

# Zuiveringsmethoden van zoet grondwater voor de drinkwatervoorziening in Nederland

## Grondslagen Basisplannen 7

### Ten geleide

*In het kader van de opstelling van de basisplannen voor de toekomstige drink- en bedrijfswatervoorziening in Nederland zijn door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening een aantal grondslagen gepubliceerd betreffende de karakteristieken van Rijn en Maas en de kwaliteitsverbetering bij voorraadvorming.*

*Ook de winning van grondwater zal een belangrijke plaats in de basisplannen gaan innemen. Gezien de beperkingen die door verschillende factoren aan deze winning worden opgelegd, zal in nauw overleg met deskundigen van andere disciplines de optimaal mogelijke grondwaterwinning moeten worden vastgesteld. Een goed inzicht van de zuiveringsmethoden van het zoete grondwater en de daaraan verbonden kosten kan bij deze beoordeling niet worden gemist.*

*De onderhavige grondslag wil hiertoe een bijdrage leveren.*

*Ir. T. Verheul*

### 1. Inleiding

Zoet water staat de mens ter beschikking van het moment dat het water tijdens zijn kringloop de aarde als neerslag bereikt, tot het ogenblik dat dit water verdamppt of vermenging met zout water plaatsvindt. Door de energie van de zon wordt per dag op aarde ongeveer 1000 km<sup>3</sup> water verdampt. Gerekend over een jaar bedraagt de zoetwaterproductie door deze natuurlijke destillatie ca. 400.000 km<sup>3</sup>. Het merendeel van deze productie, namelijk 75 %, gaat verloren voor menselijk gebruik doordat dit direct in zeeën en oceanen terecht komt. De neerslag op het landoppervlak van ca. 100.000 km<sup>3</sup> per jaar zal voor een deel de bodem binnendringen en na korte of lange tijd in rivieren afstromen. De totale zoetwatervoorraad in de grond wordt geschat op 200.000 km<sup>3</sup> [1].

Wanneer het water met de grond in contact komt, wordt het als gevolg hiervan met organische en anorganische stoffen verontreinigd. Deze verontreinigingen zullen wanneer zij biochemisch oxideerbaar zijn aanleiding kunnen geven tot anaërobie van het water. Hierdoor kan een aanzienlijke verdere kwaliteitsvermindering optreden door ijzer- en mangaanverbindingen in dit anaërobie milieu in oplossing gaan terwijl als gevolg van microbiologische reductieprocessen o.a. ammoniak, zwavelwaterstof en methaan kunnen worden gevormd. Daar het water meestal een verblijftijd in de bodem heeft van vele jaren tot het moment dat het gewonnen wordt, mag worden gesteld, dat het grondwater in chemisch en biologisch opzicht in evenwicht is met zijn omgeving. Als gevolg hiervan is het zuurstofgehalte de factor, die in hoofdzaak de kwaliteit van het grondwater bepaald. Water met een hoog zuurstofgehalte, d.w.z. meer dan 3 mg/l, kan indien het niet agressief is, meestal zonder enige zuivering worden gedistribueerd. Het al dan niet agressief zijn van water wordt bepaald

door de hardheid, het gehalte aan hydrocarbodaationen en vrij koolzuur. Vooral bij een lage hardheid is het gevaar voor agressiviteit groot. Deze moet dan door ontzuring worden opgeheven om aantasting van materialen die met het water in aanraking komen zoals gietijzer, staal, beton en asbestcement te voorkomen.

Anaëroob grondwater bevat steeds ijzer, mangaan en ammoniak. Teneinde uitvlokking van ijzer- en mangaanoxide in het buizenet met als gevolg vlekken in wasgoed, onaangename smaak en moeilijkheden bij gebruik door industrieën als papierfabrieken, fotografische industrie, leerlooierijen e.d. te voorkomen, dient het te distribueren water minder dan 0,1 mg/l ijzer en minder dan 0,05 mg/l mangaan te bevatten. Ten behoeve van een goede reuk en smaak is het tevens noodzakelijk dat het water te allen tijde aerob is. Hiertoe moet het water worden belucht, waardoor naast verwijdering van gassen als zwavelwaterstof, wordt voorzien in de zuurstof die nodig is voor de oxidatie van o.a. ammoniak tot nitraat, de zogenaamde nitrificatie.

Tenslotte is ontharding van het water bij een hoge hardheid gewenst om enerzijds een hoog zeepverbruik tegen te gaan en anderzijds de mate van ketelsteen afzetting in apparatuur zoals boilers, geisers, kranen e.d. tot een minimum te beperken.

Ontharding vindt in Nederland bij de productie van drinkwater uit grondwater nog slechts incidenteel plaats. Naast genoemde chemische zuiverheid is het van primair belang voor de volksgezondheid dat het water in bacteriologisch opzicht betrouwbaar is, d.w.z. vrij van pathogene kiemen. In geval aan de bacteriologische betrouwbaarheid wordt getwijfeld is deze te verkrijgen door het water te desinfecteren.

Voor de grondwaterzuivering kunnen dus de volgende processen van belang zijn:

beluchting; ontijzing; ontmanging; nitrificatie; ontzuring; ontharding; desinfectie.

In principe kunnen al deze processen worden uitgevoerd door een combinatie van intensieve beluchting c.q. ontgassing en filtratie van het water.

Filtratie geschiedt in een bed van filtermateriaal, dat vrijwel altijd uit zand bestaat, maar waarvoor ook andere korrelvormige materialen zoals anthraciet, half gebrende dolomiet, kiezelgoer e.d. geschikt zijn. Door de veelheid van functies, die het zandfilter bij de zuivering kan vervullen neemt het de centrale plaats in bij de drinkwaterbereiding uit grondwater.

Daar waar beluchting en zandfiltratie de verwijdering van bepaalde bestanddelen niet optimaal kunnen bewerkstelligen, dienen chemische technieken te hulp worden geroepen.

In het onderstaande zal na een korte bespreking van de zuiveringsprocessen van het grondwater, waarbij speciale aandacht wordt besteed aan de nitrificatie en de ontharding, een overzicht van de resultaten van de grondwaterzuivering in Nederland worden gegeven.

Vervolgens zal, uitgaande van de gemiddelde samen-

stelling van het grondwater in de provincies van Nederland, een raming van de kosten van zuivering van grondwater tot drinkwater per provincie worden opgesteld.

## 2. Zuiveringstechnieken voor grondwater

### 2.1 Snelfiltratie en beluchting

Het filtratieproces wordt snel genoemd wanneer per m<sup>2</sup> filteroppervlak meer dan 1 meter waterkolom per uur wordt gefiltreerd. De volgende aspecten van beluchting en snelfiltratie zullen kort worden besproken, waarbij voor nadere details naar de vermelde literatuur wordt verwezen:

ontijzering; ontmanganing; nitrificatie; schoonspoelen; bergingsvermogen; eisen voor een optimale zuivering.

#### Ontijzering

Het ontijzeringsproces bestaat uit twee trappen, waarbij in de eerste trap het in tweewaardige vorm voorkomende ijzer met behulp van luchtzuurstof tot driewaardig ijzer wordt geoxideerd; dit hydrolyseert tot een onoplosbaar ferrihydroxide. In de tweede trap flocculeren de onoplosbare deeltjes ferrihydroxide tot vlokken die in het zandbed worden afgevangen. De vlokvorming wordt veelal bemoeilijkt, voornamelijk door de neiging van de ferrihydroxide deeltjes om in het water colloïdale oplossingen of solen te vormen. Negatief geladen soldeeltjes passeren, in tegenstelling tot positieve ijzersolen, gemakkelijk de eveneens negatief geladen zandkorrels van het filterbed zonder te worden geadsorbeerd.

Bepalend voor de lading van de soldeeltjes is naast de pH de aanwezigheid van andere ionen, zoals fosfaat, en van organische stoffen, zoals humuszuren [2, 3]. De belangrijkste oorzaak van vorming van colloïdale ijzerhydroxide oplossingen is een te langzaam verlopen van de oxidatie waardoor na het hydrolyseren oplading van de deeltjes kan plaatsvinden.

Daar de zandkorrels evenals eenmaal gevormd ferrihydroxide de oxidatie katalyseren dient voor het bewerkstelligen van een snelle ijzeroxidatie de tijd tussen beluchting en filtratie zo kort mogelijk te zijn. Bovendien wordt de oxidatie versneld bij hogere pH, zodat het gewenst kan zijn door intensieve beluchting het vrije koolzuur te verwijderen [3]. Ondanks deze oxidatieversnellende factoren kan in de praktijk toch een slechte ontijzering optreden wanneer ionenarme watertypen een laag ijzergehalte bezitten en wanneer bijvoorbeeld hoge concentraties aan humuszuren en andere ijzercomplexerende stoffen aanwezig zijn. Uitvlokking van het negatief geladen colloïdale ijzerhydroxide dat in deze gevallen ontstaat is mogelijk door toevoeging van coagulatiemiddelen als bv. ferrichloride en natriumaluminaat.

#### Ontmanganing

Zonder katalyse vindt ontmanganing alleen plaats in sterk alkalisch milieu. Om deze reden is het van groot belang voor de snelheid van ontmanganing van grondwater dat zich om de zandkorrels van het filterbed een huidje bevindt van katalytisch actief mangaanhydroxide. Dit contactkatalytische oppervlak moet zo groot mogelijk zijn [4], hetgeen kan worden bereikt door een minimale korreldiameter van het zand toe te passen. Deze minimale korreldiameter wordt echter beperkt door het streven naar:

- een maximale looptijd van het filter;
- een geringe weerstand van het schone filterbed;
- een grote breedte van de spleten in de waterdoorlaat van de filterbodem.

Om deze redenen ligt de grens van de minimale korreldiameter voor afvang van deeltjes m.b.v. het adsorptiemechanisme (diepbedfiltratie) bij 0,6 - 1,0 mm. Volgens Boorsma [5] is het mogelijk om bij een bepaalde gemiddelde korreldiameter meer dan een verdubbeling van het korreloppervlak te verkrijgen door toepassing van gebroken filterzand. Een dergelijk effect kan ook worden bereikt door radiaal filtratie waarbij de filtratiesnelheid in het filterbed afneemt [29]. De snelheid van ontmanganing wordt naast de grootte van het katalytische oppervlak bepaald door de mangaanconcentratie, de zuurstofconcentratie, de pH en vele andere factoren zoals de aanwezigheid van kationen als koper, en mangaancomplexerende anionen als bicarbonaat, sulfaat en fosfaat [6]. Hoewel het ontmanganingsproces geheel langs chemische weg kan worden verklaard, is het niet zeker of ook een belangrijke rol wordt gespeeld door mangaanoxiderende bacteriën [7, 8].

#### Nitrificatie

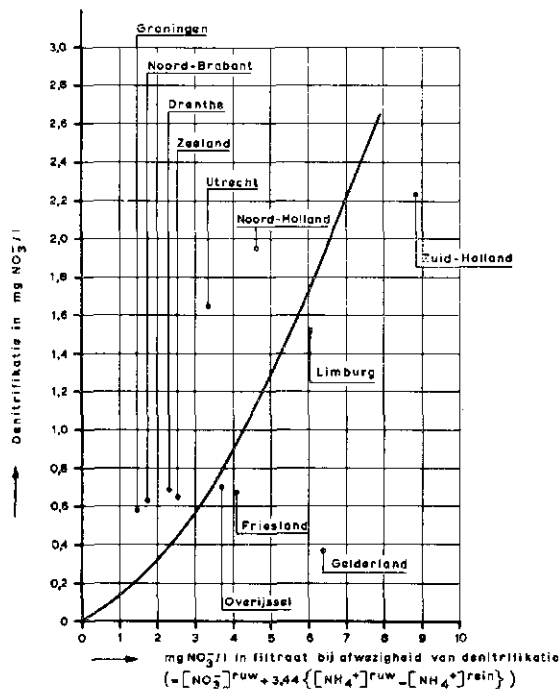
Het nitrificatieproces vindt plaats onder invloed van twee soorten bacteriën, *Nitrosomonas* en *Nitrobacter*, die met behulp van luchtzuurstof ammoniak oxideren tot resp. nitriet en nitraat. Per mg ammoniumion is voor de omzetting in nitraat ca. 4 mg zuurstof nodig. Daar water na beluchting niet meer dan ongeveer 11 mg/l zuurstof kan bevatten is het noodzakelijk voor ammoniakconcentraties in het grondwater boven 2 mg/l en bij toepassing van filters, waarbij het waterniveau zich boven het zandoppervlak bevindt, meerdere filters met beluchting in serie te schakelen. Ook kan gebruik worden gemaakt van filters met een „droog” zandoppervlak zoals deze door Linn [9] zijn ontworpen, waarbij naast water lucht door het zandbed wordt getransporteerd. Daar het droogfilter veelal beter voldoet aan de eisen voor ontijzering en ontmanganing wordt dit filtertype meer en meer toegepast.

Naast de snelheid van zuurstoftoevoer bepalen het korreloppervlak, de temperatuur en de pH de snelheid waarmee ammoniak in een filter kan worden omgezet.

Het is merkwaardig dat bij aanwezigheid van zuurstof in het filtraat in vrijwel ieder snelfilter naast de nitrificatie ook denitrificatie plaats vindt. Denitrificatie is de omzetting van nitriet of nitraat in gasvormige stikstofverbindingen als N<sub>2</sub>O en moleculaire stikstof. Dit proces geschiedt onder invloed van bacteriën behorende tot bv. de geslachten *Pseudomonas* en *Micrococcus* [10]. De denitrificatie zal worden bevorderd door een hoog nitraatgehalte van het ruwe water en door een anaeroob milieu in de vloeistoffilm direct om de zandkorrels. In afb. 1 is voor de verschillende provincies [11] het verband weergegeven tussen de denitrificatie uitgedrukt in mg/l nitraat die verloren zijn gegaan en de som van de gemiddelde nitraatconcentratie in het ruwe water plus de hoeveelheid nitraat die bij afwezigheid van denitrificatie uit de gemiddelde hoeveelheid omgezette ammoniak kan worden gevormd. Globaal wordt 20 % van de stikstof bij de zuivering gedenitrificeerd terwijl voor de provincie Utrecht zelfs een waarde van bijna 50 % geldt.

#### Schoonspoelen

Bij diepbedfiltratie onder laminaire stromingscondities en bij constante filtratiesnelheid neemt de drukval lineair toe met de looptijd [2, 12]. Diepbedfiltratie treedt op totdat de afmeting van de poriëndiameter van het zandbed, als gevolg van de afzetting van afgevangen deeltjes, van dezelfde orde van grootte is geworden als de deel-



Afb. 1 - Denitrifikatie als functie van het nitraatgehalte van het ruwe water en de nitrifikatie voor de zuivering van grondwater in Nederland gedurende de periode 1958 - 1964.

tjesdiameter in het te filteren water. Nu vindt oppervlaktefiltratie plaats, zodat een exponentieel stijgen van de drukval over het filterbed het gevolg is. Stijgt de drukval boven een maximaal toelaatbare waarde dan dient het in het filterbed opgehoopte materiaal door spoelen met water en lucht te worden verwijderd. Dit spoelen moet zodanig plaatsvinden dat enerzijds vastgekittete zandkorrels vrij van elkaar komen en dat anderzijds voldoende katalytisch werkend ijzer- en mangaanoxide en de voor nitrifikatie noodzakelijke bacterieflora aanwezig blijven. Bij het schoon spoelen moet dus naar een optimum worden gestreefd tussen vuilverwijdering en behoud van zuiveringsvermogen.

#### Bergingsvermogen

Voor een efficiënt gebruik van een snelfilter is het noodzakelijk om zoveel mogelijk van het af te filteren materiaal in het filterbed op te hopen, alvorens tot schoonspoelen wordt overgegaan. Dit betekent dat de af te filteren stoffen zich over de gehele diepte van het filterbed moeten hebben afgezet vóór het moment dat voornamelijk oppervlaktefiltratie begint op te treden. Op onderstaande wijzen is getracht het bergingsvermogen te vergroten:

- vergroting gemiddelde diameter zandkorrels. Dit is alleen toegestaan wanneer desondanks het contactkatalytische oppervlak voldoende groot blijft.
- verhoging van de filtratiesnelheid [13]. Deze verhoging wordt begrensd doordat op een gegeven moment doorslag van de filter op zal treden. Dit effect kan worden tegengegaan door:
- verhoging van de filterbeddikte totdat de weerstand van het schone filterbed onaanvaardbaar hoog wordt. Een optimale waarde van de filtratiesnelheid ligt om deze redenen voor de drinkwaterproductie ongeveer bij 15 m/h [14].

d. toepassing van grof naar fijn filtratie [15]. Doorstroming van grof naar fijn materiaal kan worden bereikt met het „biflow” filter en het roosterfilter waarbij het water het filterbed voor een deel of geheel van beneden naar boven doorstroomt. Beide typen filters hebben het bezwaar dat bij hogere snelheden de kwaliteit van het filtraat minder betrouwbaar is dan bij neerwaartse filtratie. Een betere oplossing wordt verkregen wanneer bij neerwaartse filtratie op het zandbed een grof materiaal met een lager soortelijk gewicht dan zand, zoals anthraciet, wordt aangebracht [16, 17].

#### Eisen voor een optimale zuivering

Resumerend gelden voor een optimale zuivering met behulp van beluchting en snelfiltratie de volgende eisen:

- maximale beluchting voor en tijdens het filtratieproces;
- minimale verblijftijd tussen beluchting en contact met filterbed;
- maximale contacttijd tussen filterbedmateriaal en waterfase ofwel *minimale korrel*diameter filterbedmateriaal met een maximaal specifiek oppervlak, radiaalfiltratie;
- optimaal spoelregiem teneinde voldoende contactkatalytisch oppervlak te behouden;
- maximaal bergingsvermogen ofwel *maximale korrel*diameter filterbedmateriaal, doorstroming van grof naar fijn, maximale filtratiesnelheid, maximale filterbeddiepte.

Teneinde aan deze soms tegenstrijdige eisen te voldoen, is het voor het ontwerpen van een snelfilter noodzakelijk aan de hand van een proefinstallatie na te gaan wat de invloed van de verschillende factoren is op het verloop van de zuivering van het betreffende watertype. De nieuwe ontwikkelingen wijzen naar een snelfilter waarin de eis van een maximale zuiveringscapaciteit bij een minstens zo goede reinwaterkwaliteit als de huidige, verwezenlijkt moet worden door een combinatie toe te passen van geïntensiveerde beluchting, droogfiltratie, grof naar fijn filtratie en gebruik van oppervlakkig ruw filterbedmateriaal dat in de toekomst naast het zand zeker ook uit anders gearde stoffen zal bestaan.

Ten slotte is het belangrijk dat water en lucht toe- en afvoerleidingen zoveel mogelijk gescheiden worden uitgevoerd teneinde drukstoten in het leidingnet en de filters, met de nadelige gevolgen daarvan op de reinwaterkwaliteit, te voorkomen.

#### 2.2 Ontzuring

De voor de praktijk meest belangrijke ontzuringsmethoden kunnen als volgt worden onderverdeeld [18, 19]:

- Physisch — uitwassen van koolzuur door beluchting
- Chemisch — dosering van chemicaliën als natronloog, calciumhydroxide, calciumoxide.
  - filtratie over chemisch actief materiaal, zoals marmer en half gebrande dolomiet.

Vaak kan bij de grondwaterzuivering met een goede beluchting vóór de snelfiltratie worden volstaan. Voor het ontwerpen van beluchtingsinstallaties is het van belang om naast de beluchtingstijd de verhouding grensvlakoppervlak/watervolume zo groot mogelijk te doen zijn [20]. Wanneer het effect van beluchting alleen niet voldoende is komen hoofdzakelijk de ontzuringsmethoden

door natronloogdosering, kalkdosering of filtratie over half gebrande dolomiet in aanmerking.

### 2.3 Ontharding

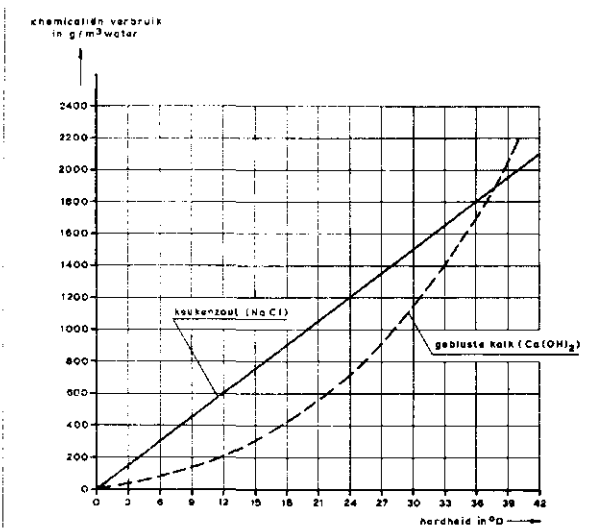
Tijdens het onthardingsproces worden calcium- en magnesiumionen uit het water verwijderd. Voor de drinkwaterbereiding komen alleen de onthardingsmethoden, die gebruik maken van precipitatie of ionenuitwisseling in aanmerking [21, 22].

#### Precipitatie

Het precipitatieproces berust op het in onoplosbare vorm brengen van de calcium- en magnesiumionen waarna het neerslag van calciumcarbonaat en magnesiumhydroxide door filtratie of bezinking wordt verwijderd. De meest toegepaste precipitatiemethode is het kalk(soda) proces. Toevoeging van gebluste kalk verwijderd de bicarbonaathardheid van het water en tevens het aanwezige vrije koolzuur, terwijl voor het verkrijgen van een totale ontharding naast de gebluste kalk ook soda moet worden toegevoegd. Voor een goed verlopen van de ontharding door middel van precipitatie is naast de snelheid waarmee het neerslag zich vormt, de bezinksnelheid of affiltreerbaarheid van de deeltjes van belang. Hiertoe maakt men veel gebruik van het principe van filtratie door een vlokkendeken. Het onthardingsproces bij vlokkendekenfiltratie duurt minimaal 1 uur. Een snellere onthardingsmethode kan onder bepaalde omstandigheden worden verkregen bij toepassing van de „Spiractor”. Het ruwe water en de chemicaliën worden hier afzonderlijk en tangentieel onder in een conische tank geleid die gedeeltelijk met zand en/of calciumcarbonaat is gevuld. Het filterbed wordt door de opwaartse waterstroom enigszins gelicht, terwijl het calciumcarbonaat op de korrels neerslaat. De grootste korrels worden van tijd tot tijd afgespuid. De duur van dit onthardingsproces is slechts 10 - 15 minuten. Bij alle methoden wordt het water na de ontharding gefiltreerd over een zandbed.

Wanneer in het ontharde water nog gevaar voor nathontharding bestaat kan dit onder meer worden tegengegaan door, in die gevallen waar de bacteriologische betrouwbaarheid van het water hierdoor niet nadelig

Afb. 2 - Chemicaliënverbruik als functie van de hardheid bij precipitatieontharding en ionenuitwisselingsontharding (zie tekst voor nadere uitleg).



wordt beïnvloed, een kleine hoeveelheid polyfosfaat toe te voegen.

#### Ionenuitwisseling

De ontharding van drinkwater m.b.v. ionenuitwisseling vindt plaats met kationenuitwisselaars, die calcium- en magnesiumionen uitwisselen tegen natriumionen. Wanneer na verloop van tijd de ionenuitwisselaar geheel in de calcium- en magnesiumvorm is overgegaan, kan door regeneratie met een geconcentreerde keukenzoutoplossing de ionenuitwisselaar weer in zijn oorspronkelijke vorm worden teruggebracht.

De uitwisselingscapaciteit van een ionenuitwisselaar wordt bepaald door de gewichtshoeveelheid calcium die per liter uitwisselaarmateriaal uitgewisseld kan worden. Enige goede materialen voor ionenuitwisseling zijn gesulfoneerde fenolformaldehyde harsen en gesulfoneerde polystyreendivinybenzeen harsen. Het door de ionenuitwisselaar te ontharden water moet vrij zijn van gesuspendeerde deeltjes, daar deze zich op de korrels van de ionenuitwisselaar afzetten waardoor de uitwisselingscapaciteit daalt. Ook heeft bacteriële groei nadelige gevolgen. Door periodiek spoelen met zuur kan een vervuilde uitwisselaar worden schoongemaakt.

Ionenuitwisseling kan in plaats van precipitatie worden toegepast voor ontharding wanneer:

- water met een hardheid lager dan 6° D onthard moet worden;
- de afvoer van bij het precipitatieproces gevormd slib moeilijkheden geeft;
- een belangrijk deel van de hardheid uit blijvende hardheid bestaat.

Alleen de twee laatste gevallen bieden voor de Nederlandse situatie een mogelijkheid voor toepassing van ionenuitwisseling.

Gebruik van ionenuitwisselaars geeft meestal een besparing aan ruimte ten opzichte van het precipitatieproces.

