

Het onderzoeksprogramma van de Commissie Infiltratie Veluwe

Ten geleide

Op 20 juli 1972 heeft de Minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne de Commissie Infiltratie Veluwe ingesteld. Tal van werkgroepen en instanties zijn sindsdien bij de werkzaamheden van de Commissie betrokken. In H₂O nr. 4 van 14 februari 1974 zijn in dat verband de activiteiten van de Technische Werkgroep Infiltratie Veluwe reeds nader toegelicht, waarbij tevens melding werd gemaakt van andere onderzoeken die ten behoeve van de Commissie werden uitgevoerd. Thans zijn de werkzaamheden zover afgerond, dat de Commissie naar verwachting eind 1975 advies zal kunnen uitbrengen aan de minister.

In de nu volgende artikelenserie passeren de verschillende onderzoeken de revue. Allereerst wordt een overzicht gegeven van de werkzaamheden van de Commissie in de afgelopen jaren. Daarna wordt als vervolg op het eerder genoemde artikel in H₂O uitgebreid ingegaan op de werkzaamheden van de Technische Werkgroep en haar ad hoc groepen. Aansluitend volgen twee artikelen die betrekking hebben op het ecologisch onderzoek, dat in verband met de infiltratie-problematiek is uitgevoerd. Tenslotte is een artikel opgenomen over de proefinstallatie te Leiduin, opgesteld op het terrein van Gemeentewaterleidingen (Amsterdam). Het laatstgenoemde artikel betreft de werkzaamheden van de Commissie Proefinstallatie Infiltratie.

In het kader van het opstellen van basisplannen voor de toekomstige drink- en industriewatervoorziening werden vanaf 1966 min of meer uitvoerige, technische en hydrologische studies verricht in verband met mogelijke infiltratie van delen van de Veluwe met voorgezuiverd rivierwater. Deze studies hebben er toe geleid dat in het Ontwerp structuurschema Drink- en Industriewatervoorziening 1972 een project voor kunstmatige infiltratie op de Veluwe is opgenomen. Daar de infiltratieplannen vele andere belangen raken werd in 1972



DRS. E. ROMIJN
technisch secretaris CIV

door de Minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne de begeleidingscommissie Infiltratie Veluwe ingesteld. Deze Commissie heeft zich hoofdzakelijk met de eventuele gevolgen van technische werken voor het milieu — in de brede zin van het woord — bezig gehouden. Alvorens de Commissie einde 1975 rapporteert aan de Minister zal zij in oktober 1975 een openbare voorlichtings- en discussie-avond te Apeldoorn organiseren.

Een eerste, min of meer uitvoerige beschrijving van mogelijke infiltratie op de Veluwe vindt men in het Rapport van de Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening van 1965 inzake de Toekomstige drinkwatervoorziening van Nederland [1]. In dit rapport, dat een overzicht geeft van de studies welke sinds 1958 op dit gebied door de Centrale Commissie werden verricht in opdracht van de toenmalige Minister van Sociale Zaken en Volksgezondheid, wordt gesteld dat door de geconstateerde toenemende waterbehoefte enerzijds en de beperkte mogelijkheid van grondwaterwinning anderzijds, steeds meer gebruik zal moeten worden gemaakt van oppervlaktewater, vooral van de rivieren Rijn en Maas. Om kwantitatieve en kwalitatieve redenen kan dit water echter niet steeds worden gebruikt als grondstof voor de drinkwatervoorziening. De periode dat het rivierwater niet kan worden gebruikt, zou kunnen worden overbrugd door voorraden aan te leggen, hetzij in spaarbekkens, hetzij ondergronds door kunstmatige infiltratie, waarbij het grondwater door rivierwater wordt aangevuld.

In het rapport wordt de Veluwe beschreven als een vrijwel homogeen zandpakket met een groot doorlaatvermogen. Desalniettemin wordt voor kunstmatige infiltratie van

rivierwater een geringe infiltratiesnelheid van 10 cm per dag aangenomen, omdat het te infiltreren rivierwater niet van slib ontdaan zou worden. Om landschappelijke redenen zou de infiltratie op de Veluwe gerealiseerd moeten worden door middel van steeds water bevattende meertjes, zodat onderbreking van infiltratie in principe niet zou kunnen plaatsvinden. De kwaliteitsverbetering werd daarom gezocht in spreiding van de verblijftijd van het rivierwater in de bodem waardoor het weer op te vangen infiltraat een gemengde samenstelling en daardoor een gemiddelde kwaliteit zou bevatten, welke nog juist aan de drinkwaternormen zou voldoen, vooral indien tevens natuurlijk grondwater (neerslagwater) zou kunnen worden bijgemengd [1]. Een vervolg op deze studies werd geleverd door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening vanwege de opdracht welke de Minister van Sociale Zaken en Volksgezondheid in 1964 gaf tot het opstellen van basisplannen voor de waterwinning als grondslag voor de toekomstige uitbreiding der bestaande watervoorzieningen [2]. Vruucht hiervan was onder meer de studie inzake kwaliteitsverbetering bij kunstmatige infiltratie (grondslagen basisplannen no. 6) welke studie het chloridegehalte van de Rijn als criterium had genomen [3].

In 1966 werd de Werkgroep Infiltratie Veluwe opgericht, welke onder leiding stond van de algemeen adviseur voor de basisplannen, ir. C. Biemond. De groep rapporteerde in 1971. Zij bleek andere inzichten te hebben dan de Centrale Commissie. Het geohydrologisch onderzoek had aangetoond dat de Veluwe beslist niet als een homogeen zandpakket is te beschouwen. Voorts zou door voorzuivering van het te infiltreren rivierwater een veel grotere infiltratiesnelheid (orde = meters per dag) kunnen worden bereikt hetgeen resulteerde in een veel geringer benodigd infiltratieoppervlak. Het zou zelfs mogelijk kunnen zijn, dat indien vergaand gezuiverd rivierwater in delen van de Veluwe werd geïnfilteerd waar zich zuurstofhoudend grondwater bevindt, een nazuivering van het teruggewonnen infiltraat achterwege zou kunnen blijven. Het is duidelijk dat deze technische opzet ook landschappelijke voordelen zou hebben. Tenslotte werden de consequenties van onderbreking van infiltratie om kwantitatieve redenen onder ogen gezien. De hiermee samenhangende grondwaterstandsschommelingen vereisen een van nature diepgelegen grondwaterstand welke in het centrum van de Veluwe wordt gevonden. Een eerste ontwerp leverde een 50 km lang kanaal op over de gehele lengte van de hoge rug van de Veluwe, waarmede 1000 miljoen m³/jaar zou kunnen worden geïnfilteerd. Ir. Biemond

besprak de eerste resultaten met leden van het College van Gedeputeerde Staten van Gelderland en met enkele grondeigenaren, waarbij landschappelijke bezwaren duidelijk naar voren kwamen. In 1968 werd door het Ministerie een crediet verleend voor het uitvoeren van verkenningsboringen op de Veluwe en in 1969 een crediet voor de bouw van een proefinstallatie te Leiduin, waar met behulp van met Veluwezand gevulde ketels binnen een speurwerkovereenkomst tussen KIWA en RID door de Commissie Proefinstallatie Infiltratie (CPI) onderzoek zou worden gedaan naar de relatie tussen voorzuivering van het infiltraat en verstopping van de bodem c.q. mogelijke infiltratiesnelheden. Tenslotte werd het in landschappelijk opzicht onaanvaardbare 50 km lange kanaal vervangen door een zevental gebiedsaanduidingen waar 100 à 200 miljoen m³ per jaar zou kunnen worden geïnfiltrerd. Hiermede sloot de groep Biemond de werkzaamheden af.



Bron van de Seelbeek.

van afhankelijk zal moeten zijn van een regeringsbeslissing, 'In dit verband zou het wenselijk zijn dat de regering in 1975 zodanig is gedocumenteerd, dat zij dan kan overgaan tot een principiële uitspraak over de wenselijkheid van uitvoering van het project'.

In zijn antwoord op de rede van de Minister verklaarde de Voorzitter van de CIV, prof. ir. J. L. Klein, dat 'voorkomen moet worden dat de goede drinkwatervoorziening van ons land stagneert door vertragingen, veroorzaakt door onze Commissie. Maar evenmin mag de vrees voor vertraging leiden tot een te eenzijdige technische benadering van de watervoorziening' en dat nodig waren 'open discussies ook in die zin, dat zij een zodanige openbaarheid krijgen dat de gang van zaken in de Commissie door belangstellenden voldoende kan worden gevolgd'.

Men ziet hieruit dat hetgeen in verschillende nationale en internationale commissies [5] herhaaldelijk als 'nieuwe aspecten van de waterhuishouding' is genoemd, nl. bepaling van de gevolgen van technische werken voor het milieu en realisering van publieke betrokkenheid, van het begin af het onderzoeksprogramma van de CIV heeft bepaald. In verband hiermee kunnen ook de Kamervragen van de heer Eisma (D'66) lid van de Eerste Kamer, ingezonden op 6 sept. 1972, naar inspraakprocedure en periodieke informatie aan de bevolking genoemd worden [6]. De Minister antwoordde hierop dat de vergaderingen van de CIV niet openbaar zullen zijn, doch dat de CIV periodieke publicaties over de voortgang van de werkzaamheden het licht zal doen zien.

Gedurende 1972 bestudeerde de CIV de tot dan toe verrichte onderzoeken [7, 8, 9, 10] en het Ontwerp-structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening 1972 [11] waarin als project op pag. 52 infiltratie op de Veluwe is opgenomen voor een productiecapaciteit van 500 miljoen m³/jaar. Aansluitend hierop werd aan schrijver dezes verzocht een relatieschema inzake bij de Veluwe-infiltratie betrokken belangen [10] op te stellen, zomede een onderzoeks-

programma ten behoeve van de CIV. De onderzoeken zouden grotendeels door de TW in opdracht van de CIV kunnen worden uitgevoerd.

Hierbij werd als volgt te werk gegaan. Bij een relatieschema dat moet aangeven hoe bepaalde activiteiten of plannen anders kunnen beïnvloeden zou men de invloed van iedere actie (ieder plan) op alle andere acties (plannen) dienen na te gaan. Afgezien van de ingewikkelde procedure die hiervoor nodig is, is zo'n relatieschema slechts uit te werken indien men ook alle voorgenomen acties zou kennen. Vereenvoudiging treedt echter op indien men alleen de acties (plannen) van een bepaald onderwerp (bijv. infiltratiewerken) variabel stelt en alle andere acties (de 'omgeving' der infiltratiewerken) als constant en gegeven beschouwt. Relevante gegevens van deze 'omgeving' kunnen door inventarisatie van de huidige toestand worden verkregen. Het opgestelde relatieschema duidt aldus positieve of negatieve gevolgen voor deze (huidige) omgeving aan door voorgenomen acties vanwege infiltratiewerken. Deze omgeving kan — waar het de Veluwe betreft — echter evengoed beïnvloed worden door waterstaatswerken, cultuurtechnische werken, recreatieve ontwikkelingen, landschapsplannen etc. In het onderzoeksprogramma van de CIV wordt hierop echter niet ingegaan.

Het relatieschema is als volgt opgesteld. Verticaal zijn opgesomd de door de CIV relevant geachte aspecten van de 'omgeving' (de Veluwe), horizontaal zijn opgesteld de door de TW opgesomde activiteiten die behoren bij aanleg en exploitatie van infiltratiewerken. Een voorbeeld van zo'n schema is afgebeeld in een vorige publicatie over CIV en de TW [12].

Het schema is hier uitgewerkt als vierkants tabel of matrix. Deze matrix bevat 7 verticale kolommen (voorgenomen acties vanwege infiltratiewerken) en 25 horizontale regels, welke een karakteristiek van de omgeving en van de natuurlijke hulpbronnen geven. Op deze wijze ontstaan 7 maal 25, derhalve 175 relaties, welke ieder op zich nog onderverdeling behoeven. Voor ieder van deze 175 matrix-vakken werd door de Commissieleden en hun deskundigen, die in vier ad hoc werkgroepen — te weten: Waterhuishouding, Ecologie en Landschap, Recreatie, Urbanisatie en Grondgebruik — vergaderden, een relatieformulier naar beste weten ingevuld. In dit relatieformulier werden beschreven [13]:

- A. Aard van de relatie, hoedanigheid van de beïnvloeding;
- B. Kwantificering van de relatie, omvang der beïnvloeding;

Het onderzoek ten dienste van een mogelijk infiltratieproject werd hierop voortgezet door een technische werkgroep, die door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en de Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven gezamenlijk werd ingesteld. Voorzitter was aanvankelijk ir. Th. G. Martijn; sinds 1972 is dit ir. P. J. Verkerk. De Werkgroep begon haar werkzaamheden in 1971.

Het lag intussen niet op de weg van de Technische Werkgroep (TW) de harmonische inpassing van mogelijke projecten in de ruimtelijke ordening in haar onderzoek te betrekken. Hetzelfde geldt voor de bepaling van standpunten met betrekking tot andere aspecten, zoals bijv. die van ecologie en landschap.

Met het oog hierop stelde de Minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne in 1972 de Commissie Infiltratie Veluwe (CIV) in, in welke Commissie tal van belangen zijn vertegenwoordigd. De Commissie zal uiteindelijk aan de Minister advies uitbrengen met betrekking tot het infiltratieproject. Haar taak omvat mede de begeleiding van de technische onderzoeken. Zij kan gebruik maken van de diensten van de Technische Werkgroep. In de praktijk vindt een harmonische samenwerking plaats.

Doel en opzet van het onderzoek

Uit de installatierede van de Minister van 20 juli 1972 [4] blijkt dat, alhoewel in hygiënisch opzicht infiltratie betere perspectieven biedt dan open voorraadvorming door middel van spaarbekkens, realisering van infiltratiewerken op de Veluwe zoveel belangen zal raken, dat de uitvoering daar-

- C. Aanvaardbaarheid van de beïnvloeding;
- D. Omschrijving van het nog benodigde onderzoek;
- E. Tijdsduur en kosten van dit onderzoek;
- F. Diensten en Instituten welke dit onderzoek zouden kunnen uitvoeren.

De verdere uitwerking van de aldus ingevulde matrix behelsde het volgende.

1. Waar een negatieve invloed werd verondersteld werd aan de TW verzocht of door aanpassing der werken deze negatieve invloed kon worden vermeden.
2. Waar onvoldoende kennis aanwezig bleek te zijn, werd nader onderzoek verricht.

Daar de invloed der infiltratiewerken mede wordt bepaald door de grootte der werken (de productiecapaciteit) en de locatie der werken, werd afgesproken dat als eenheid een werk met een capaciteit van 100 miljoen m³/jaar zou worden beschouwd en dat uitgaande van in de matrix aangegeven problemen zgn. obstakelkaarten voor de gehele Veluwe zouden worden samengesteld (schaal 1 : 50.000) met betrekking tot recreatie, ecologie, planologie enz.

Op deze wijze zou men zowel door technische aanpassing als door het kiezen van de juiste locatie eventuele schade kunnen minimaliseren.

Voor de Commissieleden en hun medewerkers ontstond hierbij de moeilijkheid dat de invloed van werken op de Veluwe eerst exact is na te gaan indien deze werken van bepaalde omvang op een bepaalde locatie zouden worden geprojecteerd; immers de invloeden zullen van plaats tot plaats verschillen. Aan de andere kant was het voor de technici ondoenlijk om voor iedere denkbare locatie op de Veluwe een ontwerp te maken. Om uit deze vicieuze cirkel te geraken werd besloten een concrete locatie op de Veluwe te kiezen die voor de probleemstelling min of meer representatief is en voor die locatie op papier een project te ontwikkelen.

Hiervoor werd gekozen een locatie nabij Uddel op het Kroondomein Hoog Soeren. Hierbij diende wel steeds de nadruk te vallen op het modelkarakter van dit project. In de wandeling werd het project het *proefrekenmodel Kroondomein* genoemd. Het dient dus uitsluitend als leermiddel om gevolgen van eventuele infiltratie op de Veluwe te leren kennen en ook te leren ondervangen.

Een schema van de tot nu toe verrichte onderzoeken is hieronder gegeven (tabel I).

