

Gesloten buffering

1. Inleiding

Bij de gesloten buffering is het uitgangspunt de aanwezigheid van een massief van korrelvormig materiaal waarbinnen een zekere hoeveelheid grondwater is geborgen. Deze hoeveelheid moet kunnen worden aangesproken en aangevuld, waarbij de aanvulling plaats vindt door het inbrengen van van elders aangevoerd oppervlaktewater. In de waterleidingtechniek staat deze werkwijze bekend als kunstmatige infiltratie.

Bij kunstmatige infiltratie wordt het te verwerken oppervlaktewater aan de rivier onttrokken, ter plaatse voorbehandeld, naar het infiltratieterein vervoerd en hier door middel van geulen, bekkens, drains of puttenreeksen in de watervoerende laag tot wegzijging gebracht. Het zo gevormde kunstmatige grondwater wordt weer onttrokken met behulp van open kanalen, gesloten drains of puttenreeksen en vaak nog aan een verdere zuivering onderworpen alvorens het naar het voorzieningsgebied wordt getransporteerd (afb. 1).

Bij het verblijf van het water in de open infiltratiegeulen en bekkens en vooral bij de stroming door de ondergrond treedt nu een aanzienlijke kwaliteitsverbetering op. De zuiverende werking van kunstmatige infiltratie hangt echter nog af van de wijze waarop deze is ingericht, in het bijzonder van de capaciteit van de infiltratie- en winningsmiddelen en hun onderlinge afstand.

Bij de kwaliteitsverbetering door kunstmatige infiltratie kunnen vier aspecten worden onderscheiden:

1. Vermindering van de aantallen bacteriën, virussen en andere pathogene organismen door zelfreiniging.
2. Vermindering van de organische verontreiniging, inclusief reuk- en smaakstoffen door oxydatieve afbraak en adsorptie.
3. Verandering van de gehalten aan ijzer, mangaan,

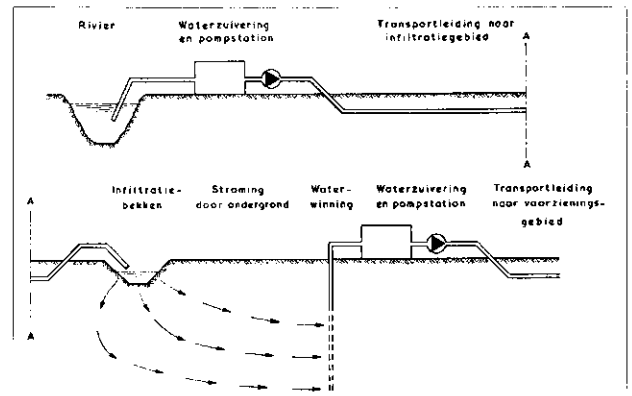
koolzuur, kalk- en magnesiumverbindingen (d.w.z. de hardheid van het water) door chemische reacties in de infiltratiebekkens en in de ondergrond.

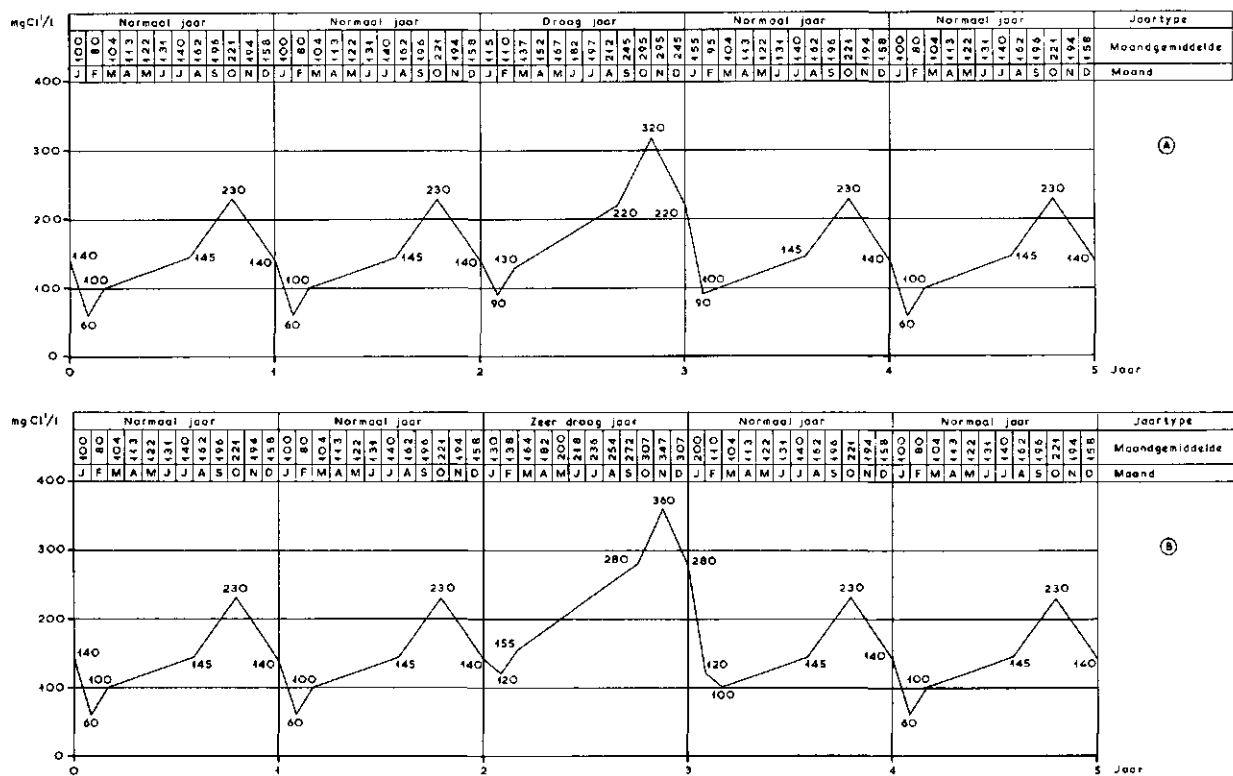
4. Afvlakking van de variaties in temperatuur en zoutgehalte door menging.

Alhoewel dit een simplificering betekent, kunnen toch grofweg twee soorten van kwaliteitsverbetering bij de kunstmatige infiltratie worden onderscheiden welke duidelijk om een andere benadering van de gewenste verblijftijd vragen. Namelijk de organische kwaliteitsverbetering en de anorganische kwaliteitsverbetering, waarbij onder de laatste de afvlakking van de variaties in zoutgehalte wordt verstaan.

Om een voldoende verbetering van de organische kwaliteit van het water te verkrijgen is, afhankelijk van de

Afb. 1 - Drinkwatervoorziening met behulp van kunstmatige infiltratie.





Afb. 2 - Verloop van het chloridegehalte van het Rijnwater te Lobith in een reeks van normale jaren onderbroken door een droog jaar (A), respectievelijk een zeer droog jaar (B).

kwiteit van het aangeboden rivierwater, een zekere minimumverblijftijd van het water in de bodem vereist, met daarbij, afhankelijk van debiet en terreingegevens, een zekere minimum terreinoppervlakte.

Hoe groot de minimale verblijftijd, welke iedere druppel water zal moeten hebben, in dit opzicht dient te zijn is een nog niet eenduidig bepaald vraagstuk. Op grond van zekere bedrijfservaringen wordt hier voor deze minimale constante verblijftijd T_1 onveranderlijk 1/2 maand aangenomen.

2. De afvlakking van de anorganische kwaliteit

Bij het begrip anorganische kwaliteitsverbetering werd reeds het zoutgehalte geïntroduceerd.

Voor de toekomstige drinkwatervoorziening van Nederland zal op grote schaal gebruik moeten worden gemaakt van het water, dat door de Rijn van buiten de landsgrenzen wordt aangevoerd. Onder alle omstandigheden is de afvoer van deze rivier voor dit doel toereikend, doch de kwaliteit van het rivierwater laat veel te wensen over.

Tallos zijn de afvalstoffen welke in het dichtbevolkte en sterk geïndustrialiseerde achterland op de Rijn worden geloosd, met een sterke verzouting en vervuiling van deze rivier tot gevolg.

De vervuiling met organische afvalstoffen heeft in het verleden ongetwijfeld de meeste moeilijkheden, waaronder reuk- en smaakbezwaren veroorzaakt, doch deze verontreiniging kan vergaand door oxydatie en adsorptie worden verwijderd. Dit is niet het geval met de anorganische zouten, welke na lozing onveranderd in het rivierwater blijven en evenmin door de gebruikelijke zuiveringsmethoden kunnen worden weggenomen. In feite is de verzouting dan ook ernstiger dan de vervuiling,

vooral ook omdat het chloride-ion hierbij zulk een belangrijke plaats inneemt.

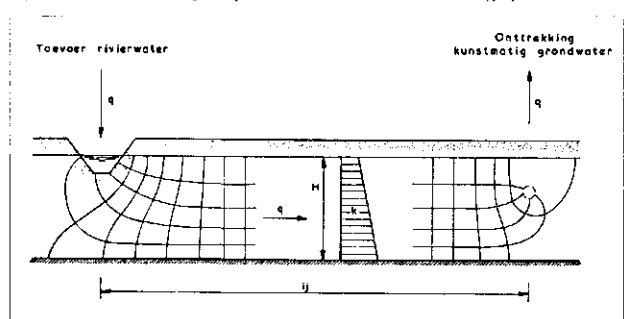
Dit chloride-ion kan daardoor zelfs als kenmerkend voor de verzoutingstoestand van de rivier als geheel worden beschouwd en dit is de reden dat in dit artikel verder alleen hieraan aandacht zal worden gegeven.

Met de onveranderlijkheid van de eenmaal geloosde chloride-ionen, kan het gehalte hiervan worden berekend als quotiënt van de chloridebelasting en de waterafvoer van de rivier.

De waterafvoer van de Rijn is uitvoerig bestudeerd, doch over de toekomstige chlorideafvoer van de Rijn staan onvoldoende gegevens ter beschikking. Enerzijds is in het verleden door toenemende industrialisatie een sterke stijging van deze chlorideafvoer opgetreden, terwijl thans ook een duidelijke correlatie met de waterafvoer aanwezig is.

Aan de andere kant echter worden door de Internationale Commissie voor bescherming van de Rijn tegen verontreiniging krachtige pogingen aangewend om tot een be-

Afb. 3 - Kunstmatige infiltratie met variabele verblijftijd.



perking van deze chloridebelasting te komen. Het is thans nog onmogelijk om te voorspellen welke uitwerking deze factoren zullen hebben en daarom zal — arbitrair — worden uitgegaan van de waarden welke als gemiddelde voor 1963 zijn gevonden, d.w.z. een natuurlijk chloridegehalte van 20 mg/l en een kunstmatige chlorideafvoer van 230 kg/sec. of een totaal gehalte gelijk

$$c = 20 + \frac{230.000}{Q_R} \text{ mg/l}$$

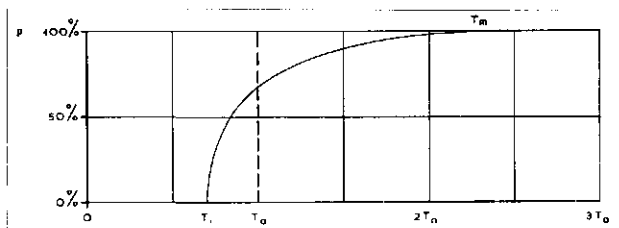
waarin Q_R de Rijnafvoer in $\text{m}^3/\text{sec.}$ bij Lobith voorstelt. Uitgaande van deze chloridebelasting is het verloop van het chloridegehalte van het Rijnwater in normale en droge jaren berekend en geschematiseerd op de wijze zoals aangegeven in afb. 2.

Er moet nog worden opgemerkt dat in dit verband onder een normaal, een droog en een zeer droog jaar wordt verstaan een jaar met een jaarafvoer met een kans van voorkomen van respectievelijk gemiddeld 50 %, 10 % en 2 %.

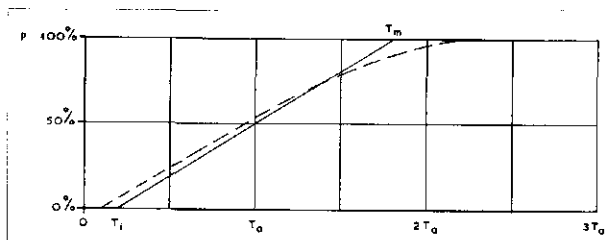
Ter verbetering nu van de anorganische kwaliteit van het rivierwater in een grondwaterreservoir moet een menging tot stand worden gebracht, die kan worden verkregen door een variatie in verblijftijden van het geïnfiltreerde water in de ondergrond.

Besproken zal worden op welke wijzen een doelmatige menging in een grondwaterreservoir kan worden verkregen waarbij een afvlakking van het chloridegehalte wordt nagestreefd.

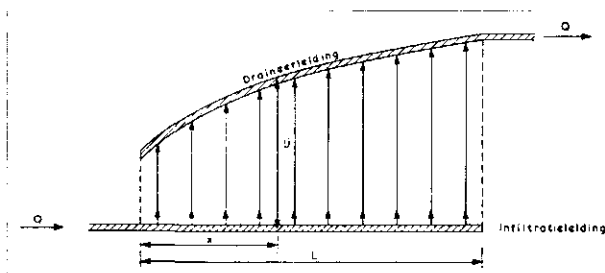
Afb. 4 - Cumulatieve verdeling van de verblijftijden voor het infiltratieschema van afb. 3.



Afb. 5 - Cumulatieve frequentieverdeling van de verblijftijden bij kunstmatige infiltratie en een variabele afstand tussen infiltratiegeul en draineerleiding.



Afb. 6 - Kunstmatige infiltratie met lineair gespreide verblijftijden.



3. Verblijftijden

In afb. 3 is een doorsnede weergegeven over een grondwaterreservoir, waarbij infiltratie plaats vindt door middel van een open kanaal en onttrekking door middel van een gesloten drain.

Duidelijk is de variatie in de lengte van de stroomlijnen zichtbaar en mede door een altijd optredende variabele doorlatendheidscoëfficiënt k zal een aanzienlijke spreiding in de verblijftijden optreden.

In afb. 4 is de cumulatieve verdeling van de verblijftijden voor dit geval weergegeven, waarbij T_i de minimum verblijftijd voorstelt, T_m de maximale verblijftijd en T_a de gemiddelde verblijftijd.

