


Geohydrologische gegevens Van de Dennenkamp

CONSULMIJ Milieu BV
Regio Oost
Projectnr Z.02.0214.DZ
November 2002

paraaf opsteller	Status	Datum
	Definitief	25-11-2002

paraaf controle	Status	Datum
	Definitief	25-11-2002

Inventarisatie van geohydrologische gegevens van De Dennenkamp

1 Inleiding

De Dennenkamp is een voormalig landgoed, gelegen in het centrum van Oosterbeek. In het gebied bevinden zich een aantal gebouwen, waaronder het gemeentehuis van Renkum. Er zijn nog een aantal kenmerken van het landgoed aanwezig, met name door de aanwezigheid van monumentale bomen en een aantal door bomen geflankeerde lanen.

De gemeente is voornemens het gebied opnieuw in te richten, waarbij ook de mogelijkheid wordt overwogen om een ondergrondse parkeergarage te bouwen. De ligging en de diepte van de parkeergarage zijn op dit moment nog niet bekend. Eén van de uitgangspunten van het plan is het behouden van zoveel mogelijk monumentale en waardevolle bomen in het plangebied.

De (bouw van de) parkeergarage kan de geohydrologie van het gebied beïnvloeden en kan daarmee invloed hebben op het huidige bomenbestand in De Dennenkamp. In het kader van de nieuwe Flora- en Faunawet dient tevens te worden onderzocht of er in het gebied beschermde natuurwaarden voorkomen, en zo ja, wat de (juridische) consequenties daarvan is.

De gemeente Renkum heeft aan CONSULMIJ Milieu een opdracht verstrekt om zowel de aanwezige natuurwaarden in het gebied op verkennende wijze te inventariseren, alsmede om de beschