, die eens per tien jaar moet worden uitgebaggerd. Het slib moet elders gestort worden (f  $11,-/\text{m}^3$  prijspeil 1976).

Onderstaande tabel geeft enkele parameters van in- en effluent van de accelerators weer.

Tabel b 9

parameter	influent	effluent	
CO <sub>2</sub>	15 (0,35)	-	mg/l (mmol/l)
HCO <sub>3</sub>	340 (5,6)	200-210 (3,3-3,4)	mg/l (mmol/l)
th	2,7	1,7-1,8	mmol/l
pH	7,6		

Het theoretische verbruik aan Ca(OH)<sub>2</sub> voor de ontharding bedraagt:

voor de koolzuurbinding: 0,35 mmol/l  
 hardheidsverlaging : 0,9 -1,0 mmol/l  
 totaal : 1,25-1,35 mmol/l.

In de praktijk wordt 1,45-1,65 mmol/l gedoseerd. De benodigde overmaat bedraagt circa 20 % van de theoretisch benodigde hoeveelheid, waarbij geen rekening is gehouden met de Ca(OH)<sub>2</sub> die benodigd is voor de vorming van de ijzer(III)hydroxidevlok. In het effluent van de accelerators bevinden zich nog fijne deeltjes CaCO<sub>3</sub>; de onthardingsreactie is echter volledig verlopen. De resttroebeling van de accelerators varieert nogal, ondanks het feit dat het debiet constant wordt gehouden. Dit wordt geïllustreerd in de volgende tabel:

Tabel b 10

nr. acc.	troebelings (FTU)			Fe (mg/l)		
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
1	1,3	3,45	7,4	0,37	0,63	1,14
2	2,1	3,67	6,1	0,39	0,65	1,12
3	1,4	3,56	8,6	0,38	0,61	1,13

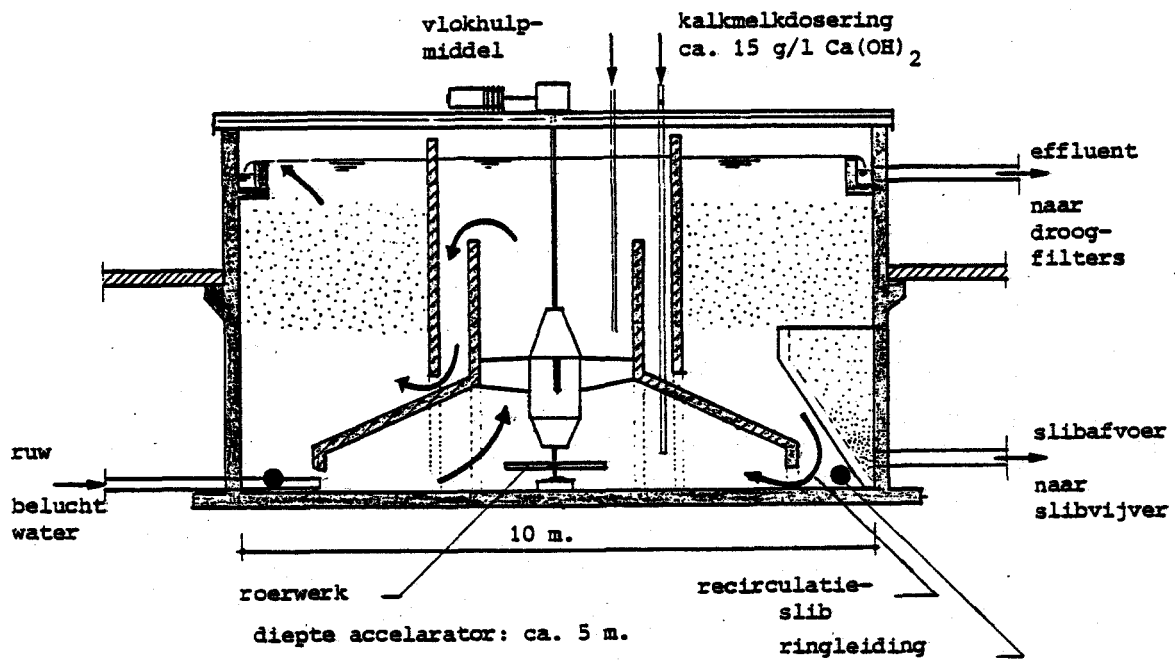
Het ruimtebeslag van de installatie is aan de hoge kant, gezien de lage opwaartse snelheid in de vlokkenkenden van circa 2 m/h. Dit betekent dat per m<sup>3</sup> van de uurcapaciteit al 0,5 m<sup>2</sup> benodigd is voor de vlokkenkenden, afgezien nog van mengruimte en dergelijke.

Het opstarten van een lege kuip (na schoonmaak bijvoorbeeld) kan moeizaam verlopen en vergt een intensieve begeleiding.

Het proces is tamelijk gevoelig voor debietsvariaties.

De jaarlijkse produktie bedraagt circa  $2,6 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>.

Na zuivering wordt het grondwater gemengd met gezuiverd en eveneens onthard oppervlaktewater. Na menging bedraagt de SI circa + 0,1 à 0,2, zodat het water licht kalkafzettend is.



Figuur b 7

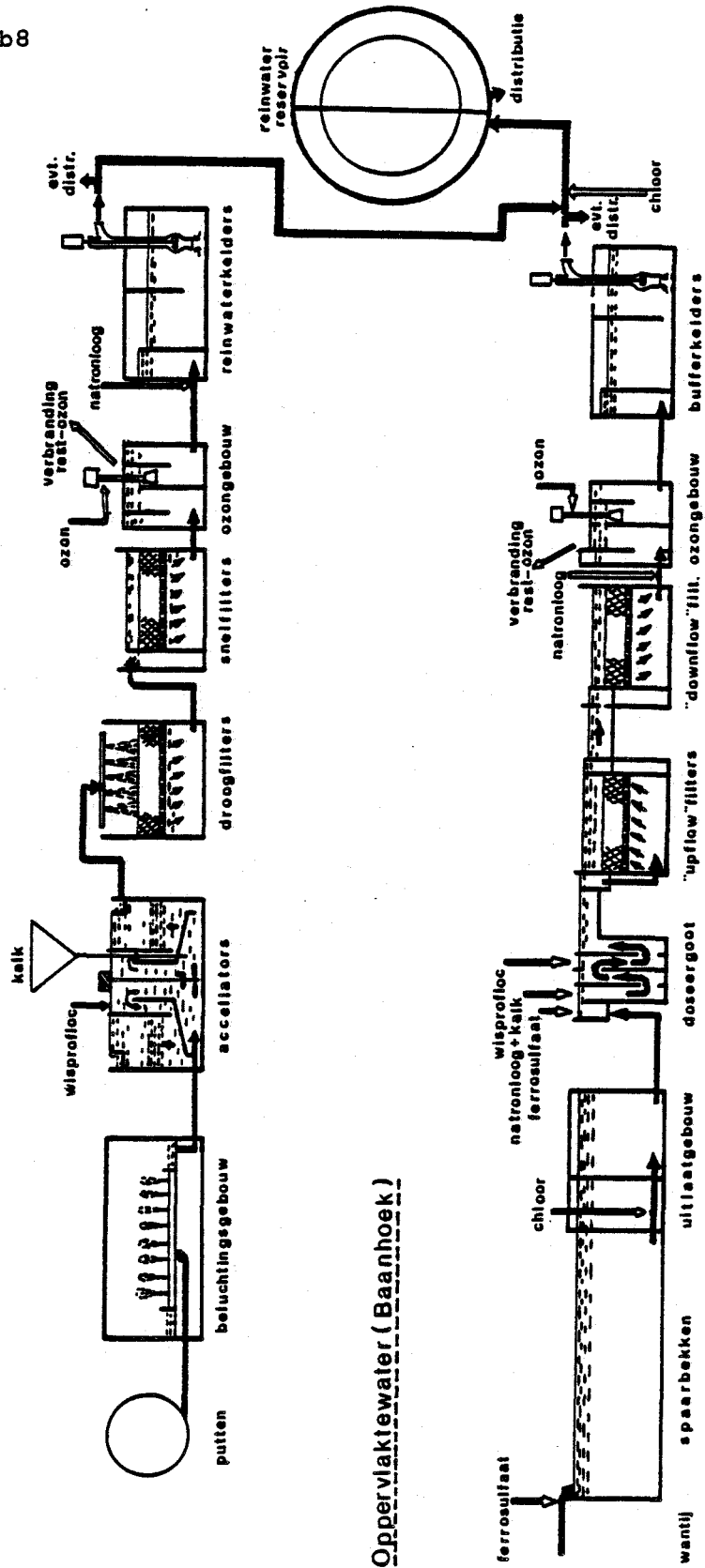
Schets accelator GEB Dordrecht  
capaciteit  $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ; belasting  $125 \text{ m}^3/\text{h}$ .



figuur b8

schema waterzuivering Dordrecht

Grondwater (Oranjelaan)



BIJLAGE VI

Ontharding Stichting Drinkwaterleiding "De Elf Gemeenten"

Bijlage bij 3.1.5

Het door het pompstation "De Hooge Boom", gelegen te Kamerik, te zuiveren grondwater heeft van nature een hardheid van 3,4 à 3,8 mmol/l.

Dit leidde in het verleden tot klachten van afnemers met betrekking tot afzettingen op verwarmings-elementen van boilers en geisers; daar de levering plaatsvindt in een gebied met veel tuin- en kasbouw, wordt het gedistribueerde drinkwater ook vaak toegepast als sproeiwater; hier resulteerde het harde water in bijvoorbeeld de bladaantasting van asters. Vanuit land- en tuinbouworganisaties werd aangedrongen op de levering van minder hard water, bij voorkeur met een hardheid van 1,4 mmol/l of minder. Ook in het zuiveringsbedrijf zelf waren er redenen om centrale ontharding te overwegen.

Voor 1973 bestond de zuivering uit een enkelvoudige filtratie en bedroeg de produktie circa  $2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  per jaar; om een betere zuivering te verkrijgen werd dit gewijzigd in voorfiltratie, ontharding, nafiltratie met een gereduceerde produktie van  $1,2 \cdot 10^6$  à  $1,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  per jaar. De ontharding vond plaats in een korrelreactor, bedreven met natronloog met een uitbreiding van het pompstation in het vooruitzicht bood dit een goede gelegenheid ervaringen op te doen met deze wijze van deelontharding.

In 1975 werd een nieuwe proefinstallatie opgezet, waaruit uiteindelijk het optimale zuiveringsschema volgde: beluchting, droogfiltratie, ontharding en nafiltratie.

Als chemicalie voor de ontharding werd gekozen voor natronloog. Redenen hiervoor waren onder meer de geringere produktie van korrels (pellets) ten opzichte van ontharding met  $\text{Ca(OH)}_2$ , een kleinere storingsgevoeligheid in mechanisch opzicht van de doseerinrichting, een lagere pH in het effluent van de reactor waardoor een zuurdosering niet nodig bleek, een lager carry-over naar de nafilts. nadelen van een NaOH-dosering, zoals hogere chemicaliekosten, noodzaak van inbrengen van nieuw entmateriaal, en verhoging van het natriumgehalte konden niet opwegen tegen de voordelen.

In de beluchttingsfase wordt 70 à 80 % van het in het grondwater aanwezige kooldioxide verwijderd. Dit geeft een aanzienlijke besparing op het loogverbruik, ter grootte van circa 25 mg/l NaOH.

In de proefinstallatie is de opwaartse snelheid bepaald waarbij het loogverbruik minimaal is; dit optimum bleek tussen 80 en 90 m/h (schijnbare watersnelheid) te liggen. De ondergrens van de snelheid ligt bij de fluïdisatiegrens (circa 60 à 70 m/h); de maximale snelheid bedraagt 120 m/h.

De reactoren hebben een trechtersvormige uitloop, zodat de uittreesnelheid de 28 m/h niet overschrijdt en uitspoelen van fijn entmateriaal voorkomen wordt.

Bij het optimaliseren van de snelheid in de reactor is gebruik gemaakt van het begrip specifieke ontharding. Hieronder wordt verstaan de hoeveelheid

loog, in mg/l, die benodigd is om een hardheidsverlaging van 1 mmol/l te bewerkstelligen, waarbij wordt afgezien van de kooldioxidebinding.

Deze specifieke ontharding bedroeg bij een snelheid van 80 m/h,  $34,7 \text{ mg/l} : (\text{mmol/l}) = 34,7 \text{ mg/mmol}$ .

In onderstaande tabel is het verband aangegeven tussen schijnbare watersnelheid en totaal loogverbruik (inclusief een kooldioxidebinding van 15 mg/l CO<sub>2</sub>).

Tabel b 11

schijnbare watersnelheid	totaal looggebruik
64 m/h	113 mg/l
80 m/h	100,4 mg/l
100 m/h	104,6 mg/l
120 m/h	111,6 mg/l

Berekend is dat het entmateriaalverbruik 0,0064 l/m<sup>3</sup> onthard water per mmol/l ontharding bedraagt, terwijl de korrelproduktie 0,067 l/m<sup>3</sup> onthard water per mmol/l hardheidsverlaging bereikt.

De bedweerstand blijft, ook bij maximale snelheden, minder dan 4,60 m waterkolom.

Voor een schets van de uitvoering van de reactoren wordt verwezen naar figuur b 10.

De natronloog wordt aangevoerd in circa 50 %-ige oplossing die wordt verdund tot 20 %.

De hierbij vrijkomende warmte wordt gebruikt om een deel van het bedrijfsgebouw te verwarmen.

De loogverdunnings- en opslagtank is in duplo uitgevoerd; iedere tank heeft een volume van circa 50 m<sup>3</sup>. Behalve voor de ontharding wordt de loog ook

toegepast om het entmateriaal te desinfecteren. De loogdosering wordt "grof" geregeld op de volumestroom en "fijn" door een pH-meting in het effluent van de reactoren.

De dosering vindt plaats in 20 %-ige oplossing; gestreefd wordt naar een eindhardheid van 1,6 mmol/l.

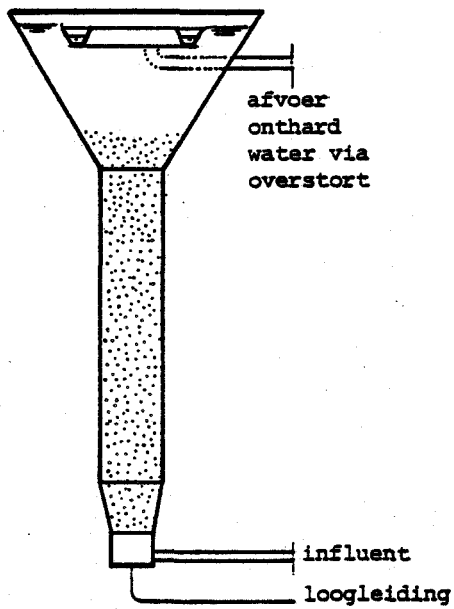
De instandhouding van het korrelbed geschiedt automatisch: na een van te voren ingestelde waarde bereikt te hebben van de doorgestroomde hoeveelheid water, wordt eerst een hoeveelheid korrels afgevoerd, waarna met loog gedesinfecteerd zilverzand 0,1-0,3 mm wordt ingebracht.

Vooralsnog behoeft geen pH-correctie door middel van een zuurdosering te worden toegepast daar het gezuiverde water wordt gemengd met contractueel aan te kopen water van de WMN, dat licht agressief is. De evenwichtssituatie wordt nu bereikt zonder dosering van chemicaliën, echter ten koste van een hoger energieverbruik ten behoeve van de menging van beide waterkwaliteiten in de reinwaterkelders. Bedrijfstechnisch gezien is deze situatie erg aantrekkelijk daar nu geen opslag- en doseerinrichting voor zoutzuur of zwavelzuur aanwezig behoeft te zijn met de daarbij behorende extra veiligheidsmaatregelen.

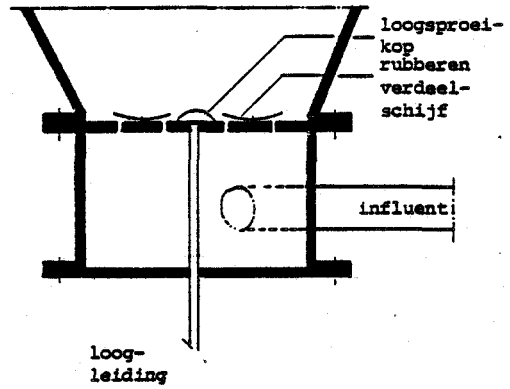
Daar de produktie plaatsvindt op basis van weekaccumulatie, kan de produktie continu gaan plaatsvinden, hetgeen de stabiliteit ten goede komt, en tevens een circa 10 %-ige besparing in de bouwkosten met zich meebrengt daar een lagere uurcapaciteit nu voldoende is.

De hierboven beschreven installatie is in juli 1979 officieel in gebruik genomen en heeft momenteel een capaciteit van circa  $3 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>.

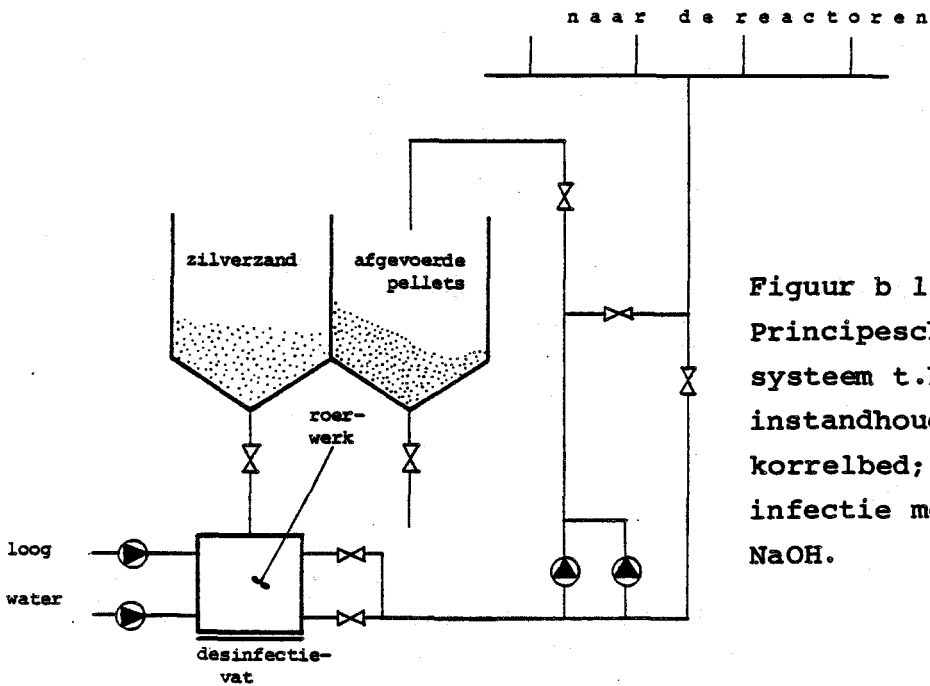
Bijgaande figuren lichten enkele delen van de installatie nader toe.



Figuur b 10  
Schets reactor  
"Elf Gemeenten"



Figuur b 9  
Schets bodem-  
constructie  
reactor "Elf  
Gemeenten"



Figuur b 11  
Principeschema  
systeem t.b.v.  
instandhouding  
korrelbed; des-  
infectie met  
NaOH.

BIJLAGE VII

Ontharding N.V. Waterleiding Maatschappij "Noord-West-Brabant"

Bijlage bij 3.1.6

Pompstation Schijf

In de tweede helft van 1969 werd een overeenkomst gesloten tussen de N.V. Waterleiding Maatschappij "Noord-West-Brabant" en de N.V. Watermaatschappij Zuid-West-Nederland voor de levering van  $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  gezuiverd drinkwater per jaar, aan laatstgenoemde. Daar deze levering de capaciteit van de toenmalige pompstations te boven ging, moest een nieuw bedrijf ontworpen en gebouwd worden.

Op verzoek van de N.V. Watermaatschappij Zuid-West-Nederland is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden tot ontharding, omdat de hardheid van het ruwe water, wat onttrokken wordt aan een plioceen grofzandig schelpenpakket, circa 2,5 à 2,6 mmol/l bedraagt.

Aangezien de levering per 1 april 1972 zou ingaan, betekende dit een relatief korte tijd voor proefnemingen.

De winning van het ruwe water vindt plaats met twaalf putten, waarvan er, voor een maximale uurproductie ter grootte van  $1500 \text{ m}^3$ , tien in bedrijf moeten zijn. Via een ring- en een verdeelleiding komt het water in sproeikamers; na beluchting wordt het water naar vlokvormingskanalen geleid, waar natronloog gedoseerd wordt en ook retourslib, dat afkomstig is uit de op het vlokvormingsproces volgende bezinking in lamellenseparatoren. Dit recirculatieslib bevat groeikernen voor het calciumcarbonaat en is essentieel voor de verwijdering hier-



van. De verblijftijd is circa 14.5 minuten; de indruk bestaat echter dat een aanzienlijk kortere verblijftijd ook een bevredigend resultaat zou hebben gegeven.

Na de vlokafscheiding heeft pH-correctie plaats met zoutzuur om na-ontharding in de filters te voorkomen. Deze filters zijn dubbellaags uitgevoerd, bestaande uit een onderlaag van fijn zand, en een bovenlaag bestaande uit veredelde anthraciet. Vervolgens wordt het water naar de reinwaterkelders getransporteerd, vanwaaruit transport naar de reinwaterkelders van de N.V. Watermaatschappij Zuid-West-Nederland te Huijbergen plaatsvindt.

De produktie heeft plaats in stappen van 0, 40, 60, 80 of 100 % van de maximale uurcapaciteit van 1500 m<sup>3</sup>. Per stap van 20 % zijn in gebruik twee putten, twee sproeikamers, één vlokvormingskanaal met loog- en recirculatieslibdosering en bijbehorende lamellenseparatoren. Onafhankelijk van de produktie zijn steeds alle filters in gebruik. Er wordt gestreefd naar een eindhardheid van 1,25 mmol/l van het reine water. Hiertoe moet circa 100 mg/l NaOH gedoseerd worden.

De vlokvorming heeft plaats in vlokvormingskanalen met ieder een capaciteit van 300 m<sup>3</sup>/h. Het water wordt aangevoerd vanuit een onder de sproeikamers gelegen kanaal; ten einde een gelijkmatige verdeling over de in gebruik zijnde vlokvormingskanalen te verkrijgen is een korte overlaat toegepast en een verbindingsleiding  $\phi$  400 mm.

Er zijn zes vlokvormingskanalen aanwezig; bij maximale produktie kan één kanaal buiten dienst zijn ten behoeve van schoonmaakwerkzaamheden.

Dosering van NaOH vindt plaats in een T-stuk in

de aanvoerleiding naar de kanalen, terwijl het recirculatieslib via een leiding in het begin van het vlokvormingskanaal gepompt wordt.

Oorspronkelijk vond deze dosering plaats door middel van een verdeelgoot over de breedte van het kanaal.

De dimensies van een vlokvormingskanaal zijn:

breedte	: 1,65 m
gemiddelde diepte	: 1,96 m
lengte	: 25,00 m
gemiddelde waterdiepte	: 1,75 m
gemiddelde verblijftijd:	870 s

De voor de ontharding benodigde natronloog wordt als een circa 50 %-ige oplossing per tankwagen aangevoerd, en opgeslagen in drie tanks met een inhoud van 18 m<sup>3</sup> ieder.

Ten einde uitkristalliseren te voorkomen wordt in de wintermaanden elektrische bijverwarming toegepast. Door middel van acht doseerpompjes (waarvan twee reserve) wordt de natronloog in leidingen gepompt met een beperkte hoeveelheid water, zo, dat een ruim 1 %-ige oplossing ontstaat. Deze oplossing wordt dan in het T-stuk voor het vlokvormingskanaal geïnjecteerd.

Het uit de vlokverwijderingspakketten komende slib wordt verzameld in slibzakken. Periodiek wordt hieruit slib gespuid naar een verzamelbak, waarin voortdurend roeren plaatsvindt ten einde bezinking te voorkomen. Een deel van het slib wordt gespuid in de slibvijver; een ander deel wordt rondgepompt via een leidingstelsel, dat dubbel is uitgevoerd in verband met verstoppingsgevaar ten gevolge van aangroeiing, onder een constante voordruk, ten einde debietsvariaties te voorkomen.

Vanaf deze leiding wordt slib in de vlokvormings-

kanalen ingebracht. Zowel kwaliteit als kwantiteit van het slib worden regelmatig gemeten.

Er wordt per kanaal circa  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  slib gedoseerd; het drogestofgehalte bedraagt circa  $10\text{-}15 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Per vlokvormingskanaal zijn vier dubbelpakketten beschikbaar, opgebouwd uit golfplaten van een polyesterhars met glasvezelversterking. Het aangestroomde oppervlak van een pakket bedraagt  $1,00 \times 1,00 \text{ m}^2$ ; de lengte van een pakket is  $1,75 \text{ m}$ .

De onderlinge afstand tussen twee golfplaten is  $0,02 \text{ m}$ , terwijl de hoek, waaronder de pakketten zijn opgesteld,  $54^\circ$  bedraagt.

De maximale bezinkafstand voor een gevormde vlok is dan  $0,02/\cos 54^\circ = 0,034 \text{ m}$ . Per breedte van een golfplaat zijn zes dalen en vijf toppen aanwezig.

De stroomrichting in de pakketten is opwaarts en evenwijdig aan de toppen en dalen van de golfplaten. Het in de pakketten bezinkende slib zakt door de zwaartekracht naar de zich aan de instroomkant bevindende neuzen, die ervoor zorgen, dat het eenmaal bezonken slib niet weer in suspensie komt.

De aanstroomsnelheid voor de pakketten bedraagt  $300/8 \text{ m}/\text{h} = 37,5 \text{ m}/\text{h}$ . Per pakket zijn 47 golfplaten aanwezig; dit betekent een zeer lage oppervlaktebelasting;  $s_o = Q/A = 300/(8 \times 1,75 \times 47 \times \cos 54^\circ) \text{ m}/\text{h} = 0,776 \text{ m}/\text{h}$ .

Na doorstroming van de vlokvormingskanalen en de lamellenseparatoren is de pH van het water circa  $8,7$ .

In het water zijn nog zeer fijne vlokken aanwezig, die in de pakketten niet tot bezinking konden worden gebracht. De pH wordt verlaagd tot de even-

wichts-pH, dat wil zeggen  $SI = 0$ , door middel van een zoutzuurdosering. Deze wordt gestuurd door een pH-meting stroomafwaarts in de doseergoot van lamellenseparatoren naar de dubbellaagsfilters.

Door deze zuurdosering lossen vlokjes weer op, neemt de totale hardheid weer enigszins toe en daalt het loogrendement.

Het verloop van voor de ontharding belangrijke parameters tijdens de zuivering is weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel b 13

parameter	I	II	III	IV
geleidbaarheid (mS/m)	47,3	37,8	43,5	44,2
pH	7,20	8,80	8,10	8,00
CO <sub>2</sub> (mg/l)	34,5	0	3,5	4,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	320	235	255	260
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	-	18	-	-
ijzer (Fe)	6,6	1,3	1,2	0,02
mangaan (Mn)	0,09	0,02	0,02	0,01
Ca <sup>2+</sup>	95	33	39	41
Mg <sup>2+</sup>	4,3	4,3	4,3	4,3
Na <sup>+</sup>	10	68	69	69
totale hardheid (mmol/l)	2,55	1,00	1,16	1,21
Cl <sup>-</sup>	18	18	35	35

I : ruw water

II : effluent lamellenseparatoren

III: bovenwater filters

IV : rein water

(monsternamen januari 1979).

Uit deze tabel kan worden afgeleid dat het loogrendement circa 83 % bedraagt, wanneer men het rendement betreft op het calciumgehalte na de zuurdosering.

Aangezien iedere "straat" werkt met een constante volumestroom, en de kwaliteit van het grondwater in de loop der tijd slechts zeer langzaam verandert, kan de dosering van NaOH en recirculatieslib met de hand op de gewenste waarde worden ingesteld.

Uit in 1969 verrichte proeven bleek dat een voldoende zuivering kon worden bereikt door een tweevoudige filtratie, voorafgegaan door beluchtingsfasen.

Hierdoor blijft de hardheid van het water echter onverminderd aanwezig. Door het introduceren van een onthardingsfase gecombineerd met ijzerverwijdering in een vlokvormingsproces is de tweede filtratiefase overbodig geworden.

De ontharding vergt een groter ruimtebeslag.

Een indicatie van dit ruimtebeslag wordt gegeven in de volgende berekening.

Benodigde ruimte voor het vlokvormingsproces:

vlokvormingskanalen:	17,4 x 28,0 m <sup>2</sup>	=	490 m <sup>2</sup>
vlokafscheiding	: 17,5 x 31,5 m <sup>2</sup>	=	551 m <sup>2</sup>
pakkettenreiniging + doseergoot:			
	7,0 x 24,5 m <sup>2</sup>	=	172 m <sup>2</sup>
			<hr/>
totaal:			1213 m <sup>2</sup>

Benodigde ruimte voor een filtratiefase:

extra filtergebouw	: 17,5 x 42,0 m <sup>2</sup>	=	735 m <sup>2</sup>
--------------------	------------------------------	---	--------------------

Oppervlak, benodigd voor de ontharding:

$$(1213 - 735) \text{ m}^2 = 478 \text{ m}^2.$$

(Exclusief loogopslag en slibverwerking.)

Het specifiek benodigd oppervlak voor de ontharding bedraagt dan  $478/1500 \text{ m}^2$  per  $\text{m}^3$  van de uurcapaciteit, ofwel  $0,32 \text{ m}^2/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ .

Er is ook een hoogtebeslag. De gebouwen zijn echter niet allen even hoog.

De oppervlakteberekening dient alleen als globale indicatie.

Eén van de concequenties van het onthardingsproces is een zwaardere belasting van de nafilts ten gevolge van een geringe carry-over uit de vlokformingsfase. Dit leidt tot enigszins kortere looptijden van de filters.

Daar tegenover staat dat in het onthardingsproces ijzer verwijderd wordt, zodat de nafilts een lager aanbod aan ijzer te verwerken hebben.

Er komt een aanzienlijke hoeveelheid slib vrij met een drogestofgehalte van circa 2 %; dit wordt geloosd in een slibvijver waar indikking tot 60 %ige drogestofgehalten kan plaatsvinden in de onderste sedimentlagen.

Na verloop van tijd wordt het oppervlak van de lamellenseparatoren ruwer ten gevolge van afzettingen van calciumcarbonaat, zodat een goed afglijden van bezonken vlokken naar de neuzen verhinderd wordt. Eens per drie maanden worden deze pakketten met behulp van speciaal voor dit doel aangebrachte hijswerktuigen gelicht en in een betonnen bak met een zuurbestendige coating geplaatst en vervolgens gereinigd met een zoutzuuroplossing. Om dezelfde reden moeten de vlokformingskanalen eens per half jaar worden gereinigd. Daar dit tijdens de ontwerp-

fase voorzien is, levert deze reiniging geen problemen op.

Lichte variaties in de eindhardheid van het water kunnen optreden ten gevolge van variërende hardheid van het inkomende water (afhankelijk van de in gebruik zijnde putten) en ten gevolge van wisselende drogestofgehalten van het recirculatieslib.

Het chemicalieverbruik in 1978 bedroeg, uitgedrukt in guldens:

NaOH	: f 384.602,-
HCl	: f 87.232,-
chloor	: f 4.239,-

---

totaal : f 476.073,-

Bij een produktie van ruim  $9.10^6$  m<sup>3</sup> per jaar komt dit op f 0,052 per m<sup>3</sup>.

Het onderhoud aan het zuiveringsgedeelte beliep in 1978 een bedrag van f 58.723,-, voor een groot deel bestaande uit salarissen en sociale lasten, ten gevolge van het schoonmaken van vlokvormingskanalen en lamellenseparatoren.

Het aandeel van de ontharding in de totale kosten van het pompstation zijn niet exact te bepalen.

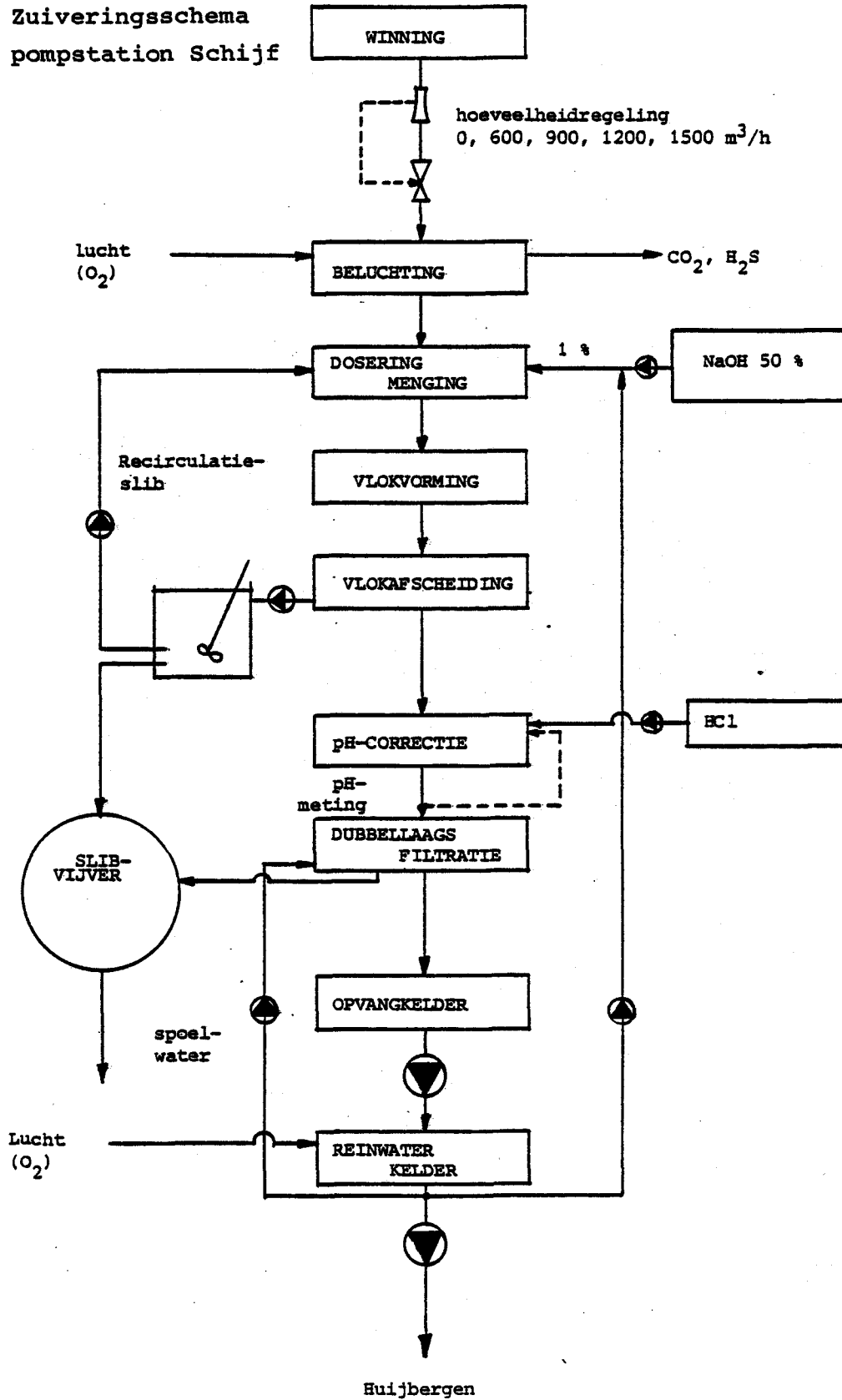
Een globale schatting is:

chemicaliën	: f 0,05 per m <sup>3</sup>
rente en	
afschrijving	: f 0,05 per m <sup>3</sup>
onderhoud, ver-	
warming, e.d.	: f 0,01 per m <sup>3</sup>

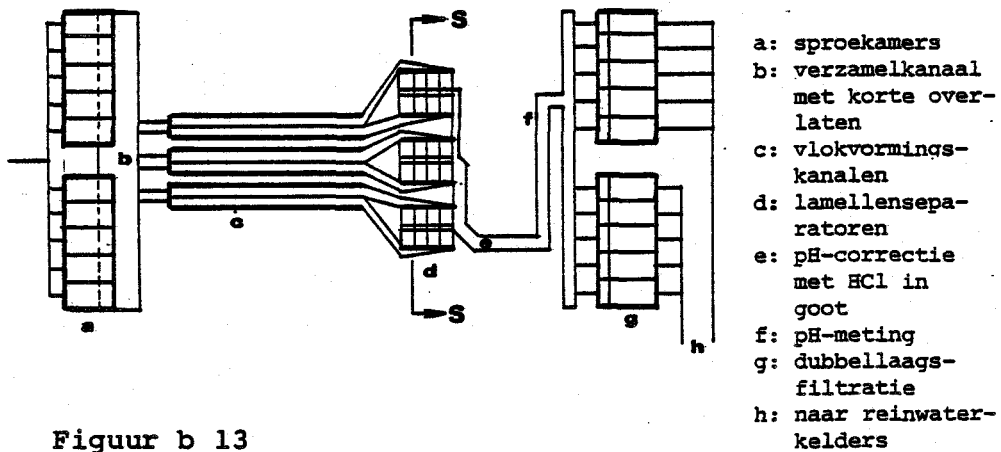
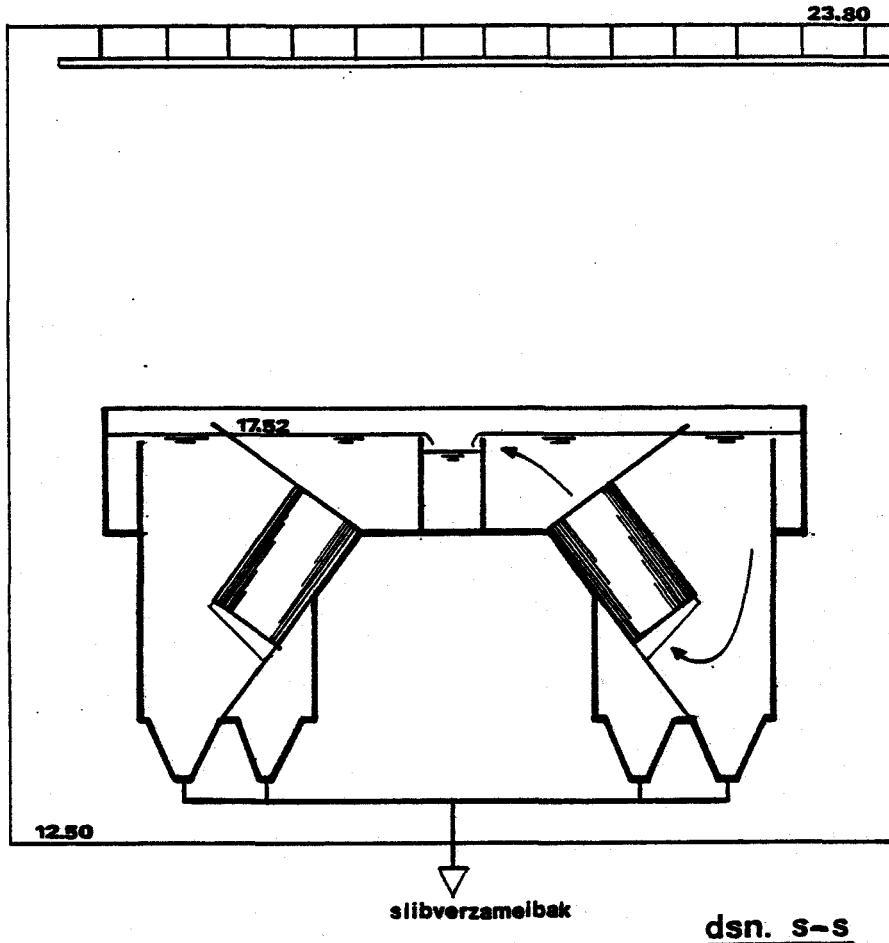
---

totaal : f 0,11 per m<sup>3</sup>.

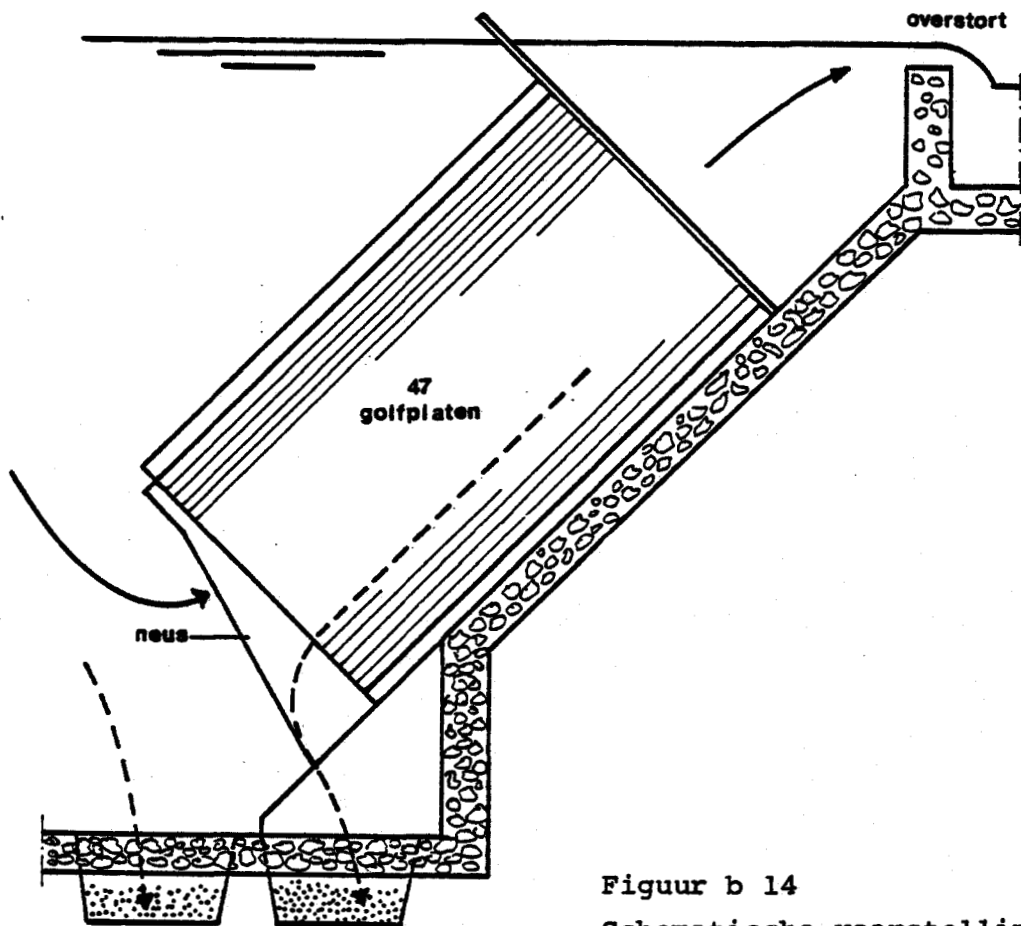
Figuur b 12  
Zuiveringsschema  
pompstation Schijf







Figuur b 13  
Schematische plattegrond  
zuivering pompstation Schijf met  
doorsnede over lamellenseparatoren



Figuur b 14  
Schematische voorstelling  
werking lamellensepara-  
toren pompstation Schijf;  
hellingshoek 54°.  
Bezinking en stroming ge-  
schied in tegengestelde  
richtingen (counter-  
current).

### Pompstation Altena

De levering van het pompstation Altena geschiedt aan Bergen op Zoom, en wel met name aan het bedrijf General Electrics Plastic.

De lopende vergunningen stonden niet toe, dat Bergen op Zoom zelf meer water zou gaan winnen, zodat de levering door een nieuw pompstation moest gaan plaatsvinden. Om hardheidsverschillen in het leidingnet te voorkomen en een goed proceswater te leveren, wordt de hardheid van het grondwater, onttrokken aan het watervoerend pakket op 100 à 150 m onder NAP, die circa 3 mmol/l bedraagt, teruggebracht tot 1,3 mmol/l, de hardheid van het water van Bergen op Zoom. Het pompstation werd in oktober 1977 officieel in gebruik genomen.

In de huidige uitvoering is de jaarlevering van dit bedrijf circa  $2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  met een maximale uurcapaciteit van  $250 \text{ m}^3$ . Er is voorzien in uitbouw mogelijkheden tot verdubbelde jaarproduktie en een maximale uurcapaciteit van  $800 \text{ m}^3$ .

De produktie van het pompstation varieert sterk daar General Electrics Plastic sterk wisselende hoeveelheden afneemt, hetgeen een interne optimalisatie in het pompstation in de weg staat.

Na winning door middel van putten wordt het water belucht; hier wordt onder meer een aanzienlijke reductie van het koolzuurgehalte bewerkstelligd, hetgeen gunstig is voor het chemicalieverbruik in het overige deel van de zuivering.

De ontharding vindt plaats in een korrelreactor, waarin zich een gefluidiseerd zandbed bevindt. Alvorens het water door het zandbed stroomt, wordt kalkmelk gedoseerd. Het hierdoor gevormde calciumcarbonaat zet zich voor het grootste deel af op de korrels van het bed (meer dan 65 %), terwijl het

overige deel als vlok uit de reactor gespoeld wordt (de zogenaamde carry-over).

Na de ontharding volgt een ontzoutingsdosering om na-ontharding in de filters te voorkomen; hierdoor lost een deel van het in het water aanwezige calciumcarbonaat weer op.

De filters zijn dubbellaags uitgevoerd.

Voor deze wijze van ontharden is gekozen op basis van ervaringen met ontharding in het pompstation Schijf van N.V. Waterleidingmaatschappij "Noord-West-Brabant". Hoewel het proces in Schijf goed verloopt, is de benodigde ruimte groot en dient veel aandacht te worden besteed aan het schoonhouden van vlokvormingskanalen, lamellenseparatoren en slibrecirculatiesysteem.

Op grond van deze feiten besloot men in Altena korrelreactoren toe te passen; als base wordt calciumhydroxide gebruikt zodat de kwaliteit van het reine water voor wat betreft het waterstofcarbonaatgehalte aanzienlijk beter is dan wanneer natriumhydroxide zou worden gedoseerd.

Na uitvoerige proefnemingen met korrelreactoren op kleinere schaal (300 en 950 mm diameter) kon bepaald worden wat de hoogte van de reactor zou moeten zijn. Gebleken is dat na 15 à 20 s de ontharding geheel verlopen is.

Voor de afmetingen van de reactor wordt verwezen naar figuur bl6; hierin is tevens de constructie van de ruwwaterinlaat en kalkmelkdoseerleiding te zien. De afvoer van het ontharde water vindt plaats door middel van een overstort.

Er zijn twee reactoren aanwezig die beurtelings bedreven worden; de procesgang is momenteel als volgt: met chloor gedesinfecteerd zand wordt in een bepaalde hoeveelheid in de reactor ingebracht.

Vervolgens wordt de reactor opgestart; ten gevolge van het onthardingsproces groeien de korrels aan en neemt het bedvolume toe. Regelmatig wordt het surplus aan korrels gespuid om het gewenste bedniveau te handhaven. Wanneer de gemiddelde diameter van de korrels circa 1,2 mm is geworden, schakelt men de reactor af en wordt het gehele korrelbed gespuid; ondertussen wordt de andere reactor in gebruik genomen.

Tot voor kort werden de reactoren bedreven met zand met een fractie 0,6-0,85 mm; gestart werd met een volume van circa 6 m<sup>3</sup>. De expansie van het bed bedroeg dan aanvankelijk circa 0,5 à 0,6 m bij een debiet van 220 à 230 m<sup>3</sup>/h (schijnbare opwaartse snelheid circa 65 m/h); in laatste fase, wanneer de korrels aanzienlijk zwaarder zijn geworden, bedroeg de expansie nog slechts een tiental centimeters. De "looptijd" van het proces met deze wijze van bedrijfsvoering bedroeg ongeveer drie weken. Na één dag is de afgeschakelde reactor weer bedrijfsklaar en wordt "stand-by" gezet.

Momenteel (herfst 1979) wordt zilverzand toegepast en wordt gestart met een kleiner volume (circa 3 m<sup>3</sup>). Hierdoor is de expansie van het bed aanzienlijk groter; verwacht wordt dat de looptijden zo aanzienlijk langer kunnen worden en de carry-over kan worden beperkt. Er zijn indicaties dat ook een zekere stratificatie in het bed gaat optreden.

Voor het gewenste onthardingseffect is een dosering van 210 tot 240 g Ca(OH)<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> nodig, afhankelijk van de mate van recirculatie die moet worden toegepast bij lage afname ten einde een voldoende hoog debiet te handhaven in de reactor om fluïdisatie te bewerkstelligen.

Voor de verwijdering van het aanwezige  $\text{CO}_2$  is allereerst een hoeveelheid kalkmelk benodigd.

Wanneer na beluchten nog circa 36 mg/l  $\text{CO}_2$  in het water aanwezig is, vraagt dit  $36 \times 74/44$  mg/l  $\text{Ca(OH)}_2 = 60,5$  mg/l  $\text{Ca(OH)}_2$ . De calciumverwijdering vraagt  $(113-34,8) \times 74/40$  mg/l  $\text{Ca(OH)}_2 = 144,7$  mg/l  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Het kalkrendement bedraagt circa 85 %, wanneer dit wordt betrokken op het calciumgehalte van het gefiltreerde effluent van de reactor; wanneer de rendementsverlaging ten gevolge van de zoutzuurdosering hierin wordt betrokken, is het rendement circa 79 %.

Ten gevolge van de zuurdosering neemt de totale hardheid van het water weer toe met circa 0,2 mmol/l.

De zoutzuurdosering bedraagt circa 10-20 mg/l.

De voor de ontharding benodigde poederkalk wordt opgeslagen in een silo. Door middel van een bandweegapparaat wordt de juiste hoeveelheid poederkalk in een oplosbak gebracht. De suspensie wordt 0,5-1,0 %-ig aangemaakt; gebleken is dat bij hogere concentraties het rendement afneemt, vermoedelijk vanwege inkapseling van calciumhydroxidedeeltjes door calciumcarbonaat.

Bij 1 %-ige oplossing van de kalkmelk bedraagt de volumestroom circa 2,5 % van de te ontharden hoofdstroom ruw water. De dosering van de kalkmelk wordt gestuurd door een geleidbaarheidsmeting in het effluent van de reactor.

De filters zijn dubbellaags; er zijn twee verschillende combinaties in gebruik; de opbouw van de filters is als volgt:

steunlaag: 10 cm grind 1,5-3,0 mm

onderlaag: 80 cm zand 0,6-0,85 mm

bovenlaag: één filter met 60 cm Anthrite 1,4-2,4 mm  
en één filter met 60 cm Hydro-anthraciet A, 1,6-  
2,5 mm.

Het zwevende stofgehalte in het bovenwater van de filters varieert aanzienlijk ten gevolge van de carry-over van de reactor. Bij het ontwerp was gerekend op 100 mg/l zwevende stof, aanvankelijk bleek dit echter te variëren tussen 20 en 355 mg/l; momenteel worden waarden bereikt van 20 tot 155 mg/l. Het einde van de looptijden van de filters wordt aangegeven door een troebelheidsmeting in het effluent van de filters.

Hoewel niet optimaal, verloopt het onthardingsproces, zoals hierboven beschreven, goed. De kalkmelkdosering is momenteel probleemloos; een nadeel is de variabele looptijd van de filters ten gevolge van grote variaties in het zwevende stofgehalte van het bovenwater. De verwachting is echter dat door wijziging in de bedrijfsvoering de carry-over van de reactor sterk teruggedrongen kan worden, waardoor de looptijden van de filters langer en constanter zullen worden.

Onderstaande tabel geeft het verloop van enkele voor de ontharding belangrijke parameters tijdens de zuivering weer (onderzoek januari 1979).

Tabel b 14

parameter	I	II	III	IV	
geleidings- vermogen	58,5	27	31,0	31,5	mS/m (20 °C)
pH	7,20	8,80	8,20	7,85	
Cl	17,5	17,5	29,5	29,5	mg/l
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	400	150	165	160	mg/l
CO <sub>2</sub>	56		1,5	5,5	mg/l
ijzer (Fe)	4,7	3,3	3,0	0,03	mg/l
mangaan (Mn)	0,06	0,03	0,03	0,01	mg/l
Ca <sup>2</sup>	113	34,8	43,3	43,3	mg/l
Mg <sup>2</sup>	5,5	5,5	5,5	5,5	mg/l
totale hard- heid	3,07	1,11	1,32	1,32	mg/l

I : ruw water

II : belucht en onthard water

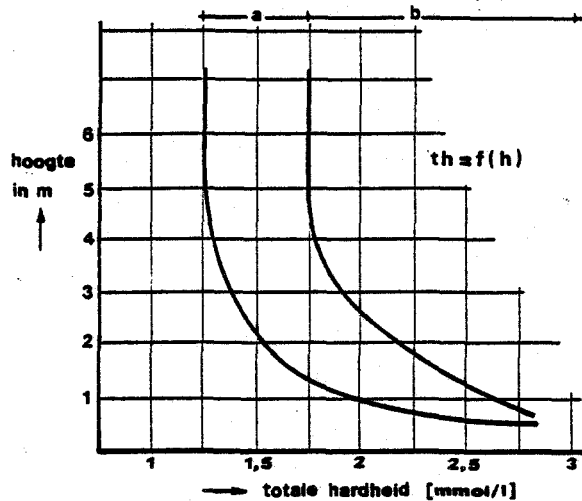
III: na pH-correctie

IV : effluent filters



Onderstaande figuur geeft de ontharding als functie van de hoogte, zoals die bepaald werd in de proefinstallatie; hieruit blijkt dat in die situatie 30 % van het gevormde  $\text{CaCO}_3$  als vlok uit de reactor gespoeld wordt.

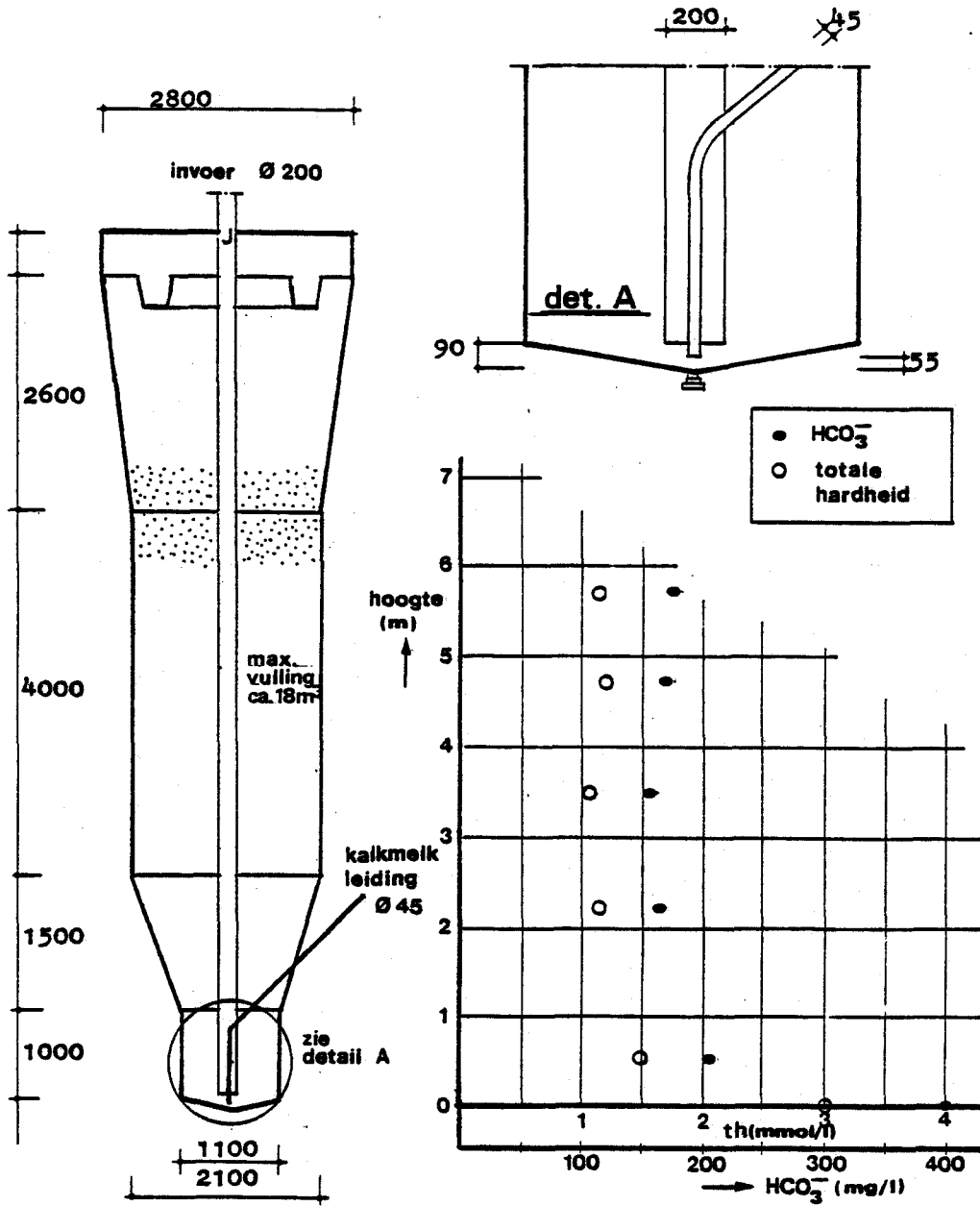
Figuur b 15  
Hardheid als  
functie van de  
hoogte;  
30 % van het ge-  
vormde  $\text{CaCO}_3$   
(deel a) ver-  
dwijnt als vlok  
uit de reactor.



De investeringskosten voor dit pompstation belopen circa f 7.500.000,-; bij een produktie van  $2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  per jaar is de waterproduktieprijs circa f 0,60 (1978).

Een geschat aandeel van de ontharding hierin bedraagt f 0,11 per  $\text{m}^3$ .

"De chemicaliënkosten zijn voor  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en  $\text{HCl}$  respectievelijk 4,6 en 1,8 ct/ $\text{m}^3$ , terwijl de kosten voor zand 1,3 ct/ $\text{m}^3$  belopen. Gezien het onthardingstraject en het kooldioxidegehalte zijn de chemicaliekosten voor het proces in Altena lager dan de chemicaliekosten in Schijf; de extra kosten voor zand brengen de beide bedragen op ongeveer gelijke hoogte."

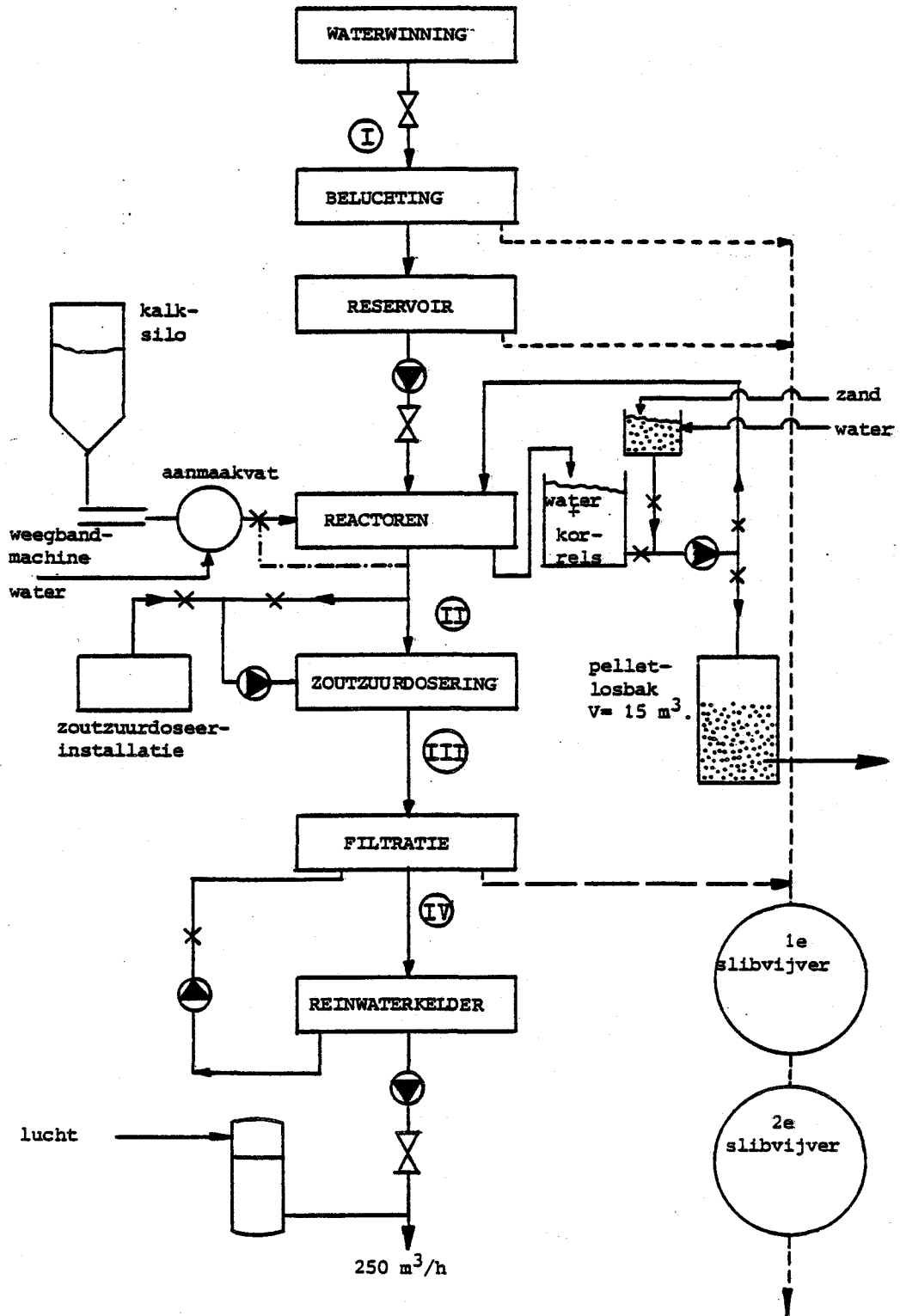


Figuur b 16

J

Korrelreactor Altena; maten in millimeters; verloop van totale hardheid en waterstofcarbonaatgehalte als functie van de hoogte in de reactor bij een debiet  $Q = 260 \text{ m}^3/\text{h}$  (schijnbare opwaartse snelheid  $75 \text{ m/h}$ ).

Figuur b 17  
Schema zuivering  
pompstation Altena



BIJLAGE VIII

Ontharding Gemeentelijk Waterleidingbedrijf  
Ridderkerk

Bijlage bij 3.1.7

Sinds 1970 werden in het Ridderkerkse bedrijf proeven gedaan om de mogelijkheden te onderzoeken het opgepompte diepe- en ondiepe grondwater in hardheid te verlagen; de hardheid van het ruwe water bedraagt circa 3,2 mmol/l.

In verband met de beschikbare ruimte in het bestaande bedrijf werd gekozen voor onderzoek naar ontharding door middel van korrelreactoren bedreven met natronloog; het relatief lage natriumgehalte van het gewonnen water stond dit laatste toe.

De ontharding werd op verschillende plaatsen in de zuivering, bestaande uit beluchting/droogfiltratie, en nafiltratie, ingelast.

Geconstateerd werd dat ontharding van het ruwe water geen kristallisatie van het gevormde calciumcarbonaat ten gevolge had, doch slechts slibvorming, hetgeen een grote carry-over op de filterfase ten gevolge had.

Ontharding van het voorfiltraat verliep gestoord, vermoedelijk door een teveel aan ammonium in het water; tevens bevatte het water nog veel koolzuur.

Nafiltraat kon goed onthard worden met een loogrendement van ruim 90 %. Met een proefreactor met een diameter van 1,00 m en een door Werkspoor Water gebouwde reactor met een diameter van 1,40 m wordt nu sinds najaar 1973 ontharding toegepast door een deel van het gezuiverde, reine water door de reactoren te leiden en het vervolgens te mengen met een deel van het voorfiltraat zodat evenwichtsinstelling kan plaatsvinden tijdens het doorstromen van

de overige nafilts. Voor het "split-treatment"-schema wordt verwezen naar figuur b 18.

Het gemengde, reine water heeft een hardheid van circa 2,5 mmol/l.

Om een zo stabiel mogelijk proces in de reactoren in stand te houden wordt een constante stroom van 200 m<sup>3</sup>/h onthard in de beide reactoren; indien de produktie stopt (kelder vol) dan worden de reactoren afgeschakeld.

Bij het installeren van de beide reactoren in de pompenruimte is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande leidingen. Zo wordt voor de aanvoer naar de reactoren gebruik gemaakt van de spoelwaterleiding van de filters. Het inbouwen van een onthardingsfase betekende dus een zeer geringe ingreep in de bestaande situatie.

In het verleden werden de reactoren gestart met volkomen "schone" vullingen van entmateriaal; na enige tijd waren de reactoren volgegroeid en werd regelmatig een surplus aan korrels gespuid, totdat de korreldiameter zo groot was geworden dat de kristallisatie van calciumcarbonaat niet goed meer verliep; dan werden de reactoren afgeschakeld en vervolgens geheel geleegd.

Momenteel wordt eens per week nieuw entmateriaal ingebracht (d = 0,2 mm) en twee maal per week een hoeveelheid surpluskorrels gespuid.

Het entmateriaal wordt vóór inbrengen in de reactor circa 12 uur in de chloorbleekloog gezet ten einde een goede desinfectie te verkrijgen.

Na inbrengen in de reactor van dit entmateriaal wordt het effluent van de reactor gedurende het eerste halve uur geloosd op het riool om de overmatige aanwezige chloorresten te verwijderen.

De afgevoerde korrels worden in een silo opgeslagen en vervolgens afgevoerd naar een stort.

Het transport van de reactoren naar de silo geschiedt door middel van ejecteurs.

De loog wordt aangevoerd in circa 33 %-ige oplossing, in hoeveelheden van circa 8000 l per keer. Deze hoeveelheid wordt gebracht in een tank van 12 m<sup>3</sup>, waarna zoveel water wordt toegevoegd, gemeten met behulp van een automatische watermeter met instelbare afslag, dat een 25 %-ige oplossing ontstaat. Uitkristalliseren van de oplossing wordt op deze manier voorkomen.

Wanneer de loog voldoende is afgekoeld, kan deze ook worden opgeslagen in een tweede tank met een inhoud van 7 m<sup>3</sup>. Vanuit deze tanks wordt de loog naar twee dagtanks in de nabijheid van de reactoren getransporteerd. De loogdosering wordt gestuurd door een pH-meting in het effluent van de reactor; deze bedraagt bij het gewenste onthardingstraject circa 8,6.

De menging van onthard en niet-onthard water voor de nafilts levert een zekere mate van naontharding in het filterbed. Deze is niet nadrukkelijk storend, maar verkort waarschijnlijk wel de looptijden van de filters.

De menging van onthard en niet-onthard water resulteert in een uiteindelijke pH van 7,7, zodat een pH-correctie met een zuurdosering niet noodzakelijk is.

Opvallend is dat het onthardingsproces in de kleine reactor (diameter 1,00 m) beter blijkt te verlopen dan in de grote reactor (diameter 1,40 m). De korrels, afkomstig van de kleine reactor, zijn aanzienlijk bruiner van kleur en bevatten vermoedelijk meer ijzer. Het gefluïdiseerde bed van de kleine reactor is aanzienlijk stabielere dan het bed in de

grote reactor, waar duidelijk nog aan de bovenzijde van het bed de spiraalbeweging van het water ten gevolge van de inlaatconstructie zichtbaar is.

De reactorbodems worden één maal per jaar gedemontrerd en schoongemaakt. Verder onderhoud aan de bodemconstructies door het jaar heen blijkt niet nodig te zijn.

De jaarproduktie van dit bedrijf beliep in 1978 circa  $2,15 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en vertoont een lichte stijgende tendens; de maximale uurcapaciteit van het bedrijf bedraagt circa  $500 \text{ m}^3$ .

Onderstaande tabel met de bijbehorende grafiek geven het verloop van enkele parameters tijdens het onthardingsproces zoals dit bepaald werd in de proefinstallatie.

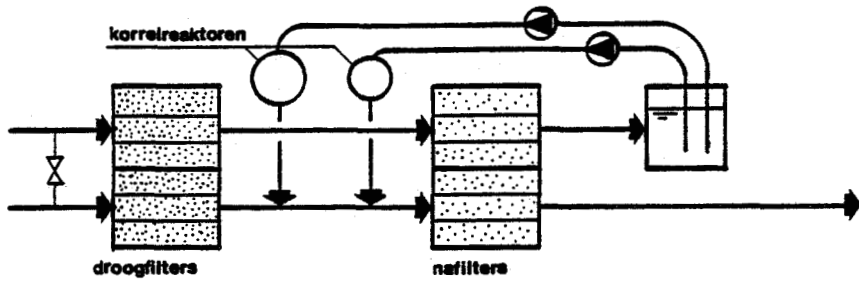
Tabel b 15

parameter	a	b	c	d	e	f	
geleidings- vermogen	67,6	58,3	58,3	58,3	58,3	58,2	
pH	7,4	9,30	9,05	8,75	8,6	8,5	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	311	268	259	195	198	204	mg/l
CO <sub>2</sub>	14						mg/l
Ca <sup>2+</sup>	91	33	29	30	26	25	mg/l
Mg <sup>2+</sup>	16	15	14	15	15	16	mg/l
totale hardheid	2,9	1,5	1,3	1,4	1,3	1,3	mmol/l

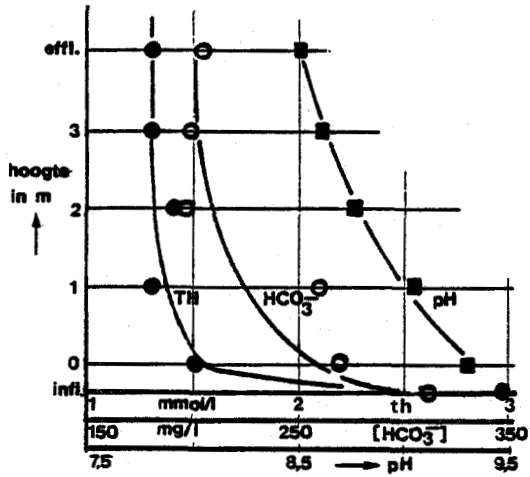
a: filtraat (influent reactor)  
 b t/m e: monsternamen op 0, 1, 2, 3 m van bodem  
 f: effluent reactor.

Momenteel wordt enigszins harder water opgepompt  
en iets minder ver onthard.



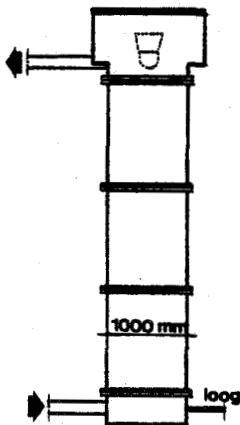
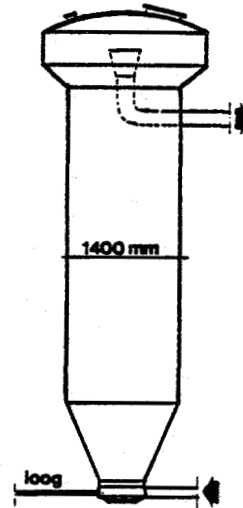


Figuur b 18  
Split-treatment schema Ridderkerk

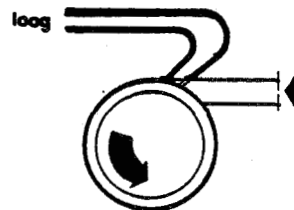


Figuur b 20 pH, th en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>  
als functie van de hoogte  
in proefinstallatie.

Figuur b 19  
reactor  
fabr.  
Werkspoor  
∅ 1400 mm



Figuur b 21  
reactor fabr.  
GW Ridderkerk  
∅ 1000 mm



Figuur b22  
principe  
mengbodem van  
beide reactoren

BIJLAGE IX

Ontharding Waterleiding "De Rijnstreek"

Bijlage bij 3.1.8

Het door het pompstation te Hazerswoude gewonnen ondiepe grondwater heeft een hardheid van circa 5,7-5,9 mmol/l. Aan de distributie van een dergelijk hard water zijn de bekend veronderstelde bezwaren verbonden. Niet alleen van de zijde van de verbruikers, maar ook vanuit de directie van het bedrijf kwam de wens naar voren een zachter water te produceren.

Ten einde de mogelijkheden hiertoe nader te onderzoeken werd gedurende 1972 en 1973 een proefinstallatie bedreven, waarin ontharding door middel van kristallisatie in een korrelreactor met natronloog werd onderzocht. Op grond van deze resultaten werd in 1978 besloten tot het uitbreiden van het bestaande bedrijf met een centrale onthardingsfase.

Hiertoe zijn drie korrelreactoren opgesteld; als base werd voor natronloog gekozen op grond van de eenvoudige wijze van opslag en dosering.

Gestreefd wordt naar een hardheidsverlaging tot 2,5-2,9 mmol/l. Medio 1978 werd deze uitbreiding in gebruik genomen.

Het zuiveringsschema van het pompstation is in figuur b 23 weergegeven. De inschakeling van korrelreactoren in dit zuiveringsschema betekende een verminderde belasting op de nafilts, daar in de reactoren een gedeelte van het in het voorfiltraat nog aanwezige ijzer wordt ingebouwd, terwijl ook de ontmanganing voor een groot deel in de reactoren plaatsvindt. Toch moeten de nafilts sneller gespoeld worden dan voorheen, omdat de neiging be-

staat dicht te slaan vanwege een geringe na-ontharding en ontgassing.

De aftap van korrels vindt dagelijks plaats; deze afgevoerde korrels worden opgeslagen in een bunker met een bergend vermogen voor circa drie weken; dan worden de korrels per wagen afgevoerd en gebruikt als landaanvulling.

Eens per week wordt nieuw entmateriaal in de reactor ingebracht. Dit is zand van de fractie 0,2-0,6 mm, gegloeid, en wordt vooraf circa 48 uur gedesinfecteerd met chloorbleekloog; de ingebrachte hoeveelheid entmateriaal per reactor bedraagt circa 800 l per week.

De loog wordt aangevoerd in circa 50 %-ige oplossing per tankwagen. Bij aankomst wordt deze verdund tot 33 %. Daar de reactoren met een constant debiet bedreven worden, is de dosering eenvoudig; de hardheid van het inkomende water varieert nauwelijks zodat de loogdosering slechts regelmatig behoeft te worden bijgesteld. Aan de uitgang van het pompstation wordt de hardheid van het water continu gemeten.

De pH in het effluent van de reactor is zodanig dat een zuurdosering niet noodzakelijk is; de pH van het gedistribueerde water bedraagt aan de uitgang van het pompstation circa 8,1.

Om de gewenste ontharding te bewerkstelligen moet circa 0,33 l 33 %-ige NaOH-oplossing gedoseerd worden per m<sup>3</sup> te ontharden water, of wel circa 148 mg NaOH per liter water.

Het loogrendement nadert de 100 % (inclusief CO<sub>2</sub>-binding).

De reactoren zijn gebouwd door de firma Rossmark. Iedere reactor heeft een diameter van het cilindrische deel van circa 1,60 m; de capaciteit bedraagt 200 m<sup>3</sup>/h. Via overstorten wordt het water naar de nafilts getransporteerd.

De investeringen voor de installatie (exclusief gebouw en leidingen) bedroegen f 628.000,-; met een afschrijvingstermijn van 10 jaar betekent dit aan jaarlijkse lasten in het eerste jaar (lineaire afschrijving, rente 8,5 %) een bedrag van f 116.180,-, ofwel, bij een produktie van 2,4.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> per jaar, f 0,048 per m<sup>3</sup> geleverd drinkwater. De exploitatiekosten bedragen circa f 0,07 per m<sup>3</sup> voor de chemicaliën en f 0,01 per m<sup>3</sup> voor zand en enkele andere kleine posten.

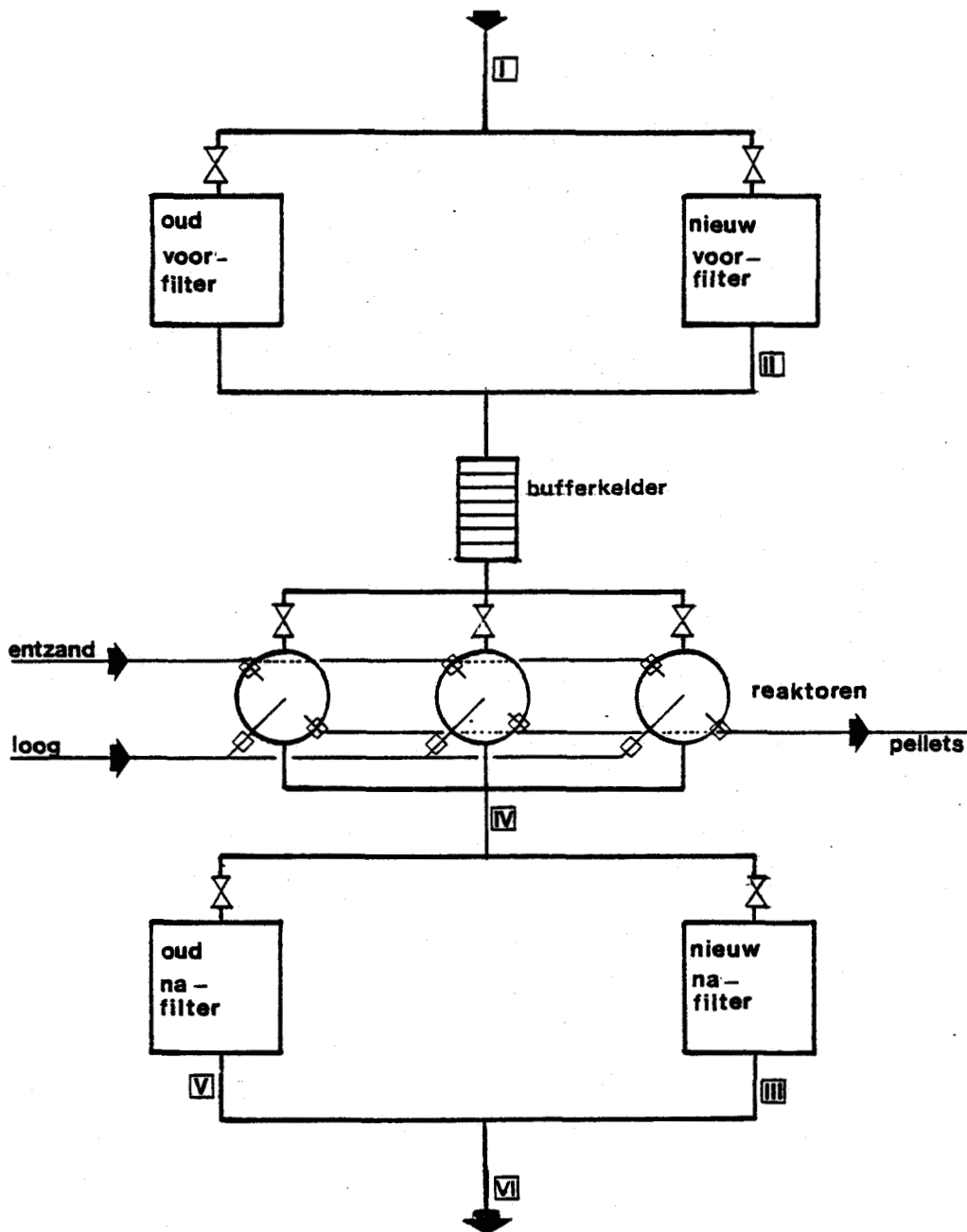
De totaalkosten voor de ontharding bedragen dan circa f 0,13 per m<sup>3</sup> gezuiverd drinkwater.

Onderstaande tabel geeft het verloop van enkele parameters tijdens de zuivering weer.

Tabel b 16

parameter	I	II	III	IV	V	VI	
geleidingsvermogen						117	mS/m
pH	7,00	7,10	8,20	8,40	8,20	8,10	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	480	460	350	340	345	320	mg/l
CO <sub>2</sub>	108	84	4	-	3	5,5	mg/l
CO <sub>3</sub>				8			mg/l
ijzer (Fe)	4,6	0,05	0,02	0,04	0,02	0,02	mg/l
mangaan (Mn)	0,74	0,59	0,1	0,02	0,01	0,01	mg/l
Ca <sup>2+</sup>						52,5	mg/l
Mg <sup>2+</sup>						26,2	mg/l
totale hardheid	5,48	5,46	2,43	2,43	2,41	2,43	mmol/l

De posities van de meetpunten I t/m VI zijn aangegeven in het schema van figuur b 23.



Figuur b 32  
Zuiveringsschema  
pompstations  
Hazerswoude

BIJLAGE X

Bijlage bij hoofdstuk 3.2

Enkele buitenlandse bedrijven die zich met ontharding bezighouden. De tussen haakjes aangegeven nummers verwijzen naar beschrijvende literatuur).

Verenigde Staten

Austin, Texas	Jackson, Michigan (b7)
Boca Raton, Florida	Minot, North Dakota
Miami, Florida	Marshall Town, Iowa
Dayton, Ohio (b1)	San Diego, California
Columbus, Ohio (b2)	St. Paul, Minnesota
Oberlin, Ohio (b3)	Richfield, Minnesota (b8)
Fremont, Ohio (b4)	Salina, Kansas
Lansing, Michigan (b5)	Johnson County, Kansas (b9)
Owosso, Michigan	Merida, Yucatan
Pontiac, Michigan	Murfreesboro, Tennessee (b10)
Ann Arbor, Michigan (b6)	
(alle vlokformingsprocessen)	
Los Angeles, California	ionenwisseling.

Meer bedrijven worden genoemd in een artikel waarin kalk-soda- en ionenwisselingsinstallaties met elkaar worden vergeleken voor wat betreft capaciteiten en kosten (b11).

Verenigd Koninkrijk

Bristol

Waterworks Comp.

vlokvorming

New Milford

onthardingsfilter

Cumberland

id.

Diddington Treatment

Works (Great Ouse) (b12) vlokvorming

Sutton District Water

Comp. (b13)

ionenwisseling

Voor meer gegevens betreffende het Verenigd Koninkrijk zie (b14).

Frankrijk

Noyon, Oise (b15)

vlokvorming

Syndicat de Borderie,

Charente (b15)

kristallisatie.

West-Duitsland

Stadtwerke Dinslaken

kristallisatie.

Dit overzicht is zeker niet volledig en pretendeert dat ook niet; de genoemde bedrijven zijn gekozen uit een groot aantal beschreven en genoemde bedrijven in de literatuur.

Literatuurverwijzigingen bij bijlage bij hfdst. 3.2

- b1. Journal AWWA 58 (1966)1, p. 97-106.
- b2. Water and Wastes Eng., (1976) nov.,  
p. 75-80.
- b3. Journal AWWA 54 (1962)1, p. 99-110.
- b4. Journal AWWA 60 (1968)8, p. 980-983.
- b5. Journal AWWA 50 (1958)2, p. 263-270.
- b6. Journal AWWA 61 (1969)5, p. 285-288.
- b7. Water and Wastes Eng., 12 (1975)4, p. 25-29.
- b8. Water and Sewage Works 112 (1965)1, p. 1-10.
- b9. Water and Wastes Eng., 11 (1974)12, p. 23,  
24
- b10. Water and Sewage Works, 113 (1966)2, p. 66,  
67.
- b11. Journal AWWA 64 (1972)12, p. 820-824.
- b12. JIWE 21 (1967)2, p. 103-107.
- b13. Water Services (1974)7, p. 235, 236.
- b14. Rapport van het tweede IWSA-congres (1952),  
p. 341-507.
- b15. Techn.Sc.Munic. 64 (1969)8/9, p. 293-302.



LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN

K	evenwichtsconstante
$K_w$	evenwichtsconstante voor de dissociatie van water
$K_s$	oplosbaarheidsprodukt
$K_1$	evenwichtsconstante van de eerste dissociatietrap (hier van koolzuur)
$K_2$	evenwichtsconstante van de tweede dissociatietrap
$K_L$	afgeleide evenwichtsconstante bij kalk-koolzuurevenwicht; $K_L = K_2/K_s$
p	de negatieve logaritme van .... $pH = -\log H_3O^+$ ; $pCa = -\log Ca^{2+}$
$pH_s$	de pH waarbij water noch kalkoplossend, noch -afzettend is
SI	Saturation Index, bepaald door $pH - pH_s$
th	Totale hardheid
$th_u$	Totale hardheid van de uitgangskwaliteit
$th_g$	gewenste totale hardheid
e	benodigde overmaat aan chemicaliën; e = benodigde hoeveelheid/stoïchiometrische hoeveelheid
p	prijs van chemicalie in f/mol
$K_{chem}$	chemicaliekosten bij ontharding, in $f/m^3$ onthard water