Voor de kostprijsberekening moet worden gerealiseerd dat de exploitatiekosten bij beide methodieken door verschillende factoren worden bepaald. Bij het kalksoda proces is de nodige hoeveelheid kalk en soda afhankelijk van de concentratie aan bicarbonaat, calcium, magnesium en vrij koolzuur, terwijl bij ionenuitwisseling alleen de totale hardheid van het water een rol speelt. In afb. 2 zijn de voor ontharding nodige hoeveelheden keukenzout en gebluste kalk voor toepassing van respectievelijk ionenuitwisseling en precipitatie weergegeven bij toenemende hardheid van het ruwe water.

Hierbij gelden de volgende veronderstellingen:

- het water bevat geen magnesium;
- het ruwe water voldoet steeds aan het kalkkoolzuur-evenwicht;
- de totale hardheid is gelijk aan de bicarbonaathardheid;
- per meq calciumion is 140 mg keukenzout nodig;
- er wordt een 10 % overmaat aan gebluste kalk toegevoegd.

Hoewel op het ogenblik in Nederland voor de drinkwaterbereiding slechts op enkele plaatsen gedeeltelijke ontharding wordt toegepast, wordt voor de toekomst verwacht dat het nationaal economisch gezien noodzakelijk moet worden geacht tot centrale ontharding over te gaan. Voor de VS is berekend [23] dat bij een reeds aanwezige filterinstallatie voor andere doeleinden

dan ontharding de onthardingskosten van het kalksodaproces 2,5 cent/m<sup>3</sup>/5 °D bedragen, welke kosten aanzienlijk hoger zijn wanneer voor de ontharding het filtratieproces extra moet worden uitgevoerd. In het laatste geval zijn de kosten voor een installatie met een capaciteit van omstreeks 1 miljoen m<sup>3</sup>/jaar 14,5 cent/m<sup>3</sup>/5 °D. De vergroting van de capaciteit tot omstreeks 10 miljoen m<sup>3</sup>/jaar doet de kosten dalen tot 7 cent/m<sup>3</sup>/5 °D, terwijl bij een capaciteit van omstreeks 25 miljoen m<sup>3</sup>/jaar de kosten 4 cent/m<sup>3</sup>/5 °D bedragen.

Volgens de Boer en Larson [24] is de nationaal economische besparing bij ontharding 9,5 cent/m<sup>3</sup>/5 °D, hetgeen toepassing van ontharding op grote schaal zeker kan rechtvaardigen.

#### 2.4 Desinfectie

Naast biologische desinfectie door het zelfreinigingsproces [25] en fysische desinfectie door adsorptie aan een vaste stof [26] speelt chemische desinfectie een zeer belangrijke rol bij de waterzuivering [27]. Een ideaal desinfectiemiddel bezit naast een sterke desinfecterende werking op virussen, cysten en bacteriën, een grote stabiliteit bij opslag en in water, een goede hanteerbaarheid en doseerbaarheid, biedt weinig gevaar aan bedienend personeel terwijl tevens de invloed van de pH en de waterkwaliteit op de desinfecterende werking gering moeten zijn. Tenslotte zal het ideale desinfectiemiddel goedkoop zijn. Afgezien van de kostprijs benaderen naast jodium verschillende organische desinfectiemiddelen het meest de eisen waaraan een ideaal desinfectiemiddel moet voldoen. Daar onder normale omstandigheden de kostprijs doorslaggevend is voor de keuze van een desinfectiemiddel worden vrijwel uitsluitend anorganische chloorverbindingen zoals chloorgas, chloorbleekloog, calciumhypochloriet en chloordioxide toegepast. Gebruik van chloordioxide in plaats van chloorgas of chloorbleekloog kan wegens de grote stabiliteit in water in die gevallen aanbeveling verdienen waar een desinfecterende werking tijdens transport over

een lange afstand noodzakelijk is.

Verder wordt een belangrijk aspect voor de keuze van een bepaald desinfectans gevormd door andere eisen, zoals het verwijderen van reuk- en smaakstoffen of het voorkomen van de vorming hiervan. Om deze redenen kan in sommige gevallen de voorkeur aan ozon worden gegeven.

### 3. Overzicht van typen grondwater en de bijbehorende zuiveringsmethoden

In tabel I is een schematisch overzicht gegeven van de acht belangrijkste grondwatertypen in Nederland. Deze acht grondwatertypen zijn gerangschikt volgens de gecompliceerdheid van de nodige zuivering.

Enige algemene principes voor de zuiveringsmethoden van grondwater zijn:

- aerob grondwater met meer dan 3 mg O<sub>2</sub>/l heeft vaak geen beluchting en geen filtratie;
- enkelvoudige beluchting en filtratie volstaan bij watertypen met minder dan respectievelijk 2,0 mg Fe/l, 0,2 mg Mn/l en 1,0 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/l, terwijl bij aanwezigheid van complexgebonden ijzer beslist droogfiltratie de voorkeur boven natfiltratie verdient;
- dubbele beluchting en filtratie zijn noodzakelijk bij watertypen met een ammoniakgehalte van meer dan 2 mg/l, welke watertypen meestal gekenmerkt worden door een praktisch volledige anaerobie, een hoge hardheid en hoge concentraties aan ijzer en mangaan;
- wanneer het watertype ijzercomplexenderend is en het ijzer door middel van droogfiltratie niet volledig is te verwijderen zal dosering van een coagulatiemiddel worden toegepast.

In de praktijk komen uiteraard watertypen voor die slechts gedeeltelijk voldoen aan de kenmerken van een van de acht genoemde typen.

Bij de gegeven kenmerken van het grondwater is de bacteriologische hoedanigheid buiten beschouwing gelaten.

TABEL I - Typen grondwater in Nederland en bijbehorende zuiveringsmethoden

Type	Typering van het grondwater								Benodigde zuivering	Voorbeeld van plaats van voorkomen in Nederland
	O <sub>2</sub>	Totale hardheid (°D)	Agressiviteit na beluchting	Geleidbaarheid bij 18° (μS/cm)	Fe (mg/l)	Fe-complexerend	Mn (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ion (mg/l)		
I	> 3	< 4	—	< 300	< 0,1	—	< 0,05	< 0,05	geen	Gelderland (Stroe)
II	> 3	< 4	+	< 300	< 0,1	—	< 0,05	< 0,05	ontzuring	Gelderland (Epe, Putten)
III	< 3	< 8	+	< 300	< 2,0	—	< 0,2	< 1,0	enkelvoudige beluchting en filtratie met ontzuring	Gelderland (Apeldoorn)
IV	< 3	4—8	+	< 300	< 2,0	+	+/-	< 1,0	enkelvoudige droogfiltratie met ontzuring	Gelderland (Brummen)
V	< 0,1	4—8	+		+	+	+	+	enkelvoudige droogfiltratie met coagulatiemiddel en ontzuring	Noord-Brabant (Waalwijk)
VI	< 0,01	8—18	—		+	—	+	2—4	dubbele beluchting en filtratie	Friesland (Spannenburg)
VII	< 0,01	> 18	—		+	—	+	2—4	dubbele beluchting en filtratie met gedeeltelijke ontharding	Zuid-Holland (Hoekse Waard)
VIII	< 0,01	< 18	+		+	+	+	> 2	dubbele droogfiltratie met coagulatiemiddel en ontzuring	Groningen (Selligen)

#### 4. Overzicht van de grondwaterzuivering in Nederland

Aan de hand van de aanbevelingen van de VEWIN voor drinkwater afgeleverd door een pompstation [28], is nagegaan welk percentage van het gedistribueerde water in Nederland aan deze aanbevelingen voldoet. Als parameters werden het zuurstofgehalte, het ijzergehalte, het mangaangehalte, het ammoniakgehalte en de totale hardheid gekozen. De verwerkte gegevens werden ontleend aan die welke in de statistische overzichten der Waterleidingen in Nederland over de jaren 1952-1958 en 1958-1964 zijn samengevat (VEWIN). Naast de aanbevelingen werd voor het zuurstofgehalte nog een grens  $> 10$  mg/l en voor het mangaangehalte  $\leq 0,03$  mg/l beschouwd.

In die gevallen waarin de opgegeven waarden zich niet voor een duidelijke interpretatie leenden werd waar mogelijk een indeling gemaakt aan de hand van de overige gegevens van het desbetreffende pompstation. Voor de berekening van de gewogen gemiddelden werd uitgegaan van de som van de gemiddelde grond- en duinwaterwinning per jaar van een bepaalde provincie verminderd met de gemiddelde jaarlijks geïnfilteerde hoeveelheid oppervlaktewater. In tabel II zijn per provincie gemiddelde jaarlijks gewonnen hoeveelheden grondwater over beide perioden weergegeven.

