

Technische aspecten verbonden aan de kunstmatige infiltratie van gezuiverd oppervlaktewater in de Veluwe

Om inzicht te verschaffen in de technische mogelijkheden van voor-gezuiverd rivierwater in de Veluwe en de mate waarin andere belangen bij de uitvoering van een eventueel infiltratieproject zouden kunnen worden geschaad, is een hypothetisch infiltratieproject opgezet dat in dit artikel wordt beschreven. Het betreft geenszins een besteksklaar ontwerp; evenmin wordt een voorkeur uitgesproken voor bepaalde infiltratiegebieden op de Veluwe. Uitgegaan wordt van een hypothetisch infiltratieproject met een pro-



IR. P. J. VERKERK
VEWIN, Rijswijk

duktiecapaciteit van 100 miljoen m³ per jaar voor een gebied op de Veluwe. Er wordt geïnfiltrerd met Rijnwater, dat vóór af ter plaatse van het onttrekkingspunt aan de IJssel een vergaande chemische zuivering heeft ondergaan. De aanvoer naar het infiltratiegebied geschiedt d.m.v. een transportleiding Ø 1800 mm over een afstand van ca. 20 km. Een statisch hoogteverschil van 50 m moet worden overbrugd, terwijl aan het begin van de leiding met een druk van 100 mwk rekening wordt gehouden. Als mogelijke infiltratiemiddelen zijn beschouwd: vijvers, ondergrondse tunnels en injectieputten. Geïnfiltrerd wordt met een snelheid van gemiddeld 5 meter per dag.

De onttrekking geschiedt door een 60-tal putten met elk een capaciteit van ca. 250 m³ per uur. De dikte van het watervoerende pakket bedraagt ca. 200 m; de bodem is anisotroop; het grondwater bevindt zich op ongeveer 30 m beneden het maai-veld en is zuurstofhoudend.

Het systeem van infiltratie-en onttrekkingsmiddelen is zodanig ontworpen, dat bij onderbreking van de infiltratie gedurende maximaal 2 maanden per jaar en onder handhaving van de onttrekking van water (continue produktie) nagenoeg geen uitwisseling optreedt van geïnfiltrerd gezuiverd oppervlaktewater met het omringende grondwater.

Na hervatting van de infiltratie worden de ontstane watertekorten versneld aangevuld door te infiltreren met 120 % van de normale produktiecapaciteit. Nagegaan is welke kwaliteitsverandering het geïnfiltrerde gezuiverde oppervlaktewater bij doorstroming van de bodem ondergaat en welke beïnvloeding van de kwaliteit van het water in beken en sprongen en van het

omringende grondwater is te verwachten, indien niettemin een zekere uitwisseling van geïnfiltrerd water met grondwater zou optreden. De consequenties hieraan verbonden blijven in het laatste geval beperkt tot een relatief smal invloedsgebied en betreffen voornamelijk een verhoging van het gehalte aan chloride, nitraat, sulfaat, natrium, calcium en lithium in het afstromende grond- en beekwater.

Geen nadelige effecten zijn te verwachten van spoorelementen en organische microverontreinigingen. Een nazuivering van het teruggewonnen water kan achterwege blijven, indien men in de opzet slaagt om de infiltratie en onttrekking onder aërobe omstandigheden te laten plaatsvinden.

De geprojecteerde werken houden zoveel mogelijk rekening met de eisen die uit een oogpunt van natuur en landschap worden gesteld. Zo kan voor de leidingaanleg in de bossen op de Veluwe in het uitgewerkte voorbeeld praktisch geheel gebruik worden gemaakt van bestaande boswegen. Ook de terugwinningsmiddelen zijn geplaatst langs bestaande paden. Gebouwen zijn buiten het gevoelige gebied van de Veluwe gehouden, met uitzondering van enkele trafo-gebouwtjes die ondergronds zijn uit te voeren. De exploitatieactiviteiten bestaan in hoofdzaak uit het periodiek vervangen van pompen en het schoonmaken van de infiltratiemiddelen. Metingen van allerlei aard dienen zoveel mogelijk te worden geautomatiseerd. De afvoerleiding uit het infiltratiegebied bestaat uit 2 leidingen Ø 1200 mm en is niet verder uitgewerkt.

Verslag van de werkzaamheden van de Technische Werkgroep Infiltratie Veluwe

Algemeen

Eerder is in het tijdschrift H₂O (nr. 4, 14 februari 1974, pagina 62 t/m 65) een overzicht gegeven van de activiteiten van de door het RID en de VEWIN opgerichte Technische Werkgroep Infiltratie Veluwe. Tevens werd daarbij het kader geschetst, waarbinnen deze activiteiten werden ontwikkeld. Genoemd zijn het ontwerp-Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening 1972 waar het infiltratieproject Veluwe als één van de belangrijke infrastructuurle werken wordt aangemerkt en de Commissie Infiltratie Veluwe (CIV) met haar uitgebreide onderzoekprogramma waarin het programma van de Technische Werkgroep is opgenomen.

In dit artikel zal na een korte beschouwing van enige algemene technische aspecten van de Veluwe-infiltratie vooral aandacht

worden besteed aan de uitwerking van het hypothetische infiltratieproject Kroondomein. Een viertal ad hoc groepen hebben zich hiermee beziggehouden en de resultaten van hun arbeid worden in deelrapporten vastgelegd. Een korte samenvatting van deze deelrapporten wordt in dit artikel gegeven, terwijl voor meer informatie wordt verwezen naar de hierna volgende artikelen en de betreffende deelrapporten die als bijlagen bij het eind 1975 te publiceren (eind)rapport van de Commissie Infiltratie Veluwe zullen zijn gevoegd. De Technische Werkgroep Veluwe was medio 1974 als volgt samengesteld:

- ir. P. J. Verkerk (voorzitter) *, Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland
- ir. F. L. Schoufour (secretaris), Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- dr. F. J. J. Brinkmann, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- ir. H. J. Colenbrander, Provinciale Waterstaat van Gelderland
- A. J. N. Horstmeier, NV Waterleiding Maatschappij Gelderland
- ir. J. Hrubec, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- prof. ir. L. Huisman, Hoogleraar Civiele Gezondheidstechniek aan de Technische Hogeschool Delft
- dr. S. Jelgersma, Rijks Geologische Dienst
- ir. Th. G. Martijn, Keurings- en Speurwerk-instituut van de Nederlandse Waterleidingbedrijven, KIWA NV
- ir. J. H. C. Mülschlegel, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- ir. A. J. Roebert, Gemeentewaterleidingen Amsterdam
- drs. E. Romijn, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- dr. ir. O. D. L. Strack, Laboratorium voor Geotechniek, Technische Hogeschool Delft
- ir. P. A. Vermeer, Laboratorium voor Geotechniek, Technische Hogeschool Delft
- ir. W. J. Vlasblom, Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland
- ir. B. C. J. Zoeteman, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening

De heren Strack en Vlasblom maken door verandering van werkkring inmiddels niet langer deel uit van de Technische Werkgroep.

Principe van kunstmatige infiltratie

Kunstmatige infiltratie van gezuiverd oppervlaktewater is één van de methoden van waterwinning die in Nederland wordt toegepast. Met name in sommige duingebieden zijn hiermee gunstige ervaringen opgedaan. De infiltratie in de Veluwe zal op tal van punten verschillen met de duininfiltratie, maar het principe van infiltratie is hetzelfde. Bij kunstmatige infiltratie wordt water in de bodem gebracht dat op enige afstand en rondom het infiltratiepunt weer wordt onttrokken. Normaal (stationaire toestand) zal evenveel water worden geïnfiltrerd als onttrokken.

Bij infiltratie zal ter plaatse en in de omgeving van het infiltratiegebied een

wijziging in de grondwaterstand optreden. Afhankelijk van het systeem van infiltratie en onttrekking zal dat op de ene plaats een verhoging en op de andere plaats een verlaging van de grondwaterstand kunnen inhouden. Moet om welke reden ook (bijv. door een calamiteit op de rivier) de aanvoer van infiltratiewater onderbroken worden dan zal niettemin de onttrekking van water aan het infiltratiegebied ongestoord moeten kunnen doorgaan. Een supplementaire verlaging van de grondwaterstand zal hiervan het gevolg zijn. Deze verlaging is ter plaatse van de onttrekkingsputten het grootst en neemt naar buiten toe snel af. Zodra de aanvoer van infiltratiewater kan worden hervat, kan door een extra hoeveelheid water te infiltreren de oude toestand van vóór de onderbrekingsperiode geleidelijk aan worden hersteld. Grondwaterstandsfluctuaties zowel boven als beneden het niveau van de grondwaterstand bij constante infiltratie en onttrekking (nultvlak in afb. 5 afb. 6) zijn hiervan het gevolg.

Kunstmatige infiltratie volgens het hiervoor omschreven principe biedt derhalve de mogelijkheid tot voorraadvorming en wordt een aantrekkelijke oplossing, indien uit geohydrologisch oogpunt (doorlatendheid bodem, hoogte grondwaterstand t.o.v. maaiveld) deze waterstandsfluctuaties vrij kunnen optreden en geen overwegende invloed hebben op de natuurlijke ontwikkeling van de vegetatie, de landbouw, natuurbehoud, het landschap e.d. De geologische en hydrologische structuur van de Veluwe en het geohydrologisch onderzoek dat ter zake is verricht (zie RID-rapport 'Geohydrologische inventarisatie Veluwe', mei 1974, drs. E. Romijn) wekken

de verwachting dat in dit opzicht goede mogelijkheden voor kunstmatige infiltratie aanwezig zijn.

