

B-1

Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen N.V.
KIWA

OVERZICHT NAAR DE STAND VAN ZAKEN
MEDIO 1956 VAN DE VOOR DE DRINK-
WATERVOORZIENING VERKREGEN
RESULTATEN DOOR INFILTRATIE
VAN OPPERVLAKTEWATER

RAPPORT No 1 VAN DE COMMISSIE INFILTRATIE
VAN HET KIWA

MOORMAN'S PERIODIEKE PERS N.V. — DEN HAAG

628.112.3
Sir Winston Churchill-laan 273
RIJSWIJK (Z.H.)



Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen N.V.
KIWA

Van Speykstraat 34 — 's-Gravenhage

OVERZICHT NAAR DE STAND VAN ZAKEN
MIDDELS 1956 VAN DE VOOR DE DRINK-
WATERVOORZIENING VERKREGEN
RESULTATEN DOOR INFILTRATIE
VAN OPPERVLAKTEWATER

RAPPORT No 1 VAN DE COMMISSIE INFILTRATIE
VAN HET KIWA

INHOUD

HOOFDSTUK:	blz.
I. Inleiding	3
a. Algemene omschrijving van het begrip „infiltratie”	3
b. Redenen, die tot de instelling van de Commissie hebben geleid	3
c. Instructie van de Commissie	4
d. Samenstelling van de Commissie	4
II. Geschiedkundig overzicht	5
III. Nadere beschrijving van in Nederland uitgevoerde infiltratiewerken	9
a. De bevloeiing der N.V. Leidsche Duinwater Maatschappij in de duinen te Wassenaar	9
b. De infiltratie ter plaatse van de waterwinplaats Sint Jansteen van de N.V. Waterleiding maatschappij „Zeeuwsch-Vlaanderen”	14
c. De infiltratie ten behoeve van de Gemeentelijke Drinkwaterleiding van Enschede aan de Weerseloseweg	15
IV. De in Nederland in de naaste toekomst uit te voeren infiltratiewerken	18
V. Grondwaterstroming bij infiltratie	19
VI. De chemisch-bacteriologische zijde van het infiltratievraagstuk	24
VII. Conclusies	28
* * *	
Literatuurlijst	41
* * *	
Summary	46
Résumé	48
Zusammenfassung	51

HOOFDSTUK I.

Inleiding.

a. *Algemene omschrijving van het begrip „infiltratie”.*

Onder „infiltratie” wordt verstaan het inzijgen van water in de grond. Het behoeft geen nadere toelichting dat in de natuur infiltratie optreedt zonder doelbewust ingrijpen van menselijke zijde. Als de meest voorkomende vorm van infiltratie kan gelden het inzijgen van neerslagwater in de bodem. Het verschijnsel doet zich eveneens voor bij oppervlaktewateren met een hoger peil dan de stijghoogte van het grondwater in de oeverlanden. Het onderwerp van het onderhavige rapport zal echter de doelbewuste kunstmatige infiltratie zijn.

Met infiltratie kunnen de volgende oogmerken worden gediend:

1. Verhoging van de grondwaterstand, bv. in landbouwgebieden met een periodiek of voortdurend te laag grondwaterpeil.

2. Berging van water, bv. in waterwingebieden, die in droge tijden niet voldoende grondwater kunnen leveren. Gedurende de periode, dat water beschikbaar is, wordt dit door infiltratie in de grond geaccumuleerd om in het droge seizoen weer te worden onttrokken.

3. Verbetering van de kwaliteit van het water, bv. in dien oppervlaktewater ten behoeve van de drinkwatervoorziening wordt benut.

Vaak zal infiltratie worden toegepast om zowel het sub 2 als sub 3 bedoelde resultaat te verkrijgen. Voor de sub 1 en 2 genoemde doeleinden wordt gebruik gemaakt van het bergingsvermogen van de grond; het sub 3 genoemde doel kan worden bereikt dank zij het reinigend vermogen van de bodem.

b. *Redenen, die tot de instelling van de Commissie hebben geleid.*

De toenemende vraag naar leidingwater heeft vele bedrijven, die voor de watervoorziening gebruik maken van grondwater, voor grote problemen gesteld. Was aanvankelijk uitbreiding van de capaciteit van de bestaande waterwinningen nog mogelijk, steeds meer kwam in dicht bevolkte streken dit streven in strijd met andere belangen of, erger nog, dreigden de bestaande grondwaterreserves uitgeput te raken.

De door A. Thiem voorgestelde oplossing van de genoemde problemen, nl. toepassing van infiltratie, werd door J. G. R i c h e r t (directeur van de waterleiding van Gothenburg) in 1897 voor het eerst met gunstig

resultaat te Gothenburg in praktijk gebracht. Aangemoedigd door dit succes werden daarna op vele plaatsen in verschillende landen infiltratiewerken aangelegd. Na 1930 ontstonden ook in Nederland voor de watervoorziening steeds grotere moeilijkheden, in het bijzonder voor het dichtbevolkte westen van het land. Gezien de elders verkregen gunstige ervaringen leek ook voor ons land infiltratie een mogelijkheid te bieden om uit de ontstane moeilijkheden te geraken.

In 1951 waren in ons land infiltratiewerken in bedrijf genomen door de N.V. Leidsche Duinwater Maatschappij, de N.V. Waterleiding Maatschappij „Zeeuwsch-Vlaanderen” en de Gemeentelijke Drinkwaterleiding van Enschede. De Duinwaterleiding van 's-Gravenhage, het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noordholland en de Waterleidingen van Amsterdam zouden weldra volgen; bij andere bedrijven werden dergelijke maatregelen overwogen. De toenemende belangstelling voor infiltratie was voor de N.V. Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen (KIWA) aanleiding een Commissie ter bestudering van dit vraagstuk in het leven te roepen.

c. Instructie van de Commissie.

Bij de installatie van de Commissie op 28 november 1951 door de Commissaris der N.V. KIWA, ir. A. F. Meijer, werd de Commissie opgedragen een rapport samen te stellen, waarin de in binnen- en buitenland op het gebied van infiltratie verkregen ervaring wordt samengevat, zowel wat betreft de technische, de hydrologische als de chemisch-bacteriologische zijde van het vraagstuk.

d. Samenstelling van de Commissie.

De Commissie werd als volgt samengesteld:

Voorzitter:

ir. G. P. M. D i k ö t t e r, Directeur der N.V. Waterleiding Maatschappij „Zeeuwsch-Vlaanderen”;

Leden:

drs. H. J. B o o r s m a, Hoofd van de Chemisch-bacteriologische afdeling van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening;

ir. H. M. B o s, (destijds) Hoofdingenieur bij de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage;

dr. ir. P. C. L i n d e n b e r g h, Directeur der N.V. Leidsche Duinwater Maatschappij;

dr. L. H. L o u w e K o o i j m a n s, Directeur van het Waterleidinglaboratorium Zuid;

ir. J. M u l d e r, Hoofdingenieur bij het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noordholland;

Secretaris:

ir. B. A. v a n N e s, Hoofdingenieur bij de geo-hydrologische afdeling van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.

Als adjunct-secretaris werd aan de Commissie toegevoegd:

ir. G. P. F e l i u s, Ingenieur bij de geo-hydrologische afdeling van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.

HOOFDSTUK II.

Geschiedkundig overzicht.

De volgende gegevens betreffende de geschiedenis van de toepassing van infiltratie werden o.m. ontleend aan „Artificial replenishment of underground water”, General report to the 2nd Congress of the International Water Supply Association, Paris 1952, by Victor J a n s a, Stockholm.

De oudste vorm van infiltratie schijnt te hebben bestaan uit infiltratie uit natuurlijke waterlopen, d.w.z. vergroting van de natuurlijke infiltratie door menselijk ingrijpen. Een dergelijke infiltratie werd bewerkstelligd door in de directe omgeving van het open water winningsmiddelen in te richten.

Dit principe werd, voor zover bekend, het eerst toegepast in Glasgow in 1810. Op een eiland in de rivier de Clyde werden putten, verbonden door galerijen, ingericht. Belangwekkend is het feit dat omstreeks 1830 gronden in de omgeving werden bevoeid om de opbrengst van de galerijen te vergroten.

Omstreeks 1820 werd te Toulouse eveneens een zg. oeverinfiltratie in gebruik genomen. In de uit zand en grind bestaande oevers van de Garonne werden drainerende bassins ontgraven. Aanvankelijk was het uit deze bassins opgepompte water goed, maar na verloop van tijd bleek als gevolg van de algengroei in de bassins de kwaliteit van het water steeds slechter te worden, tot het tenslotte onbruikbaar werd. Teneinde toetreding van zonlicht en warmte te voorkomen werden vervolgens in de genoemde bassins drainerende galerijen gebouwd en de overblijvende ruimte opgevuld met kiezelstenen en zand. Later werd deze infiltratie op dezelfde wijze nog uitgebreid. Ongeveer honderd jaar hebben deze werken dienst gedaan.

Dit voorbeeld werd op vele plaatsen in Frankrijk, Engeland, Duitsland, Italië en Hongarije nagevolgd. Als resultaat van een studiereis van James P. K i r k w o o d in 1866 naar Europa werden na dat jaar ook in de Ver-

enigde Staten verscheidene van dergelijke oeverinfiltraties ingericht. De belangwekkendste daarvan zijn die van de Des Moines Waterworks Co., gereedgekomen in 1871.

Spoedig bleek echter dat deze nieuwe methode van waterwinning, nl. het aanleggen van drainagemiddelen nabij een rivier of een meer, niet in alle gevallen voldeed. De reden hiervan was dat de poriën in de zandige rivierbodem door onzuiverheden in het infiltratiewater verstopt geraakten. Kirkwood wees op de wenselijkheid van het periodiek schoonschuren van de rivierbodem. Op grond van deze overweging zou voor een dergelijke infiltratie een plaats langs de rivier moeten worden gekozen waar de zandafzettingen op de bodem bij hoge waterstanden zouden worden weggeschuurd en vervangen door nieuw schoon zand. Deze overweging leidde ten slotte tot de aanleg van kunstmatige infiltratie-bekkens, die kunnen worden drooggelegd en gereinigd als zij verstopt zijn. Voor zover bekend werden dergelijke bassins voor het eerst in 1897 door R i c h e r t te Gothenburg ingericht. Deze werken zijn nog steeds in gebruik. Ook het denkbeeld om het oppervlaktewater een doelmatige behandeling te laten ondergaan vóór de infiltratie is van R i c h e r t afkomstig.

Het Gothenburgse voorbeeld vond tot nu toe in Europa vooral navolging in Zweden zelf, in Duitsland en in ons land. In Zweden worden thans ongeveer twaalf steden geheel of gedeeltelijk voorzien van zg. kunstmatig grondwater. Voor bijna al deze infiltraties wordt of zal het te infiltreren water worden gezuiverd door snelfiltratie over zand. In Duitsland beperkt de voorbehandeling van het infiltratiewater zich tot bezinking. Buiten Europa wordt vooral in de Verenigde Staten van Noord-Amerika infiltratie toegepast.

Behalve met infiltratie in bassins nam R i c h e r t in Gothenburg proeven met infiltratie in geboorde putten. Deze pogingen mislukten echter. Infiltratie van oppervlaktewater met behulp van putten stelt aan de voorbehandeling van het water bijzonder zware eisen.

In Nederland werden infiltratieproeven voor het eerst genomen in 1933 door de Goudsche Waterleiding Maatschappij N.V. In 1922 ging dit bedrijf, dat aanvankelijk water aan de Hollandsche IJssel onttrok, over tot de winning van grondwater. De toeneming van het Cl-gehalte van het opgepompte water was aanleiding tot de in 1933 aangevangen proefnemingen met infiltratie van voorgezuiverd IJsselwater. Aangezien het watervoerend pakket ter plaatse is afgedekt door een ca. 7 m dikke ondoorlatende kleiveenlaag werd voor deze infiltratieproeven gebruik gemaakt van putten, naar het voorbeeld van de waterwinplaats Ackerfähre van de Gutehoffnungs-

hütte A.G. te Oberhausen. Laatstgenoemde waterwinplaats heeft echter een aanmerkelijk grovere bodemgesteldheid (grind) dan die te Gouda wordt aangetroffen.

Voor de proeven werd gebruik gemaakt van bestaande pompputten. De proeven hebben aangetoond dat na enige maanden de putten verstopt raakten en ook na het inbrengen van chemikaliën voor het oplossen van ijzerafzettingen en na schoonpompen niet in voldoende mate konden worden hersteld. Een deugdelijke methode om de vorming van afzettingen op de filters en in de omstorting van de putten te voorkomen bij de overgang van het zuurstofrijke oppervlaktewater in het zuurstofarme en ijzerrijke grondwater werd niet gevonden. Derhalve werden de proeven in 1940 gestaakt.

Middelerwijl was bovendien uit een geo-hydrologisch onderzoek gebleken, dat door spreiding van de pompputten op het terrein van het bedrijf grondwater met een niet te hoog Cl'-gehalte kon worden gewonnen.

Een onderzoek naar de mogelijkheid te Bergambacht nabij de Lek een grondwaterwinplaats te stichten, dat door de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage in overleg met het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening in 1934 werd verricht, leidde tot de conclusie dat alleen voldoende water aan de ondergrond zou kunnen worden onttrokken indien kunstmatige aanvulling van de grondwatervoorraad plaats zou vinden. In verband met de grote dikte (ca. 17 m) van het afdekkende kleiveenpakket viel ook hier de keuze op infiltratie in geboorde putten. In 1935 werd een aanvang gemaakt met een proef waarbij gebruik werd gemaakt van Lekwater, dat een voorbehandeling had ondergaan door filtratie via zandfilters. Grote moeilijkheden werden ondervonden door de in het gefiltreerde rivierwater nog steeds aanwezige slibdeeltjes, die aanleiding gaven tot verstopping van de putten, terwijl voorts een geringe vermeerdering van de filterweerstand reeds tot resultaat had dat het te infiltreren water, in plaats van in de ondergrond te dringen, zich grotendeels langs de buitenzijde van de stijgbuis een weg naar de oppervlakte baande. Eind 1936 werden de proeven gestaakt, mede op grond van de overweging dat infiltratie van voorgezuiverd Lekwater in de duinwaterwinplaats van 's-Gravenhage zonder putten mogelijk zou zijn.

In 1940 werd door de N.V. Leidsche Duinwater Maatschappij een aanvang gemaakt met het bevloeien van pannen in het duingebied met water uit een aan de binnenvoet der duinen gelegen wetering. Deze infiltratie bleek een groot succes te zijn en had een aanmerkelijke vergroting van het leveringsvermogen van de waterwinplaats tot gevolg. In 1954 vonden belangrijke uitbreidingen van de infiltratiewerken plaats.

De toenemende vraag naar drinkwater stelde de N.V. Waterleiding Maatschappij „Zeeuwsch-Vlaanderen” voor grote problemen. Om aan deze moeilijkheden het hoofd te bieden werd in 1945 overgegaan tot infiltratie in de waterwinplaats Sint Jansteen van oppervlaktewater, afkomstig uit afwateringssloten van de ten zuiden van de prise d'eau in België gelegen hogere gronden. De infiltratie geschiedt d.m.v. kanalen. Met behulp van dit systeem, dat in 1949 nog een uitbreiding onderging, werd een belangrijke vergroting van het blijvende leveringsvermogen van de waterwinplaats verkregen.

In 1947 ondernam de Gemeentelijke Drinkwaterleiding van Enschede de uitvoering van infiltratiewerken voor de waterwinplaats aan de Weerseloseweg. Aanvankelijk werd gebruik gemaakt van water, afkomstig uit in de nabijheid van de waterwinplaats gelegen kleiputten. Het water wordt d.m.v. evenwijdig aan de puttenrijen gegraven kanalen geïnfiltreerd. Op grond van de gunstige uitkomsten van deze proef werd besloten tot de aanleg van een buisleiding naar het Twenthe-kanaal, waaraan het te infiltreren water thans mede wordt ontleend.

In 1955 nam de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage de werken in gebruik voor de infiltratie van voorgezuiverd Lekwater in de bestaande duinwaterwinplaats van dit bedrijf, met het doel een einde te maken aan de roofofbouw, die werd gepleegd op de in de ondergrond aanwezige zoetwatervoorraad.

Ten behoeve van de winplaats van de Stichting Duinwaterleiding Goeree en Overflakkee werd in hetzelfde jaar een aanvang gemaakt met een bevloeiing van de duinen te Ouddorp met voornamelijk in het winterseizoen beschikbaar zoet oppervlaktewater uit afwateringssloten.

Voorts werd in 1956 door het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noordholland op het eiland Texel een waterwinning in de Mokslootvallei in gebruik genomen, waarbij duinwater, dat voorheen door middel van een door deze vallei gegraven watergang naar zee afstroomde, wordt opgestuwd en in de valleibodem wordt geïnfiltreerd.

Voor nadere gegevens betreffende de in het buitenland tot stand gekomen infiltratiewerken moge worden verwezen naar de aan het slot van dit rapport opgenomen literatuurlijst.

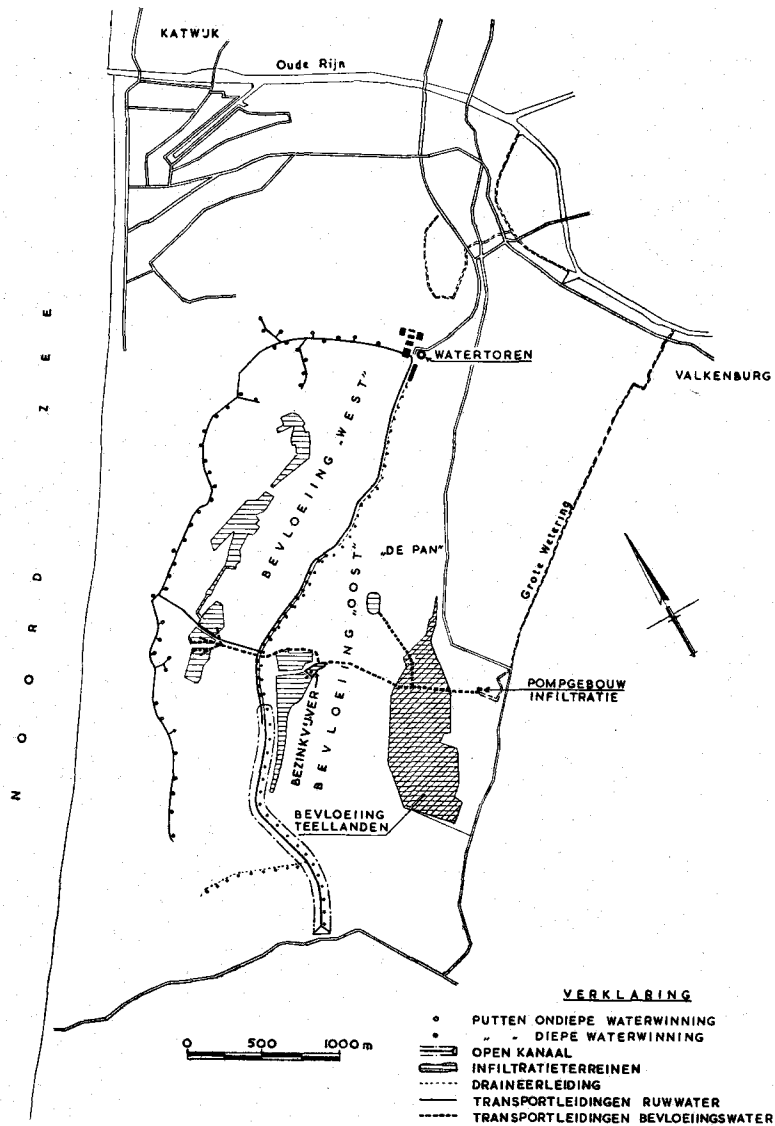
De in Nederland uitgevoerde infiltratiewerken, waarbij gedurende geruime tijd gegevens zijn verzameld betreffende het functioneren van de installaties, worden in het volgende hoofdstuk beschreven.

HOOFDSTUK III.

Nadere beschrijving van in Nederland uitgevoerde infiltratiewerken.

a. De bevoeiing der N.V. Leidsche Duinwater Maatschappij in de duinen te Wassenaar.

De situatie van de waterwinplaats van de N.V. Leidsche Duinwater Maatschappij is weergegeven in afb. 1.



Afb. 1 Situatie waterwinplaats Leidsche Duinwater Maatschappij

De geologische gesteldheid van het beschouwde gebied kan als volgt worden omschreven.

Onder een afzetting van jong duinzand wordt op een diepte van 2 à 3 m — A.P. een door de Rijn afgezette kleilaag aangetroffen. Daaronder bevindt zich een zandpakket van mariene en fluviatiele oorsprong, waarin geen lagen met belangrijke weerstand tegen waterbeweging voorkomen. Op een diepte van meer dan 120 m is het Icenien aangeboord. Zowel onder als boven de Rijnkleilaag komt zoet water voor; het diepste punt van het zoetwaterlichaam er onder ligt op ongeveer 70 m — A.P. Het bovenwater wordt gewonnen d.m.v. open kanalen, draineerleidingen en ondiepe putten. Voor de winning van het diepe water beschikt het bedrijf over putten, reikende tot 30 à 50 m — A.P.

Aangezien tussen het zoute grondwater en de filters van deze putten geen laag met grote weerstand tegen waterbeweging aanwezig is, bestaat bij overmatige ont-trekking van diep water het gevaar van aantrekken van zout water.

Met de bevloeiing van een gedeelte van de duinwaterwinplaats der L.D.M. werd in april '40 begonnen, teneinde in een toen heersend nijpend tekort aan water te voorzien. Het water voor de bevloeiing wordt onttrokken aan de Grote Wetering, een ongeveer parallel met de duinen lopend afwateringskanaal, dat bij Valkenburg in open verbinding staat met de Oude Rijn. In de Grote Wetering verzamelt zich het zakwater uit de aan de voet van de duinen liggende geestgronden. Aanvankelijk werden alleen in het oostelijk deel van het duingebied bevloeiingswerken aangelegd.

Tot 1953 werd praktisch uitsluitend zakwater van de geestgronden uit de Grote Wetering opgepompt. Door dagelijkse chemische controle van het op te pompen water werd voorkomen, dat water uit de Oude Rijn in merkbare hoeveelheden werd aangetrokken.

Een aanmerkelijke verbetering van het Rijnwater werd verwacht van de ingebruikstelling van het nieuweemaal te Katwijk van het Hoogheemraadschap van Rijnland. Dit bleek inderdaad het geval te zijn. Daardoor werd het mogelijk in 1954 een belangrijke uitbreiding van het bevloeiingssysteem tot stand te brengen, nl. de bevloeiing in het westelijke deel van het duingebied.

De bevloeiing geschiedt intermitterend. Gemiddeld kan 150 dagen per jaar worden gepompt, met een gemiddelde capaciteit van 20.000 m³/etm. Per jaar wordt dus rond 3 milj. m³ ingepompt.

Het uit de Grote Wetering opgepompte water wordt gedeeltelijk geleid naar de infiltratie „Oost” via een vijver op ± 9.50 m + A.P. met een oppervlak van

$\pm 4.000 \text{ m}^2$. Deze bevoeiingsvijver dient ten eerste om het water d.m.v. overstortpijpen gemakkelijk te kunnen verdelen over de infiltratie „Oost” en ten tweede om de grofste zwevende stoffen tot bezinking te brengen vóór deze in de bevoeiingskanalen worden gebracht. Bij vol bedrijf der bevoeiing „Oost” vertoeft het water een halve dag in deze vijver.

De leiding voor de aanvoer van water naar het gebied „West” mondt uit in een betonnen verzamelput, van waaruit naar de verschillende vloeivelden afzonderlijk afsluitbare leidingen zijn gelegd.

Het bevoeiingsterrein „Oost” is door zijn natuurlijke gesteldheid in twee delen verdeeld. In beide delen, die belangrijk in grootte verschillen, bevinden zich vele duinpannen, waarvan een gedeelte, nl. 10 ha, lager ligt dan 9.50 m + A.P. In beide delen is een bevoeiingskanaal aangelegd van gemiddeld 6 m breedte en met de bodem op 8.25 m + A.P., dat de duinpannen met elkaar verbindt.

Bij een bevoeiingspeil van 9.50 m + A.P. bedraagt het natte oppervlak in de Werken „Oost” ca. 11.4 ha.

Ten behoeve van de bevoeiing „West” behoeven slechts weinig kanalen te worden gegraven. Praktisch kon worden volstaan met een aantal even hoog gelegen duinpannen met elkaar te verbinden. Op deze wijze kan in „West” maximaal 25 ha duinterrein onder water worden gezet bij een bevoeiingspeil van 9.50 m + A.P.

De afstand tussen de vijvers en de waterwinningsmiddelen bedraagt voor het gebied „Oost” ca 140 m, voor het gebied „West” 250 à 600 m. In een afzonderlijke vijver in het duingebied, de zg. „Pan”, wordt voortdurend een hoog waterpeil gehandhaafd i.v.m. de in de omgeving daarvan bestaande vegetatie. Blijkens waarnemingen bedraagt in de bezinkvijver „Oost” de infiltratiesnelheid aan het begin van een infiltratieperiode 37 cm/etm.

Gedurende de jaren dat de bevoeiing heeft gewerkt is daarin geen verandering geconstateerd. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan het intermitterende karakter van de bevoeiing.

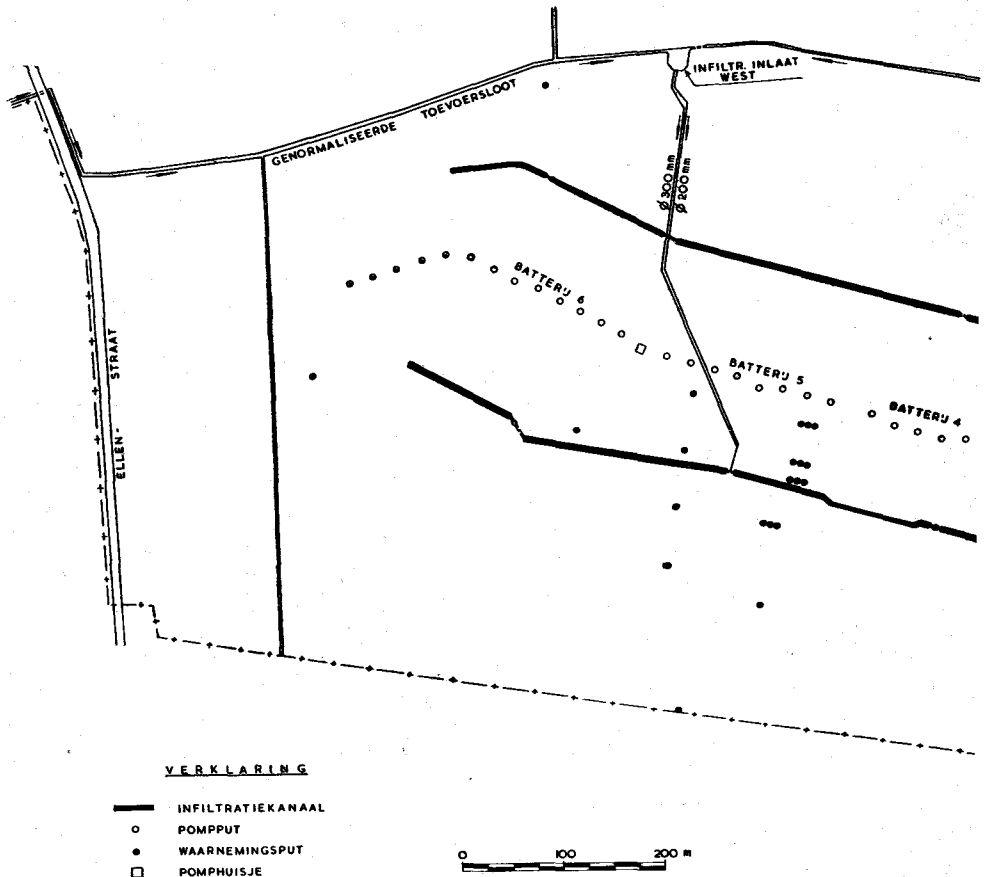
Als de aanvoer van bevoeiingswater wegens onvoldoende kwaliteit langer dan één week wordt gestaakt, valt de vijver geheel droog, waardoor de ontstane bezinkingslaag wordt blootgesteld aan de invloed van lucht en licht. Daardoor vindt een algehele regeneratie van de bodem plaats.

De eerder genoemde vijver de „Pan” wordt eveneens intermitterend gevoed. De bodem van deze vijver ligt ook in de droge tijd nog onder het freatisch vlak. Hier kan derhalve, althans voor het gedeelte dat permanent onder

water staat, geen sprake zijn van regeneratie van de bodem. Het blijkt dan ook elk jaar opnieuw dat de bodem van deze vijver weinig water doorlaat en dat het praktisch alleen de intermitterend onder water staande taluds zijn, die het ingebrachte water doorlaten.

Bij het onder water zetten van de bevoeiing „West” bleek al spoedig dat de infiltratiesnelheid daar belangrijk langer is dan in de bevoeiing „Oost”. In het begin van de bevoeiingsperiode is de infiltratiesnelheid bij de werken „West” ca. 9 cm/etm.

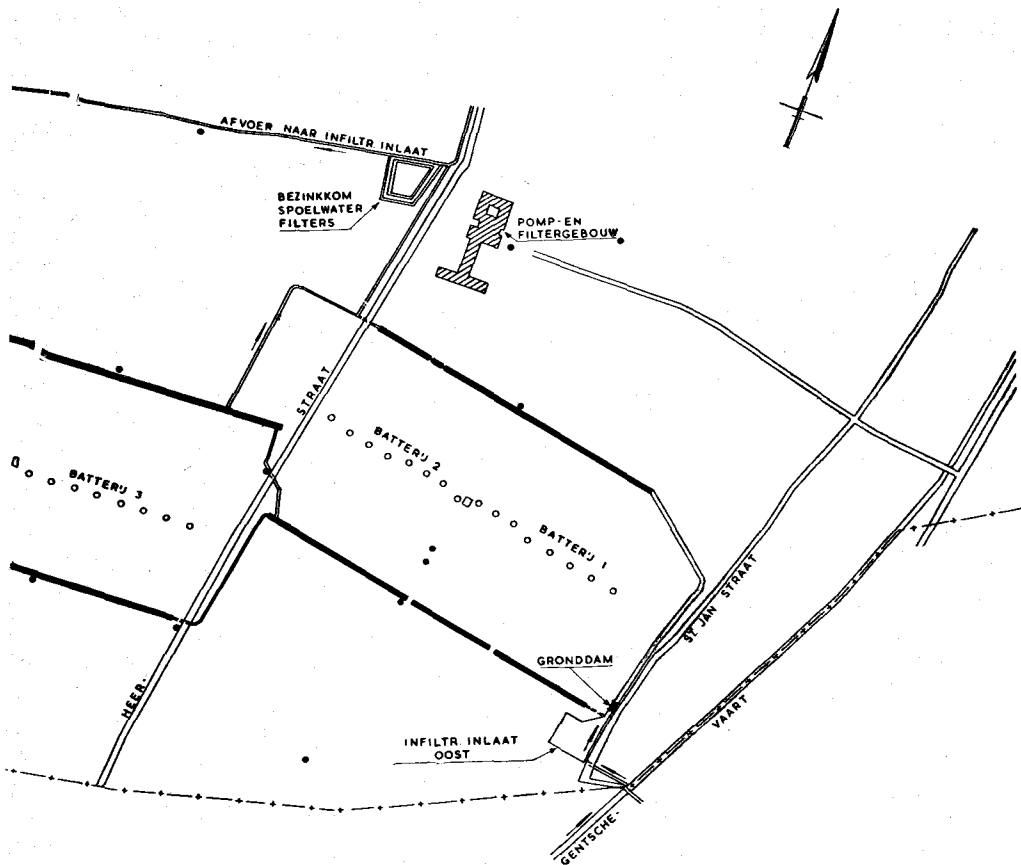
De geologische gesteldheid van de ondergrond t.p.v. de werken „Oost” is nagenoeg gelijk aan die t.p.v. het gebied „West”. Derhalve dient het verschil in infiltratiesnelheid bij het begin van een bevoeiingsperiode tussen de beide infiltratieterreinen te worden gezocht in het feit, dat in de grond lucht aanwezig is, die bij infiltratie



Afb. 2 *Situatie waterwinplaats St. Jansteen (N.V. Waterleiding Maatschappij „Zeeuwisch-Vlaanderen”)*

in smallere kanalen en in de bezinkvijver bij de aanvang van de infiltratie gemakkelijker zijdelings kan ontwijken dan bij brede kanalen. In een later stadium van de bevoeiing wordt de infiltratiesnelheid begrensd door de mogelijkheid van zijdelingse afstroming. Deze wordt bepaald door de doorlatendheid van het zandpakket en het verhang. Het verhang is door de grotere afstand tussen bevoeiing en waterwinningsmiddelen bij „West” kleiner dan bij „Oost”. Bij beide bevoeiingen wordt ten gevolge van de geringe dikte van de zandlagen boven de kleilaag de zijdelingse afstroming tenslotte maatgevend voor de totale infiltratie. Verbreding van de kanalen boven een maat, voldoende om deze hoeveelheid te laten inzijgen, heeft dan nagenoeg geen nuttig effect.

De duinbevoeiing is gecombineerd met de irrigatie van een ca 50 ha groot tuinbouwgebied, de zg. teellanden.



b. *De infiltratie ter plaatse van de waterwinplaats Sint Jansteen van de N.V. Waterleiding Maatschappij „Zeeuwsch-Vlaanderen”.*

Op het terrein van de waterwinplaats „Sint Jansteen”, groot ca. 110 ha, bevinden zich zes puttenbatterijen, te weten: vijf van acht pompputten en één van dertien. De wateronttrekking geschiedt centraal door pompen, die in een drietal pomphuisjes zijn opgesteld (zie afb. 2).

De ondergrond van de onderhavige waterwinplaats bestaat van het m.v. tot op een diepte van 9 à 12 m uit fijne zanden, waarin plaatselijk veenlenzen voorkomen. Dit pakket wordt aan de onderzijde begrensd door een kleilaag van tertiaire oorsprong, die tot grote diepte reikt.

In het voorjaar van 1944 werd besloten op de waterwinplaats „Sint Jansteen” infiltratie toe te passen ten einde de grondwaterstand te verhogen. Geschikt infiltratiewater kon worden onttrokken aan een watergang, waarop ten zuiden van de rijksgrens tussen Koewacht en Sint Jansteen gelegen gronden, via Nederlands gebied, naar de Schelde afwateren. Geraamd werd dat deze watergang jaarlijks, in de maanden november tot april, 1.45 miljoen m³ water afvoert, of 240.000 m³/maand. De infiltratiekanalen werden gegraven ter weerszijden van de batterijen 3 t/m 6 (zie afb. 2) op een afstand daarvan van ca. 90 m.

Bij het uitvoeren van boringen voor waarnemingsputten bleek onder het gehele terrein op ca. 2.80 m diepte een veenlaag van 8 tot 15 cm dikte voor te komen. Ter plaatse van de infiltratiekanalen werd deze verwijderd.

Het infiltratiewater wordt uit de watergang geleid via een nieuw gegraven sloot naar een bezinkkom met een bodemoppervlak van ca. 20 × 30 m. In verbinding met de bezinkkom en daarvan slechts gescheiden door krooshekken en gaasroosters, bevindt zich een waterkelder, waarboven een pompenruimte is gebouwd. De daarin opgestelde elektrisch gedreven centrifugaalpompen bezitten capaciteiten van 300 resp. 150 m³/uur bij opvoerhoogten van 4.60 resp. 4.80 m wk. Deze pompen brengen het water in de infiltratiekanalen via gietijzeren leidingen met inwendige diameters van 300, resp. 200 mm.

In 1949—1950 werden de infiltratiekanalen uitgebreid langs de batterijen 1 en 2. Meer infiltratiewater kon worden verkregen door eveneens water te onttrekken aan de „Gentsche Vaart”, een watergang welke, komende van Belgisch gebied, aan de oostzijde van de waterwinplaats de rijksgrens passeert. Aan het oostelijke einde van het infiltratiekanaal ten zuiden van batterij 1 is een opstelling gemaakt van twee elektrisch gedreven verticale schroefpompen in „all weather” uitvoering, elk met een

capaciteit van ca 100 m³/uur bij een opvoerhoogte van 3 m wk, alsmede van twee stuks door dieselmotoren gedreven centrifugaalpompen, elk met een capaciteit van 250 m³/uur bij een manometrische opvoerhoogte van 9 m wk. Vóór deze opstelling is een bezinkkom aangelegd met een bodemoppervlakte van ca 1.300 m² die via een sloot in verbinding staat met de „Gentsche Vaart”. Per m² kanaalbodem blijkt per etmaal 0.3 à 0.5 m³ water te infiltreren. De opbrengsten van de putten stegen als gevolg van de infiltratie van 25 m³/uur per batterij tot gemiddeld rond 42 m³/uur per batterij. De infiltratie geschiedt zolang de aanvoer uit België zulks mogelijk maakt.

Ieder jaar komt de bodem van de infiltratiekanalen gedurende enige maanden droog te staan. De dan optredende verwerking onder invloed van zon en wind van de op en in de kanaalbodem afgezette stoffen is voldoende om de kanalen voor dichtslibben te behoeden.

Uit onderzoeken is gebleken dat op een afstand van 5 m uit de kanalen geen bacteriologische verontreiniging van het grondwater kon worden geconstateerd.

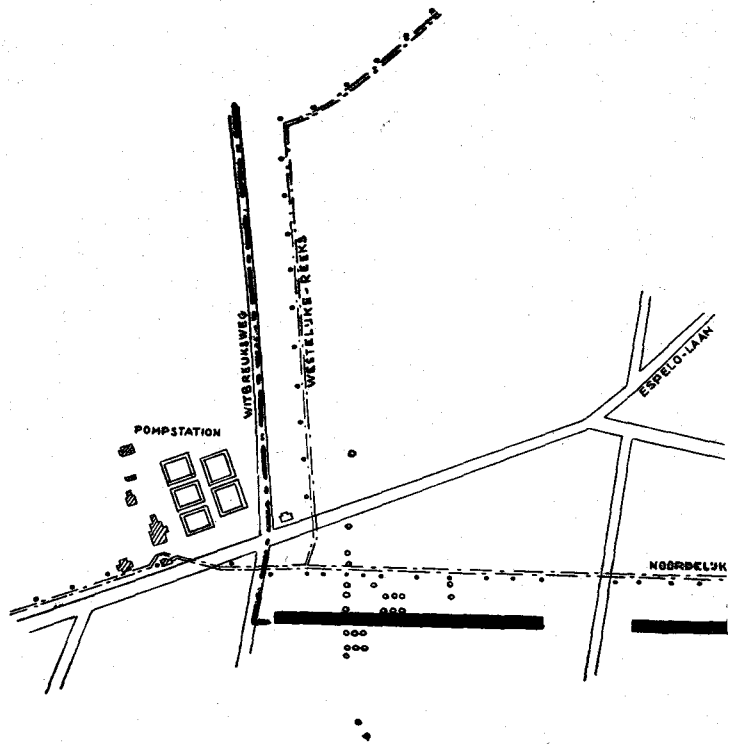
c. *De infiltratie ten behoeve van de Gemeentelijke Drinkwaterleiding van Enschede aan de Weerseloseweg.*

De situatie van de waterwinplaats is weergegeven in afb. 3.

Het grondwater wordt door middel van putten onttrokken aan de op een tertiaire leemlaag rustende zanden. Deze zijn over het algemeen zéér fijn; de dikte van de laag bedraagt slechts 15 à 20 m. De tertiaire leemlaag onder de winplaats helt van oost naar west; de richting van de grondwaterstroom komt hiermede overeen.

Reeds vóór de tweede wereldoorlog werd de mogelijkheid geopperd om door infiltratie de waterwinningscapaciteit van dit pompstation te vergroten. Aanleiding hier toe waren de gunstige resultaten, welke werden verkregen door bevloeiing van het terrein nabij de putten met water uit de over deze gronden lopende Esbeek, die hier toe in regenrijke perioden voldoende water afvoert. Hoewel deze werkwijze niet ideaal was, werd toch enig resultaat geboekt door een stijging van de grondwaterstand en een vergroting van de opbrengst van de putten.

In 1947 werd bij wijze van proef overgegaan tot infiltratie met water, dat door een provisorisch opgestelde pomp onttrokken werd aan ten oosten van het vliegveld Twente gelegen kleiputten van een oude steenfabriek. Via een noodleiding werd het water tot voorbij het hoog-



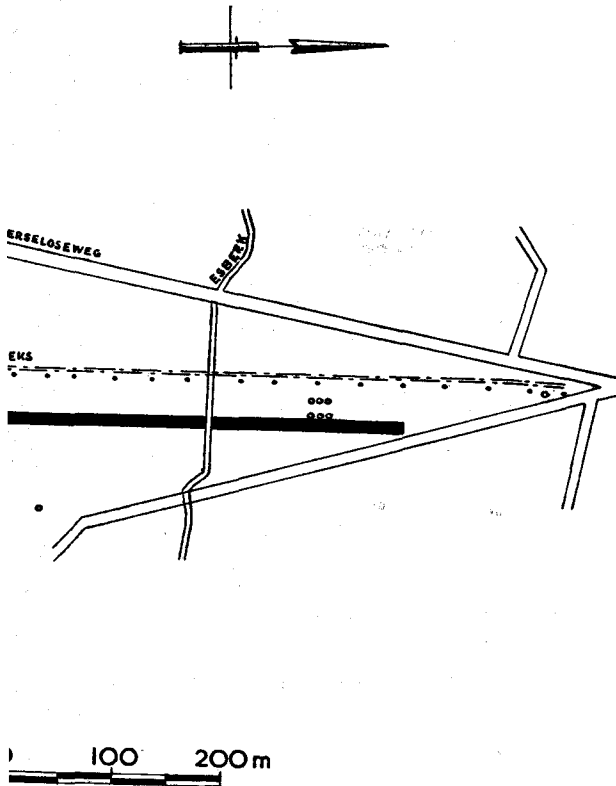
VERKLARING

- INFILTRATIEKANAAL
- POMPPUT
- WAARNEMINGSPUT
- - -** TRANSPORTLEIDING

ste terreinpunt in de omgeving gebracht, waarna het onder eigen verval naar de Esbeek stroomde en langs deze weg de waterwinplaats bereikte, waar het in de infiltratiekanalen werd geleid (zie de situatietekening, afb. 3).

Al spoedig bleek dat het zuidelijke deel van de waterwinplaats ongeschikt is voor deze wijze van infiltreren, doordat de in het zandpakket aanwezige leemlenzen het inzijgen van het water beletten. Het noordelijke deel gaf betere resultaten. Het bleek mogelijk door infiltratie de opbrengst van de putten der noordelijke reeks te vergroten van 3 tot 9 m³/uur per put. In het zuidelijke in-

Afb. 3 Situatie waterwinplaats Weerseloseweg (Gemeentelijke Gasfabriek en Drinkwaterleiding Enschede)



filtratiekanaal bedroeg de infiltratiesnelheid 0.20 m/etm. bij het begin van de proefneming; spoedig echter nam deze snelheid af tot minder dan 0.12 m/etm. Nabij het kanaal werd de grond drassig, waaruit voldoende duidelijk bleek dat geen infiltratie naar de diepere grondlagen plaatsvond. In het noordelijke kanaal bedroeg de infiltratiesnelheid maximaal 1.13 m/etm en minimaal 0.36 m/etm.

De afstand van de putten tot de infiltratiekanalen bedraagt 35 m. Op een afstand van 5.20 m uit de infiltratiekanalen werd geen bacteriologische verontreiniging van het grondwater meer geconstateerd. Het geïnfiltreer-

de water bereikt dit punt na een verblijf van ca. 180 uren in de bodem.

Het onderzoek naar de reinigende werking van de grond is nog in gang. Tot dusverre werd de indruk verkregen, dat alle organische stoffen ten gevolge van de grote fijnheid van de bodem in de eerste centimeters, zo geen millimeters, worden tegengehouden.

De infiltratiekanalen zijn in verschillende panden verdeeld. Elk pand kan onafhankelijk van het andere worden gevoed en gereinigd; het dichtslibben van deze kanalen treedt meestal na 4—6 maanden in. De infiltratiesnelheid begint dan sterk terug te lopen.

Op grond van de verkregen gunstige ervaringen met de proefinstallatie werd besloten de nodige werken uit te voeren voor de aanvoer van infiltratiewater uit het Twente-kanaal.

Tevens werd overgegaan tot een uitbreiding van de infiltratiekanalen langs de gehele noordelijke puttenrij. In 1955 werden deze werken in gebruik genomen.

HOOFDSTUK IV.

De in Nederland in de naaste toekomst uit te voeren infiltratiewerken.

Reeds tientallen jaren geleden, toen het duidelijk werd dat zonder ingrijpende maatregelen de drinkwatervoorziening van het dichtbevolkte westen des lands in gevaar zou komen, ontstond het denkbeeld door infiltratie van duingebieden met rivierwater aan de dreigende moeilijkheden het hoofd te bieden.

De gunstige ervaringen met uitgevoerde infiltratiewerken hebben deze gedachte vaste vorm gegeven. In het kader van deze ontwikkeling worden thans — nadat 's-Gravenhage reeds is voorgegaan — grote werken ondernomen door de Gemeentewaterleidingen van Amsterdam en het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noordholland. Het water voor de door deze bedrijven uit te voeren infiltraties zal worden ontleend aan het Amsterdam-Rijnkanaal, waartoe nabij Jutphaas een gemeenschappelijk pompstation wordt gesticht. Het water zal worden voorgezuiverd door snelfiltratie alvorens te worden getransporteerd.

Het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noordholland zal met het ten behoeve van dit bedrijf aangevoerde water de duinwaterwinplaats te Castricum bevloeien. Voor deze waterwinplaats geldt, dat in twee verschillende zandpakketten in de ondergrond zoet water voorkomt. Deze pakketten worden gescheiden door een moei-

lijk doorlatende laag, in hoofdzaak bestaande uit klei. Het water zal in het boven-duinzandpakket worden gefiltreerd en met het boven-duinwater worden opgepompt. Een relatief klein deel zal door de moeilijk doorlatende lagen het diepe duinwater kunnen bereiken en zodoende medewerken tot het herstel van de in de loop der jaren aangetaste voorraad zoet water in de diepe ondergrond.

Tegelijkertijd echter zullen als gevolg van de belangrijke vergroting van de boven de kleilaag te winnen hoeveelheid water de op te pompen hoeveelheden diep water veel kleiner worden, hetgeen indirect tot de vermeerdering van de zoetwaterreserve zal bijdragen.

Het is te verwachten, dat er perioden zullen zijn, waarin geen bruikbaar water aan het Amsterdam-Rijnkanaal zal kunnen worden onttrokken. In deze perioden, waarin geen infiltratie plaatsvindt zal na droogvallen van de infiltratiewerken op de thans reeds bestaande diep-waterwinning moeten worden teruggegrepen.

De infiltratie door de Gemeentewaterleidingen van Amsterdam zal plaatsvinden in de duinwaterwinplaats Leiduin van dit bedrijf.

Aangenomen mag worden, dat het door toepassen van infiltratie mogelijk zal zijn aan de behoefte in de voorzieningsgebieden van de beide onderhavige bedrijven te voldoen, onder handhaving van een zoetwatervoorraad in het duingebied van redelijke omvang.

HOOFDSTUK V.

Grondwaterstroming bij infiltratie.

De als gevolg van infiltratie optredende grondwaterstroomvelden hangen af van de wijze, waarop de infiltratie is ingericht. Deze technische inrichting dient uiteraard te worden aangepast aan de geo-hydrologische gesteldheid van de ondergrond van het infiltratiegebied.

Wanneer de te voeden goed-waterdoorlatende lagen tot aan het maaiveld reiken, kan worden volstaan met de aanvoer van het te infiltreren water op het terrein. Hierbij zal in het algemeen gebruik kunnen worden gemaakt van in het terrein aanwezige natuurlijke laagten of van kunstmatig gevormde ontvanginrichtingen (greppels, sloten, kanalen, vijvers). Aldus worden oppervlaktewateren gevormd waaruit het water in de ondergrond kan wegzijgen.

In het geval dat de te voeden goed-waterdoorlatende lagen zijn afgedekt door slecht-waterdoorlatende lagen van geringe dikte kan een zelfde werkwijze worden toe-

gepast, indien de bodem van de ontvanginrichtingen tot in de goed-doorlatende lagen reikt. In die gevallen waarin de afdekkende moeilijk waterdoorlatende lagen een zo grote dikte bezitten dat doorgraving ervan een oneconomisch groot grondverzet zou betekenen, kan gebruik worden gemaakt van infiltratie in geboorde putten. Blijkens ervaring dienen bij toepassing van deze werkwijze, ter voorkoming van verstopping van de filters, zeer hoge eisen te worden gesteld aan de zuiverheid van het infiltratiewater.

De intrede van het infiltratiewater uit de ontvanginrichtingen in de poriën van de grond gaat in het algemeen gepaard met een stijghoogteverlies, dat wordt veroorzaakt door de weerstand van de slib- of slijmlaag, die op de bodem van de infiltratiewerken wordt gevormd.

Naarmate een infiltratiewerk langer in bedrijf is neemt de dikte van genoemde laag toe en daarmee de weerstand van de laag tegen waterbeweging. De infiltratiesnelheid neemt dus af. Regeneratie van de bodem kan plaatsvinden door droogleggen van het infiltratiewerk gedurende enige tijd en het door de natuur laten „verweten” van de gevormde laag, of het verwijderen ervan door afscheppen. Daarna kan het infiltratiewerk weder in bedrijf worden genomen. De duur van een „verwettingsperiode” is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden en kan na het droogvallen van de bodem variëren van enige dagen tot enige weken.

Na het passeren van de genoemde moeilijk doorlatende slijblaag bereikt het geïnfiltreerde water de te voeden goed-waterdoorlatende laag.

Afhankelijk van de hoogteligging van de bodem van de infiltratiewerken t.o.v. het freatisch vlak vóór de aanvang van de infiltratie zijn de poriën van de bovenste zone van deze laag bij de aanvang van de infiltratie al of niet geheel gevuld met water.

In het geval van geheel gevulde poriën zal het infiltratiewater hier dus bij de bestaande grondwater voorraad worden gevoegd en tot afstroming komen in de richting van een gebied met een lagere grondwaterstijghoogte dan ter plaatse van de infiltratiewerken. In het algemeen zal dit in de richting van de waterwinningsmiddelen zijn.

In het geval dat de bodem van de infiltratiemiddelen is gelegen boven het aanvankelijk aanwezige freatisch vlak, moet het infiltratiewater een zone van met lucht gevulde poriën passeren. De onder de bodem van de infiltratiemiddelen aldus ingesloten lucht vormt a.h.w. een kussen, dat weerstand biedt tegen waterbeweging; de infiltratiesnelheid blijft dus beperkt.

Het door de gedeeltelijk met lucht gevulde zone bewegende water neemt zuurstof op uit de ingesloten lucht,

waardoor de in Hoofdstuk VI nader beschreven oxydatieprocessen kunnen plaatsvinden.

Ná het passeren van de gedeeltelijk met lucht gevulde zone bereikt het geïnfiltreerde water de oorspronkelijke grondwatervoorraad.

Grondwaterstroomvelden, die door infiltratie worden gevoed, zullen in het algemeen door waterwinningsmiddelen worden begrensd. Door een doelmatige aanleg van de infiltratie- en waterwinningsmiddelen zal een zo groot mogelijk nuttig effect van de infiltratie kunnen worden verkregen.

De afstand tussen de infiltratiewerken en de waterwinningsmiddelen hangt o.m. af van de op grond van overwegingen van chemische en bacteriologische aard gekozen minimale verblijfstijd van het geïnfiltreerde water in de grond. Door een juiste dimensionering van de winningsmiddelen en de infiltratiewerken zal, rekening houdend met de doorlatendheid van de ondergrond, aan de eis van een bepaalde verblijfstijd in de grond kunnen worden voldaan.

De beweging van het geïnfiltreerde water door de ondergrond kan worden berekend met de formules, die gelden voor de onttrekking van grondwater. In deze formules wordt de hoeveelheid geïnfiltreerd water ingevoerd als een negatieve hoeveelheid onttrokken water.

De hoeveelheid water, die bij infiltratie in de grond kan worden gebracht, wordt enerzijds bepaald door de infiltratiesnelheid, anderzijds door het verhang van het grondwater tussen de infiltratiezone en de waterwinningsmiddelen en de doorlatendheid van de bodem.

De infiltratiesnelheid wordt, indien de bodem van de infiltratiebekkens boven het freatisch vlak is gelegen, behalve door de samenstelling van het bodemmateriaal, beïnvloed door de weerstand van de slib- of slijm laag, die zich vormt op de bodem van de infiltratiebassins en door de aanwezigheid van lucht in de poriën van de grond. Deze snelheid kan, blijkens de ervaring, variëren van praktisch nihil tot 16 m/etm. De laatstgenoemde hoge waarde heeft betrekking op infiltratiewerken met een zeer grove ondergrond (grind). Voor Nederlandse omstandigheden, dus voor betrekkelijk fijn-korrelige gronden, dient te worden gerekend met waarden tot ca. 0.5 m/etm.

Indien het freatisch vlak onder invloed van de infiltratie stijgt tot nagenoeg het niveau van de waterspiegel in de infiltratiebassins, zal de infiltratiesnelheid verminderen en wordt de infiltreerbare waterhoeveelheid bepaald door de doorlatendheid van de bodem, en het verhang van het grondwater naar de waterwinningsmiddelen.

De totale verblijfstijd van het water in de grond kan

worden onderverdeeld in twee perioden. In de eerste periode passeert het geïnfiltreerde water het nagenoeg verticale traject tussen de bodem van het infiltratiebekken en het freatisch vlak, in de tweede periode doorloopt het water de onder een bepaald verhang hellende grondwaterstroombanen tussen de infiltratiezone en de waterwinningsmiddelen.

Omtrent de duur van de eerste periode is weinig bekend. Uit de hoeveelheid water, die per tijdseenheid de bodem van de infiltratiebekkens passeert, kan een infiltratie- of filtersnelheid worden afgeleid, die echter geenszins identiek is met de reële snelheid van de waterdeeltjes. In geheel met water gevulde grond zal bij een poriënvolume van $1/3$ à $1/4$ de werkelijke snelheid gemiddeld het 3- à 4-voudige bedragen van de infiltratiesnelheid. Indien echter in de ondergrond een luchtkussen aanwezig is, zoals het geval zal zijn, indien het infiltratievlak boven het freatisch vlak is gelegen, zullen de poriën deels met water en deels met lucht zijn gevuld, zodat het voor de waterbeweging beschikbare doorstroomprofiel wordt vernauwd. De werkelijke snelheid van de waterdeeltjes in de eerste periode zal dus gemiddeld aanmerkelijk hoger zijn dan het 3- à 4-voudige van de infiltratiesnelheid. Voor Nederlandse omstandigheden rekent men met infiltratiesnelheden van 0,25 à 0,50 m/etm. De werkelijke snelheid van de waterdeeltjes in de eerste periode zal dus gemiddeld zeker groter zijn dan 1 à 2 m/etm.

Aangezien de afstand tussen de bodem van de infiltratiebekkens en het freatisch vlak vóór de aanvang van een bevoeiingsperiode — althans in Nederland — veelal niet meer dan enkele meters bedraagt, zal de verblijfstijd van het water in de bodem in de eerste periode niet meer dan enkele etmalen bedragen, tegen een verblijfstijd van enkele tientallen etmalen in de tweede periode, waarin het water het traject aflegt in de grondwaterstroombanen tussen de infiltratiezone en de waterwinningsmiddelen.

Afgezien van het belang, dat in chemisch-bacteriologisch opzicht aan de verblijfstijd gedurende de eerste periode moet worden toegekend, kan dus worden gesteld, dat de totale verblijfsduur van het water in de bodem praktisch dezelfde is als de verblijfstijd gedurende de tweede periode. De gemiddelde verblijfstijd gedurende de tweede periode kan worden berekend uit het verhang van het grondwater, de doorlatendheid van de bodem, het poriëngehalte en de lengte van de door de waterdeeltjes afgelegde weg tussen de infiltratiezone en de waterwinningsmiddelen. Aangezien echter de snelheid van de afzonderlijke waterdeeltjes door verschillende oorzaken nog aanmerkelijk kan afwijken van de gemiddelde snel-

heid, zal men er zich van bewust moeten zijn, dat de verblijfstijd van de snelste deeltjes belangrijk korter kan zijn dan de berekende gemiddelde verblijfstijd. Voor de infiltratiewerken in Zeeuwsch-Vlaanderen en te Enschede werd de gemiddelde verblijfstijd berekend op ten minste 40, respectievelijk 50 etmalen. Voor de werken van de Leidsche Duinwater Maatschappij werd de totale verblijfstijd proefondervindelijk bepaald door water te infiltreren met een chloride-gehalte, dat hoger was dan het normale, en het tijdstip na te gaan, waarop een hoger chloridegehalte kon worden aangetoond in het dichtstbij gelegen draineerkanaal. Voor de infiltratiewerken „Oost” werd een verblijfstijd gevonden van 75 à 110 etmalen, welke waarde enigszins lager lag dan de berekende verblijfstijd. Voor de werken „West” bedraagt de verblijfstijd enige honderden etmalen.

Voor de afstand tussen de infiltratiewerken en de waterwinningsmiddelen, die samenhangt met de gestelde verblijfstijd in de grond, worden in de literatuur verschillende waarden vermeld, variërend tussen enige tientallen meters en duizend meter.

De hoogte van de infiltratiewerken boven het oorspronkelijke freatisch vlak hangt af van de plaatselijke omstandigheden; zij varieert tussen 0 en 30 m. Infiltratiewerken, die hoog boven het oorspronkelijke freatisch vlak zijn gelegen, bieden meer mogelijkheid tot berging van water in de ondergrond dan lager gelegen infiltratiewerken.

Met infiltratie d.m.v. geboorde putten is in ons land ervaring opgedaan op het gebied van de koelwaterlozing en bij zg. „retour-bemalingen” bij bouwputten en voorts door de Nederlandse Aardolie Maatschappij in Drenthe, die zoutwater, dat met de olie wordt opgepompt, weer in de diepe ondergrond infiltreert met behulp van putten. Ten aanzien van deze werkwijze kan worden opgemerkt, dat, behalve de hoge eisen die aan de kwaliteit van het te infiltreren water wat betreft de zuiverheid dienen te worden gesteld, er tevens voor moet worden gezorgd dat het water zuurstofvrij in de ondergrond wordt gebracht, teneinde oxydatieprocessen te voorkomen. Daardoor kan verstopping van de putten worden vermeden. Dat aan deze eis bij koelwatervoorzieningen en „retourbemalingen” door gebruik van een z.g. „gesloten” systeem kan worden voldaan, is wellicht een verklaring van het redelijke succes, dat in deze gevallen kan worden bereikt.

Ten aanzien van de capaciteit van infiltratieputten wordt in de praktijk wel de regel aangehouden, dat deze de helft zal bedragen van een op overeenkomstige wijze ingerichte pomput.

HOOFDSTUK VI.

De chemisch-bacteriologische zijde van het infiltratievraagstuk.

De biologische reiniging en afbraak van organische stoffen in zuurstofhoudend infiltratiewater kan in twee fasen plaatsvinden:

- a. aerobe afbraak (oxydatieve zone);
- b. anaerobe afbraak (reduktie zone).

De meest vergaande mineralisatie kan worden verwacht, indien het oxydatieve afbraakproces wordt gevolgd door een anaeroob afbraakproces.

Dat de aerobe afbraak in de oxydatieve zone een belangrijke bijdrage levert tot de biologische reiniging en de mineralisatie is o.a. gebleken uit de onderzoeken van prof. dr. J. K. B a a r s in de meeuwenkolonie te Meyendel en in de „Franse Kamp” te Hilversum. Prof. B a a r s vond dat de biologische reiniging en de afbraak van organische stoffen in droge grond zeer snel verloopt, zodat na vier maanden verblijfstijd van de faecaliën in de grond op 40 cm afstand geen typisch E-coli meer was aan te tonen.

C a l d w e l l, die de verticale en zijwaartse spreiding van Salmonellas en Coliformen onderzocht bij beerputten, vond dat zij op een diepte van 180 cm en zijwaarts op een afstand van 60 cm niet meer konden worden aangetoond. C a l d w e l l voerde het begrip „soil defence” in.

Aan de andere kant is uit onderzoeken van verschillende zijden gebleken dat bacteriën van de Coligroep langdurig in grondwater of in kunstmatig besmette filters in leven blijven. B u o m i n i toonde in een besmet filter na 120 dagen continue filtratie van drinkwater nog steeds organismen van de coligroep aan (niet gepubliceerde mededeling). Na stopzetting van de filtratie en afsluiting van het filter werden bij hernieuwde filtratie na 32 maanden dezelfde organismen aangetroffen.

C a t a l a n o toonde aan dat E-coli in het grondwater uit een put meer dan 10 maanden in leven bleef. De vraag rijst hoe deze enorme verschillen in de overlevingstijd kunnen worden verklaard.

K i s s k a l t schrijft het verhoogde kiemgetal van langzame zandfilters bij lage temperaturen toe aan de verminderde levensbedrijvigheid, gepaard gaande aan een sterk verminderde vreetlust van de protozoën.

K n o r r heeft de bedrijvigheid en vreetlust van amoeben en ciliaten bestudeerd en aangetoond, dat deze door de vorming van antibiotica bij de ontwikkeling van bepaalde bacteriën, zoals Pseudomonas fluorescens en bepaalde sporevormers, sterk kan worden afgeremd. De

ciliaten gaan dan onder ongunstige levensomstandigheden en onder invloed van afgescheiden antibiotica over in de cystevorm.

K n o r r schrijft de doorbreking van de „soil defence” (biologische Sperre) in langzame zandfilters en in de bodem voor een belangrijk deel toe aan dergelijke processen, waarbij door milieuverandering en ontwikkeling van voor de protozoën als voedsel ongunstige bacteriënsoorten de biologische opruiming wordt geremd. Hij schrijft: „Im Allgemeinen kann man sagen dass das Phänomen der Keimabnahme beim Versinken von Oberflächenwasser im Boden auf Verteilung und Siebwirkung, Adsorption, Bacterizidie durch Milieuwechsel und chemische Stoffe, ferner Protozoëntätigkeit beruht”. Nu neemt de protozoëngroei met de diepte van de grondlagen en vooral onder anaerobe omstandigheden sterk af, zodat de verdere biologische afbraak door bacteriële ontwikkeling en afbraak van voedingsstoffen, gevolgd door een geleidelijke milieuverandering en door fysisch-chemische processen zoals adsorptie moet plaatsvinden. Door de geleidelijke milieuverandering komen steeds nieuwe, geringere eisen aan de voeding stellende bacteriënflora's tot ontwikkeling en afsterving. Het mineralisatieproces eindigt tenslotte in de groei van autotrofe aan zuiver water aangepaste bacteriën, die haar koolstofbehoefte volledig kunnen dekken uit koolzuur en voorts tevreden zijn met eenvoudige minerale verbindingen zoals nitraten, sulfaten, fosfaten, sporenelementen, al dan niet met behulp van lichtenergie.

De zuivering bij de infiltratie van voldoende geaereerd oppervlaktewater kan dus de navolgende stadia doorlopen:

I. *Aerobe fase:*

a. biologisch: ontwikkeling van een biologisch evenwicht tussen een macroflora en een microflora. De hogere organismen consumeren de bacteriën. Een aan de voedingsomstandigheden aangepaste microflora oxydeert organische stoffen met behulp van luchtzuurstof: ontwikkeling en afsterving van opeenvolgende microflora's (nitrificatie, denitrificatie);

b. fysisch-chemisch: adsorptie en coagulatie van colloïdale organische en anorganische stoffen.

II. *Anaerobe fase:*

a. biologisch: microbiologische oxydatie met behulp van nitraat-, sulfaat-, carbonaatzuurstof of andere H_2 -acceptoren (denitrificatie, sulfaatreductie, methaan-gisting).

b. fysisch-chemisch: door adsorptie en coagulatie.

De aerobe fase speelt zich af in de infiltratiebassins of kanalen, in de luchtbevattende grondlagen boven de grondwaterspiegel (verticale en laterale natuurlijke droogfiltratie) en beneden de grondwaterspiegel, zolang de opgeloste zuurstof nog niet is verbruikt. Door infiltratie boven de grondwaterspiegel wordt de aerobe fase belangrijk verlengd, daar de voor de biologische oxydatie verbruikte zuurstof wordt aangevuld tijdens het afbraakproces door de in de grond aanwezige zuurstof. De aerobe fase zal zich daardoor tot in diepere lagen voortzetten dan bij afwezigheid van lucht in de bodem, d.w.z. bij infiltratie in met water gevulde grond.

Het periodiek droogzetten van de infiltratiebekkens heeft het voordeel, dat opnieuw aeratie van de bodem plaatsvindt, waardoor het aerobe afbraakproces wordt versterkt.

Bij het langzame droogvallen zullen vele protozoënsoorten in de cystevorm overgaan. Bij hernieuwde infiltratie zal de protozoënpopulatie zich weer snel kunnen herstellen.

De wenselijkheid van de aanwezigheid van een luchtkussen in de ondergrond bij infiltratie van oppervlaktewater wordt in feite beheerst door:

a. de mate van organische en microbiologische verontreiniging van het te infiltreren water, d.w.z. door het biochemische zuurstofverbruik van het water, en

b. de verblijfstijd van het te zuiveren water in de bodem.

K n o r r rekent voor met afvalwater sterk verontreinigd oppervlaktewater met een noodzakelijke verblijfstijd van ten minste 50 dagen, doch bij voorkeur niet korter dan 70 dagen.

G r o s s e n K l ö h r hebben aangetoond dat pathogene virussen ook door amoeben geadsorbeerd en geïnactiveerd worden.

Uit onderzoekingen van K l i n g is gebleken dat Polio-myelitus en Hepatitis virus zeer langdurig in oppervlaktewater in leven blijven (in het desbetreffende geval drie maanden), terwijl ook bekend is dat zij door lage concentraties aan vrij chloor (0.3—0.5 mg/l) niet of slechts ten dele worden aangetast.

Door de aanwezigheid van virussen in het oppervlaktewater zal, gezien deze waarnemingen, mogelijk een grotere veiligheidsmarge nodig zijn ten aanzien van de verblijfstijd van het geïnfiltreerde water in de bodem, dan alleen op microbiologische gronden is te verwachten. Over de grootte van deze veiligheidsmarge ten opzichte van virussen zijn echter nog geen exacte gegevens beschikbaar. Bovendien zal deze weer afhankelijk zijn van de mate van besmetting.

Ook ten opzichte van de opruiming of inactivering van virussen betekenen de onderzoeken van K n o r r over de ontkieming van verontreinigd water door protozoënvract en de remming daarvan door de selectieve groei van sporenvormers en bepaalde *Pseudomonas* stammen een nieuw gezichtspunt. Zij vestigen immers de aandacht op de invloeden van chemische remstoffen, die, hetzij uit afvalwater afkomstig kunnen zijn, hetzij voor de behandeling van het water worden toegevoegd. Deze remstoffen kunnen de aanleiding zijn van een nagroei van bepaalde micro-organismen, die de biologische zuivering ongunstig beïnvloeden. Men zal eerst onafhankelijk worden van een dergelijke beïnvloeding, indien men een desinfectans toevoegt in voldoende mate om het water te steriliseren en de virussen volledig te inactiveren. In dat geval doet men echter afstand van de biologische zuivering, die zich afspeelt in de infiltratiebassins en vooral in de sliblaag en de oppervlakkige grondlagen. Het wordt dan echter waarschijnlijk, dat de afbraak van organische smaakstoffen ernstig zal worden vertraagd, daar men deze naar de anaerobe fase verschuift.

In de infiltratiegebieden van de bedrijven van Leiden, Zeeuwsch-Vlaanderen en Enschede beschikt men in het algemeen over relatief weinig verontreinigd oppervlaktewater.

De verblijfstijden van het te zuiveren water in de bodem zijn bij de infiltratiewerken „Oost” van het Leidse bedrijf 75 à 110 etm, bij de infiltratiewerken „West” 340 à 950 etm. In Zeeuwsch-Vlaanderen bedraagt de verblijfstijd ten minste 40 etm en te Enschede ruim 50 etm.

Bij het Leidse bedrijf zijn de verblijfstijden het grootst, doch in alle drie gevallen is de verblijfsduur ten opzichte van de mate van verontreiniging van het geïnfiltreerde oppervlaktewater ruimschoots voldoende gebleken, althans voor zover men de chemische afbraak en de opruiming van pathogene en niet-pathogene darmbacteriën in beschouwing neemt.

Ten aanzien van de „soil defence” met betrekking tot de verwijdering van virussen zijn bij de bovengenoemde bedrijven geen gegevens verzameld.

In de aan het slot van dit rapport opgenomen tabellen wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde chemische en bacteriologische samenstelling van het geïnfiltreerde water en het uit de door infiltratiewater gevoede putten gewonnen water van de infiltratiewerken van de N.V. Leidsche Duinwater Maatschappij, de N.V. Waterleiding Maatschappij „Zeeuwsch-Vlaanderen” en de Gemeentelijke Drinkwaterleiding van Enschede.

Uit waarnemingen is voorts aangetoond, dat reeds op

korte afstand van de infiltratiezones een nagenoeg volledige verwijdering van kiemen van faecale herkomst plaatsvindt, terwijl ook het gehalte aan organische stoffen, uitgedrukt in de oxydeerbaarheid met KMnO_4 , een belangrijke reductie ondergaat. Bij een door toevallige omstandigheden optredende verontreiniging van de bodem door rioolvocht aan de rand van het winningsgebied van de Leidsche Duinwater Maatschappij is echter gebleken, dat tot op tamelijk grote afstand van het besmettingspunt E-coli in het grondwater werd aangetroffen. In dit geval vond de besmetting plaats beneden de grondwaterstand en was deze bovendien zeer intensief.

Waarschijnlijk moet het feit, dat reeds op geringe afstand van de infiltratiezones van de bovenbedoelde bedrijven geen kiemen van faecale herkomst in het grondwater werden aangetroffen dan ook worden toegeschreven aan de aanwezigheid van een aerobe fase in het infiltratieproces en aan de geringere intensiteit van de primaire verontreiniging.

HOOFDSTUK VII

Conclusies.

Uit het voorgaande kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

a. De hoeveelheid water, die bij infiltratie in de grond kan worden gebracht, wordt enerzijds bepaald door de infiltratiesnelheid, anderzijds door het verhang van het grondwater tussen de infiltratiezone en de waterwinningmiddelen en de doorlatendheid van de bodem.

De infiltratiesnelheid wordt, indien de bodem van de infiltratiebekkens boven het freatisch vlak is gelegen, behalve door de samenstelling van het bodemmateriaal, beïnvloed door de weerstand van de slib- of slijm laag, die zich vormt op de bodem van de infiltratiebassins en door de aanwezigheid van lucht in de poriën van de grond.

Voor Nederlandse omstandigheden, dus voor betrekkelijk fijnkorrelige gronden, zal men in het algemeen niet op hogere infiltratiesnelheden kunnen rekenen dan ca. 0.50 m/etm. Indien het freatisch vlak onder invloed van de infiltratie stijgt tot nagenoeg het niveau van de waterspiegel in de infiltratiebassins, zal de infiltratiesnelheid verminderen en wordt de infiltreerbare waterhoeveelheid bepaald door de doorlatendheid van de bodem en het verhang van het grondwater naar de waterwinningmiddelen.

Voor een doelmatige aanleg van infiltratie- en waterwinningmiddelen zal dus met het voorgaande rekening moeten worden gehouden.

b. Bij de zuivering van het geïnfilterde water in de bodem kunnen een aerobe en een anaerobe fase worden onderscheiden. De eerste fase speelt zich af in de infiltratiebassins, in de lucht bevattende grondlagen boven het freatisch vlak en beneden de grondwaterspiegel, zolang de in het water opgeloste zuurstof nog niet is verbruikt. Na de oxydatieve fase kan de anaerobe fase of reductie-fase volgen, d.w.z. een oxydatie ten koste van de gebonden zuurstof van het nitraat of sulfaat.

De meest vergaande mineralisatie van de organische stoffen kan worden verwacht, indien het oxydatieve afbraakproces wordt gevolgd door een anaeroob afbraakproces.

Hiertoe is een zekere verblijfstijd vereist van het water in de bodem, waarvan de duur afhankelijk is van de mate van organische en microbiologische verontreiniging van het infiltratiewater en van milieufactoren van industriële herkomst, die hetzij zelf remmend werken op de protozoëngroei, hetzij aanleiding zijn tot selectieve groei van micro-organismen, die deze remming tengevolge hebben.

Naarmate de aerobe fase kort is, zal de in totaal noodzakelijke verblijfstijd van het infiltratiewater in de bodem langer moeten zijn.

Aan de eis van een bepaalde verblijfstijd kan op verschillende wijzen worden voldaan.

c. Het herstel van het doorlaatvermogen van het infiltratieoppervlak kan geschieden door het periodiek verwijderen van de afgezette slib- of slijmlaag of door deze te laten verwerken onder invloed van zon en wind. De verweringsperiode van de sliblaag kan, afhankelijk van de weersgesteldheid, variëren van enkele dagen tot enkele weken.

Het droogzetten van een infiltratiebekken heeft bovendien het voordeel, dat opnieuw aeratie van de bodem plaats vindt, waardoor het aerobe afbraakproces wordt versterkt. Bij het langzame droogvallen zullen vele protozoënsoorten in de cyste-vorm overgaan. Bij hernieuwde infiltratie zal de protozoënpopulatie, die van grote betekenis is voor de biologische afbraakprocessen in het te infiltreren water, zich weer snel kunnen herstellen. Het verwijderen van de drooggevallen sliblaag zou uit dien hoofde dan ook het herstel van het biologisch evenwicht kunnen vertragen.

De te volgen werkwijze bij de regeneratie van het infiltratieoppervlak zal overigens mede afhankelijk zijn van de mate van verontreiniging van het aangevoerde water.

d. Bij infiltratie van oppervlaktewater met behulp van geboorde putten zullen zeer hoge eisen aan de zuiverheid van het te infiltreren water moeten worden gesteld.

Tevens zal er voor moeten worden gezorgd, dat het water zuurstofvrij in de ondergrond wordt gebracht teneinde oxydatieprocessen en daardoor verstopping van de put te voorkomen.

e. Bij de onderzochte infiltratiewerken van de N.V. Leidsche Duinwater Maatschappij, de N.V. Waterleiding-maatschappij „Zeeuwsch-Vlaanderen” en de Gemeentelijke Drinkwaterleiding van Enschede is gebleken, dat daar de verblijfstijd van het infiltratiewater in de bodem ruimschoots voldoende is voor de volledige chemische afbraak en de opruiming van darmbacteriën, zodat een produkt wordt verkregen, dat geheel gelijkwaardig is aan ruw grond- of duinwater.

f. Ten aanzien van de verwijdering van virussen zijn bij de sub e bedoelde bedrijven nog geen onderzoekingen verricht.

De verblijfstijd van het infiltratiewater in de bodem zal in verband met de aanwezigheid van virussen mogelijk groter dienen te zijn dan alleen op klassiek microbiologische gronden als noodzakelijk moet worden beschouwd.

g. Het is dringend gewenst, dat het vraagstuk van de inactivering van virussen en de in verband hiermede te nemen maatregelen, nader worden onderzocht.

Dit onderzoek is zowel van belang in hygiënisch opzicht als ten aanzien van de vraag, op welke wijze het grootste rendement van de infiltratiewerken kan worden verkregen.

's-Gravenhage, februari 1958.

CHEMISCH-BACTERIOLOGISCHE RESULTATEN

Leidsche Duinwater Maatschappij

	1953		1956			
	Bevloeiingswater (bevloeiing Oost)	Opgepompt water (draineerkanaal)	Bevloeiingswater (bevloeiingen Oost en West)			
	max.	max.	max.	min.	max.	min.
Kleur, mg Pt/l	57	33	70	30		
pH	8,33	7,89	7,90			
KMnO ₄ verbruik, mg/l	75	38,—	69,—	39		
Cl ['] mg/l	178	114	154	90	128	55
NO ₂ ' mg/l	0	0	sp	0		
NO ₃ ' mg/l	0	0	6,2	spoor		
SO ₄ '' mg/l	153	150	210,—	118,—		
HCO ₃ ' mg/l	174	341	320,—	312		
CO ₂ mg/l	0	11,—	9,—	13,7		
PO ₄ ''' mg/l	1,1	0,60	1,1	0,09		
NH ₄ ⁺ mg/l	0,25	0,12	3,1	0,07		
Fe mg/l	0,11	1,1	0,70	0,90		
Mn mg/l	0,09	0,51	0,45	0,15		
totale hardheid, °D	19,7	24,2	25,7	22,8	20,8	17,9
bicarbonaat hardheid, °D	12,0	15,7	14,7	14,8	14,8	14,0
	max.		max.		max.	
Proef van Eijkman, 42°C						
2 x 25 ml	2+		—	2+		—
2 x 10 ml	1+		—	—		—
2 x 1 ml	—		—	—		—
Colionderzoek in glutaminezuur med.						
37°C 5 x 10 ml	5+		—	5+		—
2 x 50 ml	2+		—	2+		—
Onderzoek op streptococcen 2 x 10 ml	1+		—	—		—
Kiemgetal op agar, 37°C per ml	> 150		3	40		12
Meest waarschijnlijk aantal Colibacteriën per 100 cl:	> 20	< 0,46	> 20	< 0,46		

N.V. Waterleidingmaatschappij Zeeuwsch-Vlaanderen — Infiltratiewater inlaat West

	1952			1953			1954		
	gemidd.	max.	min.	gemidd.	max.	min.	gemidd.	max.	min.
Geleidingsvermogen (K ₁₈ .10 ⁶)	476	582	379	444	527	370	469	548	387
pH	7,79	8,27	7,27	ca 7,84	8,3	7,10	ca 7,67	8,3	7,13
KMnO ₄ verbruik mg/l	39,5	80,8	7,3	38,0	62,6	27,0	46,3	89,2	28,6
Cl ⁻ mg/l	41,5	55,5	27,4	41,1	52,0	35,2	46,9	61,6	36,0
HCO ₃ mg/l	177	224	96	174	229	112	186	238	108
CO ₂ mg/l	8,2	23,8	2,8	—	33,4	0	—	31,0	0
CO ₃ mg/l	0	0	0	—	12,6	0	—	6,6	0
Fe mg/l	1,7	4,8	0,32	1,7	7,4	0,15	1,3	2,4	0,37
totale hardheid °D	12,3	17,6	8,3	11,4	14,5	7,6	11,9	14,3	9,9
bicarbonaathardheid °D	8,1	10,1	4,4	8,2	10,5	5,2	8,5	10,9	5,0
		max.	min.		max.	min.		max.	min.
Proef van Eijkman, 42°C	2 x 25 ml	2+	—	2+	—	2+	—	2+	—
	2 x 10 ml	2+	—	1+	—	2+	—	2+	—
	2 x 1 ml	2+	—	—	—	2+	—	2+	—
Colionderzoek glutaminezuur med. 37°C	5 x 10 ml	5+	—	5+	—	5+	—	5+	2
	5 x 1 ml	5+	—	4+	—	5+	—	5+	—
	5 x 0,1 ml	5+	—	—	—	5+	—	5+	—
streptococci	2 x 10 ml	2+	—	2+	—	2+	—	2+	—
	2 x 1 ml	1+	—	—	—	1+	—	1+	—
kiemgetal op agar 37°C per ml		440	9	260	35	5000		28	
Aantal monsters:		22		25		25			

N.V. Waterleidingmaatschappij Zeeuwsch-Vlaanderen
Infiltratiewater inlaat West

	1955			1956		
	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.
Geleidingsverm. ($K_{18} \cdot 10^6$)	484	529	362	448	540	357
pH	ca 7,76	8,3	7,14	ca 7,95	7,30	8,3
KMnO ₄ verbruik mg/l	45,3	65,6	20,1	49,6	83,2	30,4
Cl ⁻ mg/l	56,2	54,3	37,1	47,9	74,4	35,2
HCO ₃ mg/l	169	208	113	156	197	89,6
CO ₂ mg/l	—	25,0	0	—	12,8	0
CO ₃ mg/l	—	13,8	0	—	12,6	0
Fe mg/l	1,7	3,4	0,80	1,6	9,1	0,14
totale hardheid °D	11,2	14,1	9,7	12,1	14,4	8,4
bicarbonaathardheid °D	7,8	9,6	6,5	7,4	9,0	4,9
		max.	min.	max.	min.	
Proef van Eijkman, 42°C						
2 x 25 ml	2+	2+	2+	2+	2+	
2 x 10 ml	2+	—	—	2+	—	
2 x 1 ml	—	—	—	2+	—	
Colionderzoek in glutaminezuur med. 37°C						
5 x 10 ml	5+	2+	—	5+	5+	
5 x 1 ml	4+	—	—	5+	—	
5 x 0,1 ml	1+	—	—	4+	—	
Streptococcen						
2 x 10 ml	2+	—	—	2+	—	
2 x 1 ml	—	—	—	—	—	
Kiemgetal op agar, 37°C per ml	1610	8	—	742	24	
Aantal monsters:		17		24		

N.V. Waterleidingmaatschappij Zeeuwsch-Vlaanderen — Infiltratiewater inlaat Oost

	1952			1953			1954		
	gemidd.	max.	min.	gemidd.	max.	min.	gemidd.	max.	min.
Geleidingsvermogen (K ₁₅ .10 ⁶)	439	531	326	476	631	375	512	744	421
pH	7,49	7,87	6,97				7,56	8,15	7,25
KMnO ₄ verbruik mg/l	41,0	57,6	14,7	43,0	89,6	17,0	48,7	73,2	36,8
Cl ⁻ mg/l	50,7	66,5	43,0	59,2	89,5	41,0	62,8	90,8	51,3
HCO ₃ mg/l	133	230	90,9	162	234	97,5	170	244	96,0
CO ₂ mg/l	9,0	23,5	3,6	9,8	25,2	2,6	10,7	21,3	2,3
CO ₃ mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe mg/l	1,2	6,6	0,24	1,0	4,0	0,27	0,51	1,3	0,25
totale hardheid °D	9,4	12,9	5,4	10,1	16,5	7,4	11,9	17,7	7,8
bicarbonaathardheid °D	6,1	12,5	4,2	7,3	10,7	4,5	7,8	11,2	4,4
		maximum	minimum	maximum	minimum		maximum	minimum	
Proef van Eijkman, 42°C	2 x 25 ml	2+	2+	2+	—		2+	2+	
	2 x 10 ml	2+	—	2+	—		2+	—	
	2 x 1 ml	—	—	2+	—		2+	—	
Colionderzoek in glutaminezuur med. 37°C	5 x 10 ml	5+	3+	5+	1+		5+	3+	
	5 x 1 ml	5+	—	5+	1+		5+	3+	
	5 x 0,1 ml	2+	—	4+	—		3+	—	
streptococcen	2 x 10 ml	2+	—	2+	—		2+	—	
	2 x 1 ml	—	—	2+	—		—	—	
Aantal monsters:		15		15			26		

N.V. Waterleidingmaatschappij Zeeuwsch-Vlaanderen
Infiltratiewater inlaat Oost

	1955			1956		
	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.
Geleidingsverm. ($K_{18,10^6}$)	522	742	417	520	734	363
pH	7,56	8,05	7,04	7,70	8,10	7,33
KMnO ₄ verbruik mg/l	46,6	65,1	28,5	58,7	72,4	35,6
Cl ⁻ mg/l	62,7	79,0	46,9	68,4	96,5	41,5
HCO ₃ mg/l	143	166	93	147	265	67,6
CO ₂ mg/l	10,2	20,3	2,7	7,7	14,0	2,4
CO ₃ mg/l	0	0	0	0	0	0
Fe mg/l	0,64	1,3	0,25	1,0	3,5	0,16
totale hardheid °D	12,0	18,2	8,4	12,0	18,0	7,6
bicarbonaathardheid °D	6,5	7,6	4,3	6,7	10,4	3,1
		max.	min.	max.	min.	
Proef van Eijkman, 42°C						
2 x 25 ml	2+		1+	2+	—	
2 x 10 ml	2+		—	2+	—	
2 x 1 ml	1+		—	2+	—	
Colionderzoek in glutaminezuur med. 37°C						
5 x 10 ml	5+		2+	5+	2+	
5 x 1 ml	5+		—	5+	—	
5 x 0,1 ml	2+		—	4+	—	
Streptococci 2 x 10 ml	2+		—	2+	—	
2 x 1 ml	—		—	—	—	
Kiemgetal op agar, 37°C per ml	390		3	3400	32	
Aantal monsters:		18		25		

N.V. Waterleidingmaatschappij Zeeuwsch-Vlaanderen. Opgepompt water winplaats St. Jansteen

	1952			1953			1954		
	gemidd.	max.	min.	gemidd.	max.	min.	gemidd.	max.	min.
Geleidingsvermogen (K ₁₅ .10 ⁶)	539	567	494	535	563	507	556	589	523
pH	7,79	8,10	7,53	7,77	8,20	7,46	7,74	7,97	7,52
KMnO ₄ verbruik mg/l	20,7	30,2	15,4	21,9	40,4	17,4	21,9	36,0	15,9
Cl ⁻ mg/l	46,0	53,0	42,8	46,2	49,0	40,4	50,2	56,0	44,4
HCO ₃ mg/l	218	240	189	218	229	201	226	247	207
CO ₂ mg/l	9,1	16,3	3,3	10,0	19,6	2,5	10,7	17,2	5,7
CO ₃ mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe mg/l	2,5	7,3	1,5	2,3	5,0	1,3	2,4	3,2	2,0
totale hardheid °D	15,2	16,4	13,9	14,4	15,4	12,9	15,3	16,5	13,0
bicarbonaathardheid °D	10,0	11,0	8,6	10,0	10,5	9,3	10,1	11,3	9,5
		maximum	minimum		maximum	minimum		maximum	minimum
Proef van Eijkman, 42°C									
2 x 25 ml	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2 x 10 ml	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Colionderzoek in glutaminezuur									
5 x 10 ml	1+	—	—	—	—	—	1+	—	—
5 x 1 ml	—	—	—	—	—	—	—	—	—
streptococcen									
2 x 10 ml	—	—	—	—	—	—	—	—	—
kiemgetal op agar	59	0	0	6	0	0	6	0	0
Aantal monsters		19		24			23		

N.V. Waterleidingmaatschappij Zeeuwsch-Vlaanderen
Opgepompt water winplaats St. Jansteen

	1955			1956		
	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.
Geleidingsverm. (K _{1s} .10 ⁶)	549	579	516	576	601	524
pH	7,72	7,96	7,59	7,76	7,94	7,59
KMnO ₄ verbruik mg/l	21,0	25,2	15,5	22,0	25,8	17,5
Cl ⁻ mg/l	51,6	56,9	45,7	55,5	59,8	46,9
HCO ₃ mg/l	223	239	204	214	228	199
CO ₂ mg/l	10,4	14,7	6,1	9,5	12,7	5,8
CO ₃ mg/l	0	0	0	0	0	0
Fe mg/l	2,7	4,0	1,2	2,8	4,2	2,3
totale hardheid °D	15,3	16,4	14,7	16,7	18,4	14,4
bicarbonaathardheid °D	10,2	11,0	9,4	9,9	10,5	9,1
		max.	min.	max.	min.	
Proef van Eijkman, 42°C						
2 x 25 ml	1+	—	—	—	—	
2 x 10 ml	—	—	—	—	—	
Colionderzoek in glutaminezuur med.						
37°C						
5 x 10 ml	4+	—	—	—	—	
5 x 1 ml	—	—	—	—	—	
Streptococci 2 x 10 ml	—	—	—	—	—	
Kiemgetal op agar 37°C per ml	880	0		21	0	
Aantal monsters:		21		13		

Gem. Waterleidingbedrijf Enschede — Water Twente-kanaal

	1952			1953		
	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.
kleur, mg Pt/l	31	62	18	25	49	15
geleidingsverm. (K _{1s} .10 ⁶)	584	699	570	702	852	570
pH	8,02	>8,3	7,29	—	>8,3	7,54
KMnO ₄ - verbruik, mg/l	21,5	24,8	14,1	22,9	25,7	18,5
Cl ⁻ mg/l	116	127	106	126	193	94,2
NO ₂ mg/l	0,04	0	0,29	—	—	—
NO ₃ mg/l	0	0	0	—	—	—
HCO ₃ ⁻ mg/l	118	163	95	154	229	112
CO ₂ mg/l	—	17,1	0	—	9,0	0
CO ₃ mg/l	—	7,8	0	—	19,2	0
NH ₄ mg/l	0,15	0,48	<0,05	—	—	—
Fe mg/l	1,2	5,1	0,22	0,59	3,4	0,11
Mn mg/l	0,09	0,34	<0,03	—	—	—
totale hardheid, °D	9,4	10,6	7,8	12,3	14,1	10,2
bicarbonaathardheid, °D	5,3	7,5	4,4	6,9	10,5	5,2
		max.	min.	max.	min.	
Proef van Eijkman, 42°C						
2 x 25 ml				2+	—	
2 x 10 ml				—	—	
Colionderzoek, glutaminezuur med.						
37°C						
5 x 10 ml	geen bacteriologisch			5+	5+	
5 x 1 ml	onderzoek			5+	2+	
Onderzoek op streptococci 2 x 10 ml				1+	—	
Kiemgetal op agar, 37°C per ml				520	40	
aantal waarnemingen:		24		36		

Gem. Waterleidingbedrijf Enschede — Water Twente-kanaal

	1955			1956		
	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.
	kleur, mg Pt/l	52	69	27	68	115
geleidingsverm. (K _{1s} .10 ⁶)	777	812	714	663	754	474
pH	7,75	8,25	7,51	7,76	7,99	7,61
KMnO ₄ - verbruik, mg/l	31,3	51,2	23,2	36,2	46,6	20,3
Cl' mg/l	156	170	130	132	148	60,6
HCO ₃ ' mg/l	167	283	139	142	159	126
CO ₂ mg/l	5,4	14,1	1,0	5,4	7,7	3,0
Fe mg/l	0,43	1,1	0,12	0,98	9,6	0,08
totale hardheid, °D	11,4	19,7	7,9	9,8	11,7	7,5
bicarbonaathardheid, °D	7,7	13,0	6,4	6,5	7,3	5,8
		max.	min.	max.	min.	
Proef van Eijkman, 42°C						
2 x 25 ml	2+	—	—	2+	—	—
2 x 10 ml	2+	—	—	2+	—	—
colionderzoek in glutaminezuurmedium						
37°C 5 x 10 ml	5+	3+	—	5+	2+	—
5 x 1 ml	5+	—	—	5+	—	—
onderzoek op streptococcen 2 x 10 ml	2+	—	—	2+	—	—
kiemgetal op agar; 37°C. per ml	3100	55	ca 5000		30	
aantal waarnemingen:		19			22	

Gemeentelijk Waterleidingbedrijf Enschede -- Infiltratiewater (in het infiltratiekanaal)

	1954			1955			1956		
	gemidd.	max.	min.	gemidd.	max.	min.	gemidd.	max.	min.
Kleur mg Pt/l	46	110	18	64	100	37	78	150	42
Geleidingsvermogen (K ₁₈ .10 ⁶)	649	869	368	629	807	368	601	758	335
pH		> 8,3	7,16	—	> 8,3	7,34	7,58	8,16	7,21
Permanganaatverbruik mg/l	35,9	182	12,5	39,2	55,5	25,5	40,0	52,4	21,2
Cl ⁻ mg/l	117	193	51,0	119	170	55,0	109	146	46,9
HCO ₃ mg/l	117	185	63	136	266	29	120	152	52
CO ₂ mg/l	—	10,9	0	—	9,5	0	5,7	11,0	2,4
CO ₃ mg/l	—	6,6	0	—	15,0	0	0	0	0
Fe mg/l	0,79	3,3	0,20	0,47	1,2	0,13	0,61	2,0	0,14
totale hardheid °D	9,5	12,5	6,7	10,0	15,4	6,1	9,3	11,5	6,0
bicarbonaathardheid, °D	5,4	8,9	2,9	6,3	12,2	1,3			
		max.	min.	max.	min.	max.	min.		
Proef van Eijkman, 42°C 2 x 25 ml		2+	—	2+	—	2+	—		
2 x 10 ml		—	—	2+	—	2+	—		
Colionderzoek in glutaminezuur									
5 x 10 ml		5+	—	5+	3+	5+	1+		
5 x 1 ml		5+	—	5+	—	5+	2+		
Streptococci 2 x 10 ml		2+	—	2+	—	2+	—		
Kiemgetal op agar 37°C per ml	ca 10000		14	5000		55	8000		45
Aantal waarnemingen:		18		14		21			

Gemeentelijk Waterleidingbedrijf Enschede — Opgepompt water

	1954			1955			1956		
	gemidd.	max.	min.	gemidd.	max.	min.	gemidd.	max.	min.
Kleur mg Pt/l	25	83	6	55	100	22	56	107	25
Geleidingsvermogen (K18.10°)	432	497	389	432	517	379	438	494	379
pH	6,90	7,12	6,79	6,84	6,99	6,73	6,72	7,15	6,38
KMnO ₄ - verbruik mg/l	14,0	19,6	7,7	16,6	24,4	13,1	16,0	24,2	8,5
Cl ⁻ mg/l	67,2	80,2	54,8	66,0	90,3	40,7	70,3	98,5	57,3
HCO ₃ mg/l	96	148	84	96	147	67	89	118	54
CO ₂ mg/l	26,8	36,2	17,8	31,7	41,2	20,2	35,4	56,5	17,1
NH ₄ mg/l	0,66	0,70	0,60	—	—	—	—	—	—
Fe mg/l	8,8	14,3	6,3	15,8	50,0	1,3	9,9	23,6	2,0
totale hardheid °D	9,2	10,4	8,6	8,9	10,2	6,2	8,2	9,7	6,0
bicarbonaathardheid °D	4,4	6,8	3,9	4,4	6,7	3,1	4,1	5,4	3,5
		max.	min.	max.	min.	max.	min.		
colionderzoek, glutaminezuur									
medium 37°C	5 x 10 ml	1+	—	1+	—	1+	—		
	5 x 1 ml	—	—	—	—	—	—		
aantal kiemen op agar 37° C per ml		48	0	60	0	33	0		
aantal waarnemingen:		25		21		25			

LITERATUURLIJST ¹⁾ EN AANVULLING I.