Daar geen gegevens beschikbaar waren voor de bepaling van het percentage van het gedistribueerde water per provincie dat aan bepaalde kwaliteitsnormen voldoet werd als eenheid het percentage pompstations per provincie aangehouden. Als gevolg hiervan moet het berekende percentage van het in Nederland gedistribueerde water met een bepaald kenmerk als een benaderingswaarde worden gezien.

##### Zuurstofgehalte

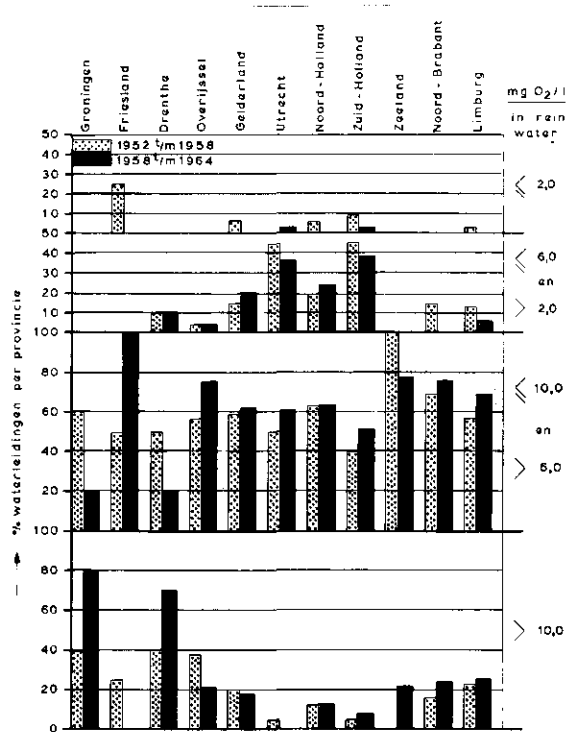
De gegevens betreffende het zuurstofgehalte van het reine water zijn in afb. 3 samengevat. Duidelijk blijkt dat door een verbeterde beluchtingstechniek het gemiddelde zuurstofgehalte van het reine water is gestegen. Het percentage van het water dat gemiddeld per jaar werd afgeleverd met meer dan 10 mg O<sub>2</sub>/l over de periode 1958 t/m 1963 steeg ten opzichte van de voorgaande periode van 17,6 tot 21,8.

Het percentage water met een lager zuurstofgehalte dan 2 mg/l daalde van 3,1 naar 0,5.

Overigens blijkt uit deze cijfers dat slechts ongeveer 20% van het afgeleverde water met zuurstof verzadigd kan worden genoemd.

TABEL II - Gemiddelde grondwaterwinning per jaar per provincie over de perioden 1952-1958 en 1958-1964 (VEWIN).

Provincie	Gemiddelde grondwaterwinning in miljoen m <sup>3</sup> /jaar	
	1952 t/m 1957	1958 t/m 1963
Groningen	15,1	19,6
Friesland	14,1	20,4
Drenthe	7,8	16,8
Overijssel	19,7	32,2
Gelderland	31,2	43,2
Utrecht	27,0	32,6
Noord-Holland	65,6	49,1
Zuid-Holland	38,5	31,4
Zeeland	2,9	3,9
Noord-Brabant	42,0	64,3
Limburg	27,7	35,6



Afb. 3 - Overzicht van het percentage waterleidingen per provincie dat water met een bepaald zuurstofgehalte distribueert voor de perioden 1952-1958 en 1958-1964.

##### Ijzergehalte

Het gemiddelde ijzergehalte van het ruwe water per provincie is in afb. 8a weergegeven. Het gemiddelde ijzergehalte van het grondwater in Nederland steeg in de periode 1958-1964 t.o.v. de voorliggende periode van 3,5 mg/l naar 3,8 mg/l. Gezien dit gegeven is het opvallend dat er een grote verbetering van de kwaliteit van het reine water is opgetreden (afb. 4). Tijdens de periode 1958-1964 is het percentage van het reine water met een ijzergehalte lager dan 0,05 mg/l gestegen van 29,5 naar 53,3. Voor het percentage reine water met een ijzergehalte groter dan 0,10 mg/l liep de waarde terug van 16,0 tot 5,2.

##### Mangaangehalte

In tegenstelling tot het ijzergehalte is het mangaangehalte van het ruwe water iets gedaald van 0,26 mg/l naar 0,23 mg/l (afb. 8b). Ten aanzien van het gezuiverde water bedraagt het percentage water van een gemiddeld jaar met een mangaangehalte kleiner dan 0,03 mg/l over beide perioden 88. Het percentage reine water met een mangaangehalte groter dan 0,05 mg/l daalde in de periode 1958-1964 van 5,4 naar 4,2 (afb. 5).

##### Ammoniakgehalte

Het gemiddelde ammoniakgehalte van het ruwe water onderging in de periode 1958-1964 een aanzienlijke daling van 1,17 mg/l tot 0,82 mg/l (afb. 8c). Bij het reine water geldt over de laatste periode een stijging van het percentage water met een ammoniakgehalte kleiner dan 0,05 mg/l van 58,7 naar 74,7, terwijl voor het percentage water met een ammoniakgehalte groter dan 0,2 mg/l een daling optreedt van 7,7 naar 6,0.

De oorzaken van deze kwaliteitsverbetering van het gezuiverde water moeten enerzijds gezocht worden in de

betere kwaliteit van het grondwater ten aanzien van het ammoniakgehalte en anderzijds in de verbetering van de beluchtingstechniek daar, zoals afb. 7 aantoon, een laag zuurstofgehalte van het reine water gepaard gaat met een hoger rest-ammoniakgehalte.

#### Totale hardheid

Het percentage water over een gemiddeld jaar met een totale hardheid hoger dan 5 meq/l (14 °D) blijkt volgens afb. 9 bij de laatste periode iets gedaald te zijn van 27,3 naar 25,3. Afb. 10 laat het verband zien bij de verschillende waterleidingbedrijven in een provincie dat bestaat tussen agressiviteit en totale hardheid.

#### Samenvatting

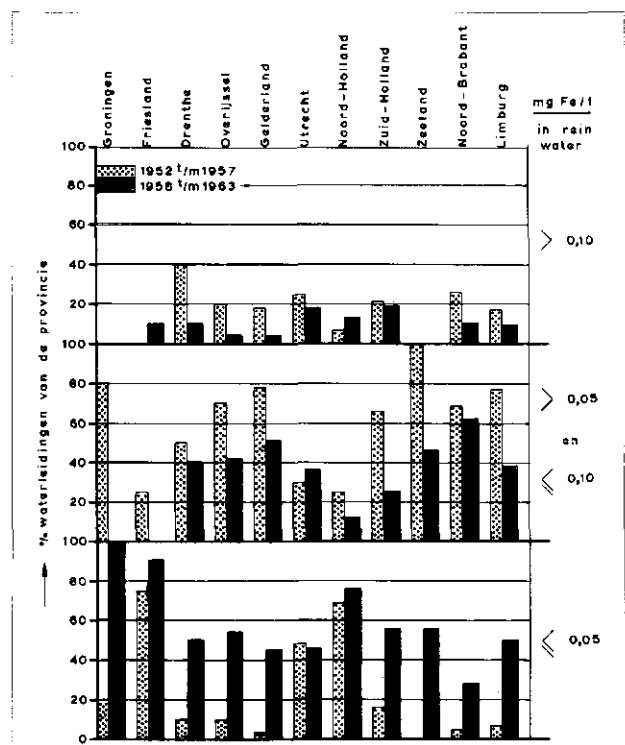
Ten aanzien van de gemiddelde situatie in Nederland geldt voor het opgepompte grondwater dat over de periode 1958 t/m 1963 in vergelijking met de periode 1952 t/m 1957 het ijzergehalte is gestegen van 3,5 tot 3,8 mg/l, het mangaangehalte iets is gedaald van 0,26 tot 0,23 mg/l en het ammoniakgehalte duidelijk is afgenomen van 1,17 tot 0,82 mg/l.

Met de bestaande zuiveringstechnieken wordt ten aanzien van het ijzergehalte en het ammoniakgehalte van

TABEL III - Het percentage van het gezuiverde water dat voldoet aan een bepaald concentratiegebied van verschillende parameters tijdens de perioden 1952 t/m 1957 en 1958 t/m 1963.