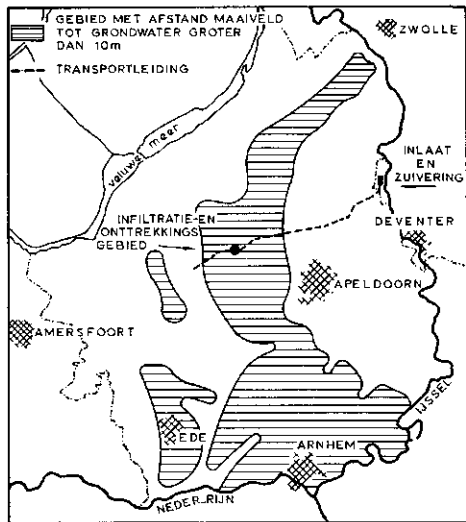
Het watervoerend pakket in de ondergrond van de Veluwe is gemiddeld ca. 150 m dik en bestaat uit grove grindhoudende zanden met lokaal fijnere zanden en kleilagen. Door glaciële stuwingen in het verleden zijn vaak oorspronkelijk horizontaal afgezette lagen scheef gesteld en is een complexe geologische structuur ontstaan. Deze verschuiving van de bodem is aan de oostelijke flank van de Veluwe sterker gebleken dan aan de westelijke flank. Eventuele scheefgestelde kleilagen kunnen de kunstmatige infiltratie plaatselijk bemoeilijken.

In het groter geheel behoeft dit echter geen overwegende belemmering te vormen, omdat de kleilagen doorgaans geen aaneengesloten geheel vormen zodat in feite toch van een homogeen watervoerend pakket kan worden gesproken. Uiteraard is bij uitvoering van welk infiltratieplan dan ook voorzichtigheid geboden en zal vooraf lokaal een diepgaand geohydrologisch onderzoek dienen plaats te vinden.

De grondwaterspiegel ligt over grote delen van de Veluwe meer dan 10 meter beneden het maaiveld en plaatselijk zelfs meer dan 50 à 60 meter. In afb. 1 is de globale omgrenzing van deze gebieden aangegeven. De diepe ligging van van het grondwater schept gunstige voorwaarden voor toepassing van kunstmatige infiltratie uit een oogpunt van eerdergenoemde grondwaterstandsfluctuaties. Binnen het aangegeven gebied met lage grondwaterstanden is het grondwater tot op grote diepte veelal aëroob. Met name de flanken van de gestuwde gebieden bevatten overwegend zuurstofhoudend water; de kwaliteit van het grondwater in de centra van de gestuwde gebieden moet in het algemeen als minder aëroob worden gekenschetst. Onder aërobe omstandigheden zal het geïnfiltrerde en teruggewonnen water naar verwachting niet te hoeven worden nagezuiverd. Er worden dan wel bijzondere eisen aan de kwaliteit van het te infiltreren water gesteld, terwijl grote zorg moet worden besteed aan een juiste situering van de infiltratiegebieden en een zorgvuldige bedrijfsvoering in hydrologisch opzicht. Het aantrekken van anaëroob grondwater moet te allen tijde worden vermeden.

Het water kan op verschillende wijzen worden geïnfiltrerd. Een onderscheid kan worden gemaakt tussen open infiltratie door middel van vijvers of kanalen en gesloten infiltratie door middel van ondergrondse tunnels of injectieputten. Elk van de genoemde infiltratiemethoden heeft zijn eigen voor- en nadelen en welke methode in de praktijk wordt toegepast, zal mede afhangen van de plaatselijke geohydrologische struc-

Afb. 1 - Globale aanduiding van werken hypothetisch project Kroondomein en van gebieden met grondwater op meer dan 10 m beneden maaiveld.



* Tot 1 januari 1975 in dienst van het RID.

tuur van de ondergrond en de mogelijkheid tot aanpassing aan het landschap. Bij de uitwerking van het infiltratievoorbeeld Kroondomein hierna zijn deze methoden beschouwd.

Bronnen van wateronttrekking

Als bron van wateronttrekking voor infiltratie in de Veluwe komen in aanmerking de Nederrijn, de IJssel, het IJsselmeer en het Veluwemeer. Bij een nadere keuze van de plaats van onttrekking spelen in waterhuishoudkundig opzicht zowel waterkwantiteits- en kwaliteitsaspecten een belangrijke rol. In het Structuurschema Drink- en Industrie-watervoorziening 1972 wordt als mogelijke productiecapaciteit van de gezamenlijke werken 500 miljoen m³ per jaar genoemd, hetgeen neerkomt op een wateronttrekking van gemiddeld 16 m³/sec en periodiek maximaal 20 m³/sec. Zou het tot een volledige uitvoering van de werken komen dan zal dit altijd gefaseerd gebeuren. Meerdere infiltratiegebieden en verschillende plaatsen van wateronttrekking zijn hierbij denkbaar. Binnen het waterhuishoudkundige systeem van Nederland zal een onttrekking ten behoeve van het Veluwe-project dienen te worden beschouwd in samenhang met andere belangen die voor toedeling van oppervlaktewater in aanmerking komen.

IJsselmeer

Bij een onttrekking aan het IJsselmeer worden de voor- en nadelen ondervonden van de menging van Rijnwater met uitslagwater uit het omringende gebied. Een nadeel is dat bij calamiteuze verontreiniging van Rijn of IJsselmeer het wellicht maanden kan duren voordat de verontreiniging is doorgespoeld.

Veluwemeer

Het voordeel van een onttrekking aan het Veluwemeer is de menging met opkwellend zoet water uit de Veluwe en het door beken aangevoerd water. Naarmate deze onttrekking zou toenemen, dient ter compensatie meer Rijnwater in het Veluwemeer te worden ingelaten en wordt bovengenoemd voordeel kleiner.

Nederrijn en IJssel

Vooralsnog gaat de voorkeur uit naar onttrekking van water aan Nederrijn of IJssel. Evenals bij de onttrekking aan IJsselmeer of Veluwemeer het geval zou zijn, is een vergaande zuivering van het oppervlaktewater noodzakelijk. Daarnaast is door een juiste keuze van het hydrologische systeem van infiltratie en onttrekking ter plaatse

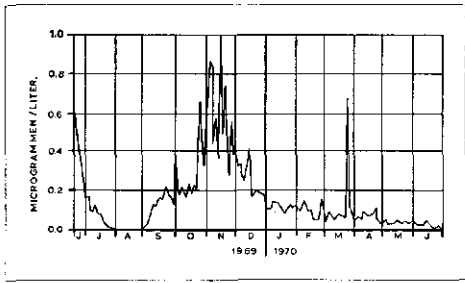
van het infiltratiegebied een belangrijke kwaliteitsafvlakking van o.a. temperatuur en zoutgehalte te bereiken. Van primair belang is de kans op het optreden van een calamiteuze verontreiniging van het rivierwater, waarbij de onttrekking van rivierwater ten behoeve van de infiltratie moet worden onderbroken. Deze calamiteiten kunnen het gevolg zijn van incidentele ongecontroleerde industriële lozingen van toxische stoffen, scheepsongevallen, ongevallen op spoorwegen en autowegen die de rivier kruisen of er dicht langs zijn gelegen e.d. Onderscheid kan worden gemaakt tussen verontreinigingen die goed oplossen en die welke sterk aan slibdeeltjes adsorberen. Goed oplosbare verontreinigingen zullen het snelst het onttrekkingspunt passeren. Uit onderzoeken van het RIZA (Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater) is gebleken dat na een puntlozing van een goed oplosbare kleurstof een komeetachtige vlek ontstaat, waarbij de lengte van de diffuse staart globaal 1/3 bedraagt van het doorlopen traject. Bij het optreden van een accidentele lozing van een toxisch goed oplosbare stof nabij Bazel, ca. 600 km bovenstreams, zou een vervuild riviertraject van ca. 250 km het onttrekkingspunt moeten passeren. Voor een onttrekkingspunt aan de IJssel betekent dit in een periode met een lage afvoer een onderbrekingstijd van maximaal enige dagen. Een nader oriënterend onderzoek van het RID in samenwerking met de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging van Rijkswaterstaat, heeft deze uitkomst bevestigd (zie artikel van ir. B. C. J. Zoeteman, H₂O nr. 4, 13 februari 1975). Bij calamiteiten met aan slib adsorberende stoffen wordt het transport naar de monding over een langere periode uitgestrekt. Een voorbeeld van een praktisch geval is de endosulfancalamiteit van 1969 toen gedurende 2 weken geen water werd onttrokken. De tweede endosulfangolf die door het RIV (Rijksinstituut voor Volksgezondheid) in het najaar van 1969 werd geconstateerd hield 4 à 6 weken lang aan (zie afb. 2). Een nader onderzoek naar de mogelijke

duur en frequentie van calamiteiten is in het kader van het Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening aangevat ten einde een duidelijker inzicht in deze complexe problematiek te verkrijgen. Met het voorbeeld van de endosulfancalamiteit voor ogen wordt ervan uitgegaan dat bij onttrekking aan Nederrijn of IJssel tenminste met een aaneengesloten onderbrekingsperiode van 4 à 6 weken rekening moet worden gehouden. In het geval van de Veluwe-infiltratie wordt in de berekening een maximale onderbrekingsperiode van 2 maanden per jaar aangehouden. Een langere onderbrekingsperiode is in principe niet onmogelijk, maar geeft meer problemen met grondwaterstandsfluctuaties en de mogelijkheid om de geslonken watervorraden tijdig aan te vullen.

Uitgangspunten hypothetisch infiltratieproject Kroondomein

De realisering van een infiltratieproject op de Veluwe vergt een harmonische inpassing in het geheel van de ruimtelijke ordening en in bijzonder met betrekking tot de belangen van landbouw, natuur en land-schap. De omvang en aard van het onderzoekprogramma van de CIV zijn hier een duidelijk voorbeeld van. Teneinde een zo goed mogelijk inzicht te verkrijgen in de relaties met andere belangen en om tot een optimale technische oplossing te kunnen geraken, werd behoefte gevoeld aan een uit-gewerkt infiltratievoorbeeld, betrokken op een feitelijke situatie. Besloten werd dat de Technische Werkgroep bij wijze van vinger oefening een hypothetisch infiltratieproject op papier zou uitwerken, waarbij het infiltratiegebied midden op de Veluwe is gelegen en de inlaat met zuiveringswerken ergens aan de IJssel. Als proefrekengebied is toen een deel van het Kroondomein gekozen, omdat hiervan relatief veel geohydrologische gegevens bekend zijn en daardoor de uitkomsten van de berekeningen een reële voorstelling van zaken zullen geven. Voorts voldoet het gebied in hoge mate aan de eisen die in algemene zin aan infiltratiegebieden worden gesteld, nl. geschikte geohydrologische gesteldheid en mogelijkheid van bescher-ming van het terrein tegen verontreiniging. Ook de situering ten opzichte van de aan-voerbron van water, de IJssel, kan als representatief voor mogelijke infiltratie-gebieden op de Veluwe worden gezien. De uitwerking van het infiltratievoorbeeld Kroondomein door de Technische Werk-groep is geschied in een viertal ad hoc groepen, die elk een bepaald facet van het infiltratieproject hebben beschouwd. Deze facetten betreffen de uitwerking in zuive-ringstechnisch, geohydrologisch, geoche-misch en bouwtechnisch opzicht. Hierbij

Afb. 2 - Endosulfanconcentratie ($\alpha + \beta$) in Rijnwater in 1969 en 1970 (bron RIV).



werden de volgende gemeenschappelijke uitgangspunten gekozen:

- produktie gemiddeld 100 miljoen m³ per jaar (11.400 m³/uur);
- wateronttrekking aan de IJssel;
- vergaande zuivering van het oppervlaktewater;
- situering van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen zodanig dat geen of weinig uitwisseling van het infiltraat met het omringende grondwater optreedt en een optimale kwaliteitsafvlakking (temperatuur, zoutgehalte e.d.) wordt bereikt;
- maximale onderbrekingsperiode van de infiltratie (onttrekking aan de IJssel) i.v.m. calamiteiten, reparatiewerkzaamheden of om waterhuishoudkundige redenen wordt gesteld op totaal 2 maanden per jaar; gedurende deze 2 maanden gaat de onttrekking aan het infiltratiegebied (levering aan het voorzieningsgebied) ononderbroken door;
- infiltratie na onderbrekingsperiode, ter aanvulling van de geslonken watervoorraad in en rond het infiltratiegebied, is maximaal 120 % van de infiltrate onder normale omstandigheden;
- ontwerp, uitvoering en exploitatie van de gezamenlijke werken dienen zo goed mogelijk te worden aangepast aan het natuur- en stilte karakter van het gebied (minimum aan gebouwen, zo veel mogelijk automatisering e.d.).

Bij de uitwerking van de plannen meer in detail zijn door de ad hoc groepen vaak nog aanvullende uitgangspunten geformuleerd.
Met nadruk zij nogmaals vermeld, dat het gaat om de presentatie van een voorbeeld van mogelijke infiltratie. Door min of meer toevallige omstandigheden is hiervoor het Kroondomein gekozen. Het betreft hierbij echter geenszins de voorbereiding van een besteksklaar ontwerp, gericht op uitvoering in de praktijk. Thans zal nader op de resultaten van de werkzaamheden van de afzonderlijke ad hoc groepen worden ingegaan.

Zuiveringstechnische aspecten

Door de Ad Hoc Groep Zuivering is een voorstel uitgewerkt voor een optimale zuivering van Rijnwater voor infiltratie in de Veluwe. De Ad Hoc Groep Zuivering was als volgt samengesteld:

- ir. B. C. J. Zoeteman (voorzitter), Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- ir. J. Hrubec (secretaris), Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- dr. ir. A. Graveland, Gemeentewaterleidingen Amsterdam
- ir. M. J. van Melick, Drinkwaterleiding der gemeente Rotterdam

- ir. J. C. Schippers, Gemeentelijk Energiebedrijf Dordrecht
- De zuivering van het oppervlaktewater voordat het wordt geïnfilterd is een essentieel en noodzakelijk element van de Veluwe-infiltratie, waarbij wordt beoogd:
- bescherming van de bodem tegen verontreiniging (voorkoming van accumulatie van verontreinigende stoffen in de ondergrond in bijzonder in de bovenste meters van het bodemprofiel);
 - infiltratie met hoge snelheid ter beperking van de omvang (oppervlakte) van de infiltratiemiddelen;
 - minimale verstopping van de infiltratiemiddelen en derhalve minimale exploitatie-activiteiten in het terrein;
 - handhaving van aërobie in de bodem van de Veluwe en het voorkomen van de noodzaak tot eventuele nazuivering van het na infiltratie onttrokken water.

Er wordt naar gestreefd een kwaliteit water te infiltreren die praktisch overeenstemt met water van drinkwaterkwaliteit. Op grond van ervaringen die door de waterleidingbedrijven zijn opgedaan bij het gebruik van oppervlaktewater voor de drinkwaterbereiding en de voorlopige resultaten van de proefinstallatie te Leiduin is een zuiveringsschema opgezet zoals in afb. 3 is weergegeven (zie ook afb. 7). Het door de Ad Hoc Groep Zuivering voorgestelde zuiveringsschema omvat de volgende zuiveringsfasen.

a. Vlokvorming en sedimentatie

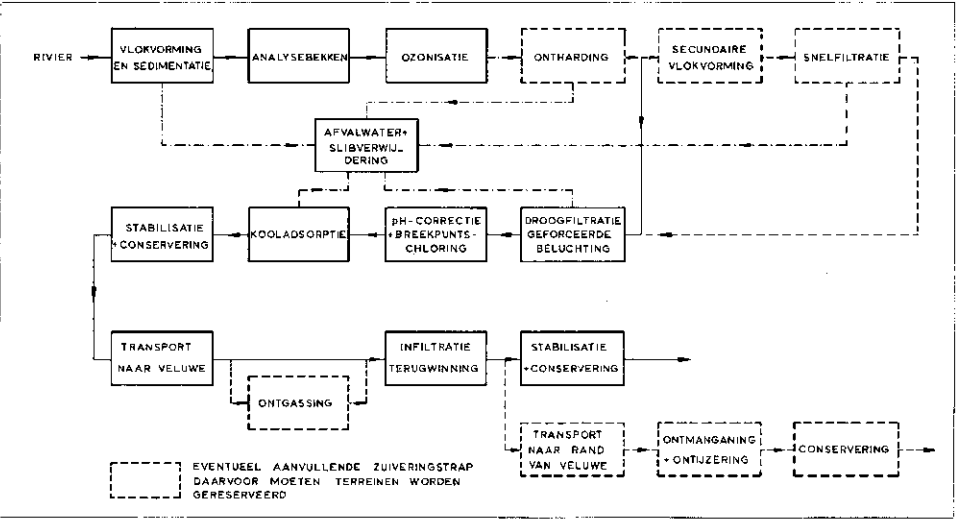
Het doel van de toepassing van vlokvorming is de verwijdering van zwevende en colloïdale stoffen en een verlaging van de concentratie aan fosfaat. Vele organische stoffen worden aan de vlok geadsorbeerd;

het gehalte aan spoorelementen daalt door coprecipitatie. Op grond van proeven van de Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland (WRK) te Jutphaas is gekozen voor de klassieke coagulatie gevolgd door bezinking in horizontale bezinkingsbassins. De ervaringen aldaar hebben uitgewezen dat een betere vlokvorming wordt verkegen in het coagulatieproces van het ruwe rivierwater bij een hoger slibgehalte, terwijl ook de verdichtbaarheid van het coagulatisch slib hoog is. Een nadeel is dat deze trap van voorzuivering geschakeld is vóór het analysebekken en niet beschermd is tegen een (onopgemerkte) ernstige verontreiniging van het rivierwater.

b. Analysebekken

Behalve voor de nabezinking van het coagulatieslib is het analysebekken vooral bedoeld als een kwaliteitscontrole van het ingenomen water. De tijd nodig voor een waterdeeltje om het bekken van begin tot eind te doorstromen moet voldoende lang zijn voor de analyse van een ter plaatse van het inlaatpunt genomen watermonster. Blijkt het water ongeschikt voor verdere zuivering en infiltratie dan kan de infiltratie tijdig worden onderbroken en het veronreinigde water uit het bekken terug op de rivier worden gevoerd. De verblijftijd van het water in het bekken (doorstromingstijd) is ten minste op 2 dagen te stellen. In het onderhavige voorbeeld dient het analysebekken niet ter overbrugging van perioden dat het rivierwater te ernstig zou zijn verontreinigd. Ongeacht de duur van de calamiteuze verontreiniging zal steeds de infiltratie moeten worden onderbroken. Wenst men deze overbruggingsfunctie wel dan moet een zekere peilvariatie in het bekken toelaatbaar zijn. In dat geval zou bij onderbreking van de onttrekking van

Afb. 3 - Mogelijk zuiveringsschema voor infiltratie van Rijnwater in de Veluwe.



water aan de rivier — door intering op de watervoorraad in het analysebekken — de zuivering en het transport van water naar het infiltratiegebied ongestoord kunnen doorgaan. Een zekere compartimentering van het bekken verdient dan aanbeveling. Kortstondige calamiteiten van niet aan slib gebonden verontreinigingen zouden dan zonder onderbreking van de infiltratie kunnen worden overbrugd. Toepassing en vaststelling van een optimale peilvariatie is vooral een economische kwestie, terwijl de realisering mede wordt bepaald door landenschappelijke overwegingen (hoogte van dijken e.d.).

c. Ozonisatie

Het hoge oxydatievermogen van ozon leidt tot een verbetering van het rendement van de voorzuivering met betrekking tot de microbiologische gesteldheid, een verwijdering van kleur-, reuk- en smaakstoffen en de verwijdering van microverontreinigingen zoals pesticiden, synthetische detergenten e.d.

d. Ontharding

Het Rijnwater is voor huishoudelijk gebruik als hard te beschouwen. In het zuiverings-schema is de ontharding als een facultatieve zuiveringstrap opgenomen. Er wordt rekening gehouden met een verlaging van 5 meq/l tot 2 meq/l.

e. Secundaire vlokvorming en snelfiltratie

De toepassing van secundaire vlokvorming en snelfiltratie tussen de ozonisatie en de nog te noemen droogfiltratie en actieve koolfiltratie kan worden gezien als een additionele zuiveringstrap. Bij een hoge belasting van de droogfilters met zwevende stoffen kan de inschakeling van snelfiltratie noodzakelijk blijken. Naar verwacht zullen de droogfilters de functie van de snelfilters kunnen overnemen, maar niettemin dient met de eventuele bouw van de snelfilters rekening te worden gehouden en hiervoor het terrein te worden gereserveerd.

f. Droogfiltratie en breekpuntschloring

Beide zuiveringstrappen hebben tot doel de ammoniak uit het oppervlaktewater te verwijderen. Het ammoniakgehalte van het Rijnwater bedraagt gemiddeld 3 à 4 mg/l met piekconcentraties van 7 à 8 mg/l. Gezien het hoge zuurstofverbruik voor de nitrificatie van ammoniak is met het oog op de handhaving van een aërobe toestand in de Veluwebodem de verwijdering van het ammoniak uit het oppervlaktewater van essentiële betekenis.

Door droogfiltratie en breekpuntschloring gecombineerd toe te passen worden de verschillende voordelen verbonden aan de beide methoden van ammoniakverwijdering

optimaal benut. Droogfiltratie kent het belangrijke voordeel dat geen chemicaliën worden gebruikt, maar heeft als bezwaar: de gevoeligheid voor temperatuurschommelingen en de vorming van het bij concentraties boven 50 mg/l ongewenste nitraat. Juist wanneer de werking van de droogfiltratie minimaal is door de lage temperatuur, zijn bij de Rijn de te verwijderen concentraties van ammoniak maximaal. Breekpuntschloring is steeds een betrouwbare methode gebleken; heeft als voordeel de volledige verwijdering van ammoniak door de vorming van moleculaire stikstof, maar heeft onder meer als nadeel het hoge verbruik van chloor met als gevolg een verhoging van het chloridegehalte van het gezuiverde water. Ook de opslag van chloor vereist de nodige voorzorgen. Het nut van de combinatie is erin gelegen, dat alleen tijdens de wintermaanden bij een onvoldoende werking van de droogfiltratie een supplementaire breekpuntschloring wordt toegepast. De stijging van het chloridegehalte door het chloorverbruik is dan het minst bezwaarlijk.

g. Actieve koolfiltratie

Het doel van deze zuiveringstrap is de verwijdering van persistente toxische stoffen (pesticiden, carcinogene stoffen e.d.) en de reuk- en smaakstoffen. De toepassing van een actief koolfilter dient tevens als een 'polishing unit' en als bescherming tegen eventuele moeilijk controleerbare toxische stoffen.

h. Waterconservering

Om een bacteriële nagroei in de transportleiding van de zuiveringswerken naar de Veluwe tegen te gaan wordt chloordioxide gedoseerd. Ter voorkoming van veranderingen in de samenstelling van het water dient het water voorts chemisch gestabiliseerd te worden (pH-correctie).

Uitgaande van de huidige kwaliteit van het Rijnwater (jaargemiddelden 1970 - 1973) en de voorgestelde chemische zuivering is door Ad Hoc Groep Zuivering een globale prognose opgesteld van de kwaliteit van het te infiltreren water. Deze prognose is aangegeven in tabel I en is het uitgangspunt geweest voor de Ad Hoc Groep Geochemie bij het onderzoek naar het gedrag van het geïnfilterde water bij doorstroming van de ondergrond.

Opgemerkt wordt dat de prognose de gemiddelde kwaliteit betreft. De te bouwen zuiveringsinstallatie zal daarbij flexibel genoeg dienen te zijn om tijdelijk bepaalde piekconcentraties aan veronreinigende stoffen te kunnen verwerken.

De ad hoc groep heeft zich niet gewaagd

aan voorspellingen met betrekking tot de kwaliteit van het Rijnwater in ons land. Hopelijk zal het internationaal overleg zoals in de Internationale Rijncommissie, de Europese Gemeenschappen en de Raad van Europa in de toekomst aanleiding kunnen zijn om ten aanzien van het Veluwe infiltratieproject een betere grondstof als uitgangspunt te hanteren.

De Ad Hoc Groep Zuivering heeft een voorbeeld van een mogelijke zuivering geschetst op grond van opgedane ervaringen. Afhankelijk van de veranderingen van de aard van de verontreiniging van het Rijnwater en technische ontwikkelingen kunnen andere zuiveringsschema's de voorkeur verdienen.

Geohydrologische aspecten

Door de Ad Hoc Groep Geohydrologie is een verkennende studie uitgevoerd naar de kwantitatieve hydrologische aspecten verbonden aan eventuele kunstmatige infiltratie van gezuiverd Rijnwater in de Veluwe in bijzonder met betrekking tot het infiltratievoorbeeld Kroondomein. De Ad Hoc Groep Geohydrologie was als volgt samen-gesteld:

- drs. E. Romijn (voorzitter/secretaris), Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- ir. C. v. d. Akker, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- dr. S. Jelgersma, Rijks Geologische Dienst
- ir. J. H. C. Mülschlegel, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- ir. A. J. Roebert, Gemeentewaterleidingen Amsterdam
- ir. P. A. Vermeer, Laboratorium voor Geotechniek, Technische Hogeschool Delft
- ir. G. P. Wind, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding

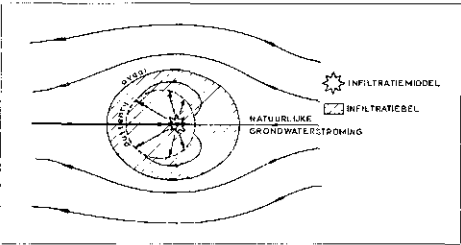
De ad hoc groep had vooral tot taak om uitgaande van de beschikbare geohydrologische gegevens een systeem van infiltratie en onttrekking te ontwerpen, waarbij een minimale uitwisseling van infiltraat met het van nature aanwezige grondwater plaatsvindt. Voorts wordt een optimale kwaliteitsafvlakking van het geïnfilterde water in de bodem beoogd en zijn berekeningen uitgevoerd met betrekking tot te verwachte grondwaterstandsfluctuaties in en rond het infiltratiegebied. Er is uitgegaan van een bedrijfsvoering zoals eerder is omschreven. De eenvoudigste vorm van infiltratie ontstaat bij een centrisch gelegen infiltratiepunt met daaromheen een cirkelvormige ring van terugwinningsputten. Projekteert men een dergelijk systeem op het beeld van de natuurlijke grondwaterstroming in de Veluwe dan zal in de stationaire toestand benedenstrooms evenveel geïnfilterd water afstromen (infiltratieverliezen) als er bovenstrooms aan grondwater volgens het natuurlijk verhang het cirkelvormige infil-

TABEL 1 - Kwaliteitsprognoses in geval van aërobe infiltratie-omstandigheden.