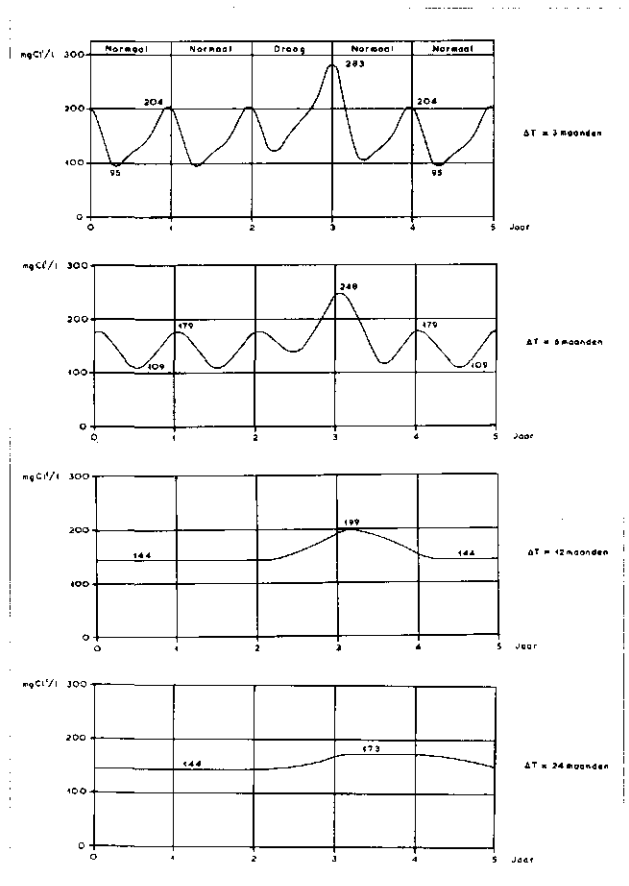
Naast de nu geschetste ongewilde wisseling in verblijftijden is het ook mogelijk een opzettelijke spreiding in deze verblijftijden aan te brengen door de afstand en/of het verval tussen infiltratiegeul en draineerleiding te variëren. Zo kan de in afb. 5 met een volgetrokken lijn aangegeven lineaire spreiding in verblijftijd worden verkregen.

Hiertoe moet de plattegrond van het infiltratiegebied worden gekozen als aangegeven in afb. 6.

Uiteraard zal om tot een juiste vormgeving te komen de geo-hydrologische gesteldheid van het infiltratiegebied bekend moeten zijn.

Het is beslist niet noodzakelijk dat de vorm van het infiltratieterrein precies zo wordt gekozen als is aangegeven in afb. 6. Het is ook denkbaar dat in plaats van een gebogen draineerleiding een aantal rechte draineerleidingen

Afb. 7 - Verloop van het chloridegehalte van het rivierwater te Lobith na infiltratie volgens afb. 6 met $T_i = 0,5$ maand en $T_m - T_i = \Delta T$ variabel. Opeenvolging van normale jaren onderbroken door een droog jaar.



evenwijdig aan de infiltratieleiding wordt gekozen waarmee de in afb. 6 geschetste vorm wordt benaderd. Voorts behoeft het infiltratieterrein niet aaneengesloten te zijn; een verdeling over meerdere terreinen is geenszins bezwaarlijk.

Het staat intussen nog niet vast dat lineaire spreiding van de verblijftijden als de meest gunstige moet worden aangemerkt voor de afvlakking van het zoutgehalte van te infiltreren oppervlaktewater. Hiertoe zal in het volgende een nader onderzoek worden ingesteld, waarbij eerst een paar begrippen nader mathematisch moeten worden vastgelegd.

Bij een lineaire spreiding van de verblijftijden geldt:

$$T = T_i + \frac{p}{100} \cdot (T_m - T_i)$$

waarin p het percentage water is met een verblijftijd T of korter. T_i is de eerder aangegeven minimum verblijftijd en T_m de maximum verblijftijd. Alleen het verschil $\Delta T = T_m - T_i$ bepaalt nu de afvlakkende werking op de wisseling in samenstelling van het te infiltreren rivierwater.

Voorts moet worden vermeld, dat voor een infiltratiecapaciteit Q m³/maand in een terrein met watervoerende dikte H en een bergingscoëfficiënt μ , een oppervlakte nodig is gelijk:

$$F = \frac{Q}{\mu \cdot H} \cdot T_a$$

waarin de gemiddelde verblijftijd T_a gelijk is aan

$$T_a = T_i + \frac{\Delta T}{2} = \frac{T_m + T_i}{2}$$

4. Infiltratie met constante capaciteit

Nagegaan zal worden wat de verandering van het chloridegehalte is bij infiltratie met constante capaciteit, d.w.z. toe- en afvoer van water naar het infiltratieterrein zijn gelijk en constant.

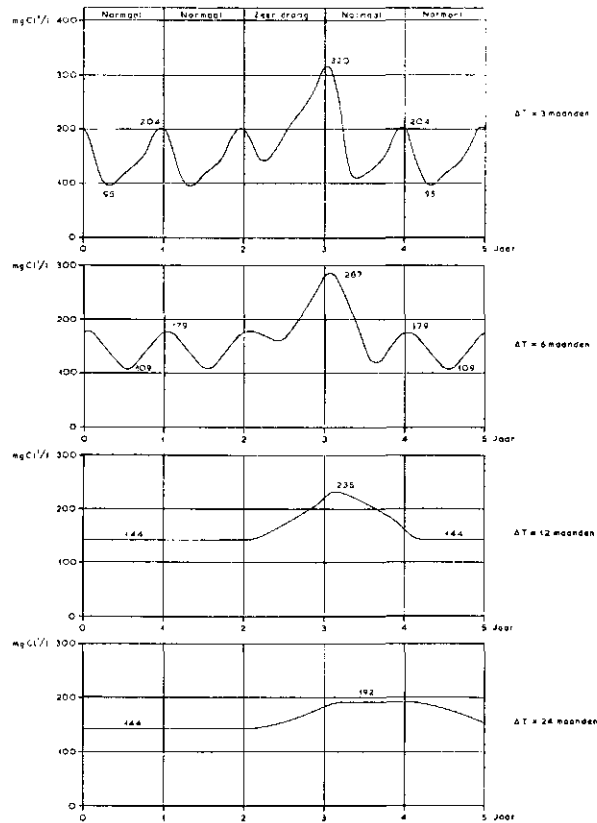
In afb. 2 is het verloop van het chloridegehalte van het Rijnwater getoond indien een reeks van normale jaren wordt onderbroken door een droog of zeer droog jaar. De maximale en de gemiddelde chloridegehalten voor deze jaartypen bedragen in mg/l:

	normaal jaar	droog jaar	zeer droog jaar
maximaal	230	320	360
gemiddeld	144	196	230

Hierbij kan het gemiddelde over een lange reeks van jaren gelijk worden gesteld aan het gemiddelde van het normale jaar ofwel 144 mg Cl⁻/l. Het streven zal er nu op gericht zijn zo constant mogelijk dit gemiddelde chloridegehalte aan de consument af te leveren en de laatstgenoemde waarde zal des te meer worden benaderd naarmate de spreiding in de verblijftijden groter is.

In afb. 7 zijn nu voor de opeenvolging van een aantal normale jaren onderbroken door een droog jaar de resultaten weergegeven indien het rivierwater een infiltratieterrein doorstroomt dat is ingericht volgens het principe der lineaire verblijftijden.