Parameter	Beschouwde grenskonzentratie in rein water		% reinwater voor een gemiddeld jaar	
	1952 t/m 1957	1958 t/m 1963	1952 t/m 1957	1958 t/m 1963
O <sub>2</sub>	> 10 mg/l		18	22
Fe	≤ 0,05 mg/l		30	53
Mn	≤ 0,03 mg/l		88	88
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	≤ 0,05 mg/l		59	75
Tot. hardheid	≤ 2,5 meq/l		23	28

Afb. 4 - Overzicht van het percentage waterleidingen per provincie dat water met een bepaald ijzergehalte distribueert voor de perioden 1952 - 1957 en 1958 - 1963.



het reine water minder goed aan de aanbevelingen voldaan dan ten aanzien van het mangaangehalte van het gezuiverde water.

In tabel III is een overzicht gegeven van het percentage van het gezuiverde grondwater voor een gemiddeld jaar dat voldoet aan een bepaald concentratiegebied voor de verschillende parameters.

#### 5. Kostenraming voor de bereiding van drinkwater uit grondwater

Bij de hierna volgende kostenraming voor de drinkwaterbereiding in een bepaalde provincie is uitgegaan van een nieuw te bouwen pompstation met een productiecapaciteit van 10 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

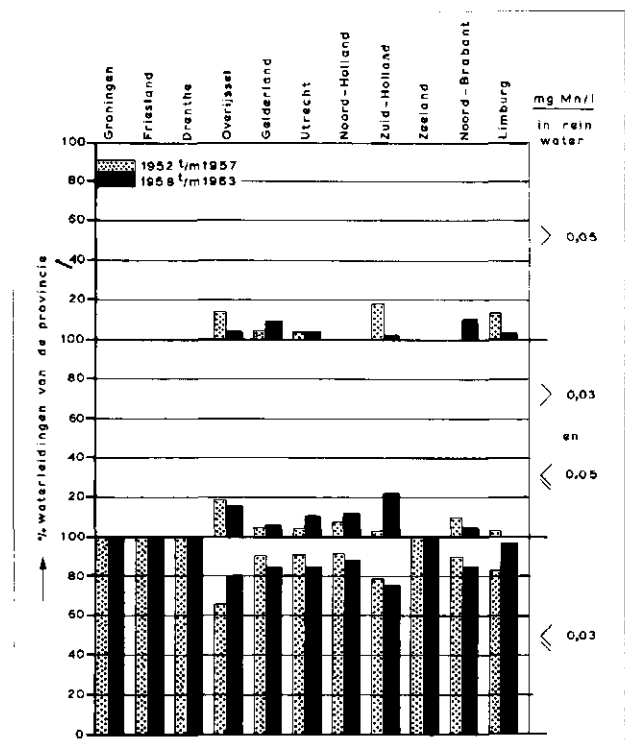
Het al dan niet gekoncentreerd beschikbaar zijn van een dergelijk grondwaterhoeveelheid in een provincie is hierbij buiten beschouwing gelaten, evenals mogelijke afwijkingen van de aangehouden uniforme maatstaven door plaatselijke omstandigheden.

De toe te passen zuiveringstechniek is afgestemd op de gemiddelde ruwwaterkwaliteit in de betreffende provincie waarbij voor de provincies Drenthe, Overijssel en Noord-Brabant rekening werd gehouden met moeilijk te ontijzeren grondwater.

Voor die provincies waar het grondwater een hogere gemiddelde totale hardheid dan 9 °D bezit is ontharding tot een hardheid van 7,5 °D mede bij de kostenraming beschouwd.

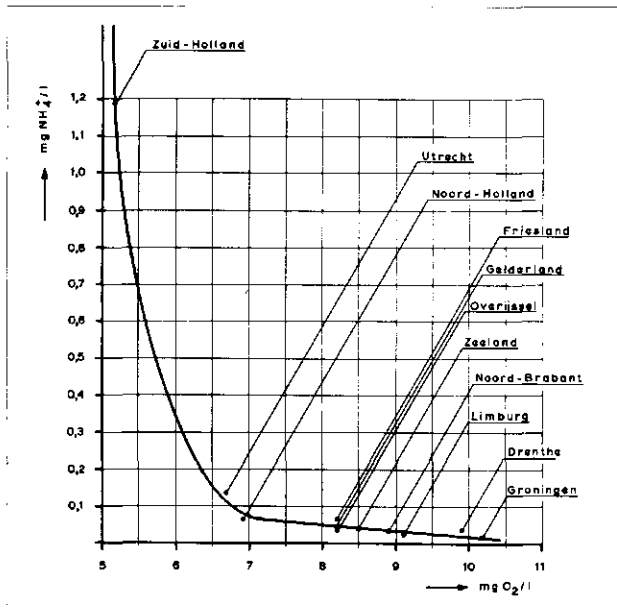
Als onthardingsmethode werd het precipitatieproces gekozen waarbij de kostprijs werd geraamd zowel voor coagulatie in een upflow zandfilter als voor coagulatie met vlokkendekenenfiltratie. Daar bij die provincies waar de hardheid groter dan 9 °D is steeds dubbele filtratie voor de waterzuivering noodzakelijk moet worden geacht werd bij toepassing van ontharding een

Afb. 5 - Overzicht van het percentage waterleidingen per provincie dat water met een bepaald mangaangehalte distribueert voor de perioden 1952 - 1957 en 1958 - 1963.



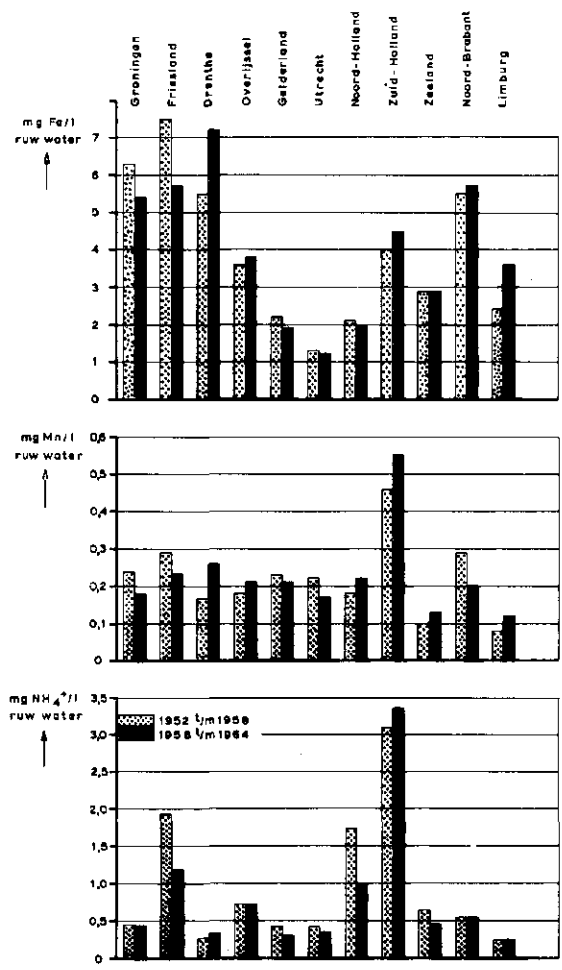
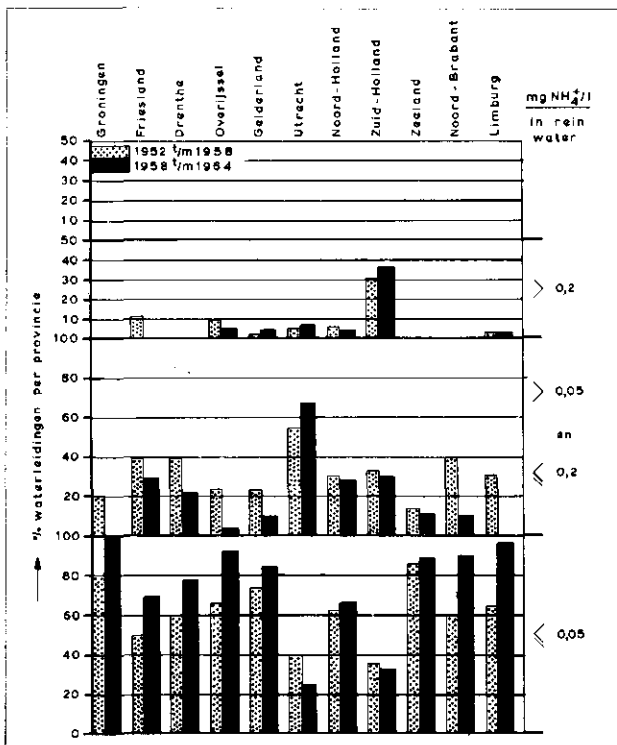
filterfase door een onthardingsfase vervangen. Hierbij wordt immers tevens ijzer en mangaan verwijderd terwijl bij een eventueel te hoog restammoniakgehalte dit door chloring verlaagd kan worden. Ontzuring werd niet bij de kostenraming betrokken.