Parameter	Grootheid	Rijnwater	Voorgezuiverd water voor infiltratie	Geïnfiltreerd water = teruggewonnen water	Opkwellend grondwater na 2½ % uitwisseling met infiltraat	Opkwellend grondwater na 5 % uitwisseling met infiltraat	Oorspronkelijk grondwater * (aëroob)	Huidige concentraties in beken en sprengen van de Veluwe	Regenwater **
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Chloride	mg/l	150	180	180	75	100	10 — 20	15 — 40	1 — 7
Nitraat	mg/l	12	≈ 20	≈ 15	7 — 8	10 — 11	spoor	0 — 30	0 — 15
Sulfaat	mg/l	80	100	100	45	60	15	13 — 30	2,5 — 23
Fosfaat	mg/l	0,35	0,01	0,01	0,025	0,020	< 0,03	0,06 — 0,15	0 — 0,95
Waterstofcarbonaat	mg/l	160	130	130	85 — 140	90 — 140	50 — 150	0 — 50	9 — 15
Cyanide	mg/l	< 0,01	0	0	—	—	—	—	—
Natrium	mg/l	65	80	80	30 — 45	45 — 55	10 — 25	5 — 20	0,05 — 30
Kalium	mg/l	10	10	10	4 — 7	5 — 8	1 — 5	0 — 1,5	0,1 — 0,7
Ammonium	mg/l	3,8	0,05	0	0,25	0,3 — 0,4	0,3	0,3 — 0,4	0,01 — 0,2
Org. ammonium	mg/l	0,8	0,02						
Calcium	mg/l	90	90	90	35 — 55	45 — 65	5 — 35	5 — 30	0,3 — 4,0
Magnesium	mg/l	12	12	12	6 — 7	7 — 8	2 — 4	2 — 8	0,02 — 4,0
IJzer	mg/l	1,5	0,03	0,03	0,08 — 0,15	0,06 — 0,12	0,1 — 0,2	0,01 — 0,2	0,08
Mangaan	mg/l	0,2	0,01	0,01	0 — 0,15	0 — 0,12	0 — 0,2	—	0,13
Arsen	µg/l	10	3	1	—	—	—	—	—
Beryllium	µg/l	0,9	0,9	0,3	0,2 — 0,4	0,2 — 0,4	0,1 — 0,5	0,1	—
Cadmium	µg/l	5	≈ 0,5	≈ 0,5	0,2 — 0,8	0,3 — 0,8	0,1 — 1,0	0,2 — 1,6	4,0
Chroom	µg/l	60	2	1	1 — 4	1 — 3	1 — 5	1 — 2	1,5
Cobalt	µg/l	4	≈ 0,5	≈ 0,5	0,5 — 2	0,5 — 2	0,5 — 3	1 — 4	1,1
Koper	µg/l	30	10	4	3 — 35	3 — 27	2 — 50	1 — 3	21
Kwik	µg/l	2,5	0,2	0,1	—	—	—	0,6 — 1,5	—
Lithium	µg/l	30	30	15	6 — 8	8 — 10	1 — 5	1 — 3	—
Lood	µg/l	50	≈ 10	≈ 5	2 — 18	3 — 15	1 — 25	1 — 2,5	34
Nikkel	µg/l	20	≈ 5	≈ 1	1 — 8	1 — 6	1 — 12	6 — 30	4,3
Vanadium	µg/l	10	≈ 5	≈ 5	3 — 7	3 — 7	2 — 8	2 — 9	—
Zink	µg/l	200	40	8	6 — 100	7 — 80	5 — 120	5 — 30	81
Lindaan	µg/l	0,2	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
HCB	µg/l	0,15	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Endosulfan	µg/l	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	—	—
Cholinesterase remmers	paraoxonenheden	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05	—
Polycyclische aromaten	µg/m ³	1000	≈ 50	50	50	50	50	—	≈ 50

* Waar mogelijk zijn de in Veluwe grondwater gemeten concentraties opgevoerd, gezien de ligging der monsterplaatsen heeft een aanmerkelijk deel van deze waarnemingen betrekking op niet-gecontamineerde plaatsen. In enkele gevallen (pesticiden en polycyclische aromaten) is gebruik gemaakt van elders op min of meer vergelijkbare punten gemeten concentraties.
** Waarden op met de Veluwe vergelijkbare plaatsen. Onderzoek in het Veluwegebied zelf staat op het onderzoekprogramma.

tratiegebied binnenstroomt. Er zal weinig of geen verandering optreden in het normale door de neerslag veroorzaakte patroon van grondwaterstandsfluctuaties. De afstand van het infiltratiepunt tot de terugwinningsputten is overal dezelfde (geen spreiding in verblijftijd) en een kwaliteitsafvlakking wordt niet bereikt. Een dergelijk systeem beantwoordt slecht aan de gestelde uitgangspunten van minimale verliezen aan infiltraat en een optimale kwaliteitsafvlakking. Door ir. P. A. Vermeer is daarom een systeem ontworpen, waarbij deze gebreken zijn verholpen. In plaats van een centrische infiltratie is het infiltratiepunt excentrisch gekozen op de as door het middelpunt van de cirkel evenwijdig aan de stromingsrichting van het grondwater. Deze toestand is schematisch in afb. 4 aangegeven. Hierdoor ontstaat een zone van geïnfiltreerd water (infiltratiebel) die de vorm van een ovaal aanneemt en zich over de hele hoogte van het watervoerende pakket (ca. 200 m t.p.v. Kroondomein) uitstrekt. In tegenstelling met de centrische infiltratie



Afb. 4 - Schematisch bovenaanzicht van excentrisch infiltratiesysteem.

vindt bij de excentrische infiltratie wel een verstoring van het bestaande grondwaterpatroon plaats. Bovenstrooms wordt het water opgestuwd, benedenstrooms als het ware afgezogen. Door de wisselende afstand van het infiltratiepunt tot de ring van onttrekkingsputten wordt een lineaire verblijftijdspreiding van het water in de ondergrond verkregen en wordt een belangrijke kwaliteitsafvlakking bereikt. Tot zover de stationaire toestand, waarbij evenveel water wordt geïnfiltreerd als onttrokken. Wordt de infiltratie gedurende twee maanden onderbroken dan zal bij een

continuering van de onttrekking de infiltratiebel (de ovaal in afb. 4) kleiner en dunner worden. Om te voorkomen dat met het infiltraat grondwater wordt opgepompt, is het systeem zodanig te ontwerpen dat de ovaal aan het einde van de twee maanden onderbreking de ring van onttrekkingsputten nog niet heeft bereikt. In de daaropvolgende periode van aanvulling kan de infiltratiebel weer tot zijn oorspronkelijke omvang worden uitgebreid. Een belangrijk uitgangspunt is dat de onderbrekingsperiode van maximaal 2 maanden per jaar bij een volledige capaciteitsbezetting van 100 miljoen m³ per jaar niet wordt overschreden. Zou dit wel het geval zijn dan zou dat bij het hiervoor beschouwde ontwerp leiden tot uitwisseling van infiltraat met grondwater en tot grotere grondwaterstandsfluctuaties. Bovengenoemd systeem is doorgerekend voor de situatie van het Kroondomein. Vanwege de anisotropie van de bodem (scheefstelling van aardlagen door stuwing) is in de berekeningen de doorlatendheid van de bodem voor de horizontale stroming

evenwijdig aan de stuwingsrichting ($kD = 6000 \text{ m}^2/\text{dag}$) groter gekozen dan loodrecht op deze richting ($kD = 3000 \text{ m}^2/\text{dag}$). Het gevolg hiervan is dat de cirkelvormige ring van onttrekkingsputten in het theoretische voorbeeld van een homogeen watervoerend pakket verandert in een ellipsvorm. Ligging en grootte van de ellips en de ovaal in de stationaire toestand zijn voor het Kroondomein aangegeven in afb. 8.

Een groot aantal berekeningen is uitgevoerd om de kwaliteitsafvlakking door menging van water met een verschillende verblijftijd in de ondergrond na te gaan. Het betreft hier vooral de goed oplosbare stoffen die in concentratie afhankelijk zijn van de afvoer van de Rijn en onveranderd het grondmassief van de Veluwe doorstromen zonder daarbij sporen (bijv. door adsorptie) achter te laten. Als kwaliteitsparameter is het chloridegehalte gehanteerd. De invloed van de verblijftijdspreiding op de kwaliteitsafvlakking is nagegaan bij verschillende zoutbelastingen en is betrokken op de historische afvoerarakteristiek van de Rijn.

In het voorbeeld van het Kroondomein is bij de situering van de infiltratie- en onttrekkingsmiddelen in afb. 8 uitgegaan van een gemiddelde verblijftijd van het water in de bodem van één jaar met een spreiding van 2 jaar ($T_{\min} = 2 \text{ mnd.}$; $T_{\text{gem}} = 12 \text{ mnd.}$; $T_{\max} = 24 \text{ mnd.}$). Bijvoorbeeld bij een kunstmatige chloridelast van de Rijn van 300 kg/sec komt dat neer op een chloridegehalte van het af te leveren water van doorgaans 150 tot 200 mg/l met een enkele uitschieter naar 250 mg/l. Het chloridegehalte van het ruwe Rijnwater kent een veel grilliger verloop met hogere piekconcentraties en lagere minima. Opgemerkt wordt dat bij een grotere spreidingstijd, bijv. van meer dan 3 jaar, het effect van de afvlakking slechts weinig toeneemt.

Ruime aandacht is besteed aan de te verwachten grondwaterstandsfluctuaties. Uitgaande van verschillende geohydrologische bodemconstanten zijn tal van combinaties doorgerekend. Eerder in deze paragraaf is reeds vermeld dat bij excentrische infiltratie ook in de stationaire toestand de oorspronkelijke grondwaterstroming wordt beïnvloed. Zo zal bijv. in het geval van het Kroondomein op 2 km en 6 km bovenstrooms van het theoretische infiltratiepunt een grondwaterstandsstijging van resp. ca. 180 cm en 60 cm zijn te verwachten en 2 km en 6 km benedenstrooms een grondwaterstanddaling van eveneens resp. ca. 180 cm en 60 cm. Door de aanwezigheid van een weinig doorlatende kleilaag op geringe diepte even ten westen van het Kroondomein zullen deze grondwaterstandsfluctuaties (potentiaalschommelingen) slechts optreden in het diepere grondwater-

pakket en de grondwaterstand nabij het maaiveld niet beïnvloeden. Een voorbeeld van de grondwaterstandsfluctuaties als gevolg van de onderbreking van de infiltratie en de extra aanvulling met infiltraat is gegeven in afb. 5 en afb. 6. Afb. 5 laat zien hoe op drie willekeurige afstanden van het infiltratiepunt de grondwaterstand in de tijd kan fluctueren. Afb. 6 geeft de maximaal te verwachten grondwaterstandsfluctuaties aan tot op 10 km van het infiltratiepunt. De berekende grondwaterstandsfluctuaties dienen te worden gesuperponeerd op de bestaande grondwaterstand in stationaire toestand. Een belangrijk punt vormt de mogelijke uitwisseling van geïnfilterd water met omringend grondwater. Berekend is dat na een onderbreking van 2 maanden tijdens de periode van extra aanvulling éénmaal een hoeveelheid van 100.000 m^3 infiltraat (0,1 % van de jaarproductie) wordt afge-stoten. Voorts treedt uitwisseling op als gevolg van diffusie ter plaatse van het contactvlak grondwater-infiltraat, inhomogeniteit van de ondergrond en andere verschillen tussen theoretische uitgangspunten en praktische omstandigheden. De 'afstromingsveliezen' zullen bij goede aanpassing van de werken aan de geohydrologie naar verwacht minder dan 2,5 % en in ieder geval minder dan 5 % van de totale jaarproductie van 100 miljoen m^3 bedragen. De geohydrologische berekeningen hebben alle betrekking op de stroming in de verzadigde zone. De infiltratiemiddelen (vijvers, tunnels en putten) zijn daarbij schematisch in één punt geconcentreerd gedacht.