Het resultaat is weergegeven voor verschillende waarden van ΔT bij overigens een onveranderlijke waarde van

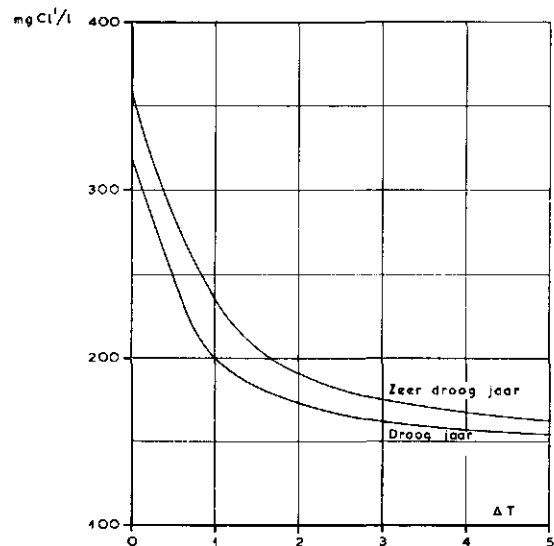


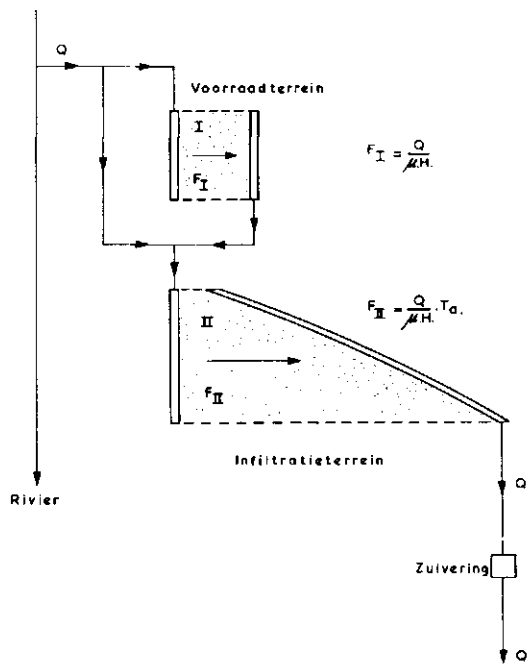
Afb. 8 - Verloop van het chloridegehalte van het rivierwater te Lobith na infiltratie volgens afb. 6 met $T_i = 0,5$ maand en $T_m - T_i = \Delta T$ variabel. Opeenvolging van normale jaren onderbroken door een zeer droog jaar.

T_i gelijk 1/2 maand. Het blijkt nu dat bij toenemende waarde van ΔT (3, 6, 12, 24 maanden) het maximale chloridegehalte in het droge jaar daalt van 320 mg/l tot respectievelijk 283, 248, 199 en 173 mg/l.

De berekening van dit systeem is zeer eenvoudig. Het geschiedt volgens het principe van het voortschrijdend

Afb. 9 - Maximum chloridegehalte van het rivierwater te Lobith in een droog en een zeer droog jaar, na infiltratie volgens afb. 6, als functie van $T_m - T_i = \Delta T$.





Afb. 10 - Serieschakeling van een voorraadterrein met een infiltratieterein.

gemiddelde. Bij $\Delta T = 12$ maanden kan het chloridegehalte van het in een bepaalde maand afgeleverde water worden bepaald door het gemiddelde chloridegehalte van het ingebrachte water over de voorafgaande 12 maanden te berekenen.

Het is belangrijk om na te gaan hoe groot het infiltratieterein zal moeten zijn bij $\Delta T = 12$ maanden en een resultaat van 199 mg/l.

$$T_a = T_i + \frac{\Delta T}{2} = 0,5 + \frac{12}{2} = 6,5 \text{ maand, zodat}$$

$$F = \frac{Q}{\mu \cdot H} \cdot 6,5$$

In afb. 8 is het resultaat weergegeven indien een serie normale jaren wordt onderbroken door een zeer droog jaar. Bij toenemende waarde van ΔT (3, 6, 12, 24 maanden) daalt het maximale chloridegehalte van het afgeleverde water van 360 mg/l tot respectievelijk 320, 287, 235 en 192 mg/l.

In afb. 9 is het resultaat van de hiervoor aangegeven berekeningen samengevat. Op de horizontale as is ΔT uitgezet in jaren en op de verticale as de bijbehorende waarde van het maximale chloridegehalte dat in de cyclus van het droge jaar en het zeer droge jaar bij zekere ΔT kan worden bereikt. Duidelijk blijkt dat vergroting van ΔT aanvankelijk een grote kwaliteitsafvlakking geeft terwijl de verbetering bij toenemende waarde van ΔT relatief steeds minder wordt.

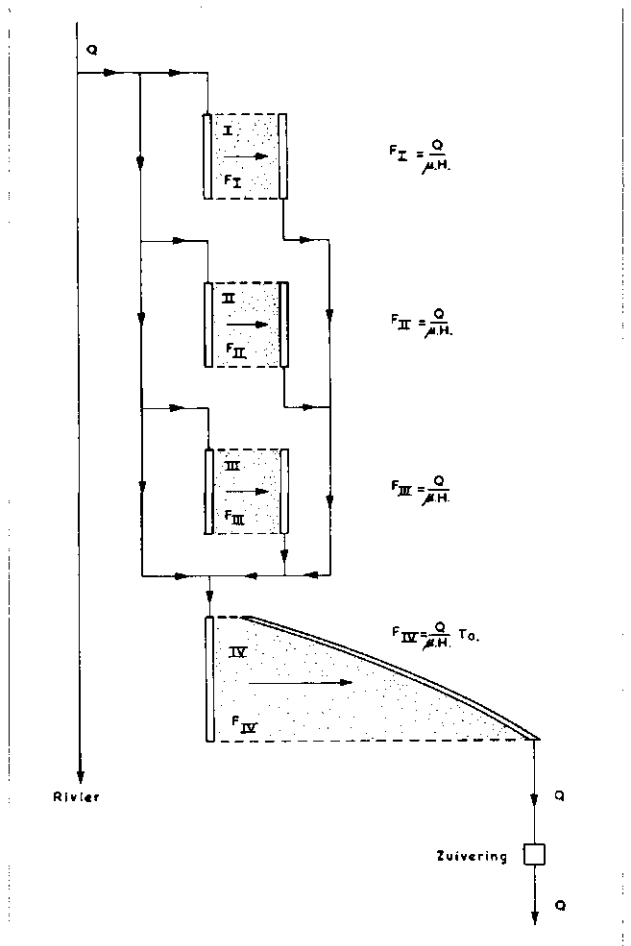
Het vermoeden rijst dat voor eenzelfde gemiddelde verblijftijd wellicht een beter resultaat wordt verkregen wanneer de verhouding tussen de maximale en de minimale verblijftijd groter is dan met lineaire verblijftijdsverdeling kan worden verwezenlijkt. Deze suggestie is voor verschillende verblijftijdsverdelingen onderzocht. Gebleken is dat een wezenlijke verbetering niet bereikbaar is.