In tabel IV zijn de gegevens betreffende gemiddelde grondwaterkwaliteit en bereidingskosten samengevat. Als voorbeeld werden op historische kostprijsbasis de jaarkosten berekend betrekking hebbende op de eerste periode van 5 jaar, dus bij een productie van 50 miljoen



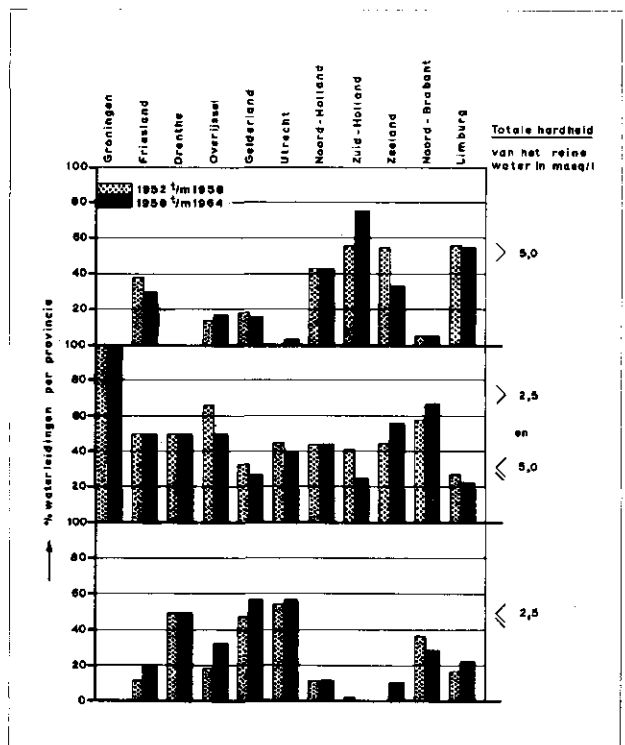
Afb. 7 - Het rest ammoniakgehalte van het gedistribueerde water als functie voor het zuurstofgehalte voor de periode 1958 - 1964.

Afb. 6 - Overzicht van het percentage waterleidingen per provincie dat water met een bepaald ammoniakgehalte distribueert voor de perioden 1952 - 1958 en 1958 - 1964.



Afb. 8 - Enige kwaliteitsfactoren van het ruwe grondwater voor de perioden 1952 - 1958 en 1958 - 1964.

Afb. 9 - Overzicht van het percentage waterleidingen per provincie met een bepaalde hardheid van het reine water over de periode 1952 - 1958 en 1958 - 1964.





m<sup>3</sup> over deze periode. Zij omvatten de winning, zuivering en het onder druk brengen.

De afschrijvings- en aflossingstermijnen werden hierbij zowel voor bouwkundige investeringen als investeringen in installaties op 25 jaar gesteld met gelijkblijvende aflossing. Voor de rentevoet werd 7½ % aangehouden. De kosten per provincie bij minimale zuivering zijn:

#### Investerings

Aankoop grond: f 1.000.000	(rente) → 0,75 ct/m <sup>3</sup>
putten (20 putten)	„ 500.000
terreinleidingen	„ 300.000
filterfase (10 filters)	„ 1.800.000
kelders	„ 1.000.000
hoge druk pompgebouw	„ 1.400.000
<b>Totaal</b>	<b>f 5.000.000 → 5,38 ct/m<sup>3</sup></b>

#### Exploitatie

Energie (6 ct/kWh)	f 154.000
personeel	„ 70.000
onderhoud (0,5 % invest.)	„ 25.000
<b>Totaal</b>	<b>f 249.000 → 2,49 ct/m<sup>3</sup></b>

Extra kosten per provincie bij toepassing van onderstaande zuiveringstechnieken kunnen zijn:

#### 1. Dubbele filtratie (extra filterfase)

##### Investerings

Filterfase	f 1.800.000 → 1,94 ct/m <sup>3</sup>
------------	--------------------------------------

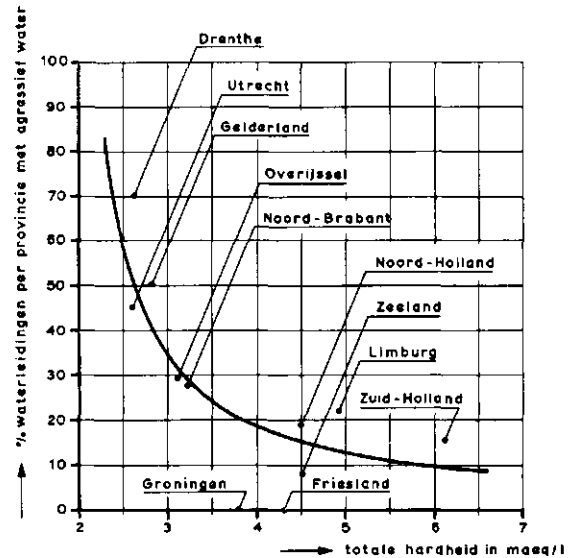
##### Exploitatie

Energie	f 26.000
personeel	„ 20.000
onderhoud (0,5 % invest.)	„ 9.000
<b>Totaal</b>	<b>f 55.000 → 0,55 ct/m<sup>3</sup></b>

#### 2. Ontharding

##### Coagulatie in upflow zandfilter

In vergelijking met coagulatie in een flokkulator met een vlokkendeken biedt de upflow-zandfiltratie-methode het voordeel dat bij een variërende ruwwatertoevoer een grote bedrijfszekerheid gehandhaafd blijft. Als een nadeel van deze methode kan de vrij snelle vervuiling van de spoelkoppen in de filterbodem worden genoemd. Deze moeten bij een kleine spleetbreedte periodiek met behulp van zuur gereinigd worden, hetgeen bij een voor de produktiekapaciteit benodigd aantal filters van 10



Afb. 10 - % waterleidingen met agressief water als functie van de totale hardheid voor de periode 1958 - 1964.

betekent dat een extra filter noodzakelijk is. Een dergelijk bezwaar geldt echter ook voor de vlokkendekenfiltratie daar dit proces na reiniging van de flokkulator een startperiode van 48 uur nodig heeft voor de volle produktiekapaciteit is bereikt.

##### Investerings

Upflow filterfase (11 filters)	f 1.980.000 → 2,14 ct/m <sup>3</sup>
--------------------------------	--------------------------------------

##### Exploitatie

Energie	f 26.000
personeel	„ 20.000
onderhoud (0,5 % invest.)	„ 10.000
<b>Totaal</b>	<b>f 56.000</b>

##### Chemicaliën

Flokkulatiemiddelen	0,5 ct/m <sup>3</sup>
kalk	0,2 ct/m <sup>3</sup> /°D
kosten slibafvoer	0,1 ct/m <sup>3</sup> /°D
<b>Totaal</b> (0,5 + (Δ°D) 0,3)ct/m <sup>3</sup>	
<b>Totaal exploitatie</b>	<b>(1,06 + (Δ°D)0,3)ct/m<sup>3</sup></b>

TABEL IV - Kostprijs water af pompstation voor een in elke provincie nieuw te bouwen pompstation van 10 miljoen m<sup>3</sup>/jaar bij afwezigheid van ontharding en bij ontharding m.b.v. een upflow zandfilter <sup>1)</sup> of een flokkulator <sup>2)</sup>.

