

Winning en zuivering van oppervlaktewater

Inleiding

Zowel het wingedeelte als het zuiveringsgedeelte van een waterleidingbedrijf, aangewezen op de verwerking van oppervlaktewater, omvat een aantal bewerkingen die het ruwe water achtereenvolgens moet ondergaan om als drinkwater te worden afgeleverd. De bewerkingen tezamen vormen het bedrijfsschema. Afhankelijk van de discipline, wordt ook gesproken van processchema of produktieschema.

Het bedrijfsschema bestaat uit een aantal bewerkingen of handelingen die enerzijds de kwaliteit van het water beïnvloeden, zoals filtratie, sedimentatie e.d. en anderzijds slechts voor een doelmatige bedrijfsexploitatie van belang zijn, zoals buffering, pompstations e.d.

Bij het bedrijfsschema van een drinkwaterproduktiebedrijf dient dan ook mede te worden begrepen het overgangsgedeelte tussen de zuivering en de distributie, gemakshalve, slechts voorzover gelocaliseerd op het terrein van de zuivering.

Het wingedeelte vormt de overgang tussen de bron en het zuiveringsgedeelte en dient zodanig te zijn ingericht, dat variaties in kwaliteit en kwantiteit van de bron zo goed mogelijk worden afgevlakt, opdat een gelijkmatig belaste zuivering wordt verkregen.

Het transportgedeelte vormt de overgang tussen het zuiveringsdeel en het voorzieningsgebied en dient eveneens zo te zijn ingericht, dat variaties in de vraag, in dit geval uitsluitend kwanti-

tatief, slechts in beperkte mate in het zuiveringsbedrijf wordt gevoeld.

In het wingedeelte heeft men te maken met twee variabelen. In dit deel worden derhalve vaak bewerkingen uitgevoerd die qua karakter onder de zuivering thuis horen.

De grootte of het produktievermogen van een bedrijf, hangt geheel af van het voorzieningsgebied. Het bedrijfskarakter, de omvang van het aantal bewerkingen hangt geheel af van de hoedanigheden van de bron en van plaatselijke omstandigheden. In de praktijk blijkt, dat persoonlijke voorkeuren een vaak even belangrijke rol vervullen.

In het volgende zal worden volstaan met het plaatsen van enkele kanttekeningen bij en het vergelijken van een aantal bewerkingen en systemen. Van volledigheid zal geen sprake zijn. Immers, de behandeling van een enkele bedrijfsfase kan gemakkelijk een cursusles vullen, zoals in het verleden ook meermalen is voorgekomen, terwijl voorts de omvang van het aantal bewerkingen en alternatieven zich niet leent voor behandeling in dit bestek.

Geldt dit thans, ook in het verre verleden toen het vak zich met zuivering nog amper bezig hield, bestonden reeds meerdere systemen van waterwinning. Zo werden destijds reeds verschillen in de wijze van winning gebruikt om de bekende Gideonsbende, een uit 300 manschappen bestaand keurkorps, te recruterende, aldus Richteren 7: 5 — 8.

Oppervlaktewaterbedrijven zijn aan-

gewezen op de verwerking van een hygiënisch onbetrouwbare grondstof. De meeste essentiële bewerking in het zuiveringsproces is derhalve de desinfectie van het water.

Op grond van de wijze waarop hygiënische betrouwbaarheid wordt verkregen kunnen de bedrijven worden onderscheiden in twee groepen:

1. Bedrijven gebaseerd op desinfectie met behulp van biologische processen (langzame zandfiltratie).
2. Bedrijven gebaseerd op chemische desinfectie (chloor of ozon).

In de meest oorspronkelijke vorm komen deze bedrijven in Nederland niet meer voor als gevolg van de hoge verontreinigingsgraad van de Nederlandse oppervlaktewateren en mede als gevolg van het karakter van de vervuiling. Het biologisch filter alleen is niet meer in staat een hygiënisch betrouwbaar eindprodukt te leveren, terwijl noch met het biologisch bedrijf, noch met het eenvoudige chemische bedrijf een esthetisch aanvaardbaar drinkwater kan worden verkregen.

Aan beide bedrijfstypen zijn meer of minder bewerkingen toegevoegd of worden bewerkingen meervoudig toegepast, waardoor vaak een biologisch/chemisch of chemisch/biologisch bedrijf ontstaat.

De winning

De winning van oppervlaktewater is in zijn eenvoudigste vorm geconcentreerd in een enkel kunstwerk. Dit kunstwerk kan zijn een inlaat-sluis,

een (hevel)leiding of een inlaatpompstation. In ons land, waar bijna altijd, voor de verdere bewerking, het water naar een hoger niveau moet worden getild, is het pompstation het meest voor de hand liggende winningsmiddel.

De beste plaats voor het inlaatpompstation is ogenschijnlijk de naaste omgeving van een buitenbocht in de rivier, omdat de bedding op deze plaats het best gefixeerd kan worden. Een belangrijk bezwaar aan deze plaats verbonden is dat de stroomsnelheid hier het grootst is. De stroombanen hebben derhalve hier het maximale vermogen sedimenteerbaar materiaal te bevatten. Het alternatief, de binnenbocht, heeft het bezwaar dat veel materiaal sedimenteert uit water dat niet door het bedrijf wordt ingenomen.

De beste oplossing verkrijgt men door het pompstation niet onmiddellijk aan de rivier te situeren, doch een sedimentatiekom tussen de rivier en het pompstation te schakelen, waarin slechts materiaal neerslaat uit water, dat door het bedrijf wordt ingenomen. Een uitstekend voorbeeld hiervan wordt gevormd door het inlaatwerk van de Haagse duinwaterleiding te Bergambacht. Het naar buiten stromen van in de sedimentatiekom aanwezige water wordt hier voorkomen, doordat het oppervlak van de kom zo is gekozen, dat het inlaatdebiet een niveaudaling in de kom veroorzaakt die gelijke tred houdt met de daling van de waterstand op de rivier ten gevolge van getijwerking. Het noodzakelijke baggerwerk in de sedimentatiekom is allerminst een verliespost. Een nadeel van een sedimentatiekom is dat in een dergelijk bekken gemakkelijk propvorming kan optreden. In de kom verzameld water van onaanvaardbare kwaliteit — gifstoffen, olie e.d. — is nog aanwezig, wanneer de rivier allang weer aanvaardbaar water voert.

Opslag van ruw-water

Hoewel sedimentatie een vaste plaats verdient in het wingedeelte, kan in nog belangrijker mate het kwaliteitsaspect worden begunstigd door opslag van een ruwwatervoorraad achter het pompstation.

De voorraad kan bovengronds worden opgeslagen (spaarbekkens) maar ook ondergronds (infiltratiegebied). In Nederland worden beide systemen toegepast. Kwaliteitsverbetering wordt bereikt door selectieve inname, egali-

satie en kwaliteitsbeïnvloedende processen. Om tot een keuze tussen beide oplossingen te geraken is geen eenvoudige opgave.

Gelukkigerwijze, of misschien beter ongelukkigerwijze, bepaalt doorgaans de plaatselijke situatie de keuze en voorzover dit niet het geval is, geeft de geaardheid van het bedrijf wel de doorslag. Zo zal een grondwaterbedrijf geneigd zijn infiltratie toe te passen, terwijl het van oudsher op oppervlaktewater aangewezen bedrijf eerder tot aanleg van spaarbekkens zal besluiten. Niettemin dienen voor een juiste keuze een aantal aspecten te worden beschouwd en tegen elkaar te worden afgewogen.

Aan de chemisch-biologische aspecten is in vorige vakantiecurssussen [1] en in verschillende artikelen [2] ruimschoots aandacht geschonken. In het volgende zijn deze aspecten in het kort en vergelijkenderwijs gememoreerd.

Infiltratie/Spaarbekkens

Beluchting

In Nederland liggen de infiltratiemiddelen doorgaans slechts weinig boven het grondwaterniveau. Ondergrondse beluchting is dan van weinig betekenis. Een redelijke beluchting wordt verkregen bij intermitterende infiltratie.

De beluchting in spaarbekkens is veel beter, zeker in ons nogal winderig klimaat. De vrije toetreding van zuurstof wordt alleen belemmerd bij dichtvriezen van het bekken.

Beluchting komt het best tot zijn recht bij ondiepe bekkens als gevolg van het relatief grote aan de lucht blootgestelde oppervlak. Bij diepe of zeer diepe bekkens wordt in het hypolimnion de zuurstoftoevoer ernstig belemmerd door de eventuele aanwezigheid van een spronglaag. Proeven hebben aangetoond, dat het verschijnsel van stratificatie op gemakkelijke wijze kan worden opgeheven [3].

Reuk/smaak

De verwijdering van reuk- en smaakstoffen is voor infiltratiesystemen in het algemeen goed te noemen, hoewel een belasting met moeilijk afbreekbare stoffen ook hier doorslag van smaak kan veroorzaken. De vermindering van reuk en smaak in spaarbekkens hangt af van de temperatuur. In de zomer is de verlaging van het smaakgetal goed; in de winter matig. Smaak-

verslechtering kan in spaarbekkens optreden als gevolg van massale algengroei.

Kleur

Verwijdering van kleur bij infiltratie is doorgaans goed.

Indien de bodem humusstoffen bevat, kunnen daarentegen weer kleurveroorzakende stoffen in het water worden opgelost.

Kleurverwijdering in open buffers heeft weinig te betekenen. Alleen indien veel sedimenteerbaar materiaal aanwezig is en neerslaat wordt een deel van de kleur verwijderd.

KMnO₄-verbruik

Het permanganaatverbruik wordt door infiltratie verlaagd. In spaarbekkens daalt het permanganaatverbruik eveneens.

In het bekken wordt evenwel opnieuw organische stof gevormd, zodat de totale verlaging van geringe betekenis is en mogelijk zelfs in het tegendeel kan verkeren.

Ammoniakoxydatie

Het opruimen van ammoniak in spaarbekkens hangt weer sterk samen met de watertemperatuur. In de zomer verloopt het proces bevredigend tot goed. In de winter zeer langzaam.

Bij infiltratie verloopt de ammoniakoxydatie eveneens goed, doch is sterk gebonden aan de beschikbare hoeveelheid zuurstof. Bij lage zuurstofconcentraties, dus op enige afstand onder de bodem verloopt het proces langzaam en staat bij het ontbreken van zuurstof stil.

Nitraat

Het nitraatgehalte in spaarbekkens vertoont een duidelijke seizoeninvloed. In de zomermaanden is er een afname die kan worden toegeschreven aan het verbruik van nitraat door plankton, die de vorming van nitraat door ammoniakoxydatie overtreft. De mogelijkheid van denitrificatie (vorming N₂) aan de bodem kan eveneens een rol spelen. In de winter verlopen de biologische processen uiterst langzaam. Men constateert soms hogere nitraatgehalten dan in het aangevoerde ruwe water. Blijkbaar zet ammoniakoxydatie langer door dan de nitraatconsumptie.

Nitraatreductie en vorming van vrije stikstof treedt in infiltratiegebieden in hoge mate op, zeker waar geen zuurstof meer aanwezig is.

IJzer en mangaan

Het verblijf in spaarbekkenen verlaagt zowel het ijzer als het mangaangehalte door sedimentatie. In het anaerobe deel van het infiltratievolume daarentegen kan ijzer en mangaan in oplossing gaan en derhalve in het filtraat in hogere concentraties worden aangehouden dan in het geïnfiltreerde water.

Hygiënische betrouwbaarheid

Infiltratie levert ten aanzien van het hygiënisch betrouwbaar maken van het water gunstige resultaten. Mits de verblijftijd in de bodem voldoende groot is wordt een betrouwbaar produkt gewonnen. Ook het verblijf in het spaarbekken heeft een louterend effect. Door de mogelijkheid van herinfectie dient desinfectie in het zuiveringsbedrijf evenwel altijd te worden toegepast.

Selectie

Selectieve inname is met beide systemen mogelijk indien niveauvariatie kan worden toegepast. Ter vergelijking moet worden bedacht, dat voor eenzelfde selectie, in het infiltratiegebied globaal een 3 x zo groot bergend volume nodig is dan in een spaarbekken.

Dat wil zeggen, dat bij eenzelfde toelaatbare peilvariatie, voor infiltratie een ca. 3 x zo groot terreinoppervlak benodigd is. Een infiltratiegebied leent zich echter beter voor andere doeleinden bv. recreatie, dan een spaarbekken.

Egalisatie

Egalisatie kan eveneens met beide systemen worden bereikt. In spaarbekken vindt egalisatie op natuurlijke wijze plaats. Een compact d.w.z. een diep, cirkelvormig spaarbekken is het meest doelmatig.

Het optreden van thermische stratificatie beperkt het egalisatievermogen, doch kan op eenvoudige wijze worden opgeheven.

In infiltratieterrainen wordt egalisatie op kunstmatige wijze bereikt door het winnen en daarna mengen van meerdere — oude en jonge — waterkwaliteiten. Het systeem vraagt een nauwgezet en zorgvuldig exploitatiesysteem doch kan beter in de hand gehouden worden dan bij open buffering, doordat hier kortsluitstromen een goede egalisatie nadelig kunnen beïnvloeden. Ten aanzien van het afvlakken van temperatuurschommelingen is een infiltratiesysteem sterk in het voordeel. Afhankelijk van de omvang van het

infiltratiesysteem kan de jaarlijkse variatie tot minder dan de helft worden teruggebracht. In spaarbekkenen is van enige afvlakking (nog) geen sprake.

Flexibiliteit

Hoewel het gedrag van een spaarbekken op de lange duur bij voeding met onbehandeld rivierwater niet met zekerheid kan worden voorspeld, lijkt het waarschijnlijk, dat nimmer de eisen die voor te infiltreren water in acht moeten worden genomen, ook voor spaarbekkenen zullen gelden. Zo zal het slibgehalte in het ruwe water bij spaarbekkenen nooit tot grote problemen leiden.

Ook luistert de hoeveelheid organische stof alsmede ammoniak en ammoniumverbindingen in relatie tot de opgeloste hoeveelheid zuurstof aanmerkelijk minder nauw dan bij te infiltreren water, omdat aanvoer van zuurstof tijdens het verblijf in spaarbekkenen op natuurlijke wijze wordt verkregen.

In hoeverre een meer of minder intensieve voorbehandeling voor de voeding van spaarbekkenen wordt vereist met betrekking tot het voorkomen van massale planktongroei valt thans niet met zekerheid te voorspellen. Verschillende onderzoekers wijzen op bestrijdingsmethoden die een intensieve voorbehandeling niet nodig maken [4]. Te infiltreren water moet van slib zijn ontdaan. Voorts dient het water niet meer organische stof, ammoniak en ammoniumverbindingen te bevatten dan door middel van de beschikbare hoeveelheid vrije en gebonden zuurstof kan worden afgebroken. Voorbehandeling voor het Nederlandse oppervlaktewater is een vereiste.

Kwetsbaarheid

Beide systemen ontlenen kwaliteitsverbetering grotendeels aan biologische processen. Dit houdt in dat beide systemen gevoelig zijn voor gifstoffen, hetzij binnengekomen met het ingenomen water, hetzij rechtstreeks in het systeem gebracht.

Indien de vergiftiging van zodanige aard is, dat de stof niet of slechts op de lange duur verdwijnt, kan een spaarbekken na verversing of zonnig na vervanging van de gehele inhoud toch reeds na betrekkelijk korte tijd weer in dienst worden genomen. Verversing van een infiltratiegebied, indien mogelijk, is zeer tijdrovend. Een ernstige verontreiniging kan in het uiterste geval leiden tot verlaten van het terrein.

In Nederland kan winning van oppervlaktewater in zijn meest eenvoudige vorm, d.w.z. slechts met een enkel kunstwerk, niet meer worden toegepast.

Om veiligheidsredenen dient achter het kunstwerk tenminste een kleine voorraad te worden aangelegd. Vergroting van deze voorraad geeft de mogelijkheid een beter en gelijkmatiger grondstof te verkrijgen.

Spaarbekkenen blijken in staat een breder kwaliteits-spectrum te kunnen verwerken dan infiltratiesystemen en passen derhalve beter bij het oppervlaktewaterbedrijf.

Een belangrijk voordeel van infiltratie boven open buffering is, dat afhankelijk van de verblijftijd in het infiltratiegebied, temperatuursegalisatie kan worden verkregen.

Een uitstekende, doch helaas kostbare, oplossing zou worden verkregen indien beide systemen in een bedrijf werden gecombineerd.

Transport

In ons land moet oppervlaktewater meestal gewonnen worden op grote afstand van de verbruikscentra. Watertransport over grote afstand is derhalve geboden.

Afgezien van bijzondere omstandigheden kan worden gekozen tussen het transporteren van ruw water en derhalve het bereiden van drinkwater ter plaatse van het voorzieningsgebied en het transporteren van drinkwater, d.w.z. het concentreren van win- en zuiveringsgedeelte in de onmiddellijke omgeving van de prise d'eau. Voor beide systemen is reserve in het transportsysteem geboden, teneinde storingen in het transportbedrijf of leidingbreuk te kunnen opvangen.

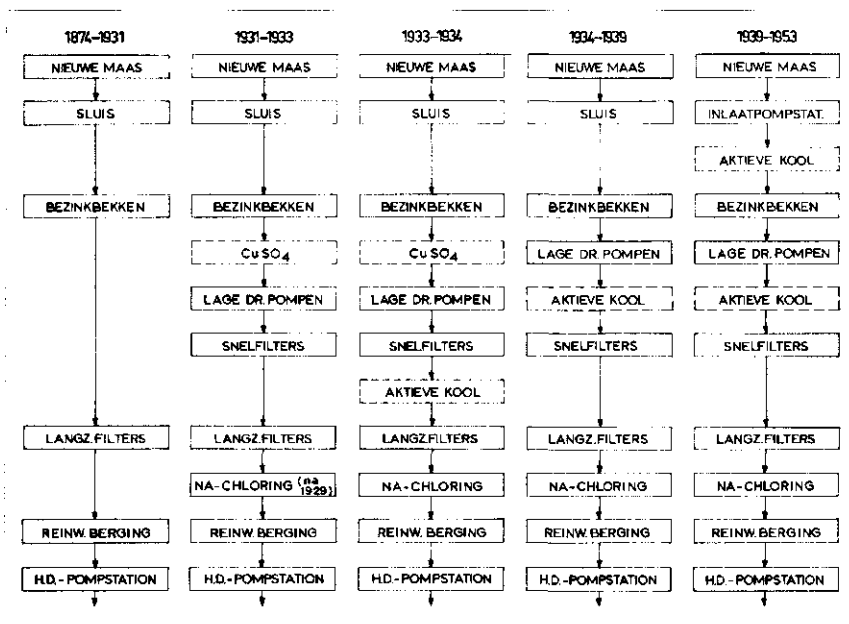
De reserve kan worden gevonden in:

- Het aanleggen van een buffervoorraad in het voorzieningsgebied.
- Vermeerdering van het aantal transportleidingen.

Het aanleggen van een buffervoorraad is alleen mogelijk voor ruw water. Buffering van drinkwater is onaanvaardbaar omdat een langdurige opslag van drinkwater de kwaliteit terug doet lopen.

Het vraagstuk is in hoofdzaak van economische aard en wordt op de volgende wijze benaderd:

De grootte van de aan te leggen reservevoorraad met toebehoren volgt, bij een bepaalde bedrijfsgrootte, uit de lengte van de periode, benodigd voor het opheffen van de storing en vraagt,



Afb. 1 - Bedrijfschema DWL Rotterdam in de periode 1874-1953.

afgestemd op een bepaalde bedrijfs-grootte, een vast bedrag.

De kosten, verbonden aan het scheppen van reserve in het transportleidingensysteem, kan eveneens worden berekend. Naarmate het aantal leidingen toeneemt, kan de reserve capaciteit procentueel worden verlaagd. Rekening houdend met het voor verschillende oplossingen benodigde energieverbruik kan het economisch optimum worden bepaald. De kosten, verbonden aan het scheppen van reserve in het leidingnet, blijken tenslotte uitsluitend af te hangen van de transportafstand. Dit houdt in, dat bij een bepaalde afstand, de kosten verbonden aan de aanleg van een reservevoorraad gelijk zijn aan de kosten verbonden aan het leggen van een reserveleiding. Bij transport over een grotere afstand is aanleg van een reservevoorraad in het voorzieningsgebied minder kostbaar en dient derhalve de drinkwaterbereiding in het voorzieningsgebied plaats te vinden. Bij transport over een kleinere afstand biedt combinatie van winning en zuivering nabij het onttrekkingspunt de meest economische oplossing.

Ten behoeve van het transport moet ruwwater worden geconditioneerd. Slib, organische stoffen, ammoniak en ammoniumverbindingen moeten grotendeels worden verwijderd met het oog op een onaanvaardbare zuurstofconsumptie in het leidingensysteem. Voorts moet het water worden gedesinfecteerd ter voorkoming van groei in de leidingen.

Een gebruikelijke en doelmatige voor-

behandeling bestaat uit transport-chloring en snelfiltratie.