In werkelijkheid zullen binnen het infiltratie gebied afwijkingen optreden. Afhankelijk van de geologische structuur van de bodem kan het verschil uitmaken op welke wijze het water via de onverzadigde zone het grondwater bereikt en welk infiltratiemiddel wordt toegepast. In het kader van dit voorbeeld, waarbij het vooral om de beïnvloeding van de waterhuishoudkundige toestand buiten het infiltratiegebied gaat, is dat thans minder van belang.

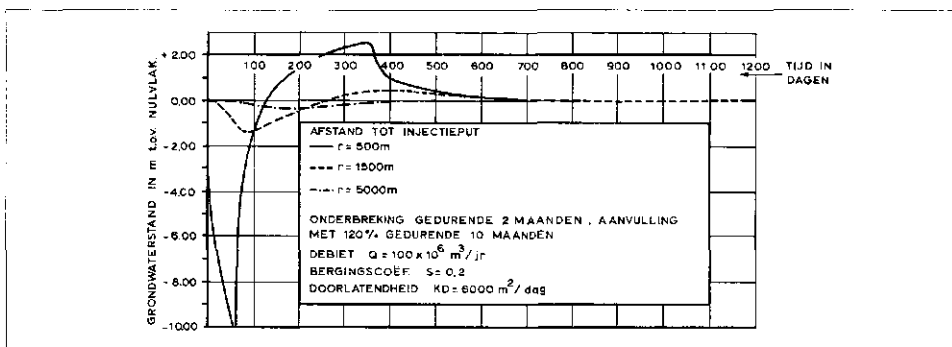
Tenslotte wordt opgemerkt dat door het laboratorium voor Geotechniek van de Technische Hogeschool Delft een spleetmodel van het voorbeeld van excentrische infiltratie is gebouwd. Op aanschouwelijke wijze wordt bevestigd wat de computerberekeningen cijfermatig hebben opgeleverd.

Geochemische aspecten

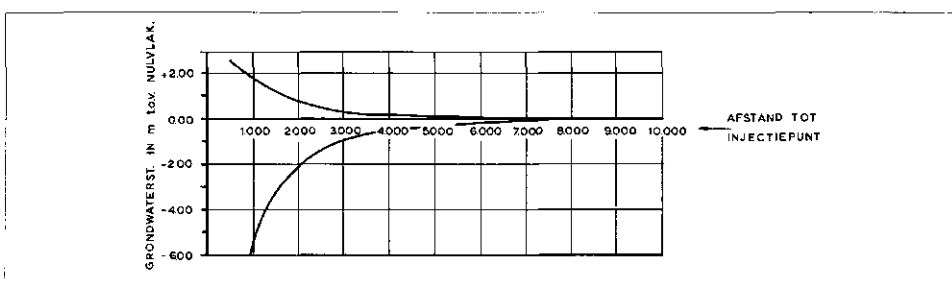
De Ad Hoc Groep Geochemie heeft bestudeerd welke gevolgen de Veluwe-infiltratie in geochemisch opzicht kan hebben. Een belangrijk uitgangspunt voor deze studie vormden de werkzaamheden van de Ad Hoc Groepen Zuivering en Geohydrologie. De Ad Hoc Groep Geochemie was als volgt samengesteld:

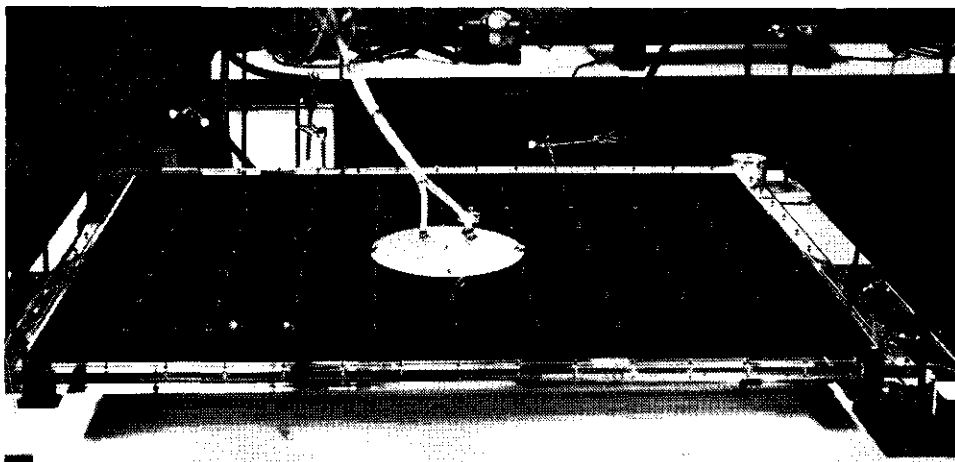
- ir. B. C. J. Zoeteman (voorzitter), Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- dr. F. J. J. Brinkmann (secretaris), Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- prof. dr. G. B. Engelen, Instituut voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit
- dr. M. J. Frissel, Instituut voor Toepassing van Atoomenergie in de Landbouw
- drs. H. J. M. Lips, Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland

Afb. 5 - Grondwaterstandfluctuaties als functie van de tijd bij onderbroken infiltratie.



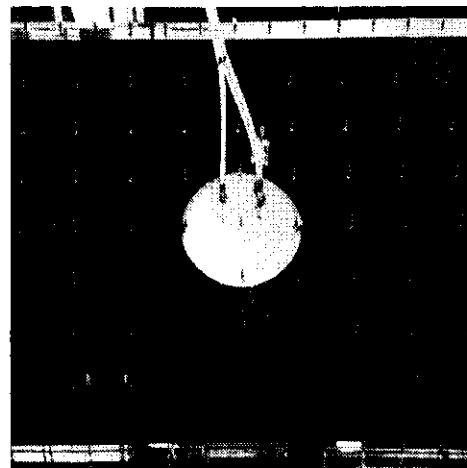
Afb. 6 - Maximum en minimum grondwaterstandsfluctuatie bij onderbroken infiltratie.



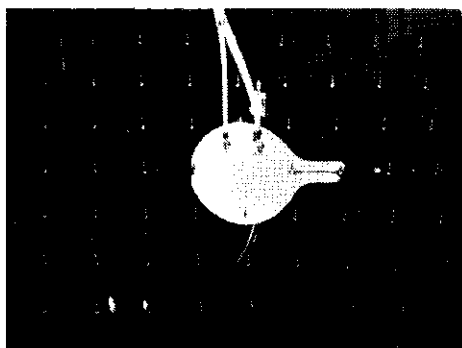


Spleetmodel voor het systeem van excentrische infiltratie; links is punt van infiltratie, rechts is punt van onttrekking; natuurlijke grondwaterstroming van links naar rechts. Het punt rechts simuleert een ring van putten. (foto TH Delft)

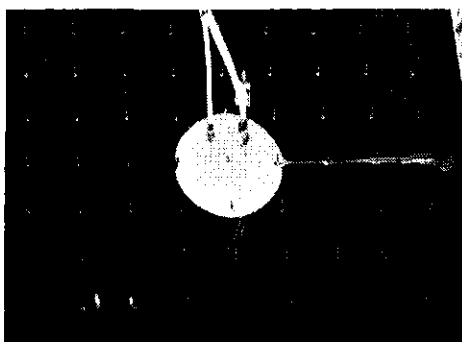
- ir. C. R. Meinardi, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- ir. P. Poelstra, Instituut voor Toepassing van Atoomenergie in de Landbouw
- drs. E. Romijn, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening



Bel van geïnfiltrerd water (ovaal) in stationaire toestand, waarbij evenveel water wordt geïnfiltrerd als onttrokken. (foto TH Delft)



Bel van geïnfiltrerd water na onderbreking van de infiltratie; vorming van lobben die met het afstromende grondwater worden meegevoerd. (foto TH Delft)



Bel van geïnfiltrerd water na hervatting van de infiltratie; een verdere insnoering van het tot afstroming gekomen infiltraat vindt plaats; de stationaire toestand is praktisch hersteld. (foto TH Delft)

infiltraat geschiedt met het diepere grondwater, dat zeer langzaam in noordwestelijke richting afstroomt onder de ondiepe kleilaag ten westen van het Kroondomein. Pas een aantal eeuwen na aanvang van de infiltratie zou deze kwaliteit buiten de Veluwerand opkwellen. Op deze lange tocht zal overigens door dispersie en adsorptie een verlaging van de concentratie aan stoffen optreden en de oorspronkelijke grondwaterkwaliteit worden benaderd. Doordat tot nu toe geen eenduidige relatie tussen de kwaliteit van het onderzochte grondwater en het water in de nabij gelegen sprengkoppen is gevonden en het redelijk is te veronderstellen dat de sprengen voor een belangrijk deel door neerslagwater uit de bovenste pakketten worden gevoed, wordt een prognose over de mogelijke kwaliteitsbeïnvloeding van beken en sprengen bemoeilijkt. Naar verwacht zal een soortgelijke kwaliteitsverandering als bij het grondwater kunnen optreden, echter in een minder uitgesproken vorm. Concentraties van enige zouten zoals natrium-chloride zullen wellicht met een factor twee kunnen toenemen, terwijl geen nadelige effecten ten aanzien van sporelementen en organische microverontreinigingen zijn te verwachten. Een maximale toeneming van het nitraatgehalte in beken en sprengen met 5 mg/l is mogelijk, terwijl momenteel waarden tot 30 mg NO₃-/l worden gevonden. Het fosfaatgehalte in de beken en sprengen zal onder invloed van de infiltratie eerder dalen dan stijgen wegens de lage fosfaatconcentraties in het te infiltreren water.

De keuze van de infiltratiemiddelen — open dan wel gesloten infiltratie — is bij goed onderhoud wat betreft beïnvloeding van het zuurstofgehalte niet van belang.

Bouwtechnische aspecten

Door de Ad Hoc Groep Constructies is

De ad hoc groep had vooral tot taak de uitlogings-, transport- en accumulatieverschijnselen te beschouwen bij infiltratie van gezuiverd Rijnwater in de Veluwe, teneinde inzicht te verschaffen in de kwaliteit van het na infiltratie terug te winnen water en de gegevens te verschaffen op grond waarvan de ecologische gevolgen van de Veluwe-infiltratie zouden kunnen worden bepaald. Dit laatste geldt in het bijzonder voor de eventuele 'afstromingsverliezen' aan infiltraat, waarbij valt te bedenken dat het gaat om uitwisseling van grondwater met water van drinkwaterkwaliteit. De ad hoc groep is ervan uitgegaan dat de infiltratie een aëroob karakter draagt. In dit verband wordt benadrukt dat de situering van de infiltratiegebieden en de bedrijfsvoering in hydrologisch opzicht steeds gericht moeten zijn op het vermijden van het aantrekken van anaëroob grondwater. Menging van geïnfiltrerd aëroob water met anaëroob grondwater kan aanleiding geven tot verstopping ter plaatse van de onttrekkingsmiddelen en nazuivering van het teruggewonnen water noodzakelijk maken.

De resultaten van de studie door de ad hoc groep zijn samengevat in tabel I. De prognose van de kwaliteit van het terug te winnen water in kolom 5 wijkt slechts weinig af van de kwaliteit van het gezuiverde oppervlaktewater. De waarden vermeld in de kolommen 6 t/m 8 geven een indruk van de mate van mogelijke kwaliteitsverandering van het grondwater door uitwisseling met geïnfiltrerd water (zie vorige paragraaf). Ten aanzien van de natuurlijke situatie zal een verhoging van het gehalte aan chlo-

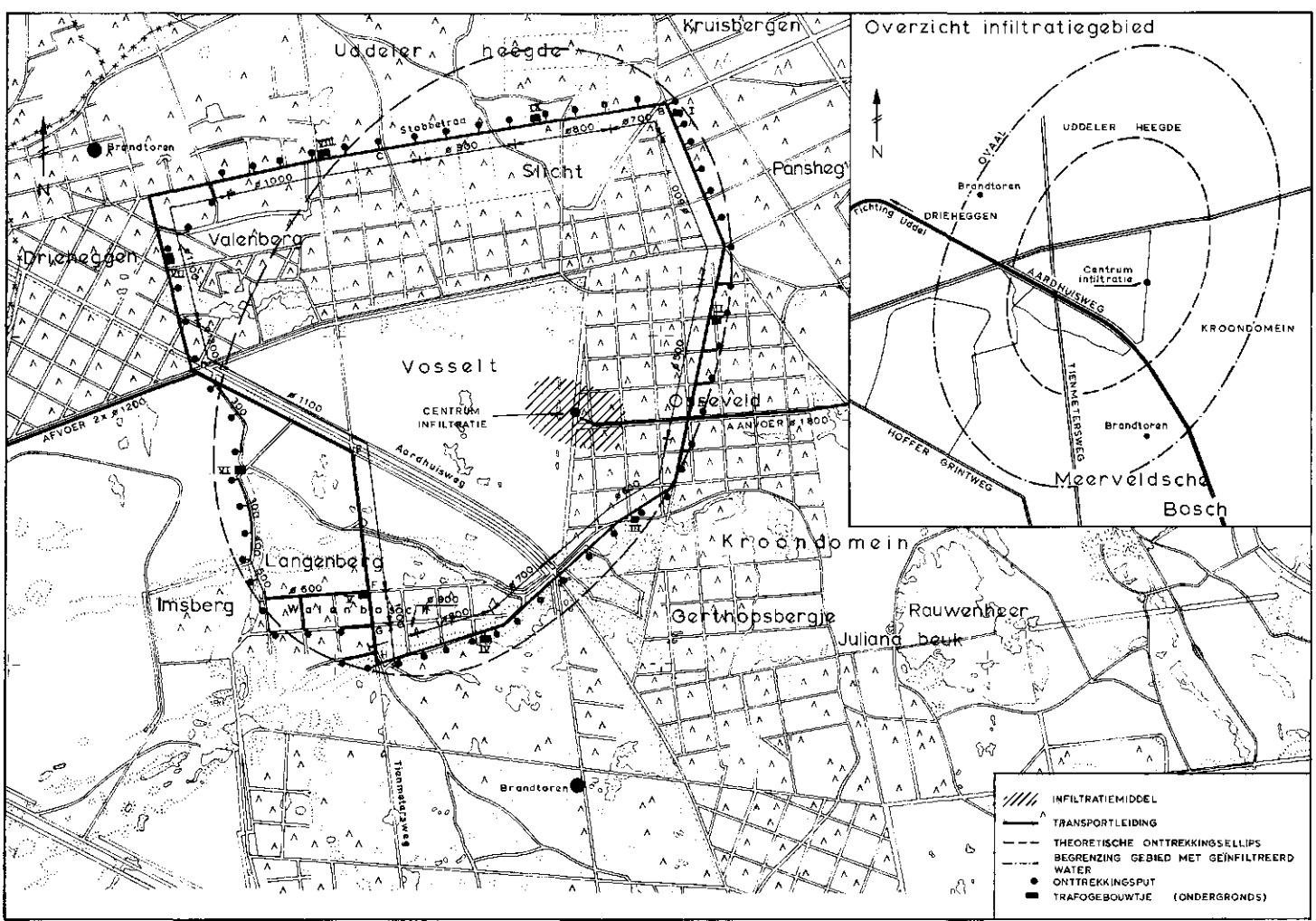
ride, nitraat, sulfaat, natrium, calcium en lithium optreden. Wat de overige bestanddelen betreft zijn geen verhogingen, in sommige gevallen zelfs verlaging van de gehalten in het afstromende grondwater te verwachten. De kwaliteitsverandering van het grondwater zou zich in het geval van het Kroondomein uit kunnen strekken over een strook ter breedte van ca. 2 km benedenstrooms vanaf het infiltratiegebied. Menging van het eventuele 'verlies' aan

heid om het totaal aan werken optimaal in het terrein in te passen. Bij infiltratie door middel van *open vijvers* is gerekend met een infiltratiesnelheid van 5 m/dag gebaseerd op proefnemingen met de proefinstallatie infiltratie te Leiduin. Rekening houdende met de mogelijkheid van extra aanvulling is een verdeling in zes bassins gedacht met een totale oppervlakte van ca. 8 ha, waarvan zonodig één bassin buiten bedrijf is. Voordelen van open vijvers zijn de technisch geringe ingreep en de lage kosten van uitvoering in vergelijking met gesloten infiltratiemiddelen. Een nadeel is de snellere verstopping (o.a. door algengroei) en de daardoor veelvuldiger noodzaak tot mechanisch schoonmaken van de infiltratiebedden (verwijdering van 3 cm toplaag eens in de 1 à 2 jaar, ofwel 4000 ton grond). Infiltratie door middel van *injectieputten* is bijv. mogelijk door een zestigtal putten te maken, die normaal elk een debiet van 190 m³/uur per put kunnen verwerken en bij verhoogde aanvoer na onderbreking een debiet van 230 m³/uur per put. Voorgesteld wordt de putten te plaatsen

volgens 2 cirkelvormige puttenrijen, concentrisch, met een onderlinge afstand tussen de putten van 30 m. De stralen van de cirkels bedragen ca. 130 m en ca. 160 m, het aantal putten resp. 26 en 35. Aangenomen is dat over de hoogte van het hele watervoerende pakket (ca. 200 m) kan worden geïnfiltrerd. Bij een boorgatdiameter van 700 mm geeft dit een intreesnelheid van 45 cm/uur bij normaal debiet. Plaats, aantal en diepte van de putten zijn geen star gegeven, maar kunnen binnen bepaalde grenzen worden gevarieerd. Voordelen van injectieputten zijn: weinig plaatsruimte, geen verstopping door algen, goedkoper dan tunnels. Een nadeel is dat nog weinig bekend is over de toepasingsmogelijkheden van putten. Exploitatieactiviteiten bestaan uit het regenereren dan wel het opnieuw boren van putten of het periodiek automatisch schoonmaken door versterkt terugpompen. Een prognose aangaande de exploitatie-activiteiten is met de huidige kennis moeilijk te maken. Bij de infiltratie door middel van *ondergrondse tunnels* is te denken aan een constructie bestaande uit keerwanden van

gewapend beton afgedekt met voorgespannen betonbalken van 20 m lengte. Evenals bij de open vijver wordt uitgegaan van een infiltratiesnelheid van 5 m/dag en is een infiltratieoppervlak van ca. 8 ha nodig, ofwel een aangesloten tunneloppervlak van bijv. 400 x 200 m. Een alternatieve oplossing met minder verstoring is te bedenken door de tunnels aan weerszijden langs de Aardhuisweg te leggen. In dat geval zal echter ook het hele systeem van onttrekkingsputten moeten worden aangepast. Een voordeel van tunnels is dat geen verstopping door algengroei optreedt en de nodige exploitatieactiviteiten benedengronds plaatsvinden (reinigen eens in de 5 à 10 jaren). Nadelen zijn het (eenmalige) grote grondverzet bij aanleg (diepte van ingraving 4 à 5 m bij gronddekking van 1 m) en de zeer hoge kosten in vergelijking met vijvers en injectieputten. De terugwinningsmiddelen zijn voor alle drie de infiltratiemiddelen dezelfde. Gekozen is voor een 60-tal putten met elk een capaciteit van ca. 250 m³/uur gelegen op een onderlinge afstand van 100 m (zie afb. 8). De putten zijn elk uitgerust met een eigen

Afb. 8 - Situering infiltratie- en onttrekkingsmiddelen infiltratieproject Kroondomein.



onderwaterpomp. Van de put is in het terrein alleen een toegangsdeksel met een diameter van ca. 1 m zichtbaar op 40 cm boven het maaiveld. Uit geohydrologisch oogpunt zouden de putten langs de theoretisch berekende ellips moeten worden geplaatst.

