

Amsterdam: van hard naar zacht water

1. Inleiding

De weg, die gegaan moest worden om van hard tot zacht water te komen, was lang. Daarom zal in hoofdstuk 2 een beknopt historisch overzicht worden gegeven van alle landelijke commissies en werkgroepen, die de afgelopen twintig jaar hebben bijgedragen om de opgeworpen vragen te beantwoorden op het gebied van volksgezondheid, milieu, onthardingsmethoden, de kosten en baten, de gewenste eindkwaliteit, etc. Daarna zal het proces, dat is ontwikkeld en gekozen in Amsterdam, worden beschreven, evenals de ontwerp-criteria voor de reductor.



DR. IR. A. GRAVELAND

Omdat reeds verschillende publikaties zijn verschenen, wordt voor verschillende onderdelen daarnaar verwezen. Recenter ontwikkelingen van belang voor een optimale procesvoering zullen uitgebreider aandacht krijgen. Daarom zal het kristallisatie-mechanisme aan de orde komen en worden nagegaan welke vrijheidsgraden het proces heeft om onder verschillende omstandigheden de ontharding optimaal te laten verlopen.

Daarna wordt de plaats van de ontharding in de zuiveringssystemen van de Rivier-Duinwaterleiding en de Rivier-Plassenwaterleiding besproken.

Tenslotte wordt een overzicht van entmaterialen gegeven, waaruit een keuze kan worden gemaakt en een overzicht van toepassingen, waarvoor de vrijkomende kalkpellets kunnen worden gebruikt.

2. Historie

Reeds van de Romeinen is bekend, dat zij het onderscheid tussen hard en zacht water kenden. Ook in Nederland zijn vele voorbeelden uit de voorgaande eeuwen bekend, zoals de vestiging van spinnerijen aan de Vecht en de vestiging van spinnerijen en weverijen op de Veluwe, waaruit blijkt dat zacht water een belangrijk criterium voor de plaats van vestiging was.

Na de tweede wereldoorlog zijn vrij veel industrieën hun water zelf gaan ontharden. In de jaren zestig is de behoefte aan particuliere ontharders gaan groeien. Dit is mede achtergrond geweest, dat gedurende de Drinkwatervakantiecursus in januari 1969 ir. C. van der Veen, een lezing met de titel 'Ontharding' [1] heeft gehouden.

Dit heeft geleid tot de instelling van de KIWA-Commissie 'Centrale Ontharding' onder voorzitterschap van ir. C. van der Veen.

Op 18 juni 1987 stelt de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, drs. E. H. T. M. Nijpels, de nieuwe drinkwateronthardingsinstallaties in Leiduin officieel in gebruik.

'Het rapport van de commissie centrale ontharding' dd. 18 november 1971 [2] beveelt een hardheidsverlaging tot een tijdelijke hardheid aan van niet minder dan 2 meq/l. Onderwijl waren over de gehele wereld in de jaren zestig sommige medische onderzoekers van mening een correlatie te hebben gevonden tussen de zachtheid van water en de sterfte aan hart- en vaatziekten. Dit was in 1972 reden voor de toenmalige staatssecretaris van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, dr. R. J. H. Kruisinga, aan de Gezondheidsraad advies te vragen over de volksgezondheidskundige consequenties van centrale ontharding met betrekking tot hart- en vaatziekten, zuigelingensterfte, tumoren en anencephalie. De Commissie Centrale Waterontharding onder voorzitterschap van dr. L. Ginjaar, heeft als rapport van de Gezondheidsraad haar 'Advies inzake Centrale Waterontharding' [3] uitgebracht in 1975: voorlopig moet worden afgezien van centraal ingrijpen in de hardheid van het water en met kracht wordt nader onderzoek bepleit.

Zo startte in 1977 de Werkgroep Gezondheidsaspecten van Centrale Ontharding van Leidingwater (GCOL) het bepleite onderzoek onder voorzitterschap van prof. dr. R. L. Zielhuis. Zij rondde haar werk af met een rapport in twee delen in februari 1982 [4, 5]: geen gezondheidskundige bezwaren tegen centrale deelontharding tot een totale hardheid van 8,5 duitse graden; wel dient de magnesiumconcentratie zoveel mogelijk onveranderd te blijven; etc.

De toenmalige staatssecretaris van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, J. J. Lambers-Hacquebard, bepleit in 1982 in een brief 'Lood in het milieu' aan de Tweede Kamer [6] de verhoging van de pH, zonodig door invoering van centrale ontharding, om het lood in drinkwater, opgelost uit loden leidingen, te verminderen.

De ministeries van Volksgezondheid en Milieuhygiëne en van Economische Zaken hebben een 'stimuleringsregeling ontwikkelings- en demonstratieprojecten milieuvriendelijke technologie' [7] ontworpen. Een aanvraag van Gemeentewaterleidingen hiervoor in aanmerking te komen, leidde in 1983 tot de toezegging van een subsidie van f 3.100.000,-.

Uit een in mei en juni 1983 door de afdeling Bestuursinformatie van de Gemeente Amsterdam gehouden Omnibus-enquête [8] bleek zonder voorafgaande informatie een duidelijke meerderheid zich over de plannen voor hardheidsverlaging positief uit te

spreken. Slechts 2,5% was het er niet mee eens.

Bij besluit van 16 mei 1984 stelde de Raad van de Gemeente Amsterdam een krediet van f 25.800.000,- beschikbaar voor de bouw van de installaties en het treffen van de bouwkundige voorzieningen voor centrale hardheidsverlaging van drinkwater in het gehele distributiegebied van Amsterdam. Overeenkomstig de Richtlijn van de Europese Gemeenschappen van 15 juli 1980 nr. 80/778/EEG en het Waterleidingbesluit zal de hardheid worden verlaagd tot 60 mg/l Ca^{2+} , uitgedrukt in mg/l Ca^{2+} , te berekenen als aantal mg Ca^{2+} + 1,66 x aantal mg Mg^{2+} /l.

Het waterstofcarbonaatgehalte moet tenminste 30 mg HCO_3^- /l bedragen. Om echter voldoende pH-buffercapaciteit te waarborgen zal bij Gemeentewaterleidingen het waterstofcarbonaat niet beneden 122 mg/l of 2 mmol/l dalen.

De KIWA-Commissie Methodieken Centrale Ontharding heeft een tweetal mededelingen doen verschijnen, nl.: Wisselwerking tussen drinkwater en leidingmateriaal [9] en Methodieken centrale ontharding [10].

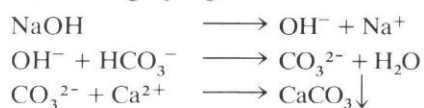
3. Proceskeuze

In de twee drinkwaterproductiebedrijven van Amsterdam, de Rivier-Duinwaterleiding en de Rivier-Plassenwaterleiding, zal het water tot 1,5 mmol/l (= 8,4°DH) worden onthard.

In tabel I zijn enkele belangrijke kwaliteitsparameters vermeld van de drie ruwwater-soorten en van het geleverde drinkwater, zoals die worden verwacht na volledige invoering van de centrale ontharding met natronloog in Leiduin (Capaciteit $83 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$) en in Weesperkarspel in de huidige eerste fase ($30 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$) en na uitbreiding met de tweede fase (tot $60 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$). Waarom voor natronloog is gekozen om de pH te verhogen en voor kristallisatie is elders [11, 12, 13, 14, 15 en 16] uitgebreid beschreven.

4. Procesbeschrijving-reactorontwerp

Door natronloog (NaOH) aan het water toe te voegen wordt de pH verhoogd. Als gevolg van deze pH wordt waterstofcarbonaat in zodanige mate omgezet tot carbonaat, dat samen met het aanwezige calcium het produkt van hun ionenconcentraties het oplosbaarheidsprodukt van calciumcarbonaat overschrijdt volgens de volgende reactie-vergelijkingen:



en calciumcarbonaat wordt gevormd. Naarmate meer natronloog wordt toe-

TABEL I – Enkele belangrijke kwaliteitsparameters van de drie ruwwatersoorten en van het ontharde water.

		Rivier-Duinwaterleiding		Rivier-Plassenwaterleiding	
Vóór ontharding		Geïnfiltreerd water		Bethune-polderwater	ARK-water
Ca ²⁺	(mg/l)	80 – 106		87	78
	(mmol/l)	2,00 – 2,64		2,18	1,95
Mg ²⁺	(mg/l)	9,7		7,0	11,3
	(mmol/l)	0,40		0,29	0,47
Totale hardheid	(mmol/l)	2,40 – 3,04		2,47	2,42
	(mg/l)	180		234	177
HCO ₃ [–]	(mmol/l)	2,95		3,83	2,90
		1,23		1,55	1,20
Tijdelijke/totale hardheid		8,0		7,4	7,7
pH				26	71
Na ⁺		72			
				1e fase: 100% Bethunewater	2e fase: 50% Bethunewater/ 50% ARK
Ná ontharding					
Ca ²⁺	(mg/l)	44		48	45
	(mmol/l)	1,10		1,21	1,12
Mg ²⁺	(mg/l)	9,7		7,0	9,0
	(mmol/l)	0,40		0,29	0,38
Totale hardheid	(mmol/l)	1,5		1,5	1,5
	(mg/l)	128		174	148
HCO ₃ [–]	(mmol/l)	2,1		2,86	2,42
		8,5		8,5	8,5
pH				65	90
Na ⁺		100			
Normen					
Totale hardheid	(mmol/l)	1,5			
	(mg/l)	30			
pH		6,5 < pH < 9,5			
Na ⁺		120			

gevoerd, met andere woorden de pH meer wordt verhoogd, zal meer calciumcarbonaat worden gevormd (afb. 2).