- Achten, A. — L'Utilisation rationnelle des ressources aquifères souterraines. Tech. Sanit. et Munic. 1947. 42 ann. blz. 76.
- Anon — Recharge and travel of pollution. Johnson National Drillers' Journ. 1954 Vol. 26 blz. 5 and 15.
- Baars, J. K. — Kunstmatige productie van grondwater. Water 1956. 40e jrg., blz. 205.
- Babcock, H. M., and Cushing, E. M. — Recharge to groundwater from floods in a typical desert wash, Pinal County, Arizona. Trans. Amer. Geophys. Union 1942 pt. 1, blz. 49.
- Baier, C. R. — Artificial replenishment of undergroundwater in W. Germany. Aqua 1955 nr. 22, blz. 5.
- Banks, H. O. — Utilization of underground storage reservoirs. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. 1952. Seperate 114.
- Barksdale, H. C. and Debuchananne C. D. — Artificial recharge of productive groundwater aquifers in New Jersey. Econ. Geol. 1946. Vol. 41, blz. 726.
- Baumann, P. — Groundwater phenomena connected with spreading. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. 1951, separate 86.
- Beeby-Thompson, A. — Recharging London's water basin. Journ. Brit. Wat. Works Assoc. 1951 Vol. 33, blz. 13.
- Bennison, R. W. — Replenishment of groundwater supplies. Journ. Am. Wat. Works Assoc. 1949. Vol. 41, blz. 207.
- Bliss, E. S. and Johnson, C. E. — Some factors involved in groundwater replenishment. Trans. Amer. Geophys. Union. 1952. Vol. 33, blz. 547.
- Bodman, G. G. and Hilton Fireman. — Changes in soil permeability and exchangeable cation station during flow of different irrigation waters. Trans. Fourth Intern. Congress of Soil Science, Amsterdam. 1950. Vol. 1, blz. 397.
- Boniface, E. S. — The artificial replenishment of underground water with particular reference to the London Basin. Niet gepubliceerd rapport waarnaar wordt verwezen in Proc. 2nd Congress Int. Water Supply Assoc. 1952, blz. 155.
- Boswell, P. G. H. — Artificial replenishment of underground water resources in the London Basin. Water and Water Eng. 1954. Vol. 58, blz. 253.
- Brashears, M. L., Jun. — Artificial recharge of groundwater on Long Island, New York. Econ. Geol. 1946. Vol. 41, blz. 503.
- Brashears, M. L., Jun. — Recharging groundwater reservoirs with wells and basins. Mining Eng. 1953. Vol. 5, blz. 1029.
- Buchan, S. — Artificial replenishment of aquifers. Journ. of the Inst. of Water Eng. 1955. Vol. 9, blz. 111.
- Burdick, C. B. — Infiltration galleries at the Des Moines, Iowa Waterworks. Journ. New England Water Works Assoc. 1924. Vol. 38, blz. 203.
- Burdick, C. B. — Des Moines infiltration system was developed methodically. Water Works Eng. 1946. Vol. 99, blz. 461.
- Fletcher, J. E. Some properties of water solution that influence infiltration. Trans. Amer. Geophys. Union. 1949. Vol. 30, blz. 548.
- Gandenberger, W. — Grundlagen der Grundwasseranreicherung. Gas- und Wasserfach, 1950. 91e jrg., blz. 142.
- Guerrée — La réalimentation artificielle des nappes d'eau souterraines. La Techn. de l'Eau. 1954. 8. ann., blz. 19.

¹⁾ Voor de in Europa vóór 1940 verschenen literatuur wordt verwezen naar de desbetreffende opgave in de dissertatie van dr. ir. P. C. Lindenbergh: „Bijdrage tot oordeelkundig beheer van het duinwaterkapitaal”, Delft 1941.

- Guyton, W. F. — Depleted wells at Louisville recharged with city water. *Water Works Eng.* 1945. Vol. 98, blz. 18.
- Guyton, W. F. — Artificial recharge of glacial sands and gravel with filtered river water at Louisville, Kentucky. *Econ. Geol.* 1946. Vol. 41, blz. 644.
- Henkel, K. — Böschungsbefestigung der Becken für die künstliche Grundwasseranreicherung. *Gas- und Wasserfach.* 1952. 93e jrg., blz. 297.
- Hedger, H. E. — Los Angeles considers reclaiming sewage water to recharge underground basin. *Civil Eng.* 1950. Vol. 20, blz. 39. *Eng. News Record* 1950. Vol. 145, blz. 24.
- Hullenaar, A. K. van 't — De infiltratie, zoals deze te Enschede wordt toegepast. *Water* 1956. 40e jrg., blz. 261.
- Imhoff, F. Die Entwicklung der Trinkwasserversorgung im rechtsrheinischen Industriegebiet nach 1945. *Gas- und Wasserfach* 1952. 93e jrg., blz. 569.
- Jansa, O. V. E. — Artificial groundwater supplies in Sweden. *Proc. U.N. Sci. Conf. on Conservation and Utilization of Resources* 1951. Vol. 4.
- Jansa, O. V. E. — Artificial replenishment of underground water. *Proc. 2nd Congr. Int. Water Supply Assoc.* 1952, blz. 149.
- Jansa, O. V. E. — Artificial groundwater supplies in Sweden. *Report to Union Géodésique-Géophysique Internationale, Assoc. Intern. d'Hydrol. Sci.* Brussel. 1951. pt 2, blz. 227.
- Jansa, O. V. E. — Artificial groundwater supplies in Sweden. 2nd. report to Union Géodésique Géophysique Internationale, Assoc. Intern. d'Hydrol. Sci., Rome 1954. (Nog niet verschenen).
- Jeffords, R. M. — Recharge to water-bearing formations along the Ohio Valley. *Journ. Amer. Wat. Works Assoc.* 1945. Vol. 37, blz. 144.
- Johnson, A. H. — Groundwater recharge on Long-Island. *Journ. Amer. Wat. Works Assoc.* 1948. Vol. 40, blz. 1159.
- Kasman, R. G. — River infiltration as a resource of groundwater supply. *Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. Techn. Paper* 1948, blz. 355.
- Kasman, R. G. — The utilization of induced stream infiltration and natural aquifer storage at Canton, Ohio. *Econ. Geol.* 1949. Vol. 44, blz. 514.
- Krieger, J. H. — Progress in groundwater replenishment in Southern California. *Journ. Amer. Wat. Works Assoc.* 1955. Vol. 45, blz. 909.
- Krul, W. F. J. M. en Liefrinck, F. A. — Recent groundwater investigations in The Netherlands. Elsevier 1943. Zie ook: *Journ. Brit. Wat. Works Assoc.* 1947. Vol. 27, blz. 27.
- Lane, D. A. — Artificial storing of groundwater by spreading. *Journ. Amer. Wat. Works Assoc.* 1936. Vol. 28, blz. 1240.
- Lavery, F. B. — Recharging wells expected to stem sea water intrusion. *Civil Eng.* 1952. Vol. 22, blz. 313.
- Lavery, F. B. — Groundwater recharge. *Journ. Amer. Wat. Works Assoc.* 1952. Vol. 44, blz. 677.
- Lavery, F. B. — Water spreading operations in The San Gabriel Valley. *Journ. Amer. Wat. Works Assoc.* 1954. Vol. 46, blz. 112.
- Lavery, F. B. and Van der Goot, H. A. — Development of a fresh water barrier in Southern California for the prevention of sea water intrusion. *Journ. Amer. Wat. Works Assoc.* 1955. Vol. 47, blz. 886.
- Lely, J. van der, — Water disposal in the Schoonebeek Field. *Geologie en Mijnbouw* 1951. 13e jrg., blz. 224.
- Lindenbergh, P. C. — Bijdrage tot oordeelkundig beheer van het duinwaterkapitaal. *Proefschrift, Delft*, 1941.

- Lindenbergh, P. C. — De belangrijkste uitbreidingswerken van de laatste 15 jaar in de waterwinplaats van Leiden c.a. Water 1949. 33e jrg., blz. 223.
- Lindenbergh, P. C. — Drawing water from a dune area. Journ. Amer. Wat. Works Assoc. 1951. Vol. 43, blz. 713.
- Lindenbergh, P. C. — Zestien jaar duinbevloeiing. Water 1956. 40e jrg., blz. 231.
- Lowdermilk, W. C. — Some problems of hydrology and geology in artificial recharge of underground aquifers. Proc. Ankara Symposium on Arid Zone Hydrology. 1953, blz. 158.
- Maffitt, D. L. — Artificial flooding builds up groundwater yield. Water Works Eng. 1943 Vol. 96, blz. 1230.
- Mathieu, G. — L'irrigation souterraine. Le Genie Civil. 1943, blz. 202.
- Meinzer, O. E. — General principles of artificial groundwater recharge. Econ. Geol. 1946. Vol. 41, blz. 191.
- Mirree, A. — Irrigatie met grondwater in California, Tijdschrift Ned. Heide Mij. 1949, blz. 51.
- Muckel, D. C. — Research in water spreading. Trans. Amer. Soc. Civ. Eng. 1953 Vol. 113, blz. 209.
- Musgrave, C. W. — Infiltration. Proc. Congres Union Géodésique Géophysique Internationale. Oslo 1948.
- Pietrokowski, Y. — Water supply and sewage disposal in Israel. Water and Sewage Works 1950. Vol. 47, blz. 349.
- Pitman, D. D. and Helmut, K. — An automatic self-recording infiltrometer. Soil Science 1942, Vol. 53, blz. 429.
- Potrykua, F. — Die Wasserversorgung der Stadt Essen. Gas- und Wasserfach 1952. 93e jrg., blz. 268.
- Putzer, Hannfrit. — Künstliche Auffüllung des Grundwasserspiegels. Bohrtechnik und Brunnenbau. 1950. 1e jrg., blz. 365.
- Roper, H. M. — Groundwater replenishment by surface water diffusion. Journ. Amer. Wat. Works Assoc. 1939. Vol. 31, blz. 165.
- Sandford, J. H. — Diffusing pits for recharging water into underground formations. Journ. Amer. Wat. Works Assoc. 1938. Vol. 30, blz. 1755.
- Santing, D. — Infiltratie en modelonderzoek. Water 1951, nrs 21 en 22.
- Sayre, A. N. and Stringfield, V. T. — Artificial recharge of groundwater reservoirs. Journ. Amer. Wat. Works Assoc. 1948. Vol. 40, blz. 1192.
- Schmidt, H. — Flussgrundwasser. Gesundheitsingenieur 1951. 72e jrg., blz. 166.
- Sherman, L. K. — Recharging of public groundwater supplies in New England. Journ. Ned. England Wat. Works Assoc. 1951. Vol. 65, blz. 233.
- Sisson, W. H. — Recharge operations at Kalamazoo. Journ. Amer. Wat. Works Assoc. 1955. Vol. 47, blz. 914.
- Smith, W. O. — Pedological relations of infiltration phenomena. Trans. Amer. Geophys. Union 1949. Vol. 30, nr 4.
- Soyer, R. — La réalimentation des nappes aquifères. Tech. Sanit. et Munic. 1947. 42 ann., blz. 58.
- Steinwender, A. — Grundwasseranreicherungsbecken bei den Wiener Wasserwerken. Gas- Wasser- Wärme. 1953, blz. 225.
- Stone, R. — Infiltration galleries. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. 1954. Separate 80.
- Taskgroup E 4 — B — Artificial groundwater recharge. Journ. Amer. Wat. Works Assoc. 1952. Vol. 44, blz. 682.
- Thiem, G. — Künstliche Erzeugung von Grundwasser. Gesundheitsingenieur 1955. 76e jrg., blz. 277.
- Thomas, H. E. — Artificial recharge of groundwater by the city of Bountiful, Utah. Trans. Amer. Geophys. Union 1949. Vol. 30, blz. 539.

- Tibbets, R. H. — Experience with groundwater replenishment. Journ. Amer. Wat. Works Assoc. 1938. Vol. 30, blz. 326.
- Unklesbay, A. G. and Cooper, H. H. Jun. — Artificial recharge of artesian limestone at Orlando, Florida. Econ. Geol. 1946. Vol. 41, blz. 293.
- Waterman, W. C. — Procedure for recharging groundwater by diffusion wells, Water Works Eng. 1950. Vol. 103, blz. 869.
- Wind, R. en Lindenbergh, P. C. — Verdringingsproef te Katwijk. Water 1952. 36e jrg., blz. 39.
- Wedernokow, V. V. — Versickerungen aus Kanälen. Wasserkraft und Wasserwirtschaft 1934, blz. 128.

AANVULLING I.

- Baars, prof. dr. J. K. — Enige onderzoeken over de zuiverende werking van de bodem. Rapport nr. 16. Afd. Gezondheidstechniek T.N.O.
- Beard, P. J., J. M. Carlson, R. D. Chambers — The survival of *E. typhosa* in soil. Journ. Bact. 33,74 (1937).
- Beard, P. J. — The survival of typhoid in nature JAWWA 30, 24 (1938).
- Beard, P. J. — Longevity of *E. typhous* in various soils, Am. Jnl. Pub. Health 30, 1077 (1940).
- Caldwell, E. L. and L. W. Parr — Groundwaterpollution and the bored hole latrine. Jnl of Inf. Diseases 61. 148, 264 (1937).
- Day, Paul R. — Dispersion of a moving salt-water boundary advancing through saturated sand Transactions, American Geophysical Union, Vol. 37, nr. 5, oktober 1956, blz. 595—601.
- Dikötter, G. P. M. — De infiltratiewerken van de N.V. Waterleiding Maatschappij „Zeeuwsch Vlaanderen”. Water, 40e jaargang nr 23 blz. 315—331, 15 nov. '56.
- Johnson, Arthur, H. — Conservation of Ground Water on Long Island. Jnl. American Water Works Association. Vol. 47, blz. 348—354, april 1955.
- Josselin de Jong, Ir. G. de — L'entraînement des particules par le courant interstitiel. Symposium Darcy van de Internationale Hydrologische Associatie te Dijon, 20—26 sept. 1956, tome II, blz. 139.
- Kisskalt — Untersuchungen über Trinkwasserfiltration. I. Zur Theorie der langsamen Sandfiltration, Zschr. Hyg. 80 : 57 (1915).
- Kisskalt — II. Störungen bei der Sandfiltration und ihre Erklärung durch die biologische Theorie, Zschr. Hyg. 83 : 508 (1917).
- Knorr M. und Muselmann R. — Lotrechte Infiltration in ihrer Bedeutung für die Schutzzonenfrage. Archiv für Hygiene und Bakteriologie, Band 123, Heft 6, blz. 345—406 (1940).
- Knorr, M. — Zur hygienischen Beurteilung der Ergänzung und des Schutzes grosser Grundwasservorkommen, G. W. F. 92, Heft 10/12, Wasser (1951).
- Knorr, M. — Die Praxis der hygienischen Ueberwachung und Begutachtung der Trinkwasserversorgung, Zentralbl. für Bakt. Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene, Abt. I Orig. 160, 1 (1953).
- Knorr, M. — Ueber den hygienischen Standpunkt bei Eigenwasserversorgung besonders in Industriestädten, G. W. F. 95, Heft 14, Wasser (1954).
- Knorr, M., Haar F. und Knorr B. — Beobachtungen über das Versagen der biologischen Sperre bei der Entkeimung des versinkenden Wassers. Band 140, Heft 1/2, blz. 130 (1956).
- Upson, Joseph E. — Groundwater Sources on Long Island. Jnl. American Water Works Association, Vol. 47, blz. 341—347, april 1955.