In de praktijk is gekozen voor een plaatsing langs bestaande paden, waarbij getracht is zoveel mogelijk de ellips te volgen. De totale oppervlakte van het gebied binnen de onttrekkingsputten is globaal op 250 ha te stellen. De elektrische voeding van de onderwaterpompen geschiedt via een achttal ondergrondse transformatorkelders. De elektrische commandovoering, onderhoud en registratie van bedrijfsgegevens geschiedt in een gebouw op afstand, bijv. in het dorp Uddel. De putten zijn onderling verbonden door een ringleiding van wisselende diameter.

De afvoerleiding uit het infiltratiegebied bestaat uit veiligheidsoverwegingen uit 2 leidingen Ø 1200 mm. Het eerste deel van het tracé van deze leiding is in afb. 8 gegeven. Het transport van water geschiedt onder eigen verval.

Een belangrijk aspect betreft de exploitatieactiviteiten in het Kroondomein. Metingen zullen zoveel mogelijk moeten worden geautomatiseerd, maar niettemin zullen periodiek pompen moeten worden vervangen, infiltratiebedden worden schoongemaakt en zand worden aan- of afgevoerd. De aanleg van de werken evenals belangrijke onderhoudswerkzaamheden zullen steeds met het oog op de rustverstoring van het grof wild in de periode van 1 februari tot 1 september moeten plaatsvinden. Een rustverstoring van de roofvogelpopulatie is ter plaatse van het beschouwde infiltratiegebied in het voorbeeld van het Kroondomein niet te vrezen. In het voorbeeld van het Kroondomein verdient het voorts aanbeveling om uit een oogpunt van bescherming tegen verontreiniging de Aardhuisweg voor gemotoriseerd verkeer af te sluiten.

Fasering in de bouw van de te installeren productie-eenheden is in het kader van dit infiltratievoorbeeld niet verder uitgewerkt. Een laatste opmerking betreft de energievoorziening. Het zal mogelijk zijn de noodzakelijke elektriciteit via ondergrondse kabels van het openbare net te betrekken.

Nabeschouwing

In het voorgaande zijn de belangrijkste punten aangegeven van de problematiek die verbonden is aan de uitvoering van een technisch project voor infiltratie van gezuiverd Rijnwater in de Veluwe. Als voorbeeld is het hypothetische geval beschouwd dat 100 miljoen m³ water per jaar in een deel van het Kroondomein zou

worden geïnfilteerd. Aandacht werd besteed aan de zuiveringstechnische, geohydrologische, geochemische en bouwtechnische aspecten. De inpassing van de werken in het landschap wordt nader bestudeerd door een landschapsarchitect als onderdeel van het onderzoekprogramma van de CIV.

Uit technisch oogpunt kan de Veluwe-infiltratie als een reële mogelijkheid worden aangemerkt. De afweging van een Veluweproject ten opzichte van andere belangen valt buiten de competentie van de Technische Werkgroep. Wel is bij de opzet van het infiltratievoorbeeld Kroondomein zoveel mogelijk rekening gehouden met de eisen en wensen die in dit opzicht bij de Commissie Infiltratie Veluwe leefden. Zo is in het voorbeeld van het Kroondomein ervan uitgegaan dat het geïnfilteerde water zich niet of althans zo gering mogelijk met het grondwater mag mengen. Men dient zich echter wel te realiseren dat het om de infiltratie van water met drinkwaterkwaliteit gaat en dat menging met aëroob grondwater uit een oogpunt van de drinkwatervoorziening weinig problemen vormt. De vraag rijst of een systeem met grotere 'verliezen' aan infiltraat van drinkwaterkwaliteit en een grotere onttrekking van aëroob grondwater en dientengevolge een geringere grondwaterstandsverandering in de stationaire toestand niet is te prefereren boven de huidige gekozen opzet bij de infiltratie in het Kroondomein. Belangrijke waterleidingtechnische kenmerken van een infiltratieproject Veluwe zijn:

- de mogelijkheid om tenminste 2 maanden per jaar de infiltratie te onderbreken, bijv. vanwege een calamiteit op de rivier, maar toch de onttrekking van water aan het infiltratiegebied niet te stoppen en de levering aan het verzorgingsgebied ongestoord te handhaven;
- kwaliteitsafvlakking door de onttrekking van water met verschillende verblijftijd in de bodem waardoor drinkwater van een gelijkmatige samenstelling wordt verkregen;
- inbeslagneming van relatief geringe oppervlakten terrein doordat het proces van voorraadvorming en afvlakking zich benedengronds afspeelt; bovengronds is het gebruik van hetzelfde terrein voor andere doeleinden mogelijk, met name kan een samengaan met belangen van natuur en landschap worden genoemd;
- de veiligheid en de bescherming tegen al of niet opzettelijke verontreiniging van buitenaf doordat vanaf het inlaatpunt aan de rivier tot en met de levering van het water aan de consument van een beveiligd en gesloten watervoorzieningssysteem sprake is.

Opgemerkt wordt dat bij een uitvoering van een willekeurig infiltratieproject op de Veluwe in alle gevallen een intensief vooronderzoek zal dienen plaats te vinden. Aanleiding hiertoe is de complexe geologische structuur van de Veluwe. Plaatselijk voorkomende kleilagen kunnen de infiltratie verstoren of noodzaken tot de toepassing van een bepaalde wijze van infiltratie. Zo is het weinig zinvol om infiltratie door middel van open vijvers toe te passen, indien zich op enige diepte een minder doorlatende laag bevindt; infiltratie door middel van injectieputten verdient dan de voorkeur. Ook de garantie dat geen anaëroob grondwater wordt aangetrokken is een belangrijk punt van onderzoek. Fasering en bepaling van de optimale grootte van de te installeren productie-eenheden zijn in dit stadium niet verder uitgewerkt. In de praktijk zou met uitzondering van de transportleidingen bijv. te denken zijn aan fasering in eenheden van 25 à 50 miljoen m³ per jaar. De uiteindelijke grootte van een infiltratieproject is geen vast gegeven. Zo kan infiltratie van 300 miljoen m³ per jaar in één gebied evengoed tot de mogelijkheden behoren als infiltratie in 3 gebieden verspreid over de Veluwe met elk een capaciteit van 100 miljoen m³ per jaar. Als een indicatie mag gelden dat de infiltratie- en onttrekkingsmiddelen behorende bij een productiecapaciteit van 100 miljoen m³ per jaar en bij een gemiddelde verblijftijd van het water in de ondergrond van één jaar ongeveer een gebied van 250 ha insluiten. Door de eigenlijke werken wordt hiervan slechts een klein deel in beslag genomen (ca. 8 ha bij open infiltratie), het overige deel van het gebied wordt niet of nauwelijks beïnvloed. Ter vergelijking wordt opgemerkt dat het natuurlijke infiltratieoppervlak van de Veluwe ca. 127.000 ha bedraagt.

De Technische Werkgroep Infiltratie Veluwe heeft in feite een eerste verkennend onderzoek naar de mogelijkheden van kunstmatige infiltratie in de Veluwe afgesloten. In een volgend stadium zal vooral aandacht moeten worden besteed aan het onderzoek in gebieden die, rekening houdende met de 'obstakelkaarten' die uit een oogpunt van andere belangen zijn opgesteld waterleidingtechnisch van belang zijn. Andere belangrijke punten van onderzoek zijn de technische mogelijkheden en de aard van de exploitatieactiviteiten bij toepassing van verschillende infiltratiemiddelen. Op dit punt zal vooral de kennis die elders is verkregen op de Veluwe moeten worden toegepast en door middel van fundamenteel en toegepast onderzoek verder moeten worden uitgebouwd. Een stimulans van dit onderzoek vanuit een

oogpunt van de Veluwe-infiltratie is hier zeker op zijn plaats.

Een nauwkeurige kostenberekening kon in dit stadium nog niet worden gegeven, omdat niet alle factoren genoegzaam bekend waren. In zijn algemeenheid kan wel worden gesteld dat een infiltratie-project Veluwe als een verantwoorde methode van watervoorziening in aanmerking kan worden genomen.

Een beschouwing over de plaats van de Veluwe-infiltratie in het totaalbeeld van de openbare watervoorziening moest achterwege blijven. Hiervoor wordt verwezen naar het gepubliceerde ontwerp-Structuurschema Drink- en Industriewatervoorziening 1972.

Het verdere verloop van het onderzoek naar de infiltratiemogelijkheden op de Veluwe is afhankelijk van het advies dat de Commissie Infiltratie Veluwe aan de Minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne zal uitbrengen en zal ook in samenhang met de ontwikkelingen die zich in het algemeen voordoen, moeten worden bepaald.