Om de kristallisatiesnelheid, waarmee dit gebeurt, te vergroten wordt het water met de hogere pH geleid door een gefluidiseerd bed van korrels entmateriaal. Op deze korrels kristalliseert het calciumcarbonaat uit in de vorm van het kristallijne calcië, waardoor de korrels in omvang groeien. In het gefluidiseerde bed zijn de korrels ten opzichte van elkaar steeds in beweging, waardoor wordt voorkomen dat zij aan elkaar groeien. De snelheid van het water zal

derhalve groter dienen te zijn dan de minimum-fluïdisatiesnelheid van de grootste korrels voor zij door aftappen worden verwijderd. Naarmate de korrels groter worden, neemt ook de minimum-fluïdisatiesnelheid toe. Deze ligt in de praktijk meestal bij circa 30 m/uur.

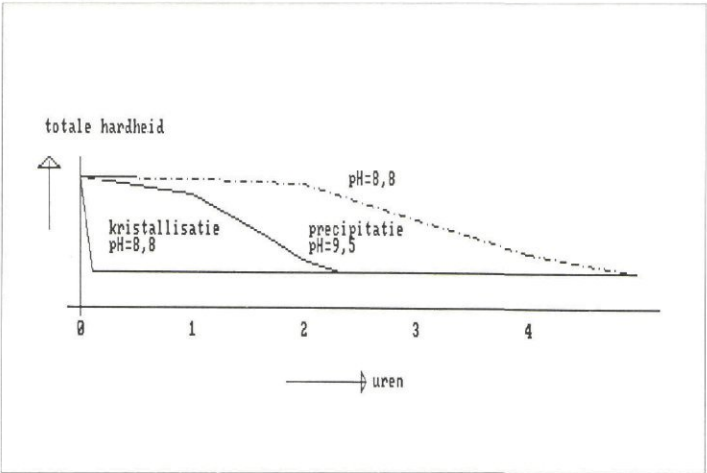
De zeeffractie van het toe te voeren entmateriaal zal zo groot dienen te zijn, dat de kleinste korrels bij de grootste opwaartse snelheid niet met het water uit de reactor worden meegevoerd naar een volgende zuiveringsstap. De grootste opwaartse

snelheid ligt meestal bij circa 150 m/uur. Om het water met de verhoogde pH een minimale verblijftijdspreiding te laten hebben, kan met voordeel van een cilindrische reactor gebruik worden gemaakt met een groot aantal (30-35/m²) verdeelkoppen in de bodem, zoals ook voor het terugspoelen van snelfilters wordt toegepast. Op deze wijze wordt een zogenaamd homogeen gefluidiseerd bed verkregen, dat is een bed, waarin over de gehele doorsnede van de cylinder gelijke stroomsnelheden heersen. Een nevenvoordeel hiervan is, dat een goede classificatie van de korrels wordt verkregen. De meest aangegroeide, grote, korrels bevinden zich onderin de reactor, waar zij kunnen worden afgetapt. De minst of nog niet aangegroeide korrels bevinden zich boven in het bed.

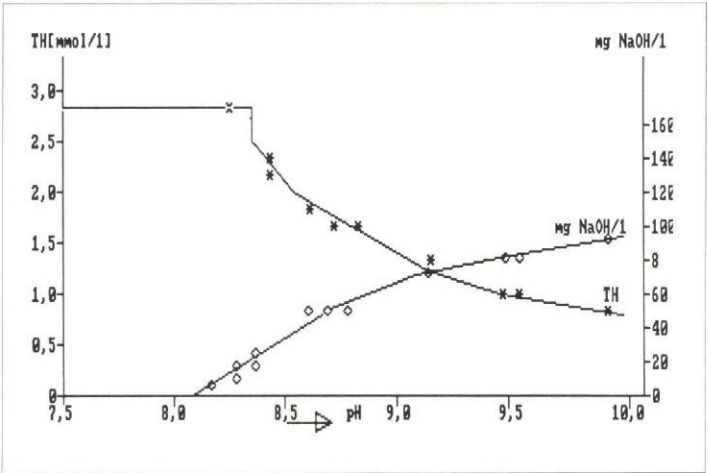
In een aldus beschreven opwaartse waterstroom dient de natronloog te worden gedoseerd op een zodanige wijze, dat water en loog elkaar daar ontmoeten en met elkaar worden gemengd, waar zich geen vaste delen van de reactor bevinden, maar wel in aanwezigheid van het entmateriaal. Hierdoor wordt voorkomen dat ongewenste afzettingen en verstoppingen optreden.

Om een zoveel mogelijk gelijkmatige verdeling van de natronloog over de gehele doorsnede van de reactor te verkrijgen zijn 20 tot 25 loogdoseerpunten per vierkante meter bodemoppervlak nodig. Dit kan worden bereikt door een dubbele bodem voor de aanvoer van loog aan te brengen onder de kristallisatieruimte, van waaruit via kleine kanaaltjes loog naar de kristallisatieruimte wordt gevoerd. Om het gestelde doel van menging van water en loog zonder ongewenste afzettingen zoveel mogelijk te bereiken, zijn speciale sproei- en mengkoppen ontwikkeld.

Afb. 1 - De totale hardheid als functie van de tijd, met andere woorden de onthardingssnelheid bij gelijke pH (= 8,8) door middel van precipitatie en kristallisatie.



Afb. 2 - De totale hardheid (TH) als functie van de pH als gevolg van NaOH-dosering en kristallisatie. Leiduïn, reinwater; V = 84 m/uur; d₅₀ = 1,68 mm.



5. Kristallisatiemechanisme

Het totale onthardingsproces kan worden onderverdeeld in de volgende drie stappen:

- 1. de chemische reactie:
 $OH^- + HCO_3^- \longrightarrow CO_3^{2-} + H_2O$
- 2. de transport van de Ca^{2+} - en CO_3^{2-} -ionen naar het kristalliserend oppervlak van de korrels entmateriaal
- 3. de inbouw van de Ca^{2+} - en CO_3^{2-} -ionen in het kristalrooster.

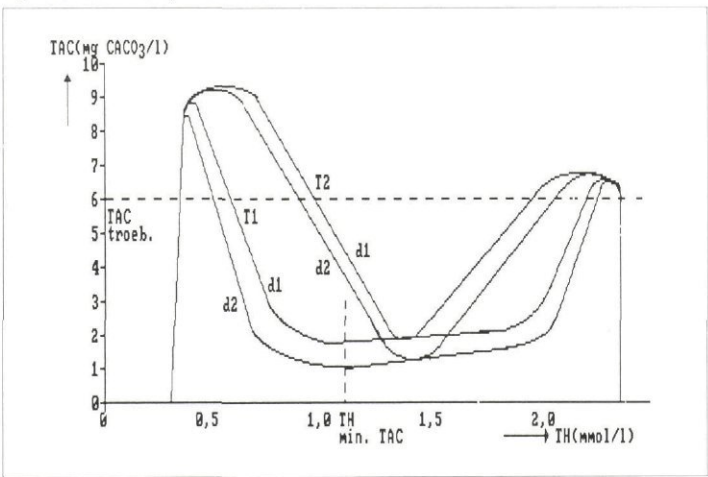
Van deze drie stappen is de derde de traagste en daarmee de snelheidbepalende. Dit moge in de eerste plaats blijken uit het verschil in de snelheid waarmee de hardheid afneemt als functie van de tijd in de gevallen van een homogene nucleatie, dat wil zeggen de vorming van waterrijke vlokken in de homogene waterfase en van een heterogene nucleatie of kristallisatie op aanwezige korrels van entmateriaal bij een gelijke pH (bijvoorbeeld pH = 8,8), zoals is aangegeven in afb. 1.

Korthedshalve wordt de ontharding door homogene nucleatie een precipitatieproces genoemd, en de ontharding door heterogene nucleatie een kristallisatieproces. Het precipitatieproces verloopt langzaam, in verloop van uren; het kristallisatieproces zeer snel, in verloop van 5-10 seconden. De bovengenoemde eerste en tweede stap van beide processen zijn niet verschillend. Bepalend is blijkbaar de aanwezigheid van een effectief kristallisatiekiemend oppervlak (substraat). Dat de derde trap de snelheidbepalende stap is, blijkt in de tweede plaats uit het verband tussen de mate van oververzadiging, uitgedrukt in de theoretisch afzetbare calciumcarbonaat, en de totale hardheid, waartoe wordt onthard. Wanneer meer natronloog wordt toegevoegd en de pH wordt verhoogd, wordt het oplosbaarheidsproduct van