Bij voorschakeling van een spaarbekken kan worden overwogen in plaats van snelfilters te volstaan met microzeven. Het verdient geen aanbeveling te volstaan met uitsluitend een transportchloring.

Ervaringen met de ruwwater-transportleiding tussen de Berenplaat en het produktiebedrijf Honingerdijk — leidinglengte ruim 15 km — hebben uitgewezen dat in een periode van ca. 2½ jaar het pompdebiet ca. 10% terugliep.

Zuivering

Ten aanzien van de zuivering zal ik mij beperken tot het typische oppervlaktewaterbedrijf. Het infiltratiebedrijf, dat wat de zuivering betreft alle kenmerken van een grondwaterbedrijf bevat, blijft verder nagenoeg buiten beschouwing.

Uit de veelheid van bewerkingscombinaties — de zuiveringssystemen — heb ik opnieuw een keuze moeten doen en mij beperkt tot de systemen die door de Drinkwaterleiding van Rotterdam in de afgelopen eeuw zijn toegepast en in de toekomst zullen worden gebruikt.

De systemen geven een opbouw die de toenemende verontreiniging van het oppervlaktewater volgt. Het verbazingwekkende is dat vrijwel elk in het verleden toegepast systeem ook vandaag nog bruikbaar is in uiteraard passende omstandigheden.

De stichting van de centrale drinkwatervoorziening van Rotterdam dateert van 1874. Tot die tijd werd water

geput uit stadsgrachten en singels. De vervuiling van dit water, vooral met faecale verontreiniging was oorzaak van vele ziekten. Vooral cholera-epidemieën hebben de stad destijds zwaar geteisterd. Het hygiënisch aspect heeft, zoals in vele andere steden, de grondslag gevormd voor het ontstaan van het waterleidingbedrijf. Het bedrijf geniet tot op de huidige dag — meer dan welk ander waterleidingbedrijf — de eer sterk in de publieke belangstelling te staan. De belangstelling gold niet zo zeer de keuze van de zuiveringssystemen, dan wel het tijdstip waarop zij werden ingevoerd.

Het water werd in 1874 onttrokken aan de Nieuwe Maas bovenstrooms van de stad.

Het water werd omstreeks hoog-water ingenomen, zodat met een eenvoudige inlaatsluis kon worden volstaan. Het ingenomen water verbleef enige tijd in een bezinkbekken en werd vervolgens over enkele, later vele, biologische filters geleid. Het oppervlaktewater was van een zodanig goede kwaliteit, dat tot in de twintiger jaren met dit eenvoudige systeem kon worden volstaan. Het eindproduct bleek hygiënisch betrouwbaar en het zuurstofverbruik in het filter zo laag dat geen onaanvaardbaar lage waarde ontstond.

Het gegeven systeem (afb. 1) geeft de meest oorspronkelijke vorm van biologische zuivering.

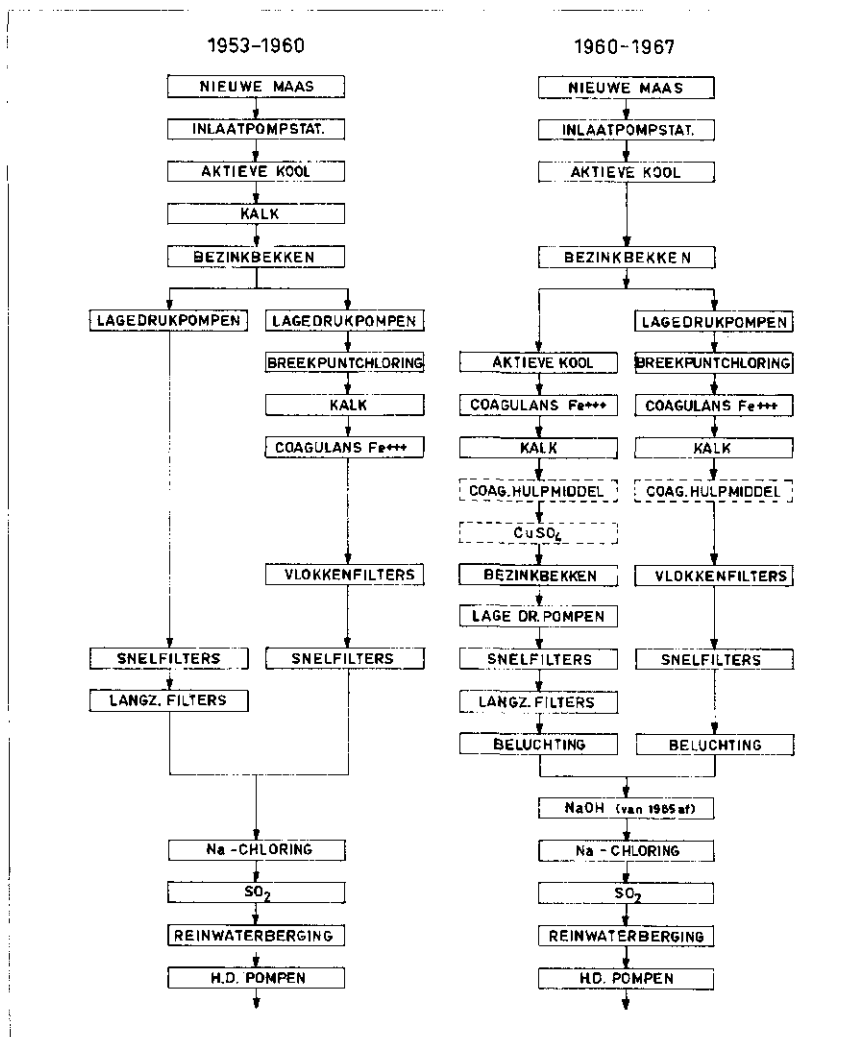
Het systeem dat uitmunt door eenvoud kan ook thans nog met succes worden toegepast mits:

- de ruwwaterkwaliteit weinig verontreinigd is en geen grote kwaliteitsvariaties vertoont en
- het klimaat zich leent; een en ander houdt verband met het snel teruglopen van biologische processen bij temperatuursdaling.

Een nadeel van het systeem, naast de grote gevoeligheid voor ruwwaterkwaliteit en klimaat, is, dat grote terreinoppervlakken benodigd zijn. De filtratiesnelheid behoort in de orde van 10 tot maximaal 15 cm/uur te bedragen.

In de twintiger jaren ontstonden in het bedrijf verschillende moeilijkheden.

In de eerste plaats moeilijkheden in de bedrijfsvoering door het optreden van massale groei van diatomeeën, die de looptijd van de filters sterk bekortten. Problemen voorts met betrekking tot de kwaliteit van het drinkwater, zowel wat smaak als de hygiënische betrouwbaarheid betrof. In feite dus proble-



Afb. 2 - Bedrijfschema DWL Rotterdam in de periode 1953-1967.

men, terug te voeren tot de verslechtering van de grondstof.

De sterke diatomeeëngroei werd bestreden met kopersulfaat. De tweede methode ter vermindering of voorkoming van diatomeeëngroei is gebaseerd op het verminderen of wegnemen van voor de groei benodigd licht en bestaat uit het overkappen van de filters. Uiteraard een kostbare methode. De hygiënische betrouwbaarheid van het eindproduct werd vanaf 1929 gewaarborgd door middel van nachloring.