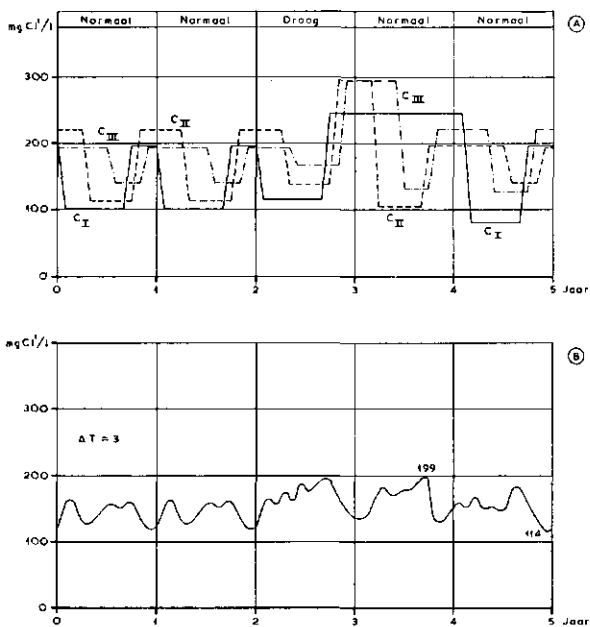
De lineaire verblijftijdsverdeling moet als de meest gunstige worden beschouwd.

5. Verandering van het chloridegehalte bij infiltratie met constante capaciteit en tijdelijke opslag van water

Uiteraard is het streven erop gericht om met een minimum aan terreinoppervlakte een zo gunstig mogelijk resultaat te bereiken. Hiertoe zal nu het geval worden behandeld waarbij de infiltratie met constante capaciteit wordt gecombineerd met de mogelijkheid van tijdelijke opslag van water. In het hiervoor besproken geval werd de menging van het rivierwater in een infiltratieterein bepaald door de grootte van het infiltratieterein en de verdeling van de verblijftijden. Indien beide zijn vastgesteld, kan bij infiltratie met constante capaciteit geen invloed meer op de menging worden uitgeoefend. Deze situatie kan worden verbeterd indien los van het infiltratieterein een voorraadterrein wordt geëxploiteerd waar in perioden van laag chloridegehalte van het rivierwater een voorraad wordt aangelegd, die in perioden van hoog chloridegehalte van het rivierwater in de infiltratieleiding van het infiltratieterein wordt gebracht. Tezelfdertijd wordt het rivierwater met hoog chloridegehalte naar het voorraadterrein gevoerd en daaruit weer afgevoerd naar het infiltratieterein in perioden van aanbod van water met laag chloridegehalte, enz. Hiermede wordt een infiltratie met constante capaciteit gehandhaafd en worden grondwaterstandsfluctuaties in het infiltratieterein vermeden. Aangezien het infiltratieterein zo wordt ingericht dat een minimale verblijftijd T_i van het water wordt gegarandeerd en al het aangevoerde water dit terrein passeert, behoeft bij de dimensionering van het voorraad-

Afb. 11 - Serieschakeling van drie voorraadterreinen met een infiltratieterein.





Afb. 12 - Te bereiken resultaten indien drie voorraadterreinen worden gecombineerd met één infiltratieterein ($\Delta T = 3$). Op-eenvolging van normale jaren onderbroken door een droog jaar.

A. Verloop van het chloridegehalte van het water in de voorraadterreinen I, II en III.

B. Verloop van het chloridegehalte van het water uit het infiltratieterein, $T_i = 0,5$ en $T_a = 2$ maanden.

terrein met een minimale verblijftijd geen rekening te worden gehouden. Het systeem van deze wijze van infiltratie is weergegeven in afb. 10.

Terrein I is het voorraadterrein waar naartoe of waaruit water kan worden gevoerd naar het infiltratieterein II. De oppervlakte van het voorraadterrein kan worden aangegeven met behulp van de formule:

$$F_I = \frac{Q}{\mu \cdot H} \cdot n$$

waarbij n het aantal maanden is waarvoor de voorraad is aangelegd en Q de aanvoer in m^3 /maand.

Het infiltratieterein heeft de eerder vermelde oppervlakte gelijk:

$$F_{II} = \frac{Q}{\mu \cdot H} \cdot T_a$$

In afb. 11 is de situatie aangegeven indien wordt beschikt over 3 voorraadterreinen en 1 infiltratieterein.

Indien nu deze 3 voorraadterreinen geschikt worden gemaakt voor een productie van 1 maand, dus $n = 1$, en het infiltratieterein wordt aangelegd met $T_i = 0,5$ maand en $\Delta T = 3$ maanden, dus $T_a = 2$ maanden, dan kan in de cyclus met het droge jaar een maximaal chloridegehalte van 199 mg/l in het afgeleverde water worden bereikt. Grafisch is dit resultaat weergegeven in afb. 12.

De totale oppervlakte kan nu worden berekend op:

$$F = F_I + F_{II} = \frac{Q}{\mu \cdot H} \cdot 3 + \frac{Q}{\mu \cdot H} \cdot 2 = \frac{Q}{\mu \cdot H} \cdot 5$$

Bij de methode zonder voorraadterreinen werd dit resul-

taat eerst bereikt bij een beschikbare terreinoppervlakte van

$$F = \frac{Q}{\mu \cdot H} \cdot 6,5$$

Ter illustratie van de grote mogelijkheden van het hier ontwikkelde systeem is in afb. 13 het resultaat van de bedrijfsvoering aangegeven indien wordt beschikt over 6 voorraadterreinen met een voorraad van 1 maand en één infiltratieterein met $T_i = 0,5$ maand en $\Delta T = 6$ maanden dus $T_a = 3,5$ maand.

Het maximale chloridegehalte in het afgeleverde water in de op-eenvolging van normale jaren onderbroken door een droog jaar bedraagt nu 165 mg/l, terwijl de schommelingen van het chloridegehalte beperkt zijn. Om dit resultaat te bereiken is een terreinoppervlakte nodig van in totaal

$$F = 9,5 \cdot \frac{Q}{\mu \cdot H}$$

Zonder voorraadterreinen zou dit resultaat eerst kunnen worden bereikt bij een infiltratieterein met een oppervlakte gelijk:

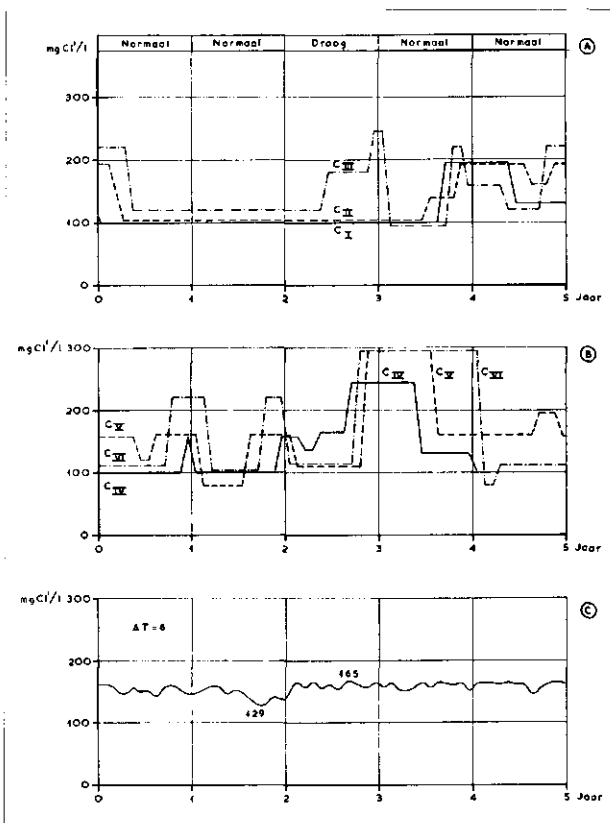
$$F = 17 \cdot \frac{Q}{\mu \cdot H}$$

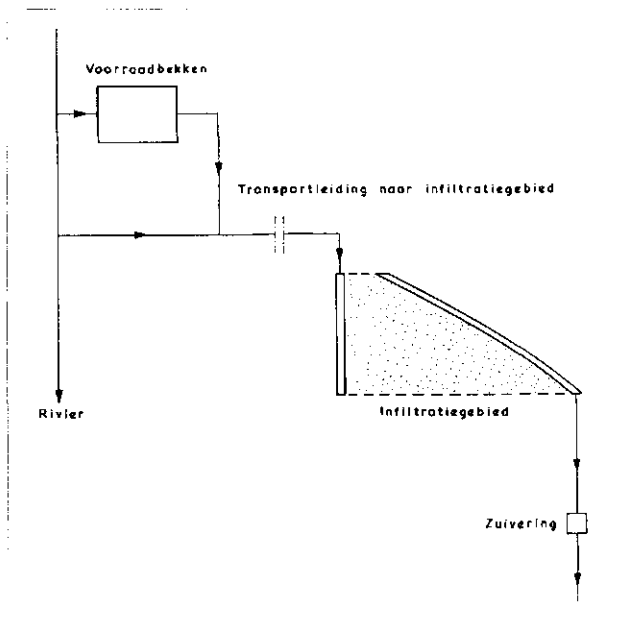
Afb. 13 - Te bereiken resultaten indien zes voorraadterreinen worden gecombineerd met één infiltratieterein ($\Delta T = 6$). Op-eenvolging van normale jaren onderbroken door een droog jaar.

A. Verloop van het chloridegehalte van het water in de voorraadterreinen I, II en III.

B. Verloop van het chloridegehalte van het water in de voorraadterreinen IV, V en VI.

C. Verloop van het chloridegehalte van het water uit het infiltratieterein, $T_i = 0,5$ en $T_a = 3,5$ maand.





Afb. 14 - Serieschakeling van een voorraadbekken met een infiltratieterein.

Het zal duidelijk zijn dat de aanleg- en exploitatiekosten in het hier besproken geval van het in voorraadterreinen en infiltratieterein versneden oppervlak groter zijn dan in het geval over één groot infiltratieterein wordt beschikt.

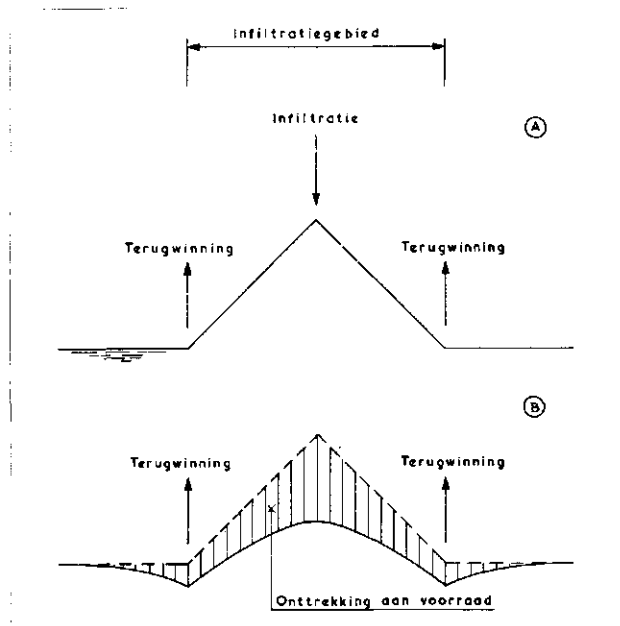
Indien bijvoorbeeld de beschikbare terreinruimte beperkt is kan het toch aanbeveling verdienen over te gaan op het hier ontwikkelde systeem van infiltratie met constante capaciteit en tijdelijke opslag van water. Tenslotte moet nog worden opgemerkt dat het geenszins noodzakelijk is dat de tijdelijke wateropslag in voorraadterreinen plaats vindt. Dit kan ook zeer goed gebeuren in een open bekken in de nabijheid van de rivier zoals is aangegeven in afb. 14.

6. Verandering van het verloop van het chloridegehalte bij infiltratie met variabele capaciteit

In het voorgaande is steeds van de veronderstelling uitgegaan dat constant water aan de rivier wordt onttrokken en tot infiltratie gebracht. Deze wijze van bedrijfsvoering heeft een constante belasting van de winnings- en zuiveringsmiddelen aan de rivier, alsmede een constante belasting van de transportleiding naar het infiltratiegebied tot gevolg. Afgezien van reserve-capaciteit, waarop nader wordt teruggekomen, impliceert deze methode de meest economische exploitatie van genoemde middelen. Het gevolg is echter dat ook in perioden van slechte waterkwaliteit, water aan de rivier wordt onttrokken.

Om het chloridegehalte in het afgeleverde water te verlagen zal het infiltratieterein groot moeten worden gekozen of een combinatie met voorraadterreinen moeten worden toegepast.

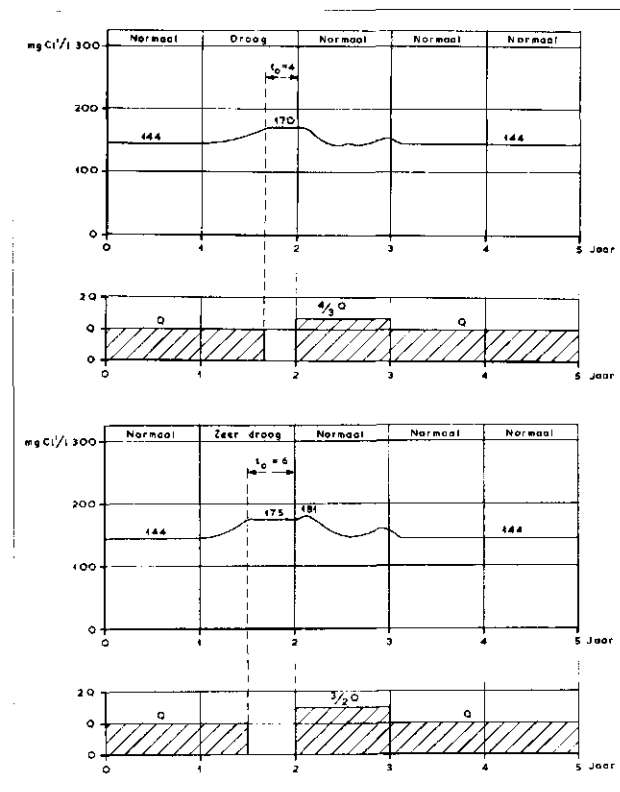
Er kan ook worden besloten in perioden van aanvoer van rivierwater met hoog chloridegehalte de onttrekking aan de rivier alsmede de infiltratie te onderbreken. In deze perioden gaat de onttrekking aan het infiltratiegebied uiteraard normaal verder en er treedt dan ook een grondwaterstandsverlaging op, die zich ook buiten het eigenlijke infiltratiegebied zal doen gevoelen. Schema-



Afb. 15 - Waterstanden in het infiltratiegebied bij normaal bedrijf (A) en aan het einde van een periode van onderbroken aanvoer (B).

tisch is deze werkwijze aangegeven in afb. 15. Wanneer bijvoorbeeld eerst met de infiltratie wordt gestopt indien een chloridegehalte van het rivierwater gelijk 230 mg/l wordt overschreden, dan wordt in het normale jaar de infiltratie niet onderbroken, terwijl in het droge jaar 4 maanden (september t/m december) en in het zeer droge

Afb. 16 - Verloop van het chloridegehalte van het rivierwater te Lobith na infiltratie volgens afb. 6 alsmede de aanvoer van rivierwater naar het infiltratieterein bij $t_0 = 4$ maanden in het droge jaar en $t_0 = 6$ maanden in het zeer droge jaar. $T_i = 0,5$ en $\Delta T = 12$ maanden.



jaar 6 maanden (juli t/m december), geen water tot infiltratie wordt gebracht.

In afb. 16 is het resultaat van de geschetste bedrijfsvoering aangegeven, indien een reeks normale jaren wordt onderbroken door respectievelijk een droog en een zeer droog jaar.

Bij de berekening is ervan uitgegaan dat wordt beschikt over een infiltratieterein met $T_i = 0,5$ en $\Delta T = 12$ maanden en voorts dat de hoeveelheid water, die in de onderbrekingsperiode t_0 te weinig wordt aangevoerd, in het opvolgende normale jaar extra wordt aangevoerd. Voor het droge jaar geldt dan dat in het opvolgende normale jaar

$\frac{4}{3} \cdot Q$ m³/maand zal moeten worden aangevoerd, terwijl deze hoeveelheid in het normale jaar vol-

gende op het zeer droge jaar $\frac{3}{2} \cdot Q$ m³/maand bedraagt.

Uit afb. 16 blijkt dat een aantrekkelijke verbetering wordt verkregen, wanneer de resultaten worden vergeleken met die, welke werden behaald met één infiltratieterein met $T_i = 0,5$ en $\Delta T = 12$ maanden ($T_a = 6,5$ maand). Het chloridegehalte daalt van 199 naar 170 mg/l in een droog jaar en van 235 naar 181 mg/l in een zeer droog jaar.

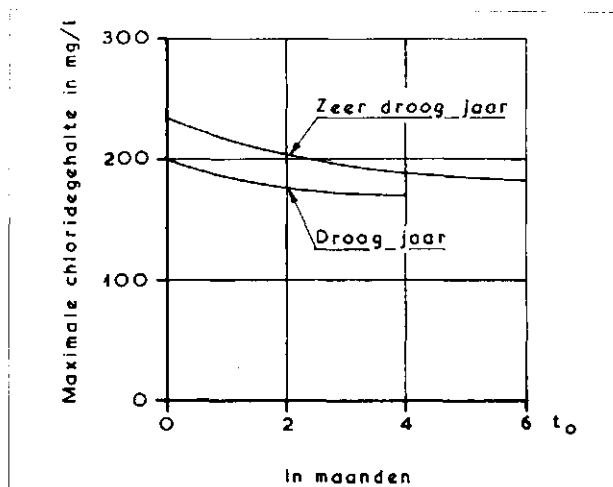
In het droge jaar is een onderbrekingsperiode t_0 van 4 maanden in ogenschouw genomen. De vraag is echter of deze keuze van t_0 uit overwegingen van kwaliteitsverbetering wel gerechtvaardigd is. Hiertoe is nagegaan welke resultaten kunnen worden geboekt, indien voor het droge jaar t_0 wordt gekozen op respectievelijk 0, 1, 2, 3 en 4 maanden. De uitkomsten van deze berekening zijn aangegeven in afb. 17.

Uit deze afb. kan worden opgemaakt dat een onderbrekingsperiode van meer dan 2 à 3 maanden niet gerechtvaardigd is.

Uiteraard is een zeer belangrijke overweging welke in de beschouwingen moet worden betrokken de mogelijke grondwaterstands daling welke in het infiltratiegebied toelaatbaar is, alsmede de maximale transportcapaciteit. Hier zal verder niet op deze beperkingen worden ingegaan. Belangrijk is de omstandigheid dat altijd op de mogelijkheid van een onderbreking in de aanvoer zal moeten worden gerekend. Bij gebruik van Rijnwater moet er immers rekening mee worden gehouden dat zich op deze druk bevaren rivier met grote lozingen van industrieel afvalwater een calamiteit voordoet, waardoor dit water gedurende enkele maanden voor kunstmatige infiltratie ongeschikt kan zijn.

7. Verandering van het verloop van het chloridegehalte bij infiltratie met constante capaciteit en menging met natuurlijk grondwater van laag chloridegehalte

Tenslotte wordt het geval behandeld waarbij naast de rivier ook nog een andere bron wordt ingeschakeld, waarmee de resultaten welke met kunstmatige infiltratie kunnen worden bereikt, kunnen worden verbeterd. Wanneer infiltratie geschiedt in een terrein, waarvan de oorspronkelijke grondwaterspiegel onder een helling is gelegen, dan stroomt natuurlijk grondwater op het beschouwde gebied toe. Dit grondwater met een laag chloridegehalte van bijvoorbeeld 20 mg/l mengt zich met het kunstmatig geïnfilterde rivierwater, waardoor het chloridegehalte van het teruggewonnen water aanzienlijk kan dalen. Schematisch is deze situatie weergegeven in afb. 18, waarbij de werken nog zodanig zijn geprojec-



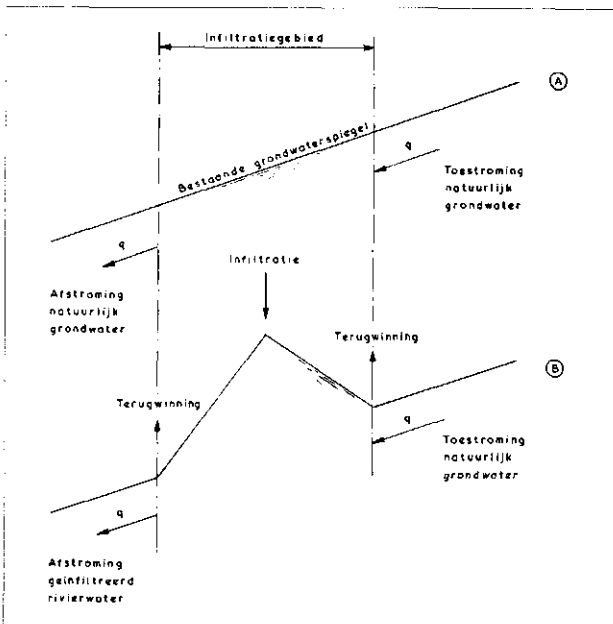
Afb. 17 - Te verwachten maximale chloridegehalte bij verschillende waarden van t_0 in het geval van infiltratie volgens afb. 16.

teerd dat buiten het infiltratiegebied de hydrologische toestand in kwantitatief opzicht niet verandert.

In kwalitatief opzicht is er wel een wijziging, daar de toestroming van natuurlijk grondwater van rechts door een afstroming van geïnfilterd rivierwater naar links is vervangen.

Juist door deze vervanging is het chloridegehalte van het onttrokken water lager dan van het geïnfilterde rivierwater. Wederom uitgaande van een lineaire spreiding der verblijftijden is in afb. 19 voor verschillende mengverhoudingen het maximale chloridegehalte na een droog jaar als functie van het verschil ΔT in verblijftijd, aangegeven. De menging met natuurlijk grondwater behoeft intussen geenszins te geschieden op de wijze zoals die nu is voorgesteld. Het grondwater kan ook apart van het infiltratieterein worden gewonnen en slechts dan met het geïnfilterde rivierwater worden gemengd, indien het chloridegehalte in het afgeleverde water dreigt te stijgen boven een aanvaardbaar geachte grens.

Afb. 18 - Kunstmatige infiltratie in een gebied met reeds aanwezige grondwaterstroming q . Oorspronkelijke toestand (A) en situatie tijdens infiltratie (B).



In afb. 20 is deze werkwijze aangegeven voor het geval dat wordt beschikt over een infiltratieterrein met lineair gespreide verblijftijden en $\Delta T = 12$ maanden. De toen afvoer respectievelijk naar en uit het infiltratieterrein is nu variabel en wordt bepaald door de vereiste mengverhouding.

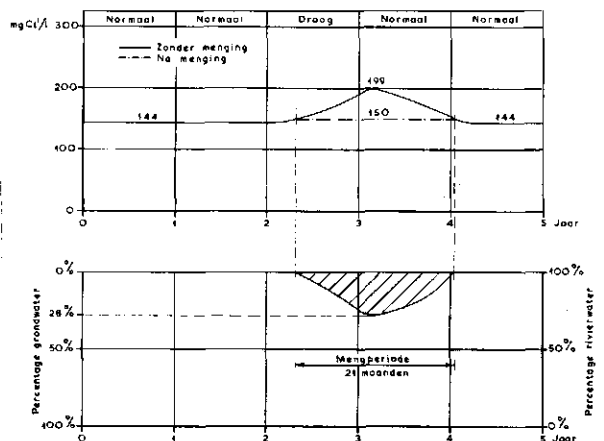
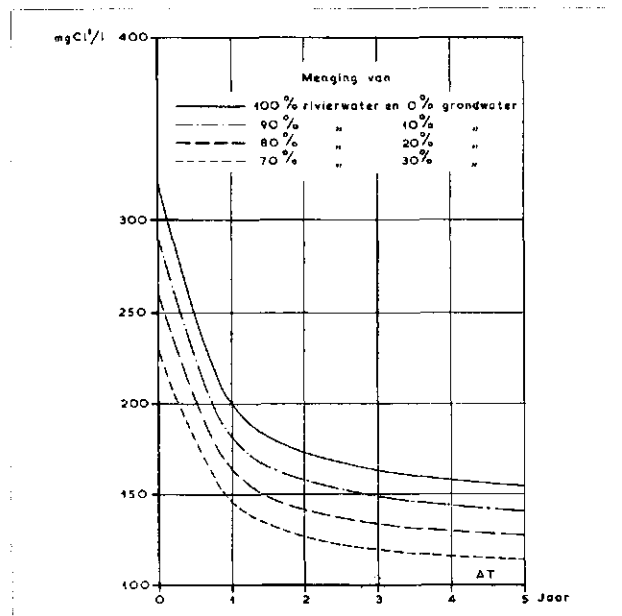
Zonder menging zou het chloridegehalte in de beschouwde opeenvolging van normale jaren onderbroken door een droog jaar stijgen tot 199 mg/l. Indien een maximaal chloridegehalte van 150 mg/l wordt gewenst, dan moet geleidelijk steeds meer van elders aangevoerd grondwater worden bijgemengd. In dit geval blijkt met een maximale aanvoer van grondwater (20 mgCl/l) van 28% van de maandproductie aan genoemde wens te kunnen worden voldaan.

Berekeningen hebben aangetoond dat, uitgaande van een zekere capaciteit van een grondwaterwinplaats, voorafgaande afvlakking, zoals in afb. 20 wordt verondersteld, in vele gevallen geen betere oplossing geeft. Hierbij moet echter wel worden bedacht dat dit afhankelijk is van de grens welke aan het maximale chloridegehalte van het afgeleverde water wordt gesteld. Het is dan ook mogelijk om het chloridegehalte van het rivierwater geheel te beheersen door bijmenging met grondwater en uit dien hoofde slechts infiltratie toe te passen om de organische kwaliteit van het water te verbeteren, waarbij volstaan kan worden met de minimale verblijftijd $T_1 = T_a$ en $\Delta T = 0$.

Het kan zijn dat in de nabijheid van het infiltratieterrein geen terrein wordt gevonden waaraan grondwater voor de menging kan worden onttrokken. Deze menging is echter zo effectief dat naar andere methoden van menging met water met een laag chloridegehalte zal worden gezocht.

Eén van deze methoden betreft de menging met ontzout water. In principe behoeft dan geen voorraad te worden gevormd indien de ontzoutingsinstallatie op maximale mengcapaciteit wordt gedimensioneerd. Deze capaciteit

Afb. 19 - Maximum chloridegehalte van het rivierwater te Lobith in een reeks normale jaren onderbroken door een droog jaar, na infiltratie volgens afb. 6 en menging met natuurlijk grondwater (20 mg Cl/l), als functie van $T_m - T_i = \Delta T$.



Afb. 20 - Menging van geïnfilteerd rivierwater en natuurlijk grondwater (Cl-gehalte = 20 mg/l) in de opeenvolging van normale jaren onderbroken door een droog jaar tot een maximum gehalte van 150 mg/l. $T_i = 0,5$, $\Delta T = 12$ maanden.

zal dan echter hoog moeten zijn en een combinatie van een lagere capaciteit met een voorraadreservoir ligt in de rede. In zijn algemeenheid zal ir. Ludert aan deze mogelijkheid aandacht besteden.

Welk van de hier besproken systemen van kunstmatige infiltratie voor verwezenlijking het meest in aanmerking komt is onmogelijk eenduidig aan te geven. Dit zal in de praktijk van plaats tot plaats kunnen verschillen. Bij de keuze van de toe te passen methoden zijn onder meer de volgende factoren van belang:

1. de beschikbare terreinoppervlakte;
2. de geo-hydrologische gesteldheid van het infiltratiepakket;
3. de afstand van het infiltratieterrein tot de bron waaraan het ruwe water moet worden onttrokken;
4. de mate waarin voorzuivering van het te infiltreren water moet plaatsvinden, waardoor de mogelijke infiltratiesnelheid in hoge mate wordt bepaald;
5. de aanwezigheid van terreinen of andere bronnen waaraan water met een laag zoutgehalte kan worden onttrokken voor menging.

Resumerend kan worden gesteld dat een optimale kwaliteit water met behulp van de kunstmatige infiltratie kan worden bereikt en dat deze methode in grote mate kan bijdragen in het streven:

„Van goed naar beter water”.

Literatuur

1. Huisman, L., *Artificial recharge for public water supplies in urbanized regions*, publication no. 72 of the IASH, Symposium of Haifa, 1967.
2. Huisman, L. en Haaren, F. W. J. van, *Treatment of water before infiltration and modification of its quality during its passage underground*, IWSA, Congres Barcelona, 1966.
3. Leeftang, K. W. H., *Kwaliteitsverandering door infiltratie*, Zeventiende Vacantie cursus in drinkwatervoorziening, 1965.
4. Martijn, Th. G., *Afvoer- en chloridekarakteristieken van de Rijn in verband met voorraadvorming*, Water, 1967, no. 4.
5. Huisman, L. en Martijn, Th. G., *Kwaliteitsverbetering bij kunstmatige infiltratie*, H₂O 1966.