De begeleiding van het onderzoek geschiedde door de technisch secretaris van de CIV, onder toezicht van een Stuurgroep uit de

TABEL I - *Gerealiseerd onderzoeksprogramma volgens invloedsmatrix.*

ONDERWERP UIT MATRIX		1973	1974	1975	UITVOERING
ONDERZOEK VELUWE - ALGEMEEN					
WATERING- HOEDING	a. GEOLOGISCH - HYDROLOGISCHE INVENTARISATIE b. STROMING IN ONVERZADIGDE ZONE c. INVENTARISATIE PARTICULIERE WINNING d-1 INFILTRATIE, KWANTITATIEF d-2 INFILTRATIE, KWALITATIEF				RID ICW PW, RID TW - A TW - B, ITAL, VU
ECOL- EN LANDSCH	e. INVLOED INFILTRATIE (KWANT, KWAL.) OP VEGETATIE f. SLIBVERWERKING, CHEMICALIËNGEBRUIK g. INVLOED BOUWWERKEN OP ECOLOGIE				RIN / RID TW - C RIN / RID
RECRE- ATIE	h. RECREATIE EN ANALYSEBEKKEN i. INVENTARISATIE RECREATIE j. BELEVINGSWAARDE				PW, RG, PPD, ANWB RGV, PPD, ANWB B Pp
ONDERZOEK PROEFREKENMODEL KROONDOMEIN					
ECOL- EN LANDSCH	m. INVLOED BOUWWERKEN EN EXPLOITATIE OP ECOLOGIE n. SITUERING INLAATWERK o. LANDSCHAPSONDERZOEK				TW - D, RIN / RID LANDINR., RIN B Pp, VALLEN
ECOL- EN GENEES	p. ECONOMISCHE SCHADE LAND- EN BOSBOUW, JACHT, VERKEERSNET q. PLANOLOGISCHE OBSTAKELKAART				MATRIX P.K. PPD

VERKLARING: RID RIJKSINSTITUUT VOOR DRINKWATERVOORZIENING
 RIN RIJKSINSTITUUT VOOR NATUURBEHEER
 ICW INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHuishouding
 B Pp BOSBOUWPROEFSTATION "DORSCHKAMP"
 VU VRIJE UNIVERSITEIT, AARDWETENSCHAPPEN
 ITAL INSTITUUT TOEPASSING ATOOMENERGIE IN DE LANDBOUW
 LANDINR. CONSULENTSCHAPPEN NATUURBEHOUD EN LANDSCHAPSBOUW, RID LANDINRICHTING
 PW PROVINCIALE WATERSTAAT
 PPD PROVINCIALE PLANOLOGISCHE DIENST
 RGV RECREATIEGEMEENSCHAP VELUWE
 ANWB KONINKLIJKE NEDERLANDSE TOERISTENBOND
 VALLEN ADVIESBUREAU VOOR LANDSCHAP EN OPENLUCHTREACTIE IR. J. VALLEN B.V.
 MATRIX P.K. INVLOEDSMATRIX PROEFREKENMODEL KROONDOMEIN
 TW TECHNISCHE WERKGROEP INFILTRATIE VELUWE
 TW - A AD-HOC GROEP GEOHYDROLOGIE
 TW - B AD-HOC GROEP GEOCHEMIE
 TW - C AD-HOC GROEP ZUIVERING
 TW - D AD-HOC GROEP CONSTRUCTIES
 ——— STUDIE, AFGESLOTEN DOOR RAPPORT
 - - - - - REGELMATIG OVERLEG IN CONTACTGROEPEN

CIV, welke maandelijks vergaderde. De CIV zelf vergaderde in principe ieder kwartaal om de voortgang en resultaten der onderzoeken te bespreken. Zoals uit tabel I blijkt is een groot deel van het onderzoeksprogramma van de CIV uitgevoerd door de TW. De voorzitter van de TW nam deel aan alle vergadering van de CIV en de Stuurgroep CIV. Een omvangrijk ecologisch onderzoek werd verricht door twee ecologen in tijdelijke dienst van het RID, die gestationeerd waren op het Rijksinstituut voor Natuurbeheer te Leersum. Over het onderzoek van de TW en van de ecologen wordt elders in dit nummer gerapporteerd.

Obstakelkaarten i.v.m. recreatie op de Veluwe, planologie van de Veluwe en natuur en landschap van de oevers van de IJssel en het Veluwemeer zijn samengesteld door resp. de Recreatiegemeenschap Veluwe, de Provinciale Planologische Dienst en de Natuurbeschermingsconsulent in Gelderland.

Tenslotte werd in contactgroepen op ad hoc basis overleg gepleegd tussen leden van de TW, milieudeskundigen en de technisch secretaris CIV over de relatie tussen bijv. technische werken en ecologie van het massief en de randgebieden van de Veluwe, de relatie tussen inlaatwerken aan de rivier en natuur- en landschap van de uiterwaarden, de relatie tussen recreatie en het analysebekken van een inlaatwerk aan de rivier, terwijl voor de landschappelijke aspecten naast het Bosbouwproefstation 'De Dorschkamp' het Adviesbureau voor

Landschap- en Openluchtrecreatie ir. J. Vallen BV werd ingeschakeld. Van een proefinfiltratie op het terrein van de Veluwe werd voorlopig afgezien.

Voorlichting en publicatie

Bij de oprichting van de CIV op 19 juli 1972 werd door de afdeling Externe Betrekkingen van het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne een persbericht uitgegeven waarin taak en samenstelling van de CIV werden genoemd. In de Urgentienota Milieuhygiëne, Antwoorden op vraagpunten Zitting 1972-1973-11906 werd vnl. in vraagpunten 43 en 54 nader op de CIV en infiltratie op de Veluwe ingegaan.

Een eerste bericht van de CIV zelf bestond uit het Eerste Interimrapport (juli 1973), waarin de problematiek van mogelijke infiltratie op de Veluwe werd uiteengezet. Op basis van dit rapport werden gelden aangevraagd voor een onderzoeksprogramma.

Daarna verscheen in H₂O (7) nr. 4, februari 1974 van ir. P. J. Verkerk een artikel over de activiteiten van de Technische Werkgroep Infiltratie Veluwe ten behoeve van de Commissie Infiltratie Veluwe.

Tenslotte werd in een aantal nota's van de Provinciale Planologische Dienst ten behoeve van het Streekplan Veluwe, met name in de 'Trilogie van de Veluwe' (juli 1973) een korte uiteenzetting over de CIV gegeven.

Afgezien van de voorlichting op hoorzittingen welke in 1973 aan het Ontwerp-

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

structuurschema voor de Drink- en Industrierwatervoorziening werden gewijid kan nog vermeld worden dat een aantal malen op verzoek van enkele gemeenten zoals Apeldoorn en Arnhem in 1974 door de technische secretaris mondeling toelichting werd gegeven op het Interim-rapport van de CIV.

Op 15 april 1975 werd een voorlichtings- en discussie-avond over het werk van de CIV gehouden voor gemeentebesturen van de Veluwe gemeenten en van Deventer, Olst, Zutphen en Wijhe.

In 1973 heeft de Provinciale Waterstaat voorlichting over de CIV gegeven aan de Waterschappen en het Zuiveringsschap van de Veluwe.

Tenslotte werd in verband met eventuele beïnvloeding van particuliere grondwaterbronnen of sprengen (forellen-kwekerijen) door vertegenwoordigers van CIV en TW via het Bureau Milieuhygiëne VNO eind 1974 een voorlichtingsavond voor particuliere waterwinners georganiseerd.

Het ligt in de bedoeling in oktober 1975 een openbare voorlichtings- en discussie-avond met betrekking tot het werk van de CIV te Apeldoorn te houden. De Commissie zal van haar kant de opvattingen der aanwezigen beschouwen als lokale informatie met betrekking tot de materie van haar onderzoek.

Literatuur

1. *De toekomstige drinkwatervoorziening van Nederland*. Rapport van de Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening 1965. 's-Gravenhage 1967.
2. Brief van de Staatssecretaris van Sociale Zaken en Volksgezondheid. *De toekomstige drinkwatervoorziening van Nederland*. 's-Gravenhage 1969.
3. Huisman, L. en Martijn, Th. G. *Kwaliteitsverbetering bij kunstmatige infiltratie*. Grondslagen basisplannen 6, H₂O (2) 1969, nr. 16.
4. Minister Stuyt installeerde Commissie Infiltratie Veluwe, H₂O (5) 1972, nr. 16.
5. Burton, I. *Water management and the environment*, Paper OECD, april 1972.
6. Vragen van de heer Eisma (D'66) inzake waterinfiltratieproject op de Veluwe (ingezonden 6 sept. 1972). Handelingen Eerste Kamer, zitting 1972.
7. Nota 1. Commissies en werkgroepen en principe van kunstmatige infiltratie. RID 1972.
8. Nota 2. *Geologisch en hydrologisch vooronderzoek van de Veluwe*. RID 1972.
9. Nota 3. *Speurwerk met behulp van de proefinstallatie*. RID 1972.
10. Nota 4. *Relatiepatroon belangen Veluwe*. RID 1972.
11. *Ontwerp structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening*, Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne. 's-Gravenhage 1973.
12. Verkerk, P. J. *Activiteiten van de Technische Werkgroep Infiltratie Veluwe ten behoeve van de Commissie Infiltratie Veluwe*, H₂O (7) 1974, nr. 4.
13. *Interimrapport van de Commissie Infiltratie Veluwe* (juli 1973).

Om inzicht te verschaffen in de technische mogelijkheden van infiltratie 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 watervorende pakket bedraagt ca. 200 m; de bodem is anisotroop; het grondwater bevindt zich op ongeveer 30 m beneden het maaiveld 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 sprengen 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 werkring inmiddels niet langer deel uit van de Technische Werkgroep.

Principe van kunstmatige infiltratie

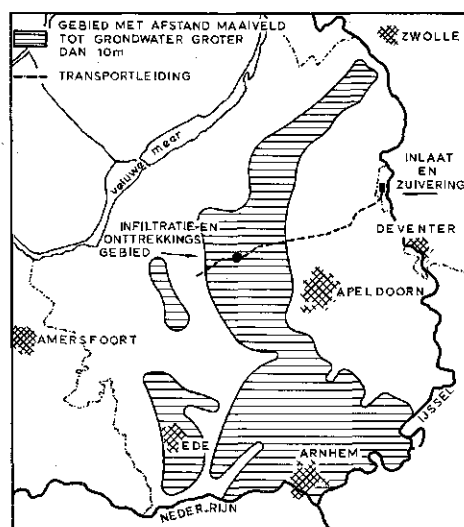
Kunstmatige infiltratie van gezuiverd oppervlaktewater is één van de methoden van waterwinning die in Nederland wordt toegepast. Met name in sommige duingebieden zijn hiermee gunstige ervaringen opgedaan. De infiltratie in de Veluwe zal op tal van punten verschillen met de duininfiltratie, naar het principe van infiltratie is hetzelfde. Bij kunstmatige infiltratie wordt water in de bodem gebracht dat op enige afstand 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 (nulvlak 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

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



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 kleilenzen. 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 kleilenzen kunnen de kunstmatige infiltratie plaatselijk bemoeilijken. In het groter geheel behoeft dit echter geen overwegende belemmering te vormen, omdat de kleilenzen doorgaans geen aangesloten 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-

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

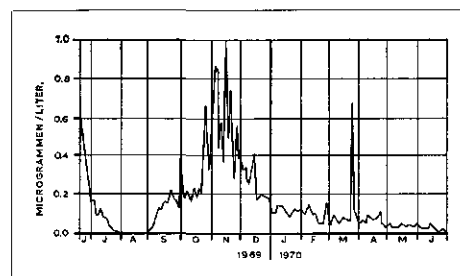
van het infiltratiegebied een belangrijke kwaliteitsafvlakking van o.a. temperatuur en zoutgehalte te bereiken.

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 slijbdeeltjes adsorberen. Goed oplosbare verontreinigingen zullen het snelst het onttrekkingspunt passeren.

Uit onderzoekingen 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 Basel, ca. 600 km bovenstrooms, 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 slijb 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

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



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 watervoorraden 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 landschap. 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 uitgewerkt infiltratievoorbeeld, betrokken op een feitelijke situatie. Besloten werd dat de Technische Werkgroep bij wijze van vingeoefening 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 bescherming van het terrein tegen verontreiniging. Ook de situering ten opzichte van de aanvoerbron van water, de IJssel, kan als representatief voor mogelijke infiltratiegebieden op de Veluwe worden gezien. De uitwerking van het infiltratievoorbeeld Kroondomein door de Technische Werkgroep is geschied in een viertal ad hoc groepen, die elk een bepaald facet van het infiltratieproject hebben beschouwd. Deze facetten betreffen de uitwerking in zuiveringstechnisch, geohydrologisch, geochemisch en bouwtechnisch opzicht. Hierbij

werden de volgende gemeenschappelijke uitgangspunten gekozen:

- productie 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 infiltratie 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 oevallige omstandigheden is hiervoor het Kroondomein gekozen. Het betreft hierbij echter geenszins de voorbereiding van een bestekklaar 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 geïnfiltreerd 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

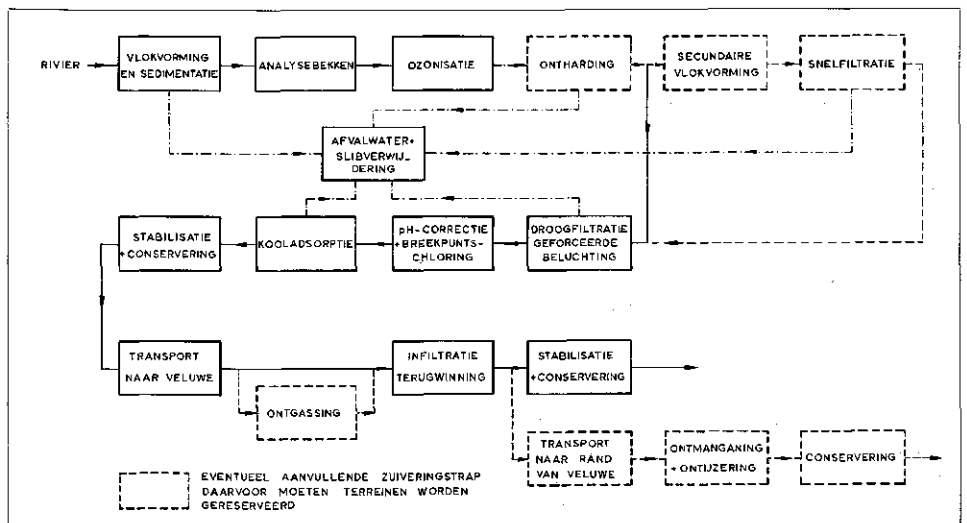
Het doel van de toepassing van vlokvorming is de verwijdering van zwevende en colloïdale stoffen en een verlaging van de concentratie aan fosfaat. Vele organische stoffen worden aan de vlok geadsorbeerd;

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 wél 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 detergents 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 breekpuntschlooring

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 breekpuntschlooring 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. Breekpuntschlooring 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 breekpuntschlooring 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 moeilijke 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 verontreinigende 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 internationale 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 infiltratie voorbeeld 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 de van nature aanwezige grondwater plaatsvindt. Voorts wordt een optimale kwaliteit afvlakking 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 centrisc gelege 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 bovenstrooms aan grondwater volgens het natuurlijk verhang het cirkelvormige infil-

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

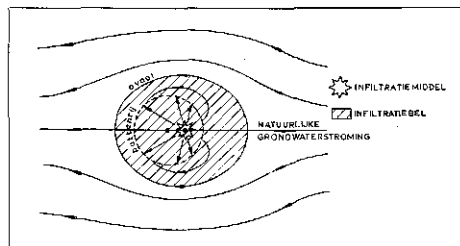
Parameter	Grootheid	Rijnwater	Voorgezuiverd water voor infiltratie	Geïnfiltriseerd water = teruggewonnen water	Opkwellend grondwater na 2½ % uitwisseling met infiltraat	Opkwellend grondwater na 5 % uitwisseling met infiltraat	Oorspronkelijk grondwater* (aëroob)	Huidige concentraties in beken en sprengen 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	0 — 2,0
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
Arseen	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	paraoxoneenheden	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 geïnfiltrerd 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 wèl 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 geïnfiltrerd 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 stuwning) 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 ($T_{\text{min}} = 2 \text{ mnd.}$; $T_{\text{gem}} = 12 \text{ mnd.}$; $T_{\text{max}} = 24 \text{ mnd.}$). 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 éénmalig een hoeveelheid van 100.000 m^3 infiltraat (0,1 % van de jaarproductie) wordt afgestoten. 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.

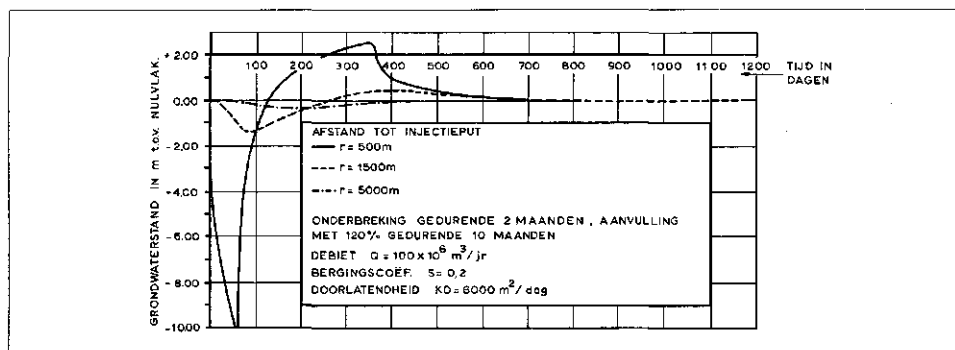
Tenslotte wordt opgemerkt dat door het laboratorium voor Geotechniek van de Technische Hogeschool Delft een spleetmodel van het voorbeeld van excentrische infiltratie is gebouwd. Op aanschouwelijke wijze wordt bevestigd wat de computerberekeningen cijfermatig hebben opgeleverd

Geochemische aspecten

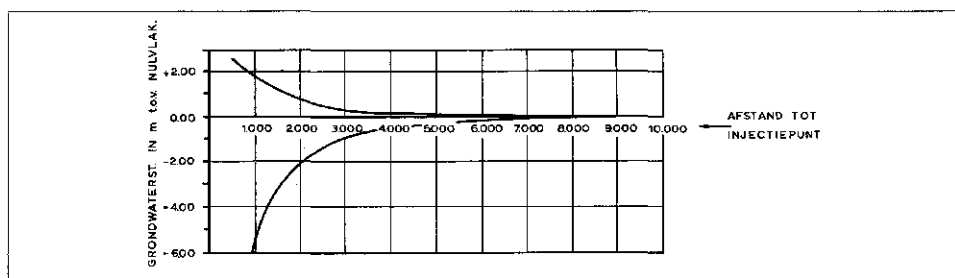
De Ad Hoc Groep Geochemie heeft bestudeerd welke gevolgen de Veluwe-infiltratie in geochemisch opzicht kan hebben. Een belangrijk uitgangspunt voor deze studie vormden de werkzaamheden van de Ad Hoc Groepen Zuivering en Geohydrologie. De Ad Hoc Groep Geochemie was als volgt samengesteld:

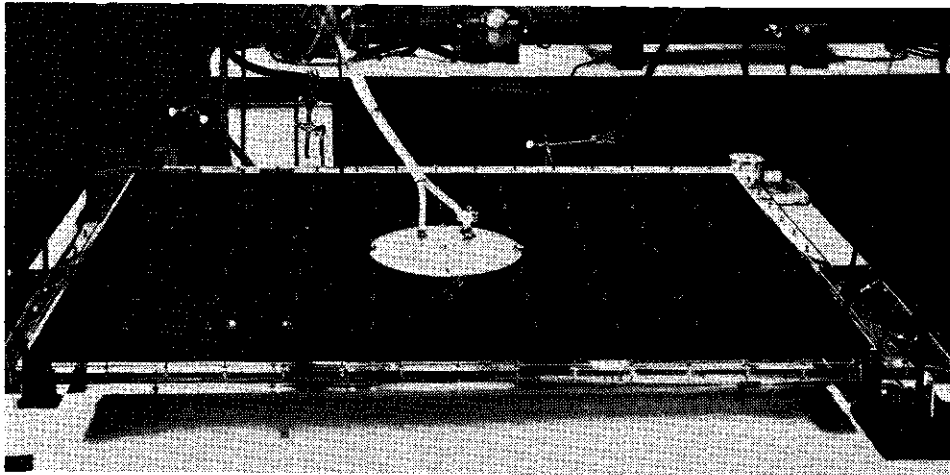
- ir. B. C. J. Zoeteman (voorzitter), Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- dr. F. J. J. Brinkmann (secretaris), Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- prof. dr. G. B. Engelen, Instituut voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit
- dr. M. J. Frissel, Instituut voor Toepassing van Atoomenergie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

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



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



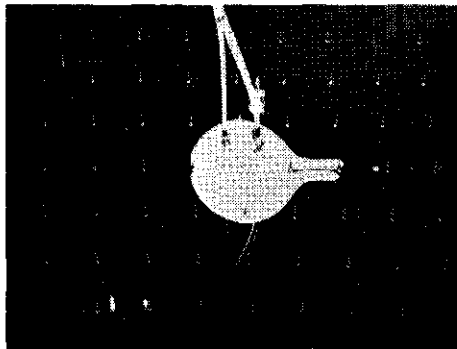


Spleetmodel voor het systeem van excentrische infiltratie; links is punt van infiltratie, rechts is punt van onttrekking; natuurlijke grondwaterstroming van links naar rechts. Het punt rechts simuleert een ring van putten. (foto TH Delft)

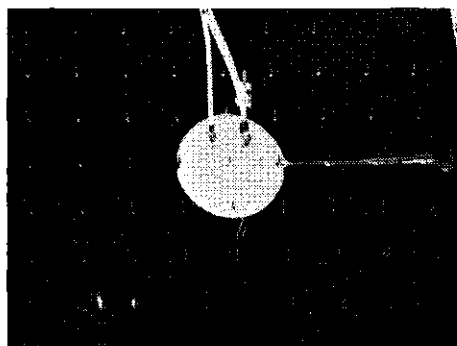
- ir. C. R. Meinardi, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- ir. P. Poelstra, Instituut voor Toepassing van Atoomenergie in de Landbouw
- drs. E. Romijn, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening

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 geïnfiltrateerd 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 geïnfiltrateerd water (zie vorige paragraaf). Een aanzien van de natuurlijke situatie zal een verhoging van het gehalte aan chlo-

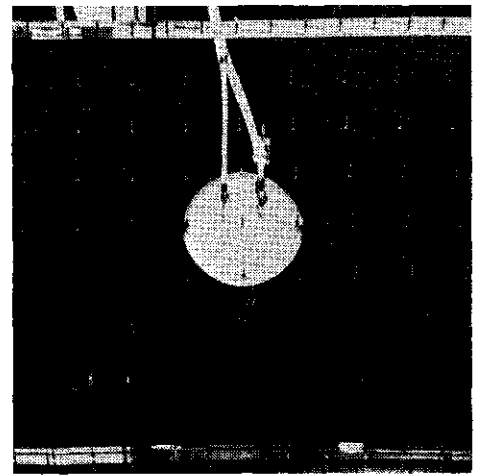


Bel van geïnfiltrateerd water na onderbreking van de infiltratie; vorming van lobben die met het afstromende grondwater worden meegevoerd. (foto TH Delft)



Bel van geïnfiltrateerd 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)

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



Bel van geïnfiltrateerd water (ovaal) in stationaire toestand, waarbij evenveel water wordt geïnfiltrateerd als onttrokken. (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 faktor twee kunnen toenemen, terwijl geen nadelige effecten ten aanzien van spoorelementen 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

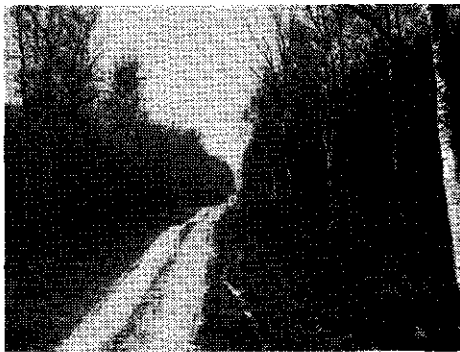
Door de Ad Hoc Groep Constructies is

op grond van de gegevens die door de andere ad Hoc groepen zijn geleverd een technisch ontwerp uitgewerkt voor het hypothetische infiltratievoorbeeld Kroondomein. De Ad Hoc Groep Constructies was als volgt samengesteld:

- A. J. N. Horstmeier (voorzitter), NV Waterleiding Maatschappij Gelderland
- ir. F. L. Schoufour (secretaris), Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
- ir. F. A. van Dam, Waterleidingbedrijf Midden-Nederland
- ir. P. Haverkamp Begemann, Gemeentewaterleidingen Amsterdam
- ir. P. Jonkman, Waterleidingbedrijf Midden-Nederland
- ir. J. H. C. Mülschlegel, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening

Het ontwerp betreft een infiltratieproject van gemiddeld 100 miljoen m³ per jaar en omvat het inlaatpompstation en de zuiveringswerken aan de IJssel, de transportleiding naar de Veluwe, de infiltratiemiddelen op het Kroondomein, de terugwinningmiddelen en de aanzet van de transportleiding voor de afvoer van het water uit het Kroondomein. De werken zijn gedimensioneerd op een capaciteit van 14.000 m³ per uur. Dit is meer dan de gemiddelde productiecapaciteit van 11.400 m³/uur (zie paragraaf 4) i.v.m. de mogelijkheid om na een periode van onderbroken infiltratie tijdelijk versneld te kunnen aanvullen. De uitwerking van een infiltratievoorbeeld is geschied om een inzicht te verschaffen in de consequenties die aan de uitvoering en exploitatie van eventuele infiltratiewerken op de Veluwe zijn verbonden.

Het betreft in geen geval een ontwerp voor een werkelijk te realiseren project. Wel zijn de plaatskeuze en de dimensionering van de hoofdonderdelen van het project zodanig gekozen dat van een logisch ontwerp sprake is. Een meer geschikte plaats van wateronttrekking aan de IJssel, een ander leidingtracé of een verschuiving van het infiltratiegebied is zeer goed mogelijk, maar doet aan de essentie van het voorbeeld niets af. Detaillering van onderdelen is achterwege gelaten; over de landschappelijke inpassing van de werken vindt in het kader van de Commissie Infiltratie Veluwe overleg plaats met een landschapsarchitect. Als inlaatpunt en plaats voor de zuiveringswerken is een terrein gekozen binnendijs op de linker IJsseloever ten noorden van Welsummerveld. Dit terrein is een voorlopige keuze, waarbij onder andere de dijksbelangen nog niet in de beschouwingen zijn betrokken. Een schematische projectie van de werken volgens het zuiveringsschema van de Ad Hoc Groep Zuivering (zie afb. 3) is aangegeven in afb. 7. De zuiveringswerken nemen een terrein in beslag van 30 à 40 ha, waarvan ca. 9 ha door het analysebassin. De ligging nabij de rivier heeft ondermeer



Bosweg in Veluwegebied.



Hypothetisch infiltratiegebied Osseveld nabij Aardhuisweg in Kroondomein.

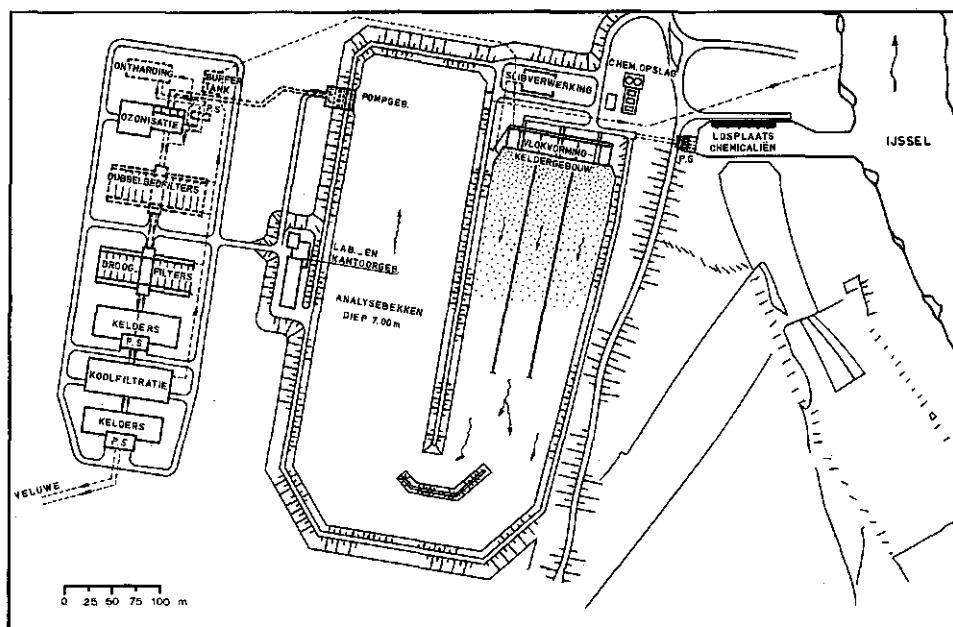
als voordeel dat bij een calamiteuze verontreiniging van het analysebassin de inhoud op eenvoudige wijze kan worden doorgepoeld naar de rivier. Op het terrein is eveneens een slibverwerkingsinstallatie geprojecteerd; de aanvoer van chemicaliën ten behoeve van de zuivering kan over water geschieden. Het gezuiverde water wordt in een reinwaterkelder opgevangen en vandaar in één fase naar het infiltratieterrain opgepompt.

De transportleiding naar het infiltratiegebied bestaat uit voorgespannen beton, is enkelvoudig ontworpen en heeft een diameter van 1800 mm. De lengte van de leiding bedraagt ca. 20 km, waarvan ruim 7 km binnen het Kroondomein. Het statisch hoogteverschil is ca. 50 m; het hoogste punt van de leiding licht echter op 80 m +NAP, zodat aan het begin van de leiding met een druk van ca. 100 mwk rekening moet worden gehouden. Een waterslagvoorziening in de vorm van ondergrondse windketels is zonnodig toe te passen. Ook in het kader van dit voorbeeld is getracht om een tracé te

ontwerpen waarbij waardevolle gebieden zoveel mogelijk worden gespaard. Binnen het Kroondomein volgt de leiding praktisch over de hele lengte boswegen van ca. 10 m breedte; de natuurlijke hellingen van het terrein worden daarbij gevolgd. Evenals voor de andere werkzaamheden op het Kroondomein geldt dat met het oog op de rustverstoring van het grof wild de aanleg van de werken in de periode van 1 februari tot 1 september zou dienen plaats te vinden.

Als mogelijke infiltratiemiddelen zijn beschouwd: vijvers, injectieputten en tunnels. De ad hoc groep heeft geen voorkeur uitgesproken voor een bepaalde infiltratiewijze. Aan elk van de infiltratiemiddelen zijn voor- en nadelen verbonden, die afhankelijk van de omstandigheden door een ieder verschillend kunnen worden gewogen. De situering van de infiltratiemiddelen is schematisch door een arcering in afb. 8 aangegeven. De keuze van de plaats is medebepaald door de bijbehorende situering van de onttrekkingsmiddelen en de mogelijk-

Afb. 7 - Schematisch overzicht van een voorbeeld van inlaat en zuiveringswerken aan de IJssel.

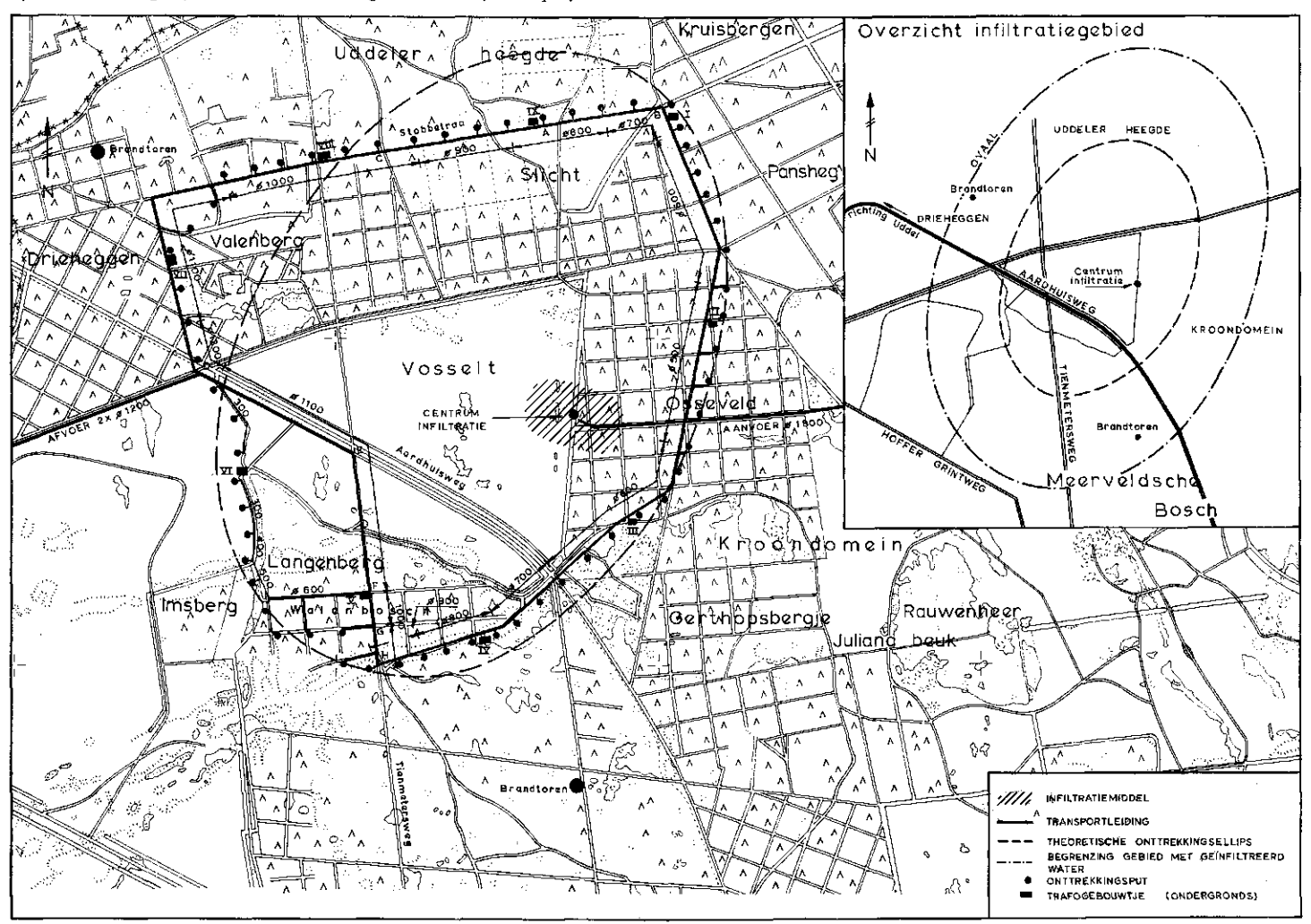


heid om het totaal aan werken optimaal in het terrein in te passen.
 Bij infiltratie door middel van *open vijvers* is gerekend met een infiltratiesnelheid van 5 m/dag gebaseerd op proefnemingen met de proefinstallatie infiltratie te Leiduin. Rekening houdende met de mogelijkheid van extra aanvulling is een verdeling in zes bassins gedacht met een totale oppervlakte van ca. 8 ha, waarvan zonedig 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 toepassingsmogelijkheden van putten. Exploitatie-activiteiten 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 betonbalken 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 onttrekingsputten 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 onttrekingsmiddelen infiltratieproject Kroondomein.



onderwaterpomp. Van de put is in het terrein alleen een toegangsdekseel 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 acht-tal ondergrondse transformatorcellen. 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 exploitatie-activiteiten 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.

Nabeschuwing

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 geïnfiltrerd. 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 onderzoeksprogramma 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 geïnfiltrerde 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 waterleidingstechnische 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 waterleidingstechnisch 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 infiltratieproject 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.



1. De ecologische betekenis van het Veluwemassief en de randgebieden

Het 'Veluwemassief' is het grootste aaneengesloten gebied in Nederland dat voor een groot deel uit bijzonder tot uiterst waardevolle natuurelementen bestaat. Het bevat bijna een kwart van de Nederlandse bos- en natuurgebieden.

De oorzaken van deze grote rijkdom zijn de uitgestrektheid, de extreme voedselarmoede en de hoge ligging. Het Veluwemassief is het grootste nog resterende voedselarme gebied in Nederland; de overige nog



H. VAN DAM

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 's-Gravenhage, gedetacheerd bij het Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum

M. ZWIJNENBURG-DE RIJKE

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, 's-Gravenhage, gedetacheerd bij het Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum

voedselarme gebieden zijn sterk versnipperd en te zamen ongeveer even groot als het Veluwemassief. De hogere delen van de Veluwe zijn schaars bevolkt en er vindt relatief weinig landbouw en bemesting plaats. Omstreeks 1900 waren bijna alle Pleistocene gronden en grote delen van West-Nederland nog voedselarm, maar door de intensivering van de landbouw zijn de natuurwaarden, die afhankelijk zijn van deze voedselarmoede, elders grotendeels verdwenen.

Oorspronkelijk was de Veluwe met loofbos begroeid. Na de vestiging van de mens verdween dit bos over grote oppervlakten en maakte plaats voor heide. Relatief kleine stukken bos werden gespaard om in de behoefte aan timmer- en brandhout te kunnen voorzien (malebossen). Een deel van de heidebegroeiing werd door schapen afgegraasd en in de vorm van mest gedeponeed in de potstallen van de bevolking, die voornamelijk langs de Veluwerand woonde. De mest werd, vermengd met heiplaggen, gebruikt om de essen, die van nature al iets voedselrijker waren dan het merendeel, te bemesten. Op deze manier werden door menselijke activiteit aan het Veluwemassief mineralen onttrokken, waardoor het nog voedselarm werd dan het al was. Bij het te intensief steken van plaggen ontstonden zandverstuivingen.

Op plaatsen waar de neerslag door de aanwezigheid van slecht- of ondoorlatende lagen niet in de bodem kon wegzakken

ontstonden vennen (flessen). In de tweede helft van de 19e eeuw, maar vooral in de 20e eeuw verloor de heide door opkomst van de kunstmest zijn functie in het agrarische bedrijf en werden grote delen ervan bebost, voornamelijk met naaldbout. Ook de zandverstuivingen werden door bebossing grotendeels aan banden gelegd. De nog overgebleven heiden en zandverstuivingen zijn ook in internationaal opzicht van zeer grote betekenis. Nederland ligt nabij het centrum van het heide-areaal, dat zich tot het atlantische en subatlantische deel van de noordwesteuropese laagvlakte beperkt. De Nederlandse heidetypen verschillen soms aanzienlijk van die in andere landen. De oorspronkelijke loofbossen en de later aangeplante bossen zijn zeer uitgestrekt. Vanwege de betrekkelijke rust zijn deze, vooral in het Kroondomein, van groot belang voor de fauna. Roofvogels, boomkruipers, wilde zwijnen en herten kunnen zich nog handhaven, hoewel de versnippering en verstoring (wegaanleg, recreatie) vooral in de laatste jaren sterk toeneemt. Het grondwater onder het massief is zeer voedselarm; het heeft bijna dezelfde samenstelling als het infiltrerende regenwater.

Het grondwater kwelt op in de randgebieden en een deel ervan verlaat het massief door beekjes. De beekbezinkingsgronden zijn voedselrijker (leem, zand, veen) dan de iets hoger gelegen zandige ruggen. In komen waar water stagneert, heeft zich veen gevormd. Door dit gedifferentieerde milieu is in de randgebieden een zeer afwisselende vegetatie ontstaan, in tegenstelling tot de toestand op het massief, waar grote eenvormige complexen van een gering aantal vegetatietypen overheersen.

Door de hoge ligging van het massief ten opzichte van de randgebieden is er een voortdurende stroom van voedselarm grondwater uit het massief naar de randgebieden, waar zich voedselrijk grondwater bevindt. Ook in de randgebieden zijn de hoogste plaatsen voedselarmer dan de laagste plaatsen. De infiltrerende neerslag spoelt de weinige nutriënten uit de hoge gebieden naar de lage gebieden. De oorspronkelijke tegenstelling voedselarm massief - voedselrijk randgebied is door de hydrologische kringloop niet alleen gehandhaafd, maar zelfs vergroot, waardoor een stabiele overgangssituatie (gradiënt) is ontstaan.

Systemen in noordwest-Europa met gradiëntsituaties, vergelijkbaar met de Veluwe, zijn o.a. het Kempisch Plateau, de Utrechtse Heuvelrug, het Gooi en de Lüneburger Heide. Het Kempisch Plateau is het grootste voedselarme zandgebied dat voor Nederland van belang was, het had ook de grootste en best ontwikkelde gradiëntzone.

* R.I.N.-mededeling 136.

Gebieden met veel gradiënten zijn van oorsprong rijk aan zeldzame plantesoorten, zoals de noordelijke flank van het Kempisch Plateau (vooral het gebied tussen Eindhoven en Weert) en de Gelderse Vallei. Voedselarme gebieden en gradiëntgebieden zijn bijzonder gevoelig voor cultuurtechnische maatregelen als ontwatering en bemesting. Daardoor zijn vooral de Brabantse gradiëntgebieden zeer sterk in waarde verminderd. Hoewel ook het noordelijk deel van de Gelderse Vallei reeds in waarde is verminderd, is dit gebied nog steeds van grote betekenis. Vanuit dit oogpunt zijn ook het zuidelijk deel van de IJsselvallei (hier lag het legendarische Beekberger Woud, geveld in 1870-1871) en het Wisselse Veen bij Epe (nagenoeg geheel ontgonnen) van belang.

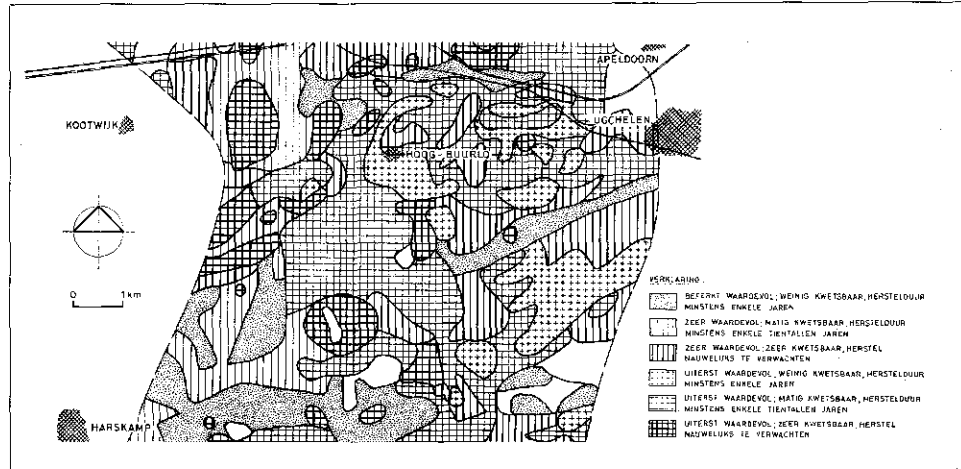
2. Aanleg en exploitatie

2.1. De aanleg en exploitatie van pijpleidingen, bouwwerken, wegen, infiltratievijvers e.d. in verband met de vegetatie van het Veluwemassief

Doel van het onderzoek was, de natuurwaarde en de kwetsbaarheid van de vegetatie van het gebied, waar infiltratie geohydrologisch mogelijk geacht wordt op een kaart met schaal 1 : 50 000 aan te geven. De natuurwaarde is voornamelijk gebaseerd op de zeldzaamheid van de vegetatie, de kwetsbaarheid op het vermogen tot herstel daarvan. Er zijn verschillende manieren, waarop een vegetatie 'gekwest' kan worden, zoals bemesting, betreding enz. In het onderhavige geval gaat het om de kwetsbaarheid voor graafwerkzaamheden. De aanleg van de infiltratiewerken heeft met betrekking tot de vegetatie twee geheel verschillende aspecten:

1. Het leggen van pijpleidingen, waarvoor drie meter diepe sleuven gegraven moeten worden, waarbij bodem en vegetatie worden vernield. Later, als de sleuf weer geëgaliseerd is, zal de vegetatie zich in meerdere of mindere mate herstellen. Hier gaat het dus om de kwetsbaarheid van de vegetatie voor graafwerkzaamheden. Kwetsbare vegetaties herstellen zich niet of moeilijk; daarom zijn leidingen hier het minst gewenst, vooral als deze vegetaties bovendien een hoge natuurwaarde hebben. In bepaalde gevallen is het misschien mogelijk de leidingen zodanig te leggen, b.v. onder zandwegen of brede paden dat bodem en vegetatie niet of nauwelijks worden geschaad.

2. De aanleg van infiltratievijvers, bouwwerken e.d., waarvoor de vegetatie zal moeten verdwijnen en nooit meer terug kan keren. In dit geval gaat het om de natuur-



Afb. 1 - Fragment van de kaart met natuurwaarde en kwetsbaarheid van de vegetatie voor graafwerkzaamheden op het Veluwemassief.

waarde van de vegetatie. Als deze groot is, is het verdwijnen van de vegetatie en dus het aanleggen van vijvers, bouwwerken e.d. ongewenst.

Om genoemde kaart te kunnen vervaardigen, zijn voor de Veluwe acht begroeiingstypen onderscheiden. Aangezien voor uitvoerig veldwerk de tijd ontbrak, is gebruik gemaakt van reeds bestaande karteringen. Waar nodig zijn deze in het veld gecontroleerd. Vervolgens is een schema opgesteld, waarin de natuurwaarde en kwetsbaarheid per begroeiingstype in een relatieve driedelige schaal zijn aangegeven (tabel I). Deze cijfers geven slechts een rangorde aan en geen absolute waarde. Het vervaardigen van dit schema is zeer moeilijk, omdat objectieve criteria voor het bepalen van de natuurwaarde en kwetsbaarheid merendeels ontbreken. Het is tenslotte tot stand gekomen aan de hand van

literatuurstudies en overleg met collegaebotanici.

De waarderings- en kwetsbaarheidskaart (afb. 1) is samengesteld met behulp van dit schema en bovengenoemde begroeiingstypenkaart. Om schijnnaauwkeurigheid te voorkomen, zijn de contouren zoveel mogelijk vereenvoudigd. Uiteraard moet deze kaart zeer voorzichtig gehanteerd worden. Natuurwaarde en kwetsbaarheid zijn aangegeven per begroeiingstype; met lokale verschillen binnen één type is geen rekening gehouden, daar dit in verband met de tijd onmogelijk was. De droge heide (afb. 2) b.v. kan op de ene plaats veel waardevoller en/of kwetsbaarder zijn dan op de andere, wegens het voorkomen van bepaalde zeldzame soorten of omdat we met een kwetsbaarder bodemtype te doen hebben. Van deze kaart kan slechts globaal afgelezen worden, waar de aanleg van de werken, relatief gezien, voor de vegetatie het minst

TABEL I - Natuurwaarde en kwetsbaarheid van vegetatie in driedelige schaal; 3 geeft de hoogste waarde en kwetsbaarheid aan, 1 de laagste.

	natuurwaarde, met betrekking tot de aanleg van vijvers, bouwwerken e.d.	kwetsbaarheid voor graafwerkzaamheden, met betrekking tot de aanleg van leidingen
oud voedselarm loofbos van voor 1850	3	3
oud naaldbos, aangelegd voor 1910	2	2
jong naaldbos, aangelegd na 1910	1	1
stuifzandbebouwing	2	3
droge heide	3	2
natte en vochtige heide en vennen	3	3
actief stuifzand *	3	1
stuifzand met korstmossenvegetatie *	3	2

Natuurwaarde:

1 = beperkt waardevol; 2 = zeer waardevol; 3 = uiterst waardevol.

Kwetsbaarheid:

1 = weinig kwetsbaar; herstelduur minstens enkele jaren;
2 = matig kwetsbaar; herstelduur minstens enkele tientallen jaren;
3 = zeer kwetsbaar; herstel nauwelijks te verwachten.

* Actief stuifzand betekent, dat het zand regelmatig in beweging is en de begroeiing schaars is. Als het zand tot rust komt, raakt het begroeid met korstmossen.

of het meest schadelijk zal zijn.

Indien het infiltratieproject doorgaat en de lokatie ervan min of meer vaststaat, zal ter plaatse detailonderzoek verricht moeten worden. Aan de hand daarvan moet het uiteindelijke tracé van de pijpleiding, de ligging van de vijver enz. worden bepaald.

Er wordt uitdrukkelijk voor gewaarschuwd, dat deze waarderings- en kwetsbaarheidskaart vervaardigd is ten behoeve van het infiltratieproject en niet voor andere doeleinden, zoals wegeaanleg, recreatievoorzieningen e.d.

In dit hoofdstuk is alleen sprake geweest van de aanleg der werken. De exploitatie zal in het algemeen weinig invloed hebben op de vegetatie van het Veluwemassief.

2.2. De aanleg en exploitatie van de infiltratiewerken in verband met de fauna van het Veluwemassief

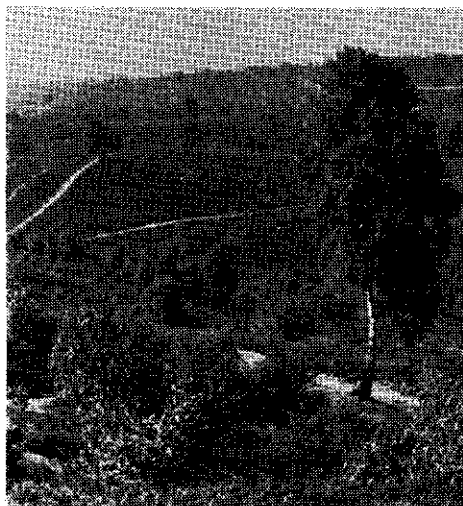
Het is zeer moeilijk gebleken om vast te stellen welke diersoorten eventueel nadelige gevolgen zullen ondervinden van rustverstoring bij de aanleg en exploitatie van de infiltratiewerken.

In de eerste plaats is rustverstoring een relatief begrip. De meeste dieren zijn veel minder gevoelig voor geluidshinder en bewegingen die regelmatig plaatsvinden, dan voor plotselinge, onverwachte verstoringen in die zin. Zij raken aan eerstgenoemde verstoring gewend. Zo zullen zij zich op den duur betrekkelijk weinig aantrekken van b.v. een snelweg. Aan — al of niet regelmatig — rondlopende mensen wennen de diersoorten echter niet of moeilijker.

In de tweede plaats is het moeilijk te voorspellen wat bovengenoemde nadelige gevolgen in concreto zullen zijn. Hierover is zeer weinig bekend. Bepaalde dieren kunnen worden verdreven van hun nest of uit hun habitat (woongebied van een organisme). Vooral voor zeldzame soorten die een groot territorium hebben of hoge eisen aan hun habitat stellen, kan dit nadelig zijn. De niet zeldzame soorten komen in dergelijke aantallen voor, dat de populatie zich na de verstoring wel weer zal herstellen.

Het gaat nu om de vraag, of deze zeldzame dieren later, na de verontrusting, naar hun nest of hun eventueel versnipperde territorium of vernielde habitat zullen terugkeren en zo niet, of zij elders een geschikt substituuut zullen vinden. Hierover valt niets met zekerheid te zeggen. Indien het antwoord negatief zou zijn, kan dit plaatselijk achteruitgang of verdwijnen van de betreffende soort betekenen.

De aanleg van infiltratiewerken zal een plotselinge, hevige, zij het tijdelijke bron van onrust zijn. Tijdens de exploitatie zullen bij



Afb. 2 - Droge heide (*Genista pilosae-Callunetum*); met berkenopslag; foto R.I.N.

de infiltratievijvers, putten e.d. regelmatig mensen moeten komen voor controle- en schoonmaakwerkzaamheden. Deze kunnen voor de fauna een blijvende verontrusting-bron zijn. Aan de hand van literatuurstudies en besprekingen met ornithologen en zoölogen, met name van het R.I.N., is een lijst opgesteld van diersoorten op de Veluwe die in Nederland zeer zeldzaam, zeldzaam of vrij zeldzaam zijn en die eventueel schade zullen ondervinden van deze aanleg- en exploitatiewerkzaamheden. Deze soorten zijn: boommarter, havik, buizerd, wespensdief, sperwer, boomvalk, korhoen, wulp, houtsnip, boomleeuwerik, nachtzwaluw, duinpieper en zwarte specht.

Het bleek niet mogelijk, de broed-, voedsel- of rustgebieden van deze soorten op een kaart aan te geven, omdat de gegevens hiervoor (nog) te summier zijn. Tevens was het onmogelijk de kwetsbaarheid voor rustverstoring per soort in cijfers uit te drukken, zoals bij de vegetatietypen met de kwetsbaarheid voor graafwerkzaamheden is gedaan. Er is nog onvoldoende bekend over de reacties van dieren op een dergelijke verstoring, waarbij overigens grote verschillen tussen individuen van één soort worden opgemerkt. Om deze redenen moet volstaan worden met een zo nauwkeurig mogelijke beschrijving van de habitat van de zeldzame soorten, zodat bekend is waar zij aangetroffen kunnen worden en welke eisen zij stellen aan hun leefgebied.

Versnippering van grote, aaneengesloten gebieden moet zoveel mogelijk vermeden worden. De aanleg van infiltratiewerken zal voor de fauna het minst schadelijk zijn in gebieden waar reeds relatief veel menselijke activiteiten zijn (recreatie e.d.). Een dergelijke lokatie zal in de praktijk moeilijk zijn te realiseren, daar calamiteiten, die een gevolg zijn van menselijke activiteiten, de kwaliteit van het drinkwater bedreigen. Bij

versturende activiteiten moet de grootste voorzichtigheid in acht genomen worden, in het bijzonder als er onzekerheid bestaat omtrent de gevolgen van deze activiteiten. Over habitateisen van veel soorten kunnen wel algemene uitspraken gedaan worden, maar over details is soms onvoldoende bekend; nader onderzoek is hier gewenst. Ook voor de fauna geldt, dat detailonderzoek plaats zal moeten vinden, indien het infiltratieproject doorgaat. Men zal b.v. ver uit de buurt moeten blijven van nesten van bovengenoemde zeldzame vogels. Van roofvogels is bekend, dat zij sterk plaatsgebonden zijn. Verstoring maakt reproductie voor de betrokken dieren onmogelijk, omdat zij niet elders opnieuw gaan broeden.

2.3. De aanleg van pijpleidingen en inlaatwerken in verband met de vegetatie van de IJsselvallei en de Gelderse Vallei

IJsselvallei en Gelderse Vallei bestaan voor een groot deel uit agrarisch gebied.

De aanleg van pijpleidingen zal daar uit natuurwetenschappelijk oogpunt niet erg schadelijk zijn, mits kleinschalige gebieden met veel heggen, houtwallen e.d. vermeden worden. Deze kleinschalige gebieden hebben een grote vogelrijkdom. De roofvogels zijn zeldzaam en uiterst gevoelig voor verstoring. Verspreid in dit agrarisch gebied liggen natuurgebieden met een hoge natuurwaarde en een grote kwetsbaarheid voor graafwerkzaamheden. Deze gebieden dienen in ieder geval vermeden te worden. Het leggen van leidingen zal in de grootschalige, open agrarische gebieden voor vegetatie en fauna het minst schadelijk zijn.

Door Staatsbosbeheer te Arnhem is een kaart gemaakt van natuur- en landschapsgebieden, welke een belemmering vormen voor het stichten van een inlaatwerk aan de IJssel. Op deze kaart zijn tevens vijf plaatsen aangegeven, waar dit werk het minst schadelijk zal zijn. Indien deze plaatsen voor drinkwaterwinning ongeschikt zijn, b.v. omdat in de nabijheid afvalwater in de rivier wordt geloosd, zal in overleg met Staatsbosbeheer een lokatie gevonden moeten worden, waar de belangen van natuurbehoud en drinkwatervoorziening zo weinig mogelijk worden geschaad.

3. Gevolgen van de exploitatie van mogelijke infiltratiewerken in de randgebieden

3.1. Grondwaterstandsfluctuatie en chemische samenstelling van het grondwater in verband met de vegetatie

Getracht is om de natuurwaarde en de hydrologische kwetsbaarheid van de vegetatie in het randgebied van de Veluwe,

waar de vegetatie afhankelijk is van stand en samenstelling van het grondwater, weer te geven op een kaart met schaal 1 : 50 000. Een plotselinge, gedwongen onderbreking van de filtratie zal een fluctuatie van de grondwaterstand veroorzaken, die wordt gesuperponeerd op de van nature aanwezige fluctuatie. Er is aangenomen dat de extra fluctuatie in de randgebieden plaatselijk een verlaging van de grondwaterstand van 1 - 2 dm zal betekenen.

Er is geen nauwkeurige kaart van de actuele vegetatie van het randgebied van de Veluwe en deze kon in de beschikbare tijd ook niet worden vervaardigd. De samenstelling van de vegetatie en daarmee de hydrologische kwetsbaarheid is voor een groot deel afhankelijk van de samenstelling van de bodem. In de vegetatie komen verschillen voor die mede worden veroorzaakt door lokale verschillen in grondwaterstand en bodemsoort, die niet zijn aangegeven op de bodemkaart met schaal 1 : 50 000. Daarom kon hydrologische kwetsbaarheid ook niet uit deze bodemkaart worden afgeleid en is de samenstelling van de vegetatie zelf als indicatie voor de grondwaterstand en de fluctuaties daarvan gebruikt. Dit is slechts mogelijk gebleken in die gebieden waarvan voldoende inventarisatiegegevens beschikbaar zijn. Dat zijn in het algemeen de natuurgebieden waarvoor een planologische bescherming geldt.

In twee gebieden met hetzelfde bodemtype en verschillende grondwaterstand, waar de grondwaterstand evenveel verandert, is de relatieve verandering het grootst in het gebied met de hoogste grondwaterstand. Afgezien van andere eigenschappen zijn daarom gebieden met de hoogste grondwaterstand het meest kwetsbaar. De fysische eigenschappen van de bodem bepalen de toelevering van grondwater en de hoeveelheid beschikbaar water in het bodemprofiel. Deze nemen toe bij een fijnere granulaire samenstelling van de bodem, dus bij de toename van het leem- en kleigehalte, waarmee ook grotere voedselrijkdom gepaard gaat. Ook de voedselrijkdom zelf beïnvloedt de hydrologische kwetsbaarheid. In voedselarme gebieden mineraliseert het geproduceerde materiaal door de zeer lage pH niet of nauwelijks. Op plaatsen waar het substraat voortdurend met water is verzadigd, kan zelfs hoogveenvorming plaatsvinden. Door tijdelijke daling of sterkere fluctuatie van de grondwaterspiegel wordt de bodem beter doorlucht, waardoor mineralisatie van de organische stof optreedt. Hierdoor verschijnen in de vegetatie planten, die profiteren van de bij de mineralisatie gevormde zouten (NH_4^+ , NO_3^- en PO_4^{3-} verbindingen), ten koste van soorten die gebonden zijn aan milieus met weinig of

TABEL II - Hydrologische kwetsbaarheid van de vegetatie.

	voedselarm	matig voedselarm	matig voedselrijk	voedselrijk
Droog *	1	1	1	1
Vochtig	3	2	2	2
Drassig	3	3	2	2
Nat	3	3	3	2
Open water met geleidelijke overgang land/water	3	3	3	2
Open water met abrupte overgang land/water	2	2	2	1

1 = Vegetatie niet tot zeer weinig kwetsbaar voor waterstandsveranderingen in de orde van grootte van 1 - 2 dm.

2 = Vegetatie matig kwetsbaar voor waterstandsveranderingen in de orde van grootte van 1 - 2 dm.

3 = Vegetatie zeer kwetsbaar voor waterstandsveranderingen in de orde van grootte van 1 - 2 dm.

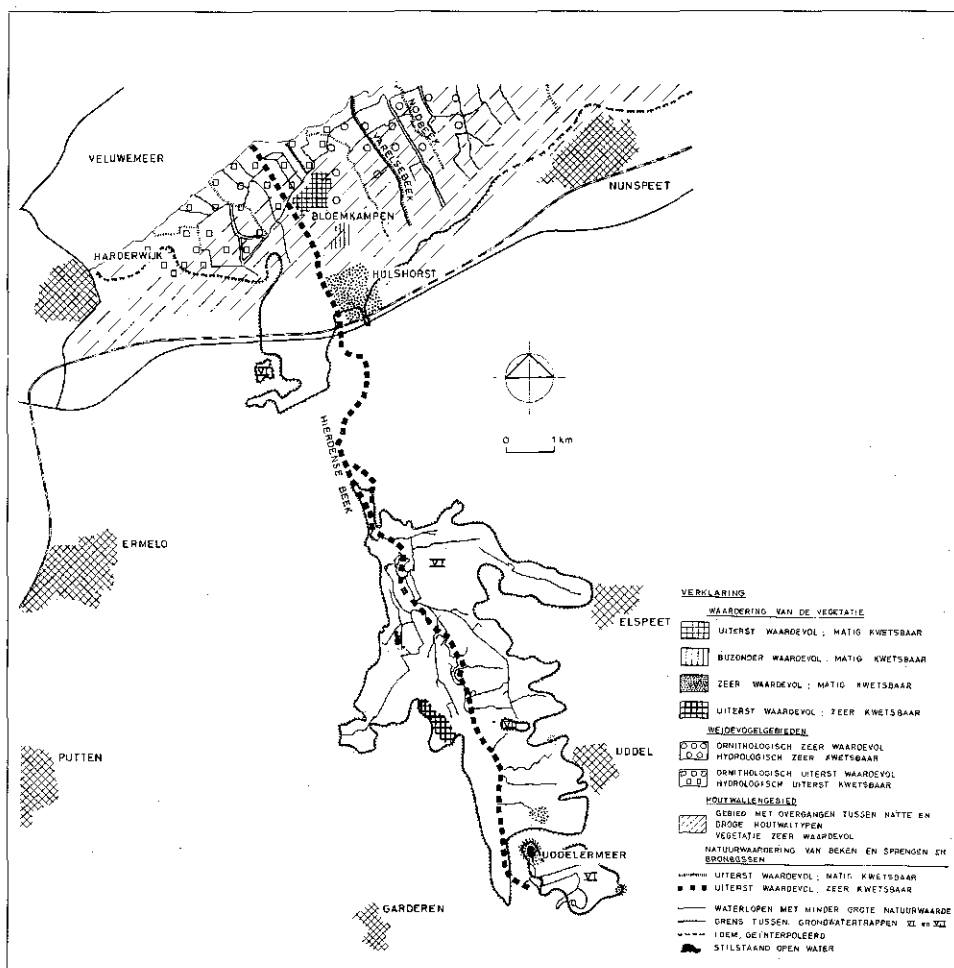
* De termen droog, nat etc. hebben slechts relatieve betekenis.

geen mineralisatie. Ook in gebieden met voedselrijke bodem vinden dergelijke veranderingen plaats, maar relatief zijn deze van minder betekenis dan in voedselarme gebieden.

Op grond van de inventarisaties van een aantal in de natuurgebieden aanwezige plantesoorten en relatieve gegevens over de eisen die deze planten stellen aan de voedselrijkdom en de hoeveelheid beschikbaar water zijn de natuurgebieden ingedeeld in drie klassen van hydrologische kwetsbaarheid (tabel II). De mate van kwetsbaarheid van de vegetatie van elk natuur-

gebied is aangegeven op de kaart (afb. 3). In enkele gevallen zijn er niet voldoende gegevens over de vegetatie van de natuurterreinen bekend en is er op grond van vergelijking met naburige terreinen en gegevens van de bodemkaart toch een uitspraak gedaan. Bij het hanteren van de kaart moet er rekening mee worden gehouden dat voor enkele terreinen de waardering niet juist is door het ontbreken van voldoende gegevens. Dit verstoort echter het algemene kaartbeeld niet, omdat het over kleine stukken gaat. Indien tot infiltratie wordt besloten, zal van de daar-

Afb. 3 - Fragment van de kaart met natuurwaarde en hydrologische kwetsbaarheid van de natuurgebieden in het randgebied van de Veluwe.



toe gekozen plaatsen alsnog een nauwkeuriger studie gemaakt moeten worden. Door infiltratie kan in het grondwater het gehalte aan chloride en voedingsstoffen voor planten (NO₃⁻, SO₄²⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) plaatselijk stijgen. De grootste veranderingen in de vegetatie door deze stijging zijn te verwachten in voedselarme gebieden met een hoge grondwaterstand. Deze gebieden zijn ook het meest kwetsbaar voor veranderingen van de grondwaterstand. De schaal voor kwetsbaarheid voor verandering van de chemische samenstelling van het grondwater loopt parallel met die van de kwetsbaarheid voor verandering van de grondwaterstand.