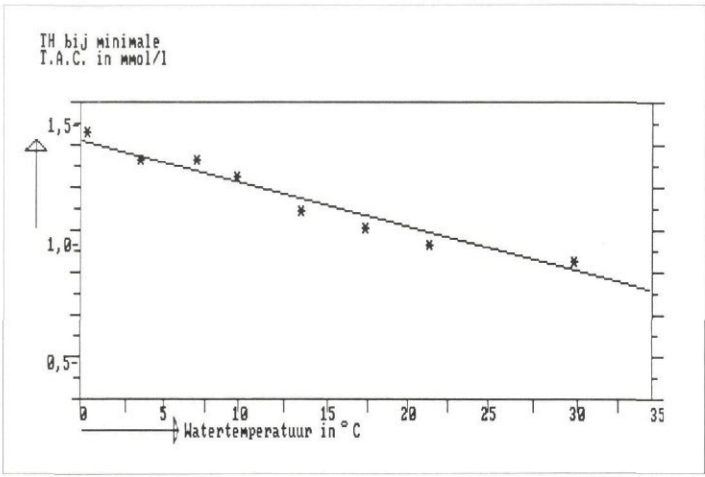
calciumcarbonaat meer overschreden. Deze mate van overschrijding is de drijvende kracht voor het verloop van de kristallisatie. Wanneer de pH boven een bepaalde waarde komt, begint de kristallisatie-ontharding plotseling snel te verlopen, zoals uit afb. 2 blijkt. De hardheid daalt dan snel. Bij nog hogere pH-waarden gaat deze daling minder snel. De drijvende kracht is echter niet alleen van de pH afhankelijk, maar ook van de hoeveelheid aanwezige calcium- en waterstofcarbonationen, de temperatuur en de ionensterkte [19, 20, 21]. Deze drijvende kracht nu wordt uitgedrukt in de hoeveelheid theoretisch afzetbare calciumcarbonaat (TAC), die zich zou kunnen afzetten om thermodynamisch evenwicht te bereiken, maar dit niet doet. Wanneer de berekende TAC-waarden worden uitgezet tegen de totale hardheden (TH), waartoe onder telkens stationaire omstandigheden wordt onthard, wordt een verband verkregen, zoals in afb. 3 is aangegeven. De TAC = f (TH)-curve wordt zowel verkregen als de TH steeds wordt verlaagd, als ook wanneer deze stapsgewijs wordt vergroot. De vorm van de gevonden curve geeft aan, dat de calcium- en carbonationen niet rechtstreeks in het calcietrooster worden ingebouwd, maar via een tussenvorm, die een grotere kristallisatiekieming vertoont dan het uiteindelijke calcietrooster. Hierbij kan men denken aan een tussenvorm van een andere calciumcarbonaatkristalvorm dan van calcietrooster, namelijk aragoniet of waarschijnlijker vateriet, dat via een kristalmodificatie overgaat in calcietrooster, waaruit het eindproduct bestaat. Ook kan men denken aan de vorming van microkristalletjes, die op het kristalliserend oppervlak worden gevormd en met een zekere snelheid in het definitieve calcietrooster worden ingebouwd. Er zou op

deze wijze een concurrentie optreden tussen enerzijds de vorming van een aantal nieuwe microkristalletjes per tijdseenheid per oppervlakte-eenheid van de korrels en anderzijds de inbouw van deze microkristalletjes in het korreloppervlak. Een analoge redenering kan voor de tussenvorm vateriet worden gevolgd. Wat de juiste tussenvorm is zal nog onderzocht dienen te worden. Wanneer de temperatuur hoger wordt, zoals bij oppervlaktewater, wordt de totale hardheid met de minimale TAC, $TH_{min.TAC}$, lager (afb. 4). Dit zal het gevolg zijn van een snellere eindrangschikking van de microkristalletjes in het uiteindelijke calcietrooster. Het minimum krijgt dan meer de vorm van een minimum-plateau. Bij zeer lage temperaturen (circa 0,5°C) ligt de totale hardheid, waarbij de minimale TAC wordt bereikt, bij een hogere waarde en heeft een scherper minimum. Door in dergelijke gevallen met kleinere korrels te werken, wordt de ruimte in de eindhardheid voor de procesvoering groter. Omdat boven een bepaalde TAC-waarde (vb. TAC = 6 mg $CaCO_3/l$) calciumcarbonaat zich niet voldoende snel op de korrels laat uitkristalliseren, ontstaat de neiging dat het zich, weliswaar voor een zeer beperkt deel, ook in de homogene waterfase gaat vormen. Hierdoor neemt de troebeling van het ontharde water toe. Deze troebeling dient in een volgende zuiveringsstap te worden verwijderd. Een volgende zuiveringsstap wordt hierdoor dan zwaarder belast. Dit veroorzaakt extra kosten voor een additionele zuiveringsstap of door beperking van capaciteit, een grotere slibproductie en chemicaliën om de pH te corrigeren. Bij niet volledige verwijdering van de troebeling kan dit bij koken van het water door de consument een op witte melk gelijkend water veroorzaken.

Afb. 3 - De mate van oververzadiging, uitgedrukt in de theoretisch afzetbare calciumcarbonaat (TAC, in mg $CaCO_3/l$) als functie van de totale hardheid (TH). Weesperkarspel na ozonisatie: $H_f = 2,0\text{ m}$; $T_2 = 3,0-3,5^\circ\text{C}$; $T_1 = 0,5^\circ\text{C}$; granaat: $d_1 = 0,8-0,9\text{ mm}$; $d_2 = 0,6\text{ mm}$; $V = 81\text{ m/uur}$.



Afb. 4 - Totale hardheid bij minimale TAC ($TH_{min.TAC}$) als functie van de watertemperatuur.



Naarmate de temperatuur hoger wordt, dient derhalve een kleinere deelstroom te worden onthard en daarna te worden gemengd met niet onthard water.

Het beschreven fenomeen heeft ook als gevolg, dat met voordeel kan worden gewerkt met entmateriaal, dat een hoger soortelijke massa heeft. Binnen dezelfde range van snelheden kan dan een kleinere zeeffractie worden gebruikt die een groter specifiek oppervlak heeft. In de afgeleverde pellets zal het deel entmateriaal bovendien kleiner zijn.

6. De plaats van de ontharding in het zuiveringssysteem

Wat het proces van de kristallisatie-ontharding als zodanig betreft, kan de ontharding overal in het zuiveringssysteem worden geplaatst. Er is echter één beperking: het vrije ortho-fosfaatgehalte mag de waarde van 500 µg PO₄³⁻/l niet te boven gaan. Boven deze waarde wordt er zoveel calcium-fosfaat gevormd, dat dit de kristalstructuur van calciet zodanig gaat verstoren, dat de pellets zachter worden, de kristallisatie-kieming minder wordt en de ontharding minder goed gaat verlopen.

Wanneer het vrije-orthofosfaat-gehalte de genoemde waarde overschrijdt, dient een defosfatering door middel van een coagulatie aan de ontharding vooraf te gaan.

De kristallisatie-ontharding is overigens in staat een aantal verontreinigingen uit het water effectief in het kristalrooster in te bouwen, zoals ijzer, mangaan, (radioactieve) zware metalen, fosfaten en silicaten.

Organische stoffen worden zeer beperkt (circa 5%) verwijderd.

De optimale plaats van de ontharding is meestal van een aantal factoren afhankelijk, zoals van het bestaande hydraulische hoogteschema, waardoor een extra pomp-trap kan worden voorkomen. Ook een minimaal gebruik en kosten aan chemicaliën etc. kan hierin een rol spelen.

In Leiduin is de ontharding op het ruwe water geprojecteerd. De pompen, die het water uit de Oranjekom pompen, zijn tegelijk in staat het water naar voldoende hoogte op te voeren om het op eigen verval door de onthardingsinstallaties en de volgende zuiveringsstappen te laten stromen. Terwijl de pH na de ontharding enkele tienden van een pH-eenheid hoger is dan een SI = + 0,3, wordt de pH tijdens de snelfiltratie en langzame zandfiltratie, afhankelijk van zomer- of wintertemperaturen, met elke stap circa 0,2 pH verlaagd.

De pH van het ruwe water wisselt als gevolg van de algengroei vrij sterk. Het zal derhalve van deze pH en van de mate van split-treatment of deelstroomontharding afhangen of een weliswaar zeer geringe hoeveelheid

zoutzuur of natronloog extra na de ontharding dient te worden toegevoegd om het te distribueren water een SI = + 0,3 te laten hebben. Op deze wijze wordt een minimum aan gebruik en kosten van chemicaliën bereikt.

Om verstopping van de kanalen in de waterkoppen door plantenresten etc. te voorkomen, passeert het water eerst zeven met een maaswijdte van 3 mm.

Omdat de troebeling van het ruwe water 1-5 FTU bedraagt o.a. door de aanwezigheid van ijzerhydroxide, neemt deze tijdens de ontharding doorgaans af. De ontharding zal derhalve de snelfiltratie zeker niet extra belasten, maar eerder ontlasten.