Vanaf 1924 werden proefnemingen uitgevoerd met snelfilters ter ontlastening van de langzame zandfilters. Deze voorfiltratie werd in het laatst van 1931 in gebruik gesteld en boekte het gewenste resultaat. Het aantal schuimingen liep terug van 424 in 1931 tot 186 in 1932. Intussen bleef de smaak van het water verslechteren, zodat in 1933 begonnen werd met een incidentele dosering van actieve kool. De poederkool werd aanvankelijk voor de langzame filters gedoseerd.

Het gevolg hiervan was dat de langzame filters snel verstopt raakten en het aantal schuimingen drastisch toenam. Reeds in het volgend jaar werd de poederkooldosering naar voren gehaald en gedoseerd voor de snelfilters. In 1939 werd de inlaatsluis vervangen door een inlaatspompstation. Het vergroten en verdiepen van de havens veroorzaakte een verdere opdringing van met stadsvuil belast water in stroomopwaartse richting, in de vloedperiode, zodat omstreeks hoog water geen wateronttrekking meer kon plaatsvinden. Ook zeeinvloed begon tijdens hoge waterstanden merkbaar te worden.

Het effect van actieve kool op de smaak werd verbeterd door ook voor het bezinkbekken actieve kool te doseren, zodat een langere contacttijd werd verkregen.

Vanaf 1935 (afb. 2) wordt permanent poederkool toegevoegd, terwijl voorts ter correctie van de pH kalk, aanvankelijk in de vorm van poederkalk wordt gedoseerd.

Van grote betekenis in dit jaar is het in dienst nemen van het chemisch bedrijfsgedeelte, gebaseerd op desinfectie en oxydatie door middel van chloor.

De keuze van chloor boven ozon ligt voor de hand. Toepassing van ozon zou in verband met de sterk wisselende ruwwaterkwaliteit een gemiddeld sterk onderbelaste en derhalve dure installatie geven, terwijl voorts ammoniak niet zou worden verwijderd, zodat hierin op andere wijze zou moeten worden voorzien of een intense nagroei in het transport- en distributiesysteem zou moeten worden gevreesd.

Coagulatie wordt verkregen door toevoeging van ijzerzouten (gechloord ijzersulfaat).

De keuze van ijzer boven aluminium ligt voor de hand, omdat optimale coagulatie met ijzer in een gunstiger pH-gebied ligt (Coagulatie met ijzer is optimaal voor pH = ca. 8 en voor aluminium voor pH = 6,5 — 7) terwijl voorts het pH-gebied, waarin coagulatie met ijzer bevredigend verloopt, veel breder is. Flocculatie en sedimentatie worden gecombineerd in vlokkenfilters (precipitators). Het effluent wordt vervolgens geleid over snelfilters.

Het biologisch bedrijf ondergaat geen verandering, profiteert alleen door een geringer belasting. Het biologisch en chemisch filtraat worden tenslotte weer samengevoegd en nabehandeld met chloor. De tenslotte nog aanwezige hoeveelheid restchloor wordt met SO₂ tot ca. 0,3 mg/l teruggebracht.

Al onmiddellijk bij de eerste periode met een slechte ruwwaterkwaliteit blijkt, dat het chemisch bedrijf veel beter voldoet dan het biologisch. Met name ten aanzien van smaakverwijdering is dit systeem duidelijk in het voordeel. In dit opzicht speelt ongetwijfeld de passage van het water door de vlokkenkaken, waarin zich veel poederkool verzamelt, een rol van betekenis. Contact met poederkool in dit „filter” komt veel beter tot zijn recht dan in de doorgaans gebrekkige menginstallaties.

Een nadeel van de chemische zuivering is het verhogen van de hardheid door toevoeging van kalk, nodig ter correctie van de pH, die, afhankelijk van de toegevoegde dosis chloor en gechloord ijzersulfaat, meer of minder wordt verlaagd.

In 1960 wordt het biologisch te filteren water verder verbeterd, door ook voor dit water coagulatie toe te

passen. De gevormde vlok wordt in dit geval verwijderd met behulp van traditionele bezinkbekkens. Het coagulatieproces, dat in de winter minder goed verloopt, wordt verbeterd door toevoeging van een coagulatiehulpmiddel in deze periode.

Ook wordt, zij het incidenteel, opnieuw kopersulfaat gedoseerd.

Vermelding verdient voorts de dosering van natronloog teneinde een zodanige pH te garanderen, dat geen leidingcorrosie optreedt.

In 1966 wordt het tweede Rotterdamse productiebedrijf op de Berenplaat in gebruik genomen. Het zuiveringsgedeelte is overeenkomstig het bedrijf aan de Honingerdijk opgezet. Kenmerkend voor dit zuiveringsbedrijf is de doelmatiger indeling en inrichting en de grote mate van automatisering. Met name de menginrichtingen betekenen een duidelijke verbetering.

Het spaarbekken ter plaatse is bedoeld voor het overbruggen van slechts korte perioden, waarin de rivier een onaanvaardbare waterkwaliteit voert (Kalamiteitsbekken). Selectie en egalisatie kunnen ternauwernood worden gerealiseerd. Het zelfreinigend effect is goed.

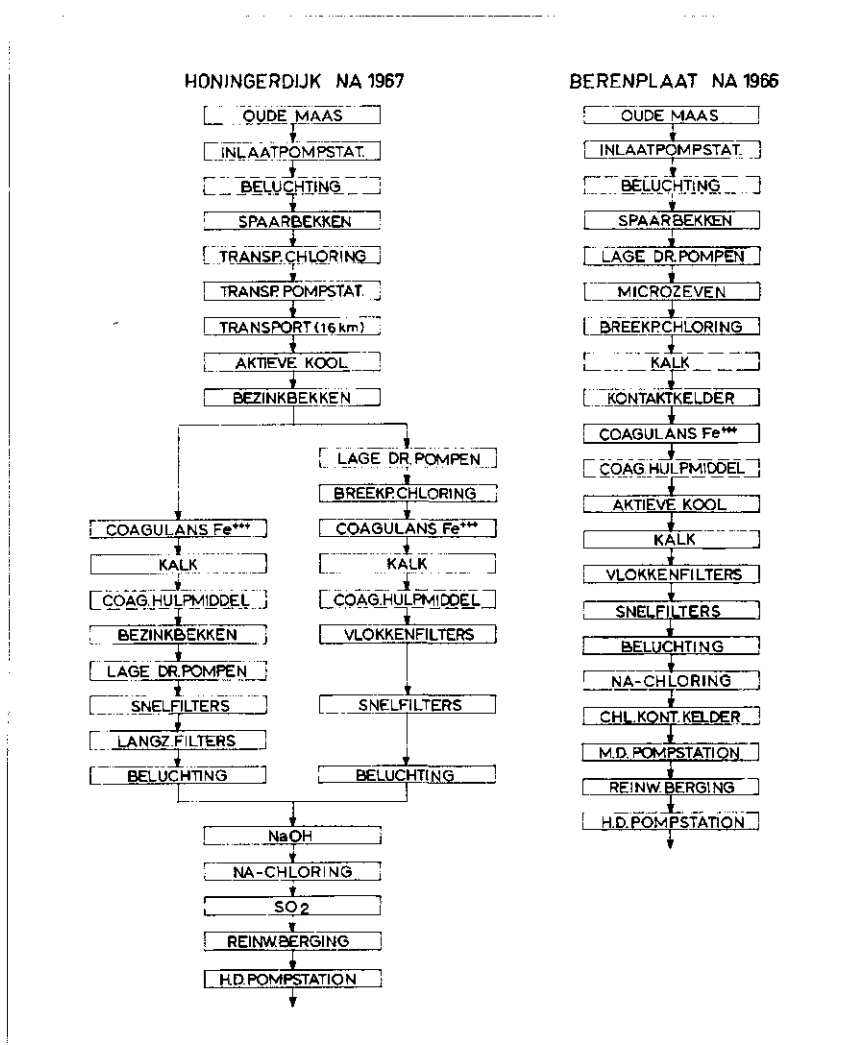
Sinds 1967 wordt ook het bedrijf aan de Honingerdijk gevoed met water uit het spaarbekken op de Berenplaat (afb. 3).