Voor het vaststellen van de natuurwaarde van de vegetatie zijn 22 ecotopen of landschapselementen onderscheiden (tabel III). Deze ecotopen, b.v. hoogveen, bronbos, spreng met natuurlijke bronvegetatie (afb. 4), droge heide, houtwal en es, kunnen met de nodige veldkennis van de topografische kaart worden afgelezen. De natuurwaarde van elke ecotoop is vastgesteld naar aanleiding van schalen die voor andere studies met betrekking tot natuurwaardering zijn gebruikt en is speciaal voor het samenstellen van bijgaande kaart aangepast. In gebieden waar de vegetatie zeer goed is ontwikkeld is de waardering een klasse hoger dan in tabel III voor de betreffende ecotoop is aangegeven, in gebieden met gedegeneerde vegetatie een klasse lager. Voor elk gebied is de natuurwaarde van de vegetatie op de kaart aangegeven.

Het houtwallengebied langs de noordwestrand van het Veluwemassief is afzonderlijk aangegeven. Er komen daar veel overgangen tussen droge en natte vegetatietypen voor. De exacte plaats van elk type is echter op grond van de gebruikte literatuur niet te lokaliseren. Ook het gebied tussen Heerde en Apeldoorn ten westen van het Apeldoorns kanaal heeft een aparte signatuur door de waardevolle beken, wegbermen, houtwallen en bosjes, die ook buiten de eigenlijke natuurgebieden voorkomen. Er kunnen geen absolute voorspellingen worden gedaan omtrent de veranderingen die in de vegetatie zullen plaatsvinden ten gevolge van infiltratie. Door grotere en onregelmatige fluctuaties van de grondwaterstand neemt de mineralisatie van het organisch materiaal in de bodem toe. Vooral in voedselarme gebieden kan dit leiden tot het verschijnen of talrijker worden van plantensoorten die van deze mineralisatie profiteren en buiten deze terreinen reeds algemeen zijn. De zeldzame planten, die voor deze milieutypen karakteristiek zijn, worden minder talrijk of verdwijnen. De kans dat de natuurwaarde van de vegetatie afneemt tengevolge van de



Afb. 4 - Bronkruid-gemeenschap (*Philonotido fontanae-Montietum*); foto ing. R. van Dam.

door infiltratie veroorzaakte veranderingen in het milieu, is aanzienlijk groter dan de kans dat deze toeneemt.

3.2. Afvoer en waterkwaliteit in beken, sprengen en bronbossen

De afvoer van de beken en daarmee het niveau van het water varieert in de meeste beken reeds aanzienlijk. De vegetatie van de beken is hieraan aangepast en veranderingen in de hoeveelheid afgevoerd water zullen hiervoor weinig schadelijk zijn, mits langdurig droogvallen wordt voorkomen. Voor de vegetatie van de bronbossen rondom Arnhem kunnen minder stellige mededelin-

gen worden gedaan; voorlopig worden deze als zeer kwetsbaar beschouwd.

Er zijn echter sterke aanwijzingen dat de specifieke beekfauna (o.a. vissoorten als beekprik en biermpje, platwormen en larven van insecten als steenvliegen, eendagsvliegen en kokerjuffers) door een sterke vermindering van de stroomsnelheid, stagnatie van het water of droogvallen van de beek ook op langere termijn zal worden aangetast. Wanneer de bovenloop van een beek weer water gaat voeren, nadat deze eerst is drooggevallen, kan de lagere fauna (ongewervelde dieren) zich over een periode van enkele jaren misschien nog herstellen.

Herstel van de voor beken karakteristieke visfauna zal waarschijnlijk onmogelijk zijn, daar het water in de benedenloop van de meeste beken te sterk vervuild is om immigratie van nieuwe individuen mogelijk te maken.

Uit nog niet afgerond onderzoek en literatuurgegevens blijken vooral de beken aan de oostelijke en zuidelijke Veluwerand een karakteristieke fauna te hebben en waarschijnlijk zeer kwetsbaar te zijn voor droogvallen of tijdelijk zeer lage afvoer. De kwetsbaarheid en natuurwaarde van de beekfauna verschilt soms aanzienlijk van de vegetatie. Dit is op de kaart niet altijd aangegeven. Voorlopig moet worden aangenomen dat de bovenlopen van alle beken van de Oost- en Zuid-Veluwe faunistisch uiterst waardevol en zeer kwetsbaar zijn. De kwetsbaarheid voor veranderingen van de chemische samenstelling van het water wordt voor dit gebied buiten beschouwing

TABEL III - Natuurwaardering van de vegetatie in de randgebieden.

Ecotoop	Natuurwaardering van de vegetatie
Bronbos	uiterst waardevol
Hoogveen	uiterst waardevol
Vochtige en natte heide of complex met overgangen tussen natte, vochtige en droge heide	uiterst waardevol
Ven	uiterst waardevol
Schraalland (blauwgrasland)	uiterst waardevol
Boscomplexen met veel overgangen tussen verschillende bodemtypen en/of grondwatertrappen	bijzonder waardevol
Spreng met natuurlijke bronvegetatie	bijzonder waardevol
Boscomplexen met weinig overgangen tussen verschillende bodemtypen en/of grondwatertrappen	zeer waardevol
Moerasbos, bijv. beekbegeleidend	zeer waardevol
Houtwal	zeer waardevol
Droge heide, stuifzand	zeer waardevol
Moeras	zeer waardevol
Niet-genormaliseerde beek, spreng zonder natuurlijke bronvegetatie	zeer waardevol
Oude rivierloop	zeer waardevol
Kolk, wiel	zeer waardevol
Tichelgatcomplex	zeer waardevol
Meer, eutrofe plas	bepikt waardevol
Genormaliseerde beek	bepikt waardevol
Diepe plas (ontgronding)	bepikt waardevol
Es, akker	bepikt waardevol
Drasland, natte hooiweide	bepikt waardevol
Cultuurgrasland	bepikt waardevol

Indien een ecotoop bijzonder goed is ontwikkeld, is de waardering één klasse hoger dan aangegeven. Indien een ecotoop slecht is ontwikkeld, is de waardering één klasse lager dan aangegeven.



Een van de belangrijke brongebieden aan de oostelijke rand van de Veluwe, de Moeketel.

gelaten, daar dergelijke veranderingen hier niet zullen optreden, indien infiltratie ten westen van de waterscheiding van de Veluwe zal plaatsvinden. De beken in de Gelderse Vallei zijn dermate aangetast door normalisatie en vervuiling dat eventuele infiltratie geen verdere schade aan deze beken zal berokkenen. De beken die uitmonden in het Veluwemeer, vooral die tussen Harderwijk en Elburg, zijn uiterst waardevol, omdat ze tenminste voor een deel van hun traject over laagveen stromen, waardoor er zeer uitzonderlijke combinaties van diersoorten worden aangetroffen. Droogvallen van deze beken of sterke vermindering van de stroomsnelheid dient te worden vermeden. Waarschijnlijk is de fauna niet zeer kwetsbaar voor mogelijkerwijs door de infiltratie optredende veranderingen van de waterkwaliteit.

3.3. Grondwaterstand en weidevogels

Tussen de grondwaterstand in de periode kort voor en tijdens het broedseizoen en de weidevogelstand bestaat in het algemeen een zeer nauwe relatie. Soorten als kwartelkoning, kemphaan, watersnip, zomertaling, slobend en gele kwikstaart zijn zeer gevoelig voor de grondwaterstand voor en tijdens hun broedtijd.

De uiterst waardevolle en ook uiterst kwetsbare gebieden hebben in het voorjaar een grondwaterstand, die slechts enkele centimeters beneden het maaiveld ligt; hier kan een waterstandsverlaging van enkele centimeters reeds een aanzienlijke achteruitgang van de weidevogelstand betekenen. In de zeer waardevolle en ook zeer kwetsbare gebieden, die in het voorjaar een grondwaterstand van één tot enkele decimeters beneden maaiveld hebben, bedraagt de marge zeker niet meer dan ca. 5 - 10 cm. Voor nadelige gevolgen van de infiltratie

die veroorzaakt worden door verandering van de chemische samenstelling van het grondwater, behoeft nauwelijks te worden gevreesd.

De ornithologische waarde en de hydrologische kwetsbaarheid van de weidevogelgebieden zijn gebaseerd op gegevens over de verspreiding en dichtheden van een aantal hydrologisch kwetsbare broedvogels (kemphaan, watersnip, zomertaling, slobend en tureluur). Voor de polders Kamperveen en Zalk zijn onvoldoende gegevens beschikbaar. Waarschijnlijk zijn de hier aanwezige weidevogelgebieden bijzonder waardevol en bijzonder kwetsbaar.

3.4. Voorstellen voor nader onderzoek

Op grond van het verrichte onderzoek is het mogelijk om lokaties voor infiltratie te kiezen die het milieu van de vegetatie, die van het grondwater afhankelijk is en de flora en fauna van beken en sprengen zo min mogelijk zullen veranderen.

Gedetailleerde uitspraken over ecologische gevolgen van infiltratie kunnen slechts worden gedaan na meer diepgaand onderzoek. Na het vaststellen van voorlopige lokaties komen de volgende punten voor nader onderzoek in aanmerking:

1. Vegetatie

- Een kartering van bodem en vegetatie op een schaal van ten minste 1 : 25 000 van de natuurgebieden die door infiltratie zullen worden beïnvloed.
- Het verband tussen bodem, vegetatie en ondiep grondwater (fluctuaties, chemische samenstelling) in deze gebieden om, in samenhang met de bodem- en vegetatiekaart de verandering van de vegetatie nauwkeurig te kunnen voorspellen.
- Aangezien de kennis van het verband

tussen bodem, vegetatie, grondwaterstand en chemische samenstelling van het grondwater nog onvoldoende is, zullen gegevens moeten worden verzameld in andere gebieden, waar reeds veranderingen van deze factoren plaatsvinden.

2. Hydrobiologie

- Een detailkartering van fauna en vegetatie van biologische waardevolle beken sprengen en brongebieden, in de gebieden die door infiltratie zullen worden beïnvloed.
- De relatie tussen enerzijds de beekafvoer, het niveau en de chemische samenstelling van het water van de beken en anderzijds de fauna en vegetatie van deze milieutypen om, in samenhang met de detailkartering de verandering van fauna en vegetatie nauwkeurig te voorspellen.

3. Hydrologie

- De relatie tussen de stand en de chemische samenstelling van het diepe en ondiepe grondwater, dat voor de vegetatie van belang is en beken en bronnen voedt, om betere voorspellingen te kunnen doen omtrent de veranderingen in het milieu van planten en dieren.
- Het doen van nauwkeuriger voorspellingen omtrent de fluctuaties en chemische samenstelling van het grondwater in elk natuurgebied afzonderlijk. De 'microwaterhuishouding' is in de natuurgebieden van grote betekenis voor de vegetatie en deze is niet afleesbaar uit isohypsenkaarten.

De duur van het onderzoek onder 1a en 2a is afhankelijk van de beschikbare mankracht. Voor het onderzoek onder 1b en 2b zijn tijdreeksen van 5 tot 10 jaar wenselijk. Dit laatste onderzoek kan, voor een deel in samenhang met hydrologisch onderzoek, gefaseerd worden uitgevoerd. Mogelijk zijn na 2 - 3 jaar reeds zodanige resultaten beschikbaar, dat al meer gefundeerde uitspraken over de gevolgen van kunstmatige infiltratie gedaan kunnen worden dan nu het geval is.

4. Bibliografie

De volledige lijst van bij het onderzoek gebruikte literatuur is te uitgebreid om hier te vermelden; deze zal als bijlage bij het eindrapport van de Commissie Infiltratie Veluwe worden gevoegd. In onderstaande lijst worden slechts enkele publicaties genoemd, die meer algemene onderwerpen behandelen of die zeer specifieke informatie geven over milieuveranderingen die ook bij eventuele Veluweinfiltratie zullen plaatsvinden.

Bakker, D. 1974. *Structuur-oecologie en natuurtechniek*, 20 pp, Rede 360e dies natalis. Rijks-

De proefinstallatie ten behoeve van het Veluwe onderzoek te Leiduin

Mededeling van de Commissie Proefinstallatie Infiltratie (CPI)

universiteit Groningen, Wolters-Noordhoff, Groningen.

Bouterse, M. G. 1974. *De invloed van lawaai op fauna*, 46 pp, Rapport Vakgroep Natuurbeheer, Landbouwhogeschool, Wageningen.

Ellenberg, H. 1963. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in kausaler, dynamischer und historischer Sicht*. Einführung in die Phytologie IV (2): 1 - 943. Ulmer, Stuttgart.

Glutz von Blotzheim, U. N. 1971. *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*, deel 4, 943 pp, Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main.

Glutz von Blotzheim, U. N. 1973. *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*, deel 5, 699 pp, Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main.

Harms, W. B. (1973). *Oecologische natuurwaardering in het kader van de evaluatie van natuurfuncties*, 54 pp, Rapport Afd. Geobotanie, Katholieke Universiteit, Nijmegen/Instituut voor Milieuraagstukken, Vrije Universiteit, Amsterdam.

Hynes, H. B. M. 1958. *The effect of drought on the fauna of a small mountain stream in Wales*, Verh. int. Ver. Limnol. 13: 826 - 833.

Leeuwen, C. G. van. 1966. *A relation theoretical approach to pattern and proces in vegetation*, Wentia 15 : 25 - 46.

Polder, W. N. 1965. *Over voorkomen, oecologie in biologie van de Beekprik, Lampetra planeri (Bloch) - Petromyzontidae — in Nederland*, 30 pp, Rapport Rijksuniversiteit, Utrecht / Rijksinstituut voor Veldbiologisch Onderzoek t.b.v. het Natuurbehoud, Zeist.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening. 1974. *Rapport van de Ad-hoc Werkgroep Geohydrologie van de Technische Werkgroep Infiltratie Veluwe*, 5 pp + bijl., 's-Gravenhage.

Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening. 1974. *Geochemisch gedrag van gezuiverd Rijnwater bij nfiltratie in de Veluwe*, 69 pp. + bijl. Interimrapport van de Ad-hoc Werkgroep Geochemie van de Technische Werkgroep Infiltratie Veluwe. 's-Gravenhage.

Joet, F. de. 1973. *De Veluwe - functies en waarden n nationaal kader*, Natuur en Landschap 7: 89 - 97.

Stumpel-Rienks, S. E. 1974. *De botanische waardering van ecotopen als bijdrage tot een globale waardering van het natuurlijk milieu*, Gorteria 1: 91 - 98.

Vergunst, D. 1970. *De waterhuishouding in veidevogelgebieden*, 33 pp. + bijl. Rapport Vakgroep Natuurbeheer, Landbouwhogeschool, Wageningen.

Vesthoff, V., Bakker, P. A., Leeuwen, C. G. v., 'too, E. E. van der, Zonneveld, I. S. 1973. *Wilde planten, flora en vegetatie in onze natuurgebieden*, Deel III, 359 pp, Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland, Amsterdam.

Villems, J. T. J. M. 1968. *De boomarter, Martes martes (L.), in Nederland*, 75 pp, Rapport Rijksinstituut voor Veldbiologisch Onderzoek t.b.v. het Natuurbehoud, Zeist.

Williams, J. T. 1968. *The nitrogen and water relations of wet meadows*, Veröffentl. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel 41: 69 - 103.

Voudstra, A., Schotsman, N. 1971. *Het Kroonomein tussen eksploitering en conservering*, 38 pp. + bijl. Rapport Vakgroep Natuurbeheer, Landbouwhogeschool, Wageningen.

Terli, M. 1970. *Ecologie comparée des prairies varéageuses dans les Préalpes de la Suisse occidentale*, Veröffentl. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel 44: 1 - 119.

1. Samenvatting

In het onderhavige artikel wordt nader ingegaan op de onderzoeken die vanaf 1972 met behulp van een proefinstallatie voor de Veluweinfiltratie te Leiduin zijn verricht.

Allereerst wordt enige algemene achtergrondinformatie m.b.t. het project geschetst, vervolgens wordt ingegaan op de technische aspecten van de proefinstallatie en worden de resultaten van de onderzoeken belicht. Tenslotte worden de conclusies van het onderzoek weergegeven



IR. J. HRUBEC

Projectleider, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening

en wordt de informatie samengevat die t.b.v. het Veluwe infiltratie-onderzoek is verkregen.

2. Inleiding

Gezien de geringe ervaringen met kunstmatige grondwatervoeding onder omstandigheden die vergelijkbaar zijn met die bij infiltratie in de Veluwe, bleek het noodzakelijk d.m.v. proeven op semitechnische schaal aanvullende informatie voor de inrichting en dimensionering van de voorzuiverings- en infiltratiewerken te verkrijgen.

Het voornaamste doel van deze proeven is het verkrijgen van inzicht in het verband tussen de mate van voorzuivering van het Rijnwater, de infiltratiesnelheden, de infiltratie looptijden en daarmee de dimensionering van de infiltratiewerken. Voorts wordt getracht meer informatie te verkrijgen m.b.t. de waterkwaliteitsveranderingen en de accumulatie van verschillende stoffen van het te infiltreren water in het zandpakket tijdens infiltratie.

Bij het onderzoekprogramma worden onderstaande uitgangspunten gehanteerd:

A. minimale ingreep in het natuurlijk milieu van de Veluwe:

1. minimale omvang van de infiltratiewerken bij een gegeven productiecapaciteit,
2. zo gering mogelijk onderhoud, zoals het schoonmaken van het infiltratie-oppervlak na verstopping,
3. het voorkomen van accumulatie van schadelijke stoffen in het infiltratiepakket;

B. het verkrijgen van een zo goed mogelijke kwaliteit van het teruggewonnen water;

C. het handhaven van aërobie in de bodem teneinde nazuivering van het teruggewonnen water zoveel mogelijk te beperken.

Het onderzoek vindt in het kader van het gemeenschappelijke speurwerkprogramma van het Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA NV en het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening plaats. Mede gezien de schaal waarop de proeven plaatsvonden werd ervan uitgegaan dat de proeven slechts antwoord kunnen geven op een beperkt aantal vragen, die verband houden met de Veluwe infiltratie.

3. Omschrijving van de proefinstallatie

De proefinstallatie bestaat uit een voorzuiveringsinstallatie (capaciteit 100 m³ per dag) en uit 6 infiltratieketels (hoogte 6,35 m en diameter 2 m). Een meer gedetailleerde beschrijving van de proefinstallatie is reeds eerder gegeven [1].

Voorzuiveringsinstallatie

Bij het onderzoek wordt gebruik gemaakt van WRK water, dit is Rijnwater dat te Jutphaas aan het Lekkanaal onttrokken wordt en aldaar tot medio 1974 gefiltreerd en gechloord werd en sinds juni 1974 ook gekoaguleerd wordt en dat naar Leiduin wordt getransporteerd.

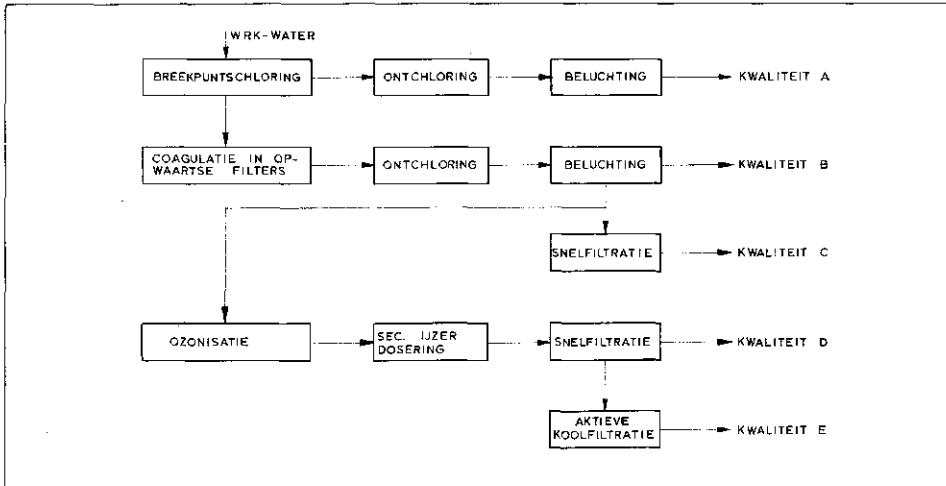
Vervolgens wordt het WRK water in de proefinstallatie overeenkomstig de schematische voorstelling van afb. 1 gezuiverd. Volgens de in het schema weergegeven alternatieven van voorbehandeling worden verder de infiltratieproeven uitgevoerd. De verschillende zuiveringstechnieken worden op grond van hun effectiviteit in het verwijderen van onderstaande stoffen geselecteerd:

— Gesuspenderde en kolloïdale stoffen die de mechanische verstopping van het infiltratie-oppervlak kunnen veroorzaken. In verband hiermede wordt filtratie en koagulatie toegepast.

— Oxideerbare stoffen, zoals ammoniak, die gezien het hoge zuurstofverbruik bij oxidatie, het optreden van anaërobie in het infiltratiepakket kunnen versnellen. In verband hiermede wordt breekpuntschloring toegepast.

— Organische stoffen, die behalve zuurstofverbruik ook een massale bacteriële groei op het infiltratie-oppervlak en in de poriën van het infiltratiepakket kunnen veroorzaken, waardoor verstopping en anaërobie kan ontstaan; het grootste deel van organische stoffen kan door koagulatie, ozonisatie en actieve koalfiltratie verwijderd worden.

— Schadelijke bacteriën en virussen; deze worden geïnactiveerd door chloring en ozonisatie.



Afb. 1 - Schema van de voorzuivering van het WRK-water.

— Persistente smaak-, reuk- en toxische stoffen, die de kwaliteit van het teruggewonnen water in ongunstige zin kunnen beïnvloeden. De meest geschikte zuiverings-technieken blijken hiervoor ozonisatie en actieve koolfiltratie te zijn.

Aan de voorzuivering worden voorts de volgende aanvullende eisen gesteld:

— Verlaging van gehalte aan nutriënten (met name fosfaten) teneinde eutrofiëring bij open infiltratie tegen te gaan. Fosforverwijdering kan door de koagulatie plaatsvinden.

— Verzadiging van het te infiltreren water met zuurstof teneinde een aerobe toestand in het infiltratiepakket na te streven. Verzadiging met zuurstof wordt door kunstmatige beluchting van het te infiltreren water bereikt.

Infiltratieketels

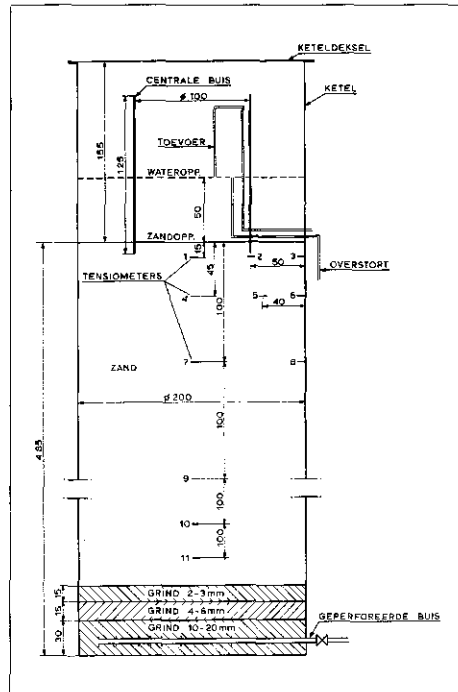
De inrichting van de infiltratieketel is op afb. 2 weergegeven.

De ketels zijn gevuld met zand afkomstig uit de omgeving van Elspeet. De horizontale en verticale doorlatendheid van dit zand bedragen resp. 26 en 15 m/dag.

Deze waarden zijn in overeenstemming met de waarde van 30 m/dag, resp. 15 m/dag welke door de Ad-hoc Groep Geohydrologie van de Technische Werkgroep Infiltratie Veluwe gebruikt wordt als een uitgangspunt voor de geohydrologische berekeningen.

Alle infiltratieproeven in Leiduin worden om de werkelijke omstandigheden van de infiltratie in de Veluwe zoveel mogelijk te benaderen in een onverzadigd zandpakket uitgevoerd.

Het water wordt via een centraal in het zandoppervlak geplaatste buis op het infiltratie-oppervlak verdeeld. Het resultaat is dat slechts een gedeelte van het zandoppervlak van de ketel bevoled wordt.



Afb. 2 - Opstelling van infiltratieketel.

TABEL I - Gemiddelde waterkwaliteit na verschillende systemen van voorzuivering.

waterkwaliteit	gemiddelde concentratie in mg/l				
	A	B	C	D	E
periode	30/6/72-10/12/73	3/4/73-31/8/74	15/4/74-31/12/74	21/1/74-31/12/74	1/1/75-31/3/75
KMnO ₄ -verbruik	17	10	9	5,5	2,5
TOC	6,1	4,0	3,2	2,3	0,8
kleur (Pt-Co)	18	11	9	2	1
troebelheid (J.T.U)	2,6	0,20	0,22	0,14	0,06
ijzer	0,24	0,09	0,07	0,05	0,02
mangaan	0,17	0,03	0,02	0,01	0,02
smaak (verduin.)	31	23	18	4	2
ammonia	0,3	0,17	0,15	0,1	0,07
nitraat	17,6	19,0	19,7	20,8	24,7
o-fosfaat	0,64	0,05	0,03	0,04	0,03
zuurstof	8,7	8,4	9,4	9,5	11,0

Hierdoor wordt een betere benadering van de omstandigheden bij onverzadigde infiltratie in de praktijk verkregen dan bij een gelijkmatige verdeling van het water over het gehele zandoppervlak.

Alleen de eerste twee proeven met het water van kwaliteit A werden met een gelijkmatige watervdeling van het water over het gehele infiltratie-oppervlak uitgevoerd.

De infiltratieketels kunnen ook van licht worden afgesloten zodat een gesloten infiltratie in ondergrondse tunnels kan worden gesimuleerd.

Voor de bepaling van het vochtgehalte in het zand werden in twee ketels op verschillende diepten in het zandbed keramische tensiometers aangebracht.

4. Resultaten van de proeven

Voorzuivering

Een overzicht van de kwaliteit van het te infiltreren water na verschillende trappen van de voorzuivering is in tabel I weergegeven.

Uit de tabel blijkt dat elke zuiveringstrap een substantiële verbetering van de parameters, die de verstoppingsverschijnselen (de kwaliteit van het teruggewonnen water beïnvloeden, tot gevolg heeft.

In dit verband zijn met name van belang: troebelheid, ijzer, mangaan en organische stoffen uitgedrukt in KMnO₄-verbruik en TOC (Total Organic Carbon).

Een uitzondering hierop vormen de kleine verschillen tussen het water met kwaliteit B en C (d.w.z. het water na koagulatie in de opwaartse filters en beluchting zonder en met snelfiltratie). Dit is niet verwonderlijk omdat het doel van het inschakelen van het snelfilter achter de opwaartse filter en de beluchting is het opvangen van de tijdelijke doorbraken van ijzervlokken door de opwaartse filters en het ontgassen van

iet na de beluchting met lucht verzadigde water. Dat het gestelde doel werd bereikt, blijkt uit de verschillen tussen de infiltratiesnelheden van beide soorten water.

De uiterst efficiënte verlaging van het KMnO₄-verbruik en TOC na actieve kool waterkwaliteit E) is mede te danken aan een zeer lage belasting van het koolfilter. Uit een vergelijking tussen de waterkwaliteitsgegevens in tabel I en de te verwachten kwaliteit van het te infiltreren water (zoals in de nota 'Voorzuivering van het Rijnwater bij de infiltratie in de Veluwe', zie tabel I van artikel Verkerk) is gesteld, blijkt dat het water met kwaliteit D, voorover het de makroparameters betreft, voldoet.

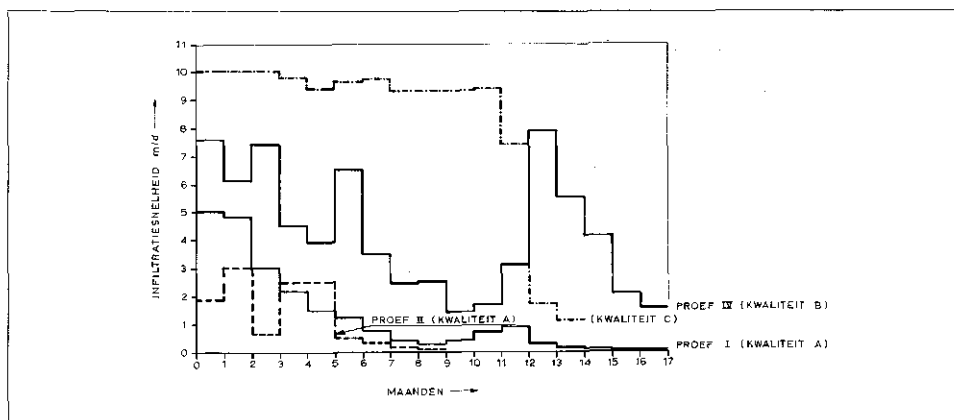
Infiltratieproeven

mmiddels zijn de infiltratieproeven met het water van kwaliteit A en B beëindigd. Met het water van kwaliteit A werden drie proeven met gesloten ketels uitgevoerd. Bij de eerste proef werd het water gelijkmatig over het gehele infiltratie-oppervlak verdeeld (proef I) en bij de tweede proef rond de verdeling door middel van een centrale buis plaats (proef II). Tenslotte werd één verkorte herhaling van proef I (proef III) uitgevoerd met het doel na te gaan hoe diep de bovenste zandlaag na de verstopping van het infiltratie-oppervlak verwijderd moet worden om herstel van de infiltratiesnelheid te bereiken. Vóór proef II werd het zandoppervlak na de beëindiging van de proef I in twee segmenten verdeeld waarbij in één segment 5 cm en in het andere segment 7,5 cm van de zandlaag voor schoon zand werd vervangen. Met het water van kwaliteit B werd één proef met verdeling door middel van een centrale buis uitgevoerd (proef IV).

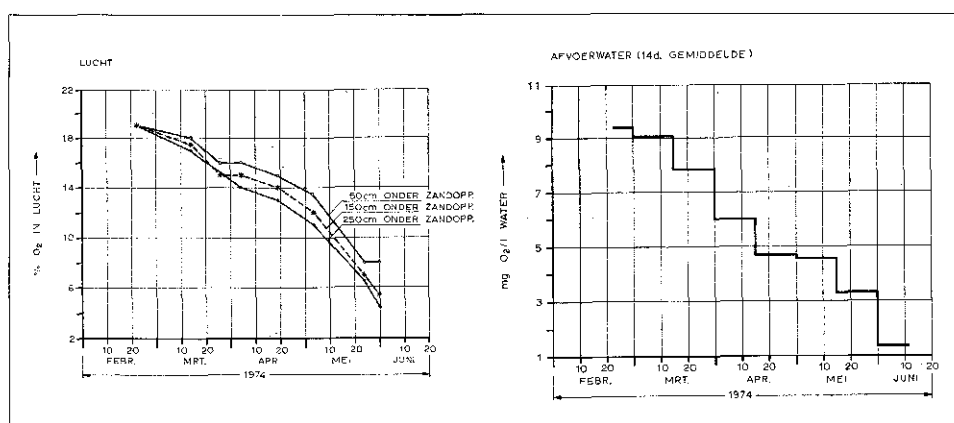
Verloop van de infiltratiesnelheden

roef I en II duurden resp. 525 en 280 dagen. Tijdens proef I en II werden resp. 350 m³/m² en 340 m³/m² water gefiltreerd. Ondanks de afname van de infiltratiesnelheid na ca. 200 dagen tot 0,5 m/d werd proef I voortgezet, om inzicht te verkrijgen in de veranderingen van de waterkwaliteit onder anaerobe omstandigheden.

et verloop van de infiltratiesnelheden tijdens beide proeven I en II (zie afb. 3) scheelt aanzienlijk, hetgeen waarschijnlijk een gevolg is van de hogere troebelheid van het te infiltreren water in de aanvangsfasen van proef II. De gemiddelde infiltratiesnelheid tijdens de eerste 4 maanden van de infiltratie bedroeg bij proef I 3,9 m/dag en bij proef II 1,7 m/dag (berekend op het aandooppervlak van de centrale buis). De herhalingsproef III duurde 110 dagen en



Afb. 3 - Verloop maandgemiddelde infiltratiesnelheden van het water met kwaliteit A, B en C.



Afb. 4 - Zuurstofgehalte van de lucht in het infiltratiepakket en van het afvoerwater tijdens proef III.