In Weesperkarspel is de ontharding na de ozonisatie geplaatst, omdat een hoge pH vóór de ozonisatie de ozon sneller zou doen desintegreren tot zuurstof. De hoge pH na de ontharding wordt grotendeels weer gecorrigeerd door het vlokmiddel ijzerchloride bij de coagulatie, die volgt op de ontharding. Verder daalt de pH enigermate tijdens de snelfiltratie en de langzame zandfiltratie. Ook zal het van het percentage split-treatment en de temperatuur afhangen of een minimale hoeveelheid zoutzuur of natronloog toegevoegd dient te worden om de gewenste eind-pH (SI = + 0,3) te bereiken. Omdat de troebeling van het te ontharden water in Weesperkarspel vanwege de voorafgaande snelfiltratie in Loenen aan de Vecht reeds een lage waarde van 0,14-0,36 FTU heeft, blijft de troebeling tijdens de ontharding gelijk of kan iets toenemen. Interessant is overigens te vermelden, dat een koolfiltratie direct na de kristallisatie-ontharding geen hoger kalkgehalte in de korrelkool veroorzaakt dan in het geval zonder voorafgaande ontharding.

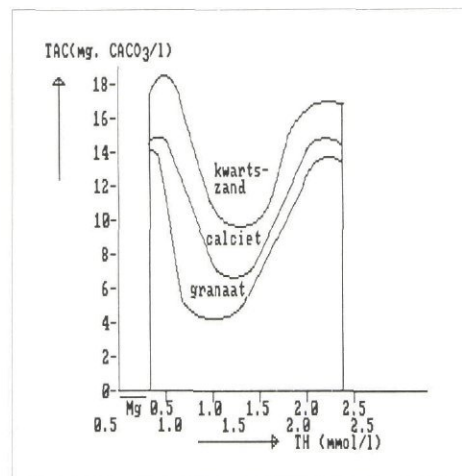
7. Entmaterialen

Verschillende entmaterialen zijn onderzocht. Van belang zijn daarbij de volgende eigenschappen:

- soortelijk gewicht;
- slijtvastheid;
- niet-magnetische eigenschappen;
- kosten;
- specificaties van de afnemers van de pellets.

Van de onderzochte entmaterialen:

- kwartszand s.m. = 26,6 kN/m₃
 - calcietzand (gebroken pellets) s.m. = 28,2 kN/m₃
 - granaat s.m. = 41,0 kN/m₃
 - ilmeniet s.m. = 43,0 kN/m₃
 - magnetiet s.m. = 54,0 kN/m₃
 - staalgrit s.m. = 76,0 kN/m₃
- komen de eerste drie, en eventueel niet-magnetische magnetiet, voorlopig het meest in aanmerking.



Afb. 5 - De mate van oververzadiging, uitgedrukt in TAC, als functie van de totale hardheid (TH) met de entmaterialen kwartszand, calcietzand en granaat.

Onder overigens gelijke procesomstandigheden zijn in afb. 5 TAC = f(TH)-curves met verschillende entmaterialen aangegeven.

8. Afzet van de pellets

Uit een marktonderzoek is gebleken, dat er een brede belangstelling bestaat voor de geproduceerde pellets en er vele mogelijkheden voor toepassing bestaan. Hierbij kan men denken aan:

- landbouwkalk;
- grondbewerking;
- (pluim-)veevoeder;
- neutralisatie van zure afvalwateren;
- neutralisatie en opharden van zeer zacht drinkwater;
- metselkalk;
- hoogovens;
- binding S- en N-oxydes;
- aquaria;
- etc.

9. Samenvatting

In een historisch overzicht wordt beschreven hoe gedurende de afgelopen twintig jaar de beantwoording van de vragen rond, en de afwegingen van voor- en nadelen van centrale ontharding hebben geleid tot een nationaal beleid voor invoering ervan. Daarna wordt het proces, dat in Amsterdam is ontwikkeld en gekozen, verantwoord. Voor de detaillering van een aantal onderdelen wordt verwezen naar voorgaande publikaties.

Recente ontwikkelingen van belang voor een optimale procesvoering komen uitgebreid aan de orde, zoals het kristallisatie-mechanisme, de optimalisatie onder verschillende omstandigheden, de plaats van de ontharding in het zuiveringssysteem van de Rivier-Duinwaterleiding en de Rivier-Plassenwaterleiding, de entmaterialen en de afzet van de calcietzandpellets.