Ter vergelijking met de klassieke oppervlaktewaterbedrijven te Rotterdam zijn de bedrijfsschema's van twee filtratiebedrijven gegeven (afb. 4).

De bedrijfsresultaten, uitgedrukt in enkele karakteristieke grootheden, zijn in de volgende tabel verzameld.

Uit de tabel blijkt, dat de grootste spreiding in de kwaliteit optreedt bij de oppervlaktewaterbedrijven. Het huidige klassieke systeem blijft, zeker wat dit aspect betreft, achter bij de grondwater- en semigrondwaterbedrijven.

Het ontbreken van een gedetailleerder analyse van de watersoorten, met ge-



Afb. 3 - Bedrijfsschema's DWL Rotterdam na 1966 resp. 1967.

gevens inzake troebelheid, smaak, reuk, albuminoid stikstof e.d. maakt een verdergaande vergelijking speculatief.

Bepalen wij ons tot de beschouwde zuiveringssystemen voor oppervlaktewater, dan moet worden geconcludeerd dat, bij het huidige verontreinigingsniveau van de Rijn, de klassieke methoden voor de bereiding van drinkwater te kort schieten.

Smaak

Zo is de smaakverwijdering met actie-

ve kool, gedoseerd in de vorm van poederkool, onvoldoende. Smaakverwijdering met behulp van actieve kool is gebaseerd op het grote adsorberend vermogen van actieve kool. Uit gegevens van de Rotterdamse bedrijven blijkt, dat de smaakverwijdering in het biologisch bedrijf (verre) ten achter blijft bij die van het chemisch bedrijf. Afgezien nu van het verschil in de processen is een belangrijk verschil in de bedrijfsvoering de toepassing van twee sedimentatiesystemen.

Sedimentatie in de chemische bedrij-

Overzicht drinkwaterkwaliteit oppervlaktewaterzuiveringsbedrijven in 1968.

	Maximum				Gemiddeld				Minimum			
	Den Haag	A'dam	B'plaat	Hon.dijk biol.	Den Haag	A'dam	B'plaat	Hon.dijk biol.	Den Haag	A'dam	B'plaat	Hon.dijk biol.
NH ₄ ⁺ mg/l	0,15	0	0,15	0,43	0,08	0	0,03	0,03	< 0,03	0	0,01	0,0
O ₂ vrij mg/l	9,0	10,7	14,4		8,0	7,6	11,6		6,7	4,1	8,7	
KMnO ₄ mg/l	14	9	14	14	9	8	9	7	6	7	7	5
Kleur pt-schaal	11	13	10	19	9	9	5	10	6	7	1	6
Fe mg/l	0,14	0,05	0,39	0,17	0,05	< 0,05	0,03	0,03	< 0,03	< 0,05	0,01	0,0
Mn mg/l	< 0,03	< 0,05	0,03	0,03	< 0,03	< 0,05	0,01	0,01	< 0,03	0	0,01	0,0
Temp. °C	18,0	19	22,5	22	12,5	13	12,5	12	7,0	6	1,0	2

ven vindt plaats in de vlokkenfilters. Op een bepaalde hoogte in de filters vormt zich een vlokkendeke, die periodiek zijdelings wordt afgetapt. Alle water wordt gedwongen deze vlokkendeke, waarin zich een grote hoeveelheid poederkool heeft verzameld, te passeren. Het contact van het water met de actieve kool, anders gezegd de botsingsfrequentie van smaakstoffen bevattende waterdeeltjes en poederkool is in de deken redelijk groot. De verwijdering van deze stoffen nu is recht evenredig met de botsingsfrequentie. Het laat zich aanzien, dat smaakverwijdering zich in de vlokkendeke concentreert.

Sedimentatie in het biologisch bedrijfsdeel, zoals dit het geval is in vele andere bedrijven, vindt plaats op de traditionele wijze door middel van bezinkbekkens. De poederkool wordt voor de bekkens gedoseerd, min of meer intensief gemengd met het water om vervolgens in het bezinkbekken neer te slaan.

Het behoeft nauwelijks betoog, dat van innig contact of een hoge botsingsfrequentie bij de toch altijd geringe poederkoolconcentratie, zelfs bij een hoge snelheidsgradiënt, in relatie tot het contact in een vlokkendeke, maar zeker in relatie tot een actieve koolfilter, slechts weinig terecht komt. Van de verblijftijd in het bezinkbekken valt door het ontbreken van een hoog turbulentiëniveau evenmin veel te verwachten. De vraag is gerechtvaardigd of bij de verwijdering van smaakstoffen met behulp van een poederkooldosering de keuze van het sedimentatiesysteem niet vast ligt.

Het behoeft geen betoog dat het innigste contact wordt verkregen in een actief koolfilter. Het belangrijkste bezwaar verbonden aan het actief koolfilter is het verschijnsel van nagroei en derhalve een sterke verhoging van het kiemgetal. In hoeverre dit bezwaar kan worden ondervangen bv. door middel van periodiek spoelen met een onderbed bestaande uit zand met gechloord water, zal proefondervindelijk moeten worden vastgesteld.

Ozon

In oppervlaktewaterbedrijven, waar van oudsher desinfectie werd bereikt met chloor is ozon steeds een enigszins geladen woord geweest. Zo wordt bv. in Amerika vrijwel nergens ozon toegepast.

Door het onvermogen van ozon om ammoniak te oxyderen zal het breekpuntchloring ook niet kunnen vervangen.

Dit neemt niet weg dat ozon, door zijn vermogen tot verdere afbraak dan waartoe chloor in staat is en het vermogen andere stoffen te oxyderen, als supplementaire behandeling zeker in aanmerking komt. Met name het heilzame effect van ozon op het verlagen van kleur (en smaak) is bekend. Door de beperkte mogelijkheid ozon in voorraad te hebben is de meest aangewezen plaats voor dosering het punt waar het water het meest gelijkmatig van kwaliteit is. Men verkrijgt dan immers de hoogste belastinggraad van de installatie.

Het ligt derhalve voor de hand de nachloring te vervangen door ozonisatie. Het resultaat hiervan is dat allerlei afbraakprodukten worden gevormd die als voedingsbodem in het leidingnet nagroei kunnen veroorzaken. Het naar voren halen van de ozonbehandeling voor de actief koolfilters bevordert nagroei in het filter.