TABEL II - Gemiddelde waterkwaliteit vóór en na infiltratie met water van kwaliteit A en B (in mg/l).

waterkwaliteit	A			B		
	proef I	proef II	proef IV	proef I	proef II	proef IV
periode	30/6/72-10/12/73		31/1/73-31/10/73	3/4/73-31/8/74		
parameter	toevoerwater	afvoerwater	verschil	toevoerwater	afvoerwater	verschil
KMnO ₄ -verbruik	17	12	- 5	17	11	- 6
TOC	6,1	4,4	- 1,7	6,2	4,9	- 1,3
smaak	31	21	-10	39	21	-18
kleur (Pt-Co)	18	11	- 7	18	10	- 8
troebelheid (J.T.U)	2,6	0,15	- 2,45	2,0	0,19	- 1,81
ijzer	0,24	0,05	- 0,19	0,29	0,04	- 0,25
mangaan	0,17	0,06	- 0,11	0,21	0,04	- 0,17
ammonia	0,30	0,10	- 0,20	0,34	0,25	- 0,09
nitraat	17,6	18,5	+ 0,9	17,9	18,6	+ 0,7
o-fosfaat	0,64	0,32	- 0,32	0,74	0,11	- 0,63
zuurstof	8,7	3,8	- 4,9			
pH	6,95	7,0	+ 0,05	6,85	7,05	+ 0,2
bicarbonaat	115	129	+14	109	125	+16

in het eerste segment waarin een zandlaag van 5 cm was vervangen, werd 350 m³/m² en in het tweede segment 330 m³/m² gefiltreerd, d.w.z. dat de gemiddelde infiltratiesnelheid 3,2 m/dag resp. 3,0 m/dag bedroeg.

Het verloop van de infiltratiesnelheid van het water met kwaliteit B was aanzienlijk gunstiger dan met waterkwaliteit A. Tijdens proef IV die 520 dagen duurde werd 2100 m³/m² water gefiltreerd, hetgeen op

een gemiddelde infiltratiesnelheid van ca. 4 m/dag neerkomt. Uit afb. 3 blijkt dat bij infiltratie met deze waterkwaliteit, de infiltratiesnelheid grote schommelingen vertoonde. Een en ander kan vermoedelijk worden toegeschreven aan oververzadiging met lucht van het zandpakket die in sterke mate afhangt van het temperatuurverloop van het water tijdens infiltratie en de oververzadiging van het water na kunstmatige beluchting.

Veranderingen van de waterkwaliteit

De waterkwaliteit vóór en na infiltratie wat betreft makroparameters is in tabel II vermeld.

Hieruit blijkt dat bij de infiltratie van water met kwaliteit A een aanzienlijke verbetering optreedt van kleur en smaak (ca. 30-40 %), KMnO_4 -verbruik (ca. 30 %), TOC (20-30 %), troebelheid (90 %) en ijzer (80 %).

Het verloop van het zuurstofgehalte in het afvoerwater en in de lucht van het infiltratie-pakket (afb. 4) wijst op een relatief snelle uitputting van de zuurstof bij de infiltratie van water met kwaliteit A. De bij proef I optredende verlaging van het zuurstofgehalte tot ca. 1,5 mg/l in de laatste fase had een stijging van het mangaangehalte in het afvoerwater tot gevolg (het gemiddelde mangaangehalte van het afvoerwater tijdens de eerste fase van de proef bedroeg 0,03 mg/l, terwijl zij aan het eind 0,24 mg/l bedroeg).

De verlaging van het fosfaatgehalte tijdens proeven I en III was aanzienlijk geringer dan bij proef II. Het gemiddelde fosfaatgehalte van het afvoerwater van de proeven I en III bedroeg resp. 0,32 mg/l en 0,43 mg/l, terwijl tijdens proef II de gemiddelde waarde 0,11 mg/l bedroeg.

Een en ander kan wellicht toegeschreven worden aan de veel lagere belasting in gram PO_4^{3-} per m^3 zand bij proef II, waarbij de waterverdeling plaatsvond door middel van de centrale buis. Het infiltratie-oppervlak was hier nl. 4 maal zo klein als bij de proeven I en III (waterverdeling over het gehele infiltratie-oppervlak), terwijl de infiltratiesnelheid bij II geringer was.

Van de sporelementen, welke bij de proeven werden bepaald (beryllium, cadmium, koper, chroom, cobalt, lithium, lood, nikkel, vanadium en zink) werd een duidelijke afname van het zinkgehalte en in mindere mate van het chroom- en nikkelgehalte waargenomen. Het lithiumgehalte verloopt analoog aan het fosfaatgehalte, m.a.w. bij proef II werd lithium in sterkere mate verlaagd dan bij de proeven I en III. De relatieve verbetering van de waterkwaliteit B is aanzienlijk geringer dan de verbetering met het water met kwaliteit A (tabel II).

De reden hiervoor is de betere kwaliteit van het te infiltreren water.

Van de sporelementen werden bij de infiltratie van het water met kwaliteit B zink en nikkel en aanvankelijk ook lithium verlaagd. Eveneens was sprake van een vermindering van het koper- en chroomgehalte, zij het minder uitgesproken. Na infiltratie werden vrijwel geen veranderingen in de gehalten aan cadmium, beryllium, cobalt en lood geconstateerd.

De gehalten aan pesticiden (HCB, α -HCH en γ -HCH) welke tijdens proef IV vijfmaal werden bepaald, ondergingen bij de infiltratie geen veranderingen.

Verstopping van het infiltratiepakket

Na het einde van de proeven werden steekmonsters van het zand op de verschillende diepten genomen om de penetratie van de sporelementen en de verstopping van het infiltratie-oppervlak te bepalen.

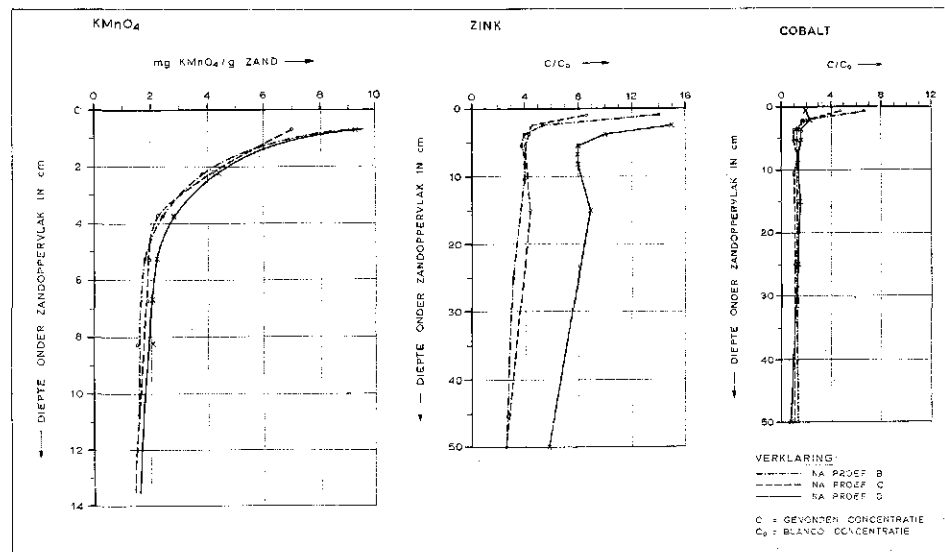
In het zandmonster werden gloeivries, KMnO_4 -verbruik, ijzergehalte en sporelementen bepaald. Voorts werden de monsters microscopisch onderzocht.

Na proef III werd eveneens het kiemgetal, en na proef IV het volume van het slib in het zand bepaald.

Uit dit onderzoek bleek dat verstopping voornamelijk in de bovenste laag met een dikte van ca. 5 cm plaats vindt. Dat de verwijdering van maximaal 5 cm zandlaag bij de infiltratie van het water met kwaliteit A voldoende is om herstel van de infiltratiesnelheid te bereiken, werd aangetoond bij proef III waarin geen verschillen werden gemeten tussen de infiltratiesnelheden in het segment waarin 5 cm resp. 7,5 cm zandlaag van de voorgaande proef I werden vervangen.

Ondanks het feit, dat uit de analyse van de sporelementen van het toevoer- en afvoerwater van de proefketels blijkt dat geen verwijdering van enkele sporelementen (cobalt, beryllium, cadmium) plaatsvond, werd d.m.v. zandanalyse een geringe accumulatie van deze sporelementen in de bovenste zandlaag gevonden (afb. 5). Enkele sporelementen, zoals zink, lithium, nikkel, koper penetreerden echter tot grotere diepte in het zandpakket.

Afb. 5 - Accumulatie van organische stoffen (KMnO_4 verbruik), zink en cobalt in het zand na afloop van de infiltratie proeven II, III en IV.



5. Voorlopige conclusies met betrekking tot de infiltratieproeven met water van kwaliteit A en B

— De aanvankelijke infiltratiesnelheid met het water van kwaliteit A kan onder de proefomstandigheden geschat worden op 2 - 5 m/dag; het water van kwaliteit B dat sterk afhankelijk blijkt te zijn van het restgehalte aan ijzer in het te infiltreren water, kan maximale infiltratiesnelheden van 8 - 10 m/dag bereiken.

— De maximale lengte van de infiltratielooptijd bij gesloten infiltratie (d.w.z. de periode waarbij een infiltratiesnelheid groter dan 1 m/dag optreedt) bedraagt voor water met kwaliteit A maximaal 6 maanden en voor water met kwaliteit B kan deze langer zijn dan 1 jaar.

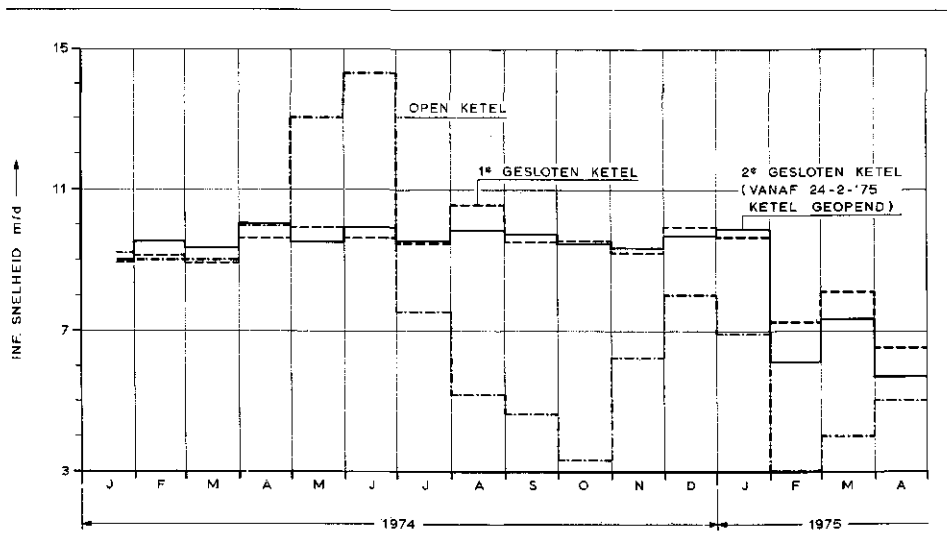
— De dikte van de bovenlaag die na de verstopping van het infiltratie-oppervlak verwijderd moet worden bedraagt maximaal 5 cm.

— Wordt infiltratie van water met kwaliteit A toegepast dan zal in het infiltratiepakket vrijwel zeker anaërobie ontstaan, waardoor o.m. mangaan in oplossing zal gaan.

— Wegens onvoldoende verwijdering van de organische stoffen tijdens de koagulatie (TOC somtijds hoger dan 5 mg/l) is eveneens bij infiltratie van water met kwaliteit B het optreden van anaërobie in het zandpakket niet uitgesloten.

Tevens blijkt de bedrijfszekerheid van het zuiveringsstelsel onvoldoende te zijn om water met een constante kwaliteit B te garanderen. Vooral het gevaar van een plotselinge doorbraak van ijzervlokken in d opwaartse filters kan een snelle verstopping van het infiltratieoppervlak veroorzaken.

— Van de onderzochte sporelementen



Afb. 6 - Verloop maandgemiddelde infiltratiesnelheden van het water van kwaliteit D.

werden zink en in mindere mate ook nikkel, lithium, chroom en koper tijdens de infiltratie verwijderd. De concentraties aan radium, lood, kobalt, en beryllium werden door de infiltratie nauwelijks veranderd.

— De meeste in het zand achtergebleven sporelementen bevinden zich in de bovenste zandlaag; zink, nikkel, lithium en koper dringen daarentegen dieper in het zandpakket door.

5. Huidige infiltratieproeven

De tweede fase van het onderzoek is vooral gericht op infiltratieproeven met ver voorgezuiverd water (kwaliteit C, D en E).

De proef met water van kwaliteit C heeft aangetoond dat het inschakelen van het snelfilter na het opwaartse filter en de beluchting een gunstige invloed hebben op de infiltratiesnelheid (afb. 3). Tijdens de eerste 260 dagen werd 2500 m³/m² gefiltreerd terwijl tijdens de gehele proef met waterkwaliteit B, welke 520 dagen duurde, slechts 2100 m³/m² werd gefiltreerd.

Wat de waterkwaliteitsveranderingen door infiltratie betreft, worden echter vrijwel geen verschillen tussen water met kwaliteit B en C geconstateerd.

De proeven met het water van kwaliteit D werden in begin 1974 in drie ketels gestart. Twee ketels waren gesloten (duploproef) en één ketel was open. Deze proef werd eveneens uitgevoerd om een inzicht te verkrijgen in de problematiek die samenhangt met algengroei tijdens de open infiltratie van ver voorgezuiverd water. Het verloop van infiltratiesnelheden is in afb. 6 weergegeven. In de open ketel trad in het voorjaar en in

de zomer een aanzienlijke groei van draad-algen (Ulothrix) op. Hieruit moge blijken dat het fosfaatgehalte van het natuurlijke zand (1,6 mg/g zand) voldoende is om de draadalgengroei te bevorderen. Tijdens de groei van de algen werd geen nadelige invloed op de infiltratiesnelheid waargenomen. Integendeel, om droog infiltratie in de open ketel te voorkomen moest de infiltratiesnelheid verhoogd worden tot 13 - 17 m/dag, terwijl in de gesloten ketels tijdens deze periode het waterniveau bij een snelheid van 10 m/dag gehandhaafd bleef.

Na het afsterven van de algen in het najaar nam de infiltratiesnelheid af tot ca. 3 m/dag. In de gesloten ketel bleef een infiltratiesnelheid van ca. 9,5 m/dag gedurende ca. 13 maanden gehandhaafd.

Mede gezien het belang van de gegevens over het eventuele optreden van algengroei bij de open infiltratie werd één van de gesloten ketels in het voorjaar van 1975 geopend.

De kwaliteitsveranderingen bij de infiltratie van water van kwaliteit C en D zijn gering, behalve enkele sporelementen (zink, lithium, nikkel en koper) die in aanzienlijke mate worden verlaagd.

De proef met het water na actieve koolfiltratie (kwaliteit E) werd in het begin van 1975 met zeer hoge infiltratiesnelheden (ca. 35 m/dag) in een gesloten ketel aangevangen. Om een goede vergelijkingsbasis te creëren werd gelijktijdig een infiltratieproef met het water van kwaliteit C met een aanvangsnelheid van 30 m/dag uitgevoerd. De infiltratie van het water met kwaliteit E bleef tot eind april 1975 d.w.z. na 120 dagen infiltratie op 35 m/dag gehandhaafd, terwijl de snelheid van het water met kwaliteit C na 70 dagen tot 17 m/dag afnam.

Te verwachten resultaten

Op grond van de eerder vermelde proeven die omstreeks eind 1975 beëindigd zullen worden, hoopt men inzicht te verkrijgen in de relatie tussen de mate van voorzuivering en de infiltratiesnelheden, de lengten van de infiltratielooptijden, gegevens over de diepte van verstopping van het zandpakket, veranderingen van de waterkwaliteit in de bovenste lagen van het infiltratiepakket en tenslotte oriënterende gegevens over de kans van optreden van algengroei bij de open infiltratie met ver voorgezuiverd water.

Samenstelling Commissie Proefinstallatie Infiltratie

Deze commissie die tot voor kort onder voorzitterschap stond van ir. A. J. Roebert van Gemeentewaterleidingen (Amsterdam) is momenteel als volgt samengesteld:

- drs. H. J. M. Lips, Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland (voorzitter)
- ir. J. Hrubec, RID (secretaris)
- drs. H. J. Boorsma, RID
- ir. M. C. Brandes, RID
- ing. J. Duyve, Gemeentewaterleidingen (Amsterdam)
- dr. ir. A. Graveland, Gemeentewaterleidingen (Amsterdam)
- ir. R. Klomp, RID
- dr. E. J. M. Kobus, KIWA NV
- P. Marsman, RID
- ir. J. van Puffelen, Duinwaterleiding van 's-Gravenhage
- ir. B. C. J. Zoeteman, RID

Literatuur

- 1. Hrubec, J. H₂O (6) pag. 589, 1973.