Provincie	Grondwaterkwaliteit				Zuiveringstechniek bij afwezigheid van ontharding	Kostprijs af pompst. ct/m <sup>3</sup>	Kostprijs <sup>1)</sup> af pompst. ct/m <sup>3</sup>	Kostprijs <sup>2)</sup> af pompst. ct/m <sup>3</sup>
	Fe mg/l	Mn mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	Totale hardheid in °D				
Groningen	5	0,2	0,5	10,8	Dubbele filtratie	11,7	13,5	13,1
Friesland	6	0,2	1,2	12,0	Dubbele filtratie	11,7	13,8	13,5
Drenthe	7	0,3	0,3	7,3	Filtratie + 10 g/m <sup>3</sup> kalkdos.	9,4		
Overijssel	4	0,2	0,7	8,7	Filtratie + 15 g/m <sup>3</sup> kalkdos.	9,5		
Gelderland	2	0,2	0,3	7,8	Filtratie	9,1		
Utrecht	1	0,2	0,4	7,3	Filtratie	9,1		
N.-Holland	2	0,2	1,0	12,7	Dubbele filtratie	11,7	14,1	13,7
Z.-Holland	5	0,6	3,4	17,1	Dubbele filtratie	11,7	15,4	15,1
Zeeland	3	0,1	0,5	12,6	Dubbele filtratie	11,7	14,0	13,7
N.-Brabant	6	0,2	0,6	9,0	Filtratie + 3 g/m <sup>3</sup> aluminaatdoserings	9,5		
Limburg	4	0,1	0,3	13,7	Dubbele filtratie	11,7	14,4	14,0

<sup>1)</sup> Een filterfase vervangen door ontharding d.m.v. upflow zandfilter.

<sup>2)</sup> Een filterfase vervangen door ontharding d.m.v. een flokkulator.

## Coagulatie in flokkulator

### Investeringsen

Flokkulatoren (overdekt) f 1.000.000 → 1,08 ct/m<sup>3</sup>

### Exploitatie

Energie f 26.000

personeel (continu dienst) „ 100.000

onderhoud (0,5 % invest.) „ 5.000

Totaal f 131.000

Chemicaliën (0,5 + (Δ°D)0,3) ct/m<sup>3</sup>

Totaal exploitatie (1,81 + Δ°D)0,3)ct/m<sup>3</sup>

Uit bovenstaande volgt dat de investeringskosten voor ontharding met coagulatie in een upflow zandfilter hoger zijn dan de investeringskosten bij ontharding met een flokkulator terwijl voor de exploitatiekosten juist het tegenovergestelde geldt.

## 3. Chemicaliëndosering bij filterfase

### Kalkdosering

Investeringsen f 200.000 → 0,22 ct/m<sup>3</sup>

### Exploitatie

onderhoud (1 % invest.) f 2.000

chemicaliën 0,01 ct/gram

Totaal exploitatie (0,02 + (gram)0,01) ct/m<sup>3</sup>

### Natriumaluminaatdosering

Investeringsen f 50.000 → 0,05 ct/m<sup>3</sup>

### Exploitatie

onderhoud (2 % invest.) f 1.000

chemicaliën 0,11 ct/gram

totaal exploitatie (0,01 + (gram)0,11) ct/m<sup>3</sup>

De spoelwaterkosten zijn op 5 % van de reinwaterkosten gesteld.

## 6. Samenvatting

In Nederland bezat het opgepompte grondwater over het geheel genomen een vrijwel konstante kwaliteit gedurende de periode 1952 - 1964. Ten aanzien van de kwaliteit van het gedistribueerde water geldt dat deze wat betreft het ijzer-, mangaan-, ammoniak- en zuurstofgehalte is verbeterd tijdens de periode 1958 - 1964 ten opzichte van de periode 1952 - 1958, terwijl de totale hardheid over beide perioden vrijwel gelijk bleef.

Hoewel er een kwaliteitsverbetering van het gezuiverde water is opgetreden dient te worden gesteld dat de ontijzering en de nitrifikatie in de toekomst door verbeterde zuiveringstechnieken om vervolmaking vragen. Een van de mogelijke hulpmiddelen hierbij is de beluchting die nog geïntensiveerd kan worden en die bovendien het aantal pompstations dat agressief water aflevert kan doen verminderen.

Voor snelfilterinstallaties geldt dat verbeteringen kunnen worden aangebracht wat betreft het bergingsvermogen door toepassing van grof naar fijn filtratie en gebruik van andere filterbedmaterialen dan zand alleen, wat betreft het zuiveringsvermogen door toepassing van droogfiltratie, radiaalfiltratie en filterbedmateriaal met een optimaal specifiek oppervlak.

Water en lucht toe- en afvoerleidingen zullen zoveel mogelijk gescheiden moeten worden uitgevoerd teneinde onderlinge beïnvloeding van de filters door drukstoten tijdens het spoelen e.d. te voorkomen.

Ongeveer 25 % van de Nederlandse Waterleidingen distribueerde water met een totale hardheid groter dan 14 °D (5 meq/l). Ontharding van dit water moet noodzakelijk worden geacht. Toepassing van het kalk (soda) proces zal in veel gevallen economisch het meest verantwoord zijn daar de onthardingskosten aanzienlijk dalen wanneer in plaats van het zuiveringssysteem van dubbele filtratie het systeem ontharding-filtratie wordt toegepast. Dit heeft tot gevolg dat het voor de ontharding nodige chemicaliënverbruik kostprijsbepalend is. Op grond van het bovenstaande zal de kostprijs van drinkwaterproductie uit grondwater ca. 1,7 maal hoger zijn in de provincie Zuid-Holland, waar de gemiddelde hardheid van het grondwater 17,1 °D bedraagt, dan in de provincie Gelderland waar met enkelvoudige filtratie kan worden volstaan.

Wanneer voor ontharding van het precipitatieproces gebruik wordt gemaakt is intensieve beluchting van het water van groot belang teneinde koolzuur te verwijderen daar zodoende op chemicaliën kan worden bespaard en de hoeveelheid gevormd slib tot een minimum beperkt kan blijven.

## Literatuur

1. C. Biemond, Water (1968) (Wetenschappelijke Uitgeverij N.V., Amsterdam).
3. H. J. Boorsma, Comptes Rendus XXVII Congrès de Chimie Industrielle I (1954) 340-3343.
2. C. F. Lerk, Dissertatie T.H. Delft (1965).
4. A. H. van Breemen, A. Graveland, P. M. Heertjes, C. F. Lerk, T. H. Delft, (afdeling der Weg- en Waterbouwkunde) Vakantiecursus 19 (1967) 48-61.
5. H. J. Boorsma, T. H. Delft, Vakantiecursus 18 (1966) 68.
6. J. D. Hem, Geological Survey Water-Supply Paper 1667-A (1963) (Washington).
7. E. G. Pringsheim, Philosophical Transactions, Series Br 233 (1949) 453.
8. E. G. Pringsheim, Biol. Rev. 24 (1949) 200.
9. H. A. D. Linn, Water 3 (1950).
10. W. Verhoeven, T.H. Delft, Dissertatie (1952).
11. Statistisch overzicht der Waterleidingen in Nederland 1958-1964 (VEWIN).
12. K. J. Ives, T.H. Delft, Vakantiekursus 19 (1967) 32-47.
13. D. M. Mintz, Dokl. Akad. Naut S.S.S.R. 98 (1951) 2 Rep. 7th Congr. Int. Water Supply Ass. (1966) (Barcelona).
14. P. L. Knoppert, T.H. Delft, Vakantiekursus 19 (1967) 75-109.
15. A. Boes, T.H. Delft, Vakantiekursus 19 (1967) 110-119.
16. W. R. Conley, R. W. Pitman, JAWWA 52 (1960) 205.
17. W. F. G. L. Stoeller, H<sub>2</sub>O 7 (1969) 154.
18. L. H. Louwe Kooymans, T.H. Delft, Vakantiekursus 4 (1952) 70-88.
19. H. Sontheimer e.a., T.H. Karlsruhe (Abt. Wasserchemie) Veröffentlichungen I (1969) 1-103.
20. L. Huisman, H<sub>2</sub>O 2 (1969) nr. 1, 2-14.
21. P. Hamer, J. Jackson, E. F. Thurston, Industrial Water Treatment Practice (1961), 22-163 (Butterworth & Co. Ltd.).
22. Mededeling I van Werkgroep Waterontharders (KIWA), H<sub>2</sub>O I (1969) 334-341.
23. L. R. Howson, J.A.W.W.A. 54 (1962) 161-166 en J. W. Williams, J.A.W.W.A. 60 (1968) 1329-1335.
24. L. M. de Boer, T. E. Larson, J.A.W.W.A. 53 (1961) 809-822.
25. K. W. H. Leeflang, J. H. Edelman, Water 9 (1943) 77-82.
26. K. W. H. Leeflang, T.H. Delft, Vakantiekursus I (1948) 14-34
27. K. W. H. Leeflang, T.H. Delft, Vakantiekursus 14 (1952) 113-139.
28. Bijlage bij Grondslagen Basisplannen 4, H<sub>2</sub>O 15 (1968) 324-327.
29. K. J. Ives, International Water Supply Congress and Exhibition (Vienna) Special Subject No. 7 (1969).