De beste plaats voor ozondosering lijkt derhalve het punt tussen de sedimentatie en de snelfiltratie.

Uit de laatste resultaten van een proeffabriek in Rotterdam blijkt, dat op deze wijze goede resultaten worden verkregen. Ozonisatie wordt in het proefsysteem gevolgd door een tweede ijzerdosering.

Op grond van troebelheidsmetingen van het filtraat blijkt, dat t.g.v. ozonisatie deze secundaire coagulatie belangrijk meer effect sorteert.

Optimalisering

Naast een juiste keuze van het bedrijfsschema is van groot belang dat het bedrijf harmonisch wordt ingericht. Slechts een harmonische opzet maakt een optimale bedrijfsvoering mogelijk.

Hoewel voor een optimale bedrijfsvoering niet noodzakelijk, zal doorgaans een optimale exploitatie van de bedrijfsdelen hiervan wel de basis vormen.

Optimalisering van het bedrijf houdt in dat bij vastgestelde kwaliteitsnormen de financieel/economisch gunstigste bedrijfsexploitatie kan worden gevoerd.

De persoonlijke vrijheid bij het vaststellen van de kwaliteitsnormen, uiteraard wel binnen door de wet gestelde grenzen, vormt hierbij een moeilijkheid en een gevaar.

Een gevaar in die zin dat maar al te gemakkelijk kan worden besloten tot aanvaarding van een „financieel-economisch haalbare” kwaliteit.

Optimalisering kan slechts worden verkregen door een zorgvuldige ana-

lyse van de bewerkingen en een grondige kennis van alle het proces beïnvloedende factoren. Theoretisch inzicht en proefondervindelijk onderzoek zijn hiervoor onontbeerlijk. Het tenslotte ontwikkelde bedrijf vraagt een investering, die vertaald kan worden in een jaarlijkse last, bestaande uit afschrijving en rente. Vermeerderd met de exploitatiekosten, voornamelijk bestaande uit energie, grondstofverbruik, onderhoud en loon, levert dit het jaarlijkse kostenpatroon van het bedrijf. Vaak zal een der samenstellende grootheden dominant zijn. Zo zal zowel voor het filtratieproces als voor het sedimentatieproces de invloed van de investeringen overheersen. Optimalisering houdt hier derhalve voornamelijk in: vergroting van de opbrengst per oppervlakte-eenheid. Voor de chemicaliëndosering en bijbehorende installaties ligt dit minder duidelijk zoals in het volgende zal worden aangetoond.

Chemicaliënverbruik

Verwijdering van stoffen met behulp van in het water gedoseerde chemicaliën wordt grotendeels beheerst door de botsingsintensiteit.

Voorbeelden: Het verwijderen van verontreinigingen m.b.v. ijzer-(aluminium) zouten, maar ook het verlagen van de smaak met behulp van poederkool aan het water toegevoegd.

De botsingsintensiteit, d.w.z. het aantal botsingen per tijdseenheid wordt gegeven door de formule van Smoluchowski, in de vorm zoals die door Camp en Stein [5] in de waterleidingwereld is geïntroduceerd:

$$N = 1/6 n_1 n_2 (d_1 + d_2)^3 \frac{dv}{dz} \quad (1)$$

waarin:

N = aantal botsingen

n_1, d_1 = aantal en deeltjes te verwijderen verontreiniging

n_2, d_2 = aantal en deeltjes gedoseerde deeltjes

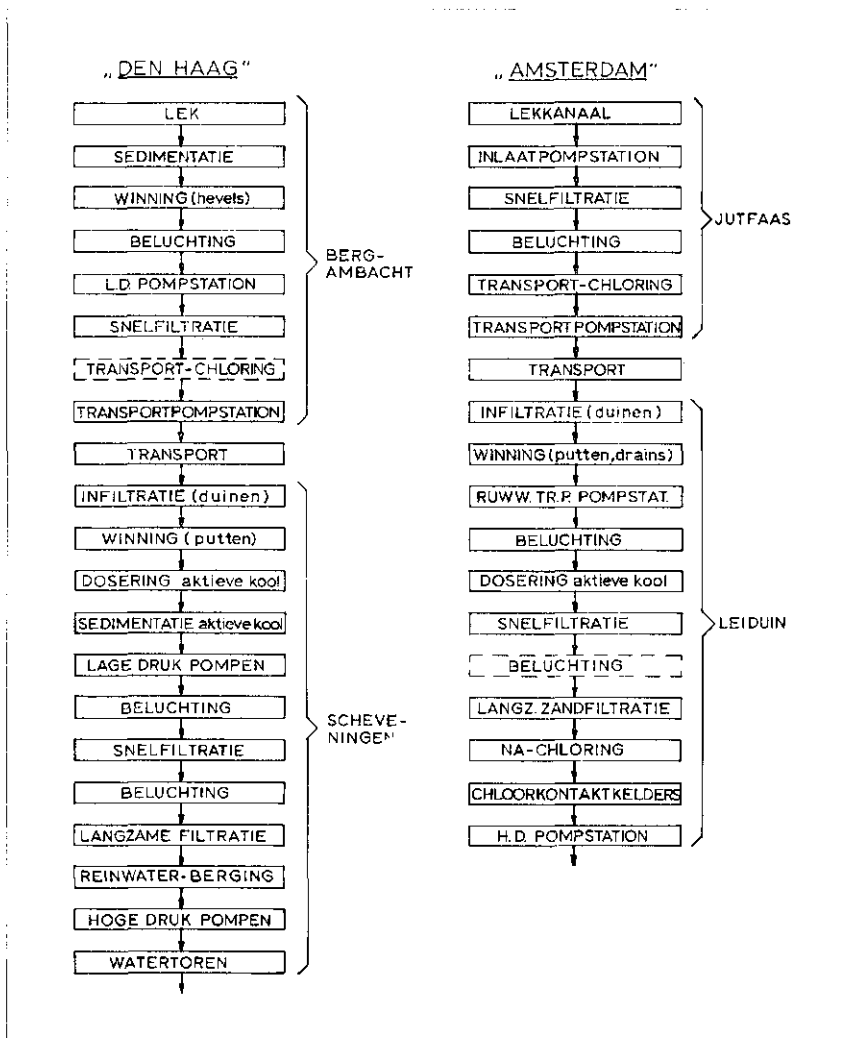
dv/dz = snelheidsgradiënt (G)

De botsingsintensiteit en derhalve de afname van het aantal deeltjes (verontreiniging) kan worden herleid [6] tot:

$$-\frac{dn_1}{dt} = x \cdot N \quad (2)$$

waarin x een rendementsfactor is, aangevend het aantal botsingen die tot verkleving leiden.

Bij een constant blijvend of constant verondersteld aantal gedoseerde deel-



Afb. 4 - Bedrijfschema's.

tjes (n_2) kan de differentiaalvergelijking worden geïntegreerd.