- Welsch, W. Fred. — Comprehensive Drainage Plan for Nassau County, New York. Nassau County Sanitation Commission 1935.
- Welsch, W. Fred. — Ground-Water Pollution from Industrial Wastes in Nassau County, New York. Sewage and Industrial Wastes Journal, september 1955.
- Welsch, W. Fred. — Conservation of Ground Water. Water and Sewage Works, Vol. 103, nr 10, oktober 1956, blz. 468—473.
- Sewer Regulations, Department of Public Works, Nassau County, New York, 1953.
- Report of the Committee on synthetic detergents, 30 December 1955, Jrnl. of the British Waterworks Association. juli 1956.

SUMMARY

of

*Report Nr 1 of the Committee for Infiltration of KIWA
„Results obtained up to the middle of 1956 with
infiltration of surface water”.*

The quantity of water which can be infiltrated into the subsoil is determined on one side by the velocity of infiltration, on the other side by the gradient of the phreatic table between the area of infiltration and the point of withdrawal of the groundwater and the permeability of the soil.

In case the bottom of the infiltration basin is situated above the phreatic level the velocity of infiltration is influenced not only by the composition of the material of the subsoil, but also by the resistance of the slimy layer of silt, which forms on the bottom of the infiltration basin and by the presence of air in the pores of the soil.

In the Netherlands, where the sands used for replenishment are in general rather fine, the velocity of infiltration will not exceed 0.50 m per day. If, under the influence of infiltration, the phreatic table mounts almost to the level of the water in the infiltration basin, the velocity of infiltration will diminish, and the quantity of infiltration water will be determined by the permeability of the soil and the gradient of the groundwater table to the point of withdrawal.

The best results will therefore be obtained if in the lay-out of the works the above considerations are taken into account.

During the purification of the infiltrated water in the soil an aerobic phase and an anaerobic phase can be distinguished. The first phase takes place in the infiltration basins, in the subsoil containing air above the phreatic level and below the groundwater level, as long as the oxygen, dissolved in the water, is not consumed.

The oxydative phase may be followed by an anaerobic or reductive phase.

The completest mineralisation of organic matter can be expected if the process of oxydative decomposition is followed by a process of anaerobic decomposition.

To this end the water must stay for a certain time in the soil. The duration of this stay depends on the extent of the organic and microbiological pollution of the infiltration water and of the pollution by industrial effluents, which may hamper the growth of protozoae or lead to the selective growth of micro-organisms, which are the cause of this inhibition.

The shorter the aerobic phase, the longer the necessary

total stay of the infiltration water in the soil.

A stay of the infiltration water during a period of sufficient duration can be obtained in different ways.

The regeneration of the permeability of the infiltration surface can be obtained by periodical cleaning of the bottom of the infiltration basins or by the decomposition of the slimy layer of silt under the influence of sun and wind. The period of decomposition of the layer depends on the climate and may vary from a few days to a few weeks.

Draining an infiltration basin has, moreover, the advantage that the soil will be re-aerated and the process of aerobic decomposition will be stimulated. As the water descends slowly in the basin many kinds of protozoae will pass into the cyste-form. During a new period of infiltration the population of protozoae, which is of much significance for the processes of biological oxydation in the infiltrated water, will quickly recover.

For this reason the removal of the slimy layer of silt is not to be recommended.

The way to regenerate the infiltration surface depends, i.a., on the degree of pollution of the supplied water.

Infiltration of surface water by means of drilled wells requires a very pure water. Care must also be taken that the water is brought into the subsoil free of oxygen in order to prevent oxydation processes leading to coagulation and consequential clogging of the well.

The examination of the infiltration works of the „N.V. Leidsche Duinwatermaatschappij”, the „N.V. Waterleidingmaatschappij Zeeuwsch-Vlaanderen” and the „Gemeentelijke Drinkwaterleiding of Enschede” has proved that the stay of the infiltrated water in the soil is amply sufficient for the complete chemical decomposition of organic matter and the extermination of intestinal bacteria. The result can be considered as equivalent to normal groundwater.

As yet no investigations have been carried out at the above-mentioned infiltration works with regard to the removal of virus.

It is possible that in connection with the presence of virus the stay of the infiltrated water in the soil must be longer than in the case that only a microbiological infection has to be considered.

It is desirable to promote the examination of the problem of inactivation of virus and in connection with this the necessary duration of the stay of infiltrated water in the soil.

This examination is important with respect to hygiene as well as to the problem of the maximum quantity of water that can be obtained by infiltration.

RÉSUMÉ

du

Rapport no 1 de la Commission pour Infiltration de la KIWA.

„Résultats obtenu vers le milieu de l'année 1956 en ce qui concerne l'infiltration des eaux de surface”.

La quantité d'eau qui peut être infiltrée dans le sol est déterminée d'une part par la vitesse d'infiltration, d'autre part par la pente de la nappe phréatique entre la zone d'infiltration et les moyens de captage et par la perméabilité du sol.

Si le sol des bassins d'infiltration est situé au-dessus de la nappe phréatique, la vitesse d'infiltration est influencée, outre par la composition du sol, par la résistance de la vase gluante, qui se forme au fond des bassins d'infiltration et par la présence d'air dans les pores du sol.

Pour les Pays-Bas, où le sol utilisé pour la réalimentation se compose en général de sables relativement fins, on ne pourra pas compter sur des vitesses d'infiltration au-dessus de 0.50 m par jour. Si sous l'influence de l'infiltration la nappe phréatique monte à peu près au niveau de la surface de l'eau dans les bassins d'infiltration, la vitesse d'infiltration diminuera et la quantité d'eau entrant dans le sol sera déterminée par la perméabilité du sol et par la pente de la nappe phréatique envers les moyens de captage.

Une construction efficace des moyens d'infiltration tiendra donc compte des considérations mentionnées.

Pendant l'épuration de l'eau infiltrée dans le sol on peut distinguer une phase aérobie et une phase anaérobie. La première phase se passe dans les bassins d'infiltration, dans les couches au-dessus de la nappe phréatique, contenant de l'air, et au-dessous de la nappe phréatique, tant que l'oxygène dissous dans l'eau n'a pas été consommé. La phase oxydative peut être suivie d'une phase anaérobie ou réductive. On peut s'attendre à la minéralisation la plus complète, des matières organiques si le processus de décomposition oxydative est suivi par un processus de décomposition anaérobie.

Il faut pour cela un certain séjour de l'eau dans le sol, dont la durée dépend du degré d'infection organique et microbiologique de l'eau d'infiltration et des infections d'origine industrielle, qui inhibent la croissance protozoaire ou bien provoquent une accumulation élective de microbes qui donnent naissance à cette inhibition.

Plus que la phase aérobie est courte, plus le séjour de l'eau d'infiltration dans le sol doit être prolongé.

On peut satisfaire de différentes façons à l'exigence d'un séjour déterminé.

Le rétablissement de la perméabilité de la couche infiltrante peut être réalisé soit en écartant périodiquement la couche de vase gluante soit qu'elle se rétrécisse en séchant sous l'influence du soleil et du vent. La période de déshydratation de la couche gluante peut, en rapport avec le climat, varier de quelques jours à quelques semaines.

En outre le vidange d'un bassin d'infiltration est favorable à la réaération du sous-sol, ce qui intensifie le processus de la minéralisation aérobie. Pendant le lent vidange beaucoup d'espèces de la population protozoaire se transformeront en cyste. Ainsi le rétablissement accéléré du plancton, chose de grande importance pour le processus de l'auto-épuration de l'eau d'infiltration, se réalisera plus vite dans une infiltration à plusieurs reprises.

C'est pourquoi l'enlèvement de la couche gluante séchée est moins désirable.

Le procédé à suivre pour la régénération de la surface d'infiltration dépendra, entre autres, du degré de pollution de l'eau de réalimentation.

L'infiltration d'eau de surface au moyen de puits forés exigera une grande pureté de l'eau d'infiltration. En même temps il importe que l'eau d'infiltration soit exempte d'oxygène afin d'éviter une oxydation, suivie d'une coagulation causant le colmatage des puits.

Aux travaux d'infiltration examinés de la „N.V. Leidse Duinwater Maatschappij”, de la „N.V. Waterleidingmaatschappij Zeeuwsch-Vlaanderen” et de la „Gemeentelijke Drinkwaterleiding d'Enschede” on a trouvé que le séjour de l'eau de réalimentation dans le sol suffit amplement pour la décomposition chimique complète des matières organiques et la destruction des germes pathogènes d'origine fécale, de sorte qu'on obtient un produit tout semblable à une eau souterraine normale non suspecte.

Quant à l'inactivation des virus on n'a pas encore fait des recherches chez les compagnies d'eau, mentionnées ci-dessus.

Il se peut qu'en rapport avec la présence de virus le séjour de l'eau d'infiltration dans le sol doit être prolongé plus qu'il ne serait nécessaire dans le cas où il ne s'agirait que d'une contamination microbienne classique d'origine fécale.

Il s'avère de jour en jour plus nécessaire que le pro-

blème de l'inactivation des virus et en rapport avec ceci le séjour nécessaire de l'eau d'infiltration dans le sol soit examiné de plus près.

Cet examen est important au point de vue hygiénique ainsi que quant à la question d'établir la façon d'obtenir le plus grand rendement des travaux de réalimentation.

ZUSAMMENFASSUNG

von

*Bericht Nr. 1 des Ausschusses für Infiltration
(Grundwasseranreicherung) des KIWA*

*„Die bis Mitte 1956 mit Infiltration von Flusswasser für
Trinkwasserzwecke gemachten Erfahrungen“.*

Die bei der Infiltration in den Boden zu bringende Wassermenge wird einerseits von der Infiltrationsgeschwindigkeit, andererseits vom Gefälle zwischen der Infiltrationszone und der Wasserfassung und von der Bodendurchlässigkeit bedingt.

Die Infiltrationsgeschwindigkeit wird, wenn der Boden der Infiltrationsbecken sich über dem phreatischen Spiegel befindet, ausser von der Zusammenstellung des Bodenmaterials von dem Widerstand der Schmutz- oder Schleimschicht, die sich auf dem Boden der Infiltrationsbecken bildet, und von der Anwesenheit von Luft in den Bodenporen beeinflusst.

Für holländische Verhältnisse, also für verhältnismässig feinkörnige Böden, wird im allgemeinen mit keinen höheren Infiltrationsgeschwindigkeiten als ca. 0.5 m/Tag zu rechnen sein.

Wenn der phreatische Spiegel unter dem Einfluss der Infiltration bis nahezu dem Wasserniveau in den Infiltrationsbecken ansteigt, wird die Infiltrationsgeschwindigkeit sich verringern und wird die zu infiltrierende Wassermenge von der Bodendurchlässigkeit und von dem Grundwassergefälle zum Wasserfang bestimmt werden.

Für eine zweckmässige Disponierung der Infiltrations- und Wassergewinnungsmittel ist also mit obigen Erwägungen Rechnung zu tragen.

Bei der Reinigung des infiltrierten Wassers im Boden sind eine aerobe und eine anaerobe Phase zu unterscheiden. Erstere spielt sich in den Infiltrationsbecken, in den über dem phreatischen Spiegel gelegenen lufthaltigen Bodenschichten und in denen unter dem Grundwasserspiegel, solange der im Wasser gelöste Sauerstoff noch nicht verbraucht ist, ab.

Nach der oxydativen Phase kann die anaerobe oder Reduktionsphase folgen.

Die weitestgehende Mineralisation der organischen Stoffe kann erwartet werden, wenn der oxydative Abbruchprozess von einem anaeroben gefolgt wird. Dazu ist eine gewisse Aufenthaltszeit des Wassers im Boden notwendig, deren Dauer von dem Masse der organischen und mikrobiologischen Verunreinigung des Infiltrations-

wassers und von Milieufaktoren industrieller Herkunft abhängig ist. Letztere können entweder den Protozoenwachstum bremsen, oder eine selektive Entwicklung von Mikroorganismen hervorrufen, die eine solche Hemmung verursachen.

Je kürzer die anaerobe Phase, desto länger wird die gesamte erforderliche Verbleibszeit des Infiltrationswassers im Boden sein müssen.

Der Forderung einer bestimmten Verbleibszeit kann in verschiedenen Weisen entsprochen werden.

Die Wiederherstellung des Durchlassvermögens der Infiltrationsoberfläche kann durch periodisch Entfernen der abgelagerten Schmutz- oder Schleimschicht erfolgen, oder indem man diese unter dem Einfluss von Sonne und Wind verwittern lässt.

Die Verwitterungsperiode der Schmutzschicht kann, abhängig von der Witterung, zwischen einigen Tagen und einigen Wochen variieren.

Das Trockensetzen eines Infiltrationsbeckens hat ausserdem den Vorteil, dass eine erneuerte Belüftung des Bodens stattfindet, wodurch der aerobe Abbruchprozess verstärkt wird. Beim langsamen Trockenfallen werden viele Protozoenarten in die Cysteform übergehen. Bei einer erneuerten Infiltration wird die Protozoenbevölkerung, die für die biologischen Abbruchprozesse im zu infiltrierenden Wasser von grosser Bedeutung ist sich schneller wiederherstellen können.

Das Entfernen der trockengefallenen Schmutzschicht ist aus diesem Grunde denn auch weniger erwünscht.

Das bei der Regeneration der Infiltrationsoberfläche zu befolgende Verfahren wird u.A. vom Mass der Verunreinigung des angeführten Wassers bedingt werden.

Bei einer Infiltration von Oberflächenwasser durch Bohrbrunnen werden der Reinheit des zu infiltrierenden Wassers hohe Anforderungen zu stellen sein. Ausserdem ist dafür Sorge zu tragen dass das Wasser sauerstofffrei in den Boden gebracht wird, um Oxydationsprozesse und dadurch Verstopfung der Brunnen vorzubeugen.

Bei den untersuchten Infiltrationswerken der „N.V. Leidsche Duinwater Maatschappij“, der „N.V. Waterleidingmaatschappij Zeeuwisch-Vlaanderen“ und der „Gemeentelijke Drinkwaterleiding van Enschede“ hat sich erwiesen, dass die Verbleibszeit des Infiltrationswassers im Boden für den chemischen Abbruch und die Entfernung der Darmbakterien reichlich genügt, sodass man ein Produkt erhält, dass dem rohen Grund- und Dünenwasser gleichwertig ist.

Bezüglich der Entfernung von Viren wurden bei den obengenannten Betrieben noch keine Untersu-

chungen angestellt. Die Verbleibszeit des Infiltrationswassers im Boden wird mit Rücksicht auf die Anwesenheit von Viren möglicherweise grösser sein müssen als aus rein klassischen mikrobiologischen Gründen als notwendig erachtet wird.

Es ist erwünscht, dass die Frage der Inaktivierung der Viren und mit Rücksicht hierauf die erforderliche Verbleibsdauer des infiltrierten Wassers im Boden näher erforscht wird.

Eine solche Untersuchung wäre sowohl in hygienischer Hinsicht als mit Bezug auf die Frage der grössten Wirtschaftlichkeit der Infiltrationsanlagen von Bedeutung.