Literatuur

1. Veen, C. van der (1970). *Ontharding*. H₂O (3) 1970, 341.
2. *Rapport van de Commissie Centrale Ontharding*. KIWA, 1971.
3. Gezondheidsraad (1975). *Advies inzake centrale waterontharding*; no. 1253/72. Rijswijk, 8 juli 1975.
4. Werkgroep Gezondheidsaspecten van centrale ontharding van leidingwater. 's-Gravenhage, februari 1982.
5. Zielhuis, R. L. (1985). *Deelontharding van drinkwater*. Ned. Tijdschr. Geneesk. 129, 1270.
6. Lambers-Hacquebard, J. J. (1981-'82). *Lood in het milieu*. Tweede Kamer, zitting 1981-1982, 17371 nrs. 1 en 2.
7. Ministers V & M en EZ. *Stimuleringsregeling ontwikkelings- en demonstratieprojecten milieuvriendelijke technologie*. 's-Gravenhage.
8. Bestuursinformatie, (1983). *Omnibus-enquête*. Gemeente Amsterdam.
9. Commissie Methodieken Centrale Ontharding (1978). *Wisselwerking tussen drinkwater en leidingmateriaal*. Mededeling nr. 54; KIWA, Rijswijk, februari 1978.
10. Commissie Methodieken Centrale Ontharding (1981). *Methodieken Centrale Ontharding*. Mededeling 62; KIWA, Rijswijk, februari 1981.
11. Graveland, A., Prinsen Geerligs, W. L. en Soleman, M. A. A. (1973). *Centrale hardheidscorrectie door kristallisatie*. H₂O (6) 1973, 382.
12. Graveland, A. (1982). *Centrale hardheidscorrectie van het water*. Informatieblad Anseu-Navewa, 117.
13. Graveland, A., Dijk, J. C. van, Moel, P. J. de and Oomen, J. H. C. H. (1983). *Developments in water softening by means of pellet reactors*. JAWWA 619.
14. Graveland, A., Dijk, J. C. van, Moel, P. J. de and Oomen, J. H. C. M. (1983). *Water softening by means of pellet reactors; Developments in the Netherlands*. Proc. AWWA Ann. Conf., Las Vegas; Nev. June 1983.
15. Graveland, A. *Water softening by crystallization*. Aqua 2, 80.
16. Veen, C. van der and Graveland, A. (1986). *The Amsterdam Water Supply softening by crystallization in a fluidized bed process*. Proc. AWWA Ann. Conf. Denver, June 1986.
17. Feij, L. A. C. en Smeenk, J. G. M. M. *De bepaling van de kalkverzadigingsindex van water*. H₂O (14) 1981, 131.
18. Moel, P. J. de en Dijk, J. C. van (1983). *Zak-rekenmachines en het kalkkoolzuurevenwicht*. H₂O (16) 1983, 336.
19. Kleijn, H. F. W. (1986). *Agressiviteit en de oplosbaarheidsc constante van calciumcarbonaat*. H₂O (19) 1986, 309.

Het beeldhouwwerk dat vóór het onthardingsgebouw is geplaatst, is een schepping van de beeldhouwer Paulus Maria Miedema. GW-directeur Gast kwam in contact met hem tijdens een tentoonstelling van zijn werk in de Oude Kerk te Amsterdam. Hij kreeg een vrije opdracht en koos er voor om de gedachte 'hard-zacht' in rose marmer uit te beelden.



Daarvoor vond hij in Portugal een stuk marmer in Rose Aurora, de roze kleur van de dageraad. Uit een blok van 2 bij 1 bij 1 meter met een gewicht van 5.500 kg is een sculptuur gehouwen van 3.000 kg. Met speciaal vervoer is het blok via Brussel en Alphen aan den Rijn naar de studio van Miedema in Ouder-Amstel gebracht, waar hij er vier maanden – 'onder hoogspanning, want gewoonlijk heb je een jaar nodig voor zo'n werk' – aan heeft gehouwen.

Verborgene kracht

'Een beeldhouwer doet eigenlijk niets anders dan bevrijden. Het beeld losmaken uit steen of hout. Hij wordt hierbij geleid door verborgen contouren. In elk stuk steen of hout zijn de chaotische vormen reeds aanwezig. Als een kunstenaar een idee heeft, komt daar structuur in. Daarbij speelt afstand totaal geen rol. Ergens ter wereld is er altijd een stuk steen of hout waarin je ideeën werkelijkheid kunnen worden. Je moet vaak enorme problemen overwinnen om erbij te kunnen komen, maar je vindt het altijd. Ieder mens heeft verborgen krachten in zich. Een beeld maakt die door zijn vormen los. Het is daarom niet van belang wat een beeld voorstelt. Een idee wordt in de werkelijkheid zichtbaar. Daarvoor leef je. Ik wil met mijn beelden het idee van een nieuwe samenleving zichtbaar maken in de werkelijkheid, aldus Miedema in een recent interview.