De oplossing is van de vorm:

$$n_{it} = \frac{n_{i0}}{e^{A \cdot n_2 \cdot G \cdot t}} \quad (3)$$

waarin:

n_{it} = het aantal deeltjes verontreiniging op het tijdstip t

n_{i0} = het aantal deeltjes verontreiniging op het tijdstip 0

Het effect van chemicaliëndosering wordt dus beheerst door: de hoeveelheid gedoseerde stof (n_2), de mate van turbulentie (G) en de tijd (t). Naarmate deze drie factoren worden vergroot wordt het effect verbeterd. Optimalisering kan nu worden bereikt door deze grootheden te variëren.

Vergroting van de verblijftijd (t) betekent vergroting van het mengvolume en leidt al gauw tot hoge bouwkosten. Vergroting van de hoeveelheid gedoseerde stof (n_2) leidt tot vergroting van de doseerinstallatie. De hieraan

verbonden hogere investering speelt t.o.v. de kosten verbonden aan het chemicaliënverbruik zelden een rol van betekenis.

De kosten verbonden aan het chemicaliënverbruik hangen uiteraard af van de prijs van de gedoseerde stof. Deze is in feite alleen voor poederkool van groot belang.

Vergroting van de snelheidsgradiënt

$\frac{dv}{dz}$ ($G = \frac{dv}{dz}$) leidt tot vergroting van het

mengwerktuig. Vergroting derhalve van het energieverbruik en het geïnstalleerd vermogen, waarbij geldt dat een lineaire vergroting van G een kwadratische vergroting van het geïnstalleerd vermogen en het energieverbruik vraagt.

Interessant en ook van groot belang voor optimalisering is tenslotte het karakter van de vergelijking (3). Het exponentiële verband vraagt immers een gelijke verblijftijd van de deeltjes in de mengruimte [7]. De waterdeel-

tjes zouden dus in feite op hun plaats in de rij moeten blijven. Menging, uitgedrukt in de waarde van G , verstoort juist deze stromingswijze.

Het spreekt vanzelf dat menging moet prevaleren. De grootte hiervan dient in relatie tot de eerder genoemde factoren te worden bepaald. Door nu het mengvolume over meerdere in serie geschakelde eenheden te verdelen en per compartiment te voorzien van een menginstallatie kan ook bij een grote mate van turbulentie worden tegemoet gekomen aan de wens de verblijftijden van de deeltjes zo goed mogelijk met elkaar in overeenstemming te brengen. In de praktijk blijkt een verdeling in 4-6 compartimenten voldoende.

Sedimentatie

Het sedimentatieproces wordt beheerst door de getallen van Froude en Reynolds.

$$Fr = \frac{v_0^2}{g \cdot R} \quad Re = \frac{v_0 R}{\nu}$$

waarin:

v_0 = gemiddelde horizontale snelheid

R = hydraulische straal

ν = kinematische viscositeit.

Het sedimentatieproces verloopt gunstiger naarmate het getal van Froude groter en het getal van Reynolds kleiner is.

Een en ander wordt bereikt door verkleining van de hydraulische straal, gedefinieerd als de verhouding tussen het oppervlak van de natte doorsnede en de natte omtrek.

In Amerika (Microfloc, Corvallis) is een systeem ontwikkeld dat hieraan in hoge mate voldoet.

Men plaatst in de natte doorsnede een honingraat, bestaande uit tegen elkaar geplaatste buizen of vierkante kokers en dwingt het water hierdoorheen te stromen. De vergroting van de natte omtrek anders gezegd de verkleining van de hydraulische straal maakt in dit geval, waarin kokers $\varnothing 5$ cm onder een hoek van 60° met het horizontale vlak, in het sedimentatiebekken zijn gehangen, een overflowrate of opbrengst per m^2 mogelijk van ruim 10 m/uur.

Thans wordt een installatie gebouwd met een overflowrate van bijna 9 m/uur. Dit houdt in dat wordt volstaan met een kwart van het oppervlak dat benodigd zou zijn indien de traditionele inrichting zou zijn gekozen.



Een recente luchtopname van „De Berenplaat”, het waterwinwerk van de Drinkwaterleiding van de Gemeente Rotterdam.

Filtratie

Een eveneens spectaculaire vergroting van de opbrengst per oppervlakte-eenheid kan worden bereikt bij het filtratieproces door toepassing van dubbellaags filter.

In een proefinstallatie van de Rotterdamse waterleidingen is gebleken dat een filtratiesnelheid van 15 m/h kan worden gehaald met behoud van een zeer goede kwaliteit van het filtraat (troebelheid < 0,1 JTU) en een redelijke looptijd van het filter.

De toegepaste materialen bestonden uit anthraciet en zand. Voor het ontwerp van het filter, voorzover dit betreft:

- a. de keuze van de korrelsamenstelling van zand en anthraciet;
- b. de laagdikten van beide media;
- c. de wijze van voorbehandeling van het te filtreren water is het verrichten van proefondervindelijk onderzoek onontbeerlijk.

In het voorgaande is tot uiting gekomen dat in het actuele waterleidingbedrijf, geboren uit de noodzaak tot het vervaardigen en leveren van een hygiënisch betrouwbaar produkt, een

compromis wordt nagestreefd tussen enerzijds de kostprijs en anderzijds de esthetische kwaliteit, met als vanzelfsprekendheid de hygiënische betrouwbaarheid op de achtergrond.

Op meerdere plaatsen in de wereld zijn thans onderzoeken gaande teneinde een korrelatie vast te stellen tussen de aanwezigheid van diverse soorten verontreiniging in lucht, voeding en water en het optreden van ziekten, hetzij acuut, hetzij zich pas in tweede of derde generatie openbarend.

Het onderzoek, in hoofdzaak (nog) van statistische aard, wordt bemoeilijkt door de gecompliceerdheid van de samenstelling van de bedoelde ver-

ontreiniging en de lage concentraties waarin zij voorkomen.

Het moet allerm minst uitgesloten worden geacht dat, zelfs indien de bestrijding van de oppervlaktewatervervuiling bij de bron ter hand wordt genomen, het compromis wordt doorbroken en het gezondheidsaspect, de oorsprong en reden van het bestaan van onze bedrijven, opnieuw normatief wordt.

Enerzijds kan dit leiden tot het meer eenvoudig toepassen van bewerkingen, maar evenzo tot het toepassen van een grotere diversiteit van bekende en mogelijk onbekende zuiveringsbewerkingen.

Literatuur

1. Leeftang, K. W. H. *Kwaliteitsverandering door infiltratie*, 17e Vakantiekursus (1965).
2. Rook, J. J. en Oskam, G. *Biologisch-chemische ervaringen met opslag van Rijnwater*, H₂O 11 (1969).
3. Nelisse, W. P. *Destratificatie met behulp van samengeperste lucht*, Intern rapport DWL - Rotterdam.
4. Ridley en Steel, Medewerkers MWB Londen: *Persoonlijke mededelingen*.
5. Camp, T. R. en Stein, P. C. *Velocity Gradients and Internal Work in Fluid Motion*, J. Boston Soc. Civ. Eng. 30:219 (1943).
6. Hudson jr., H. E. *Physical aspects of flocculation*, JAWWA - 7 - (1965).
7. Harris, H. S., Kaufman, W. J. en Krone, R. B. *Orthokinetic flocculation in water purification*, JAWWA - 6 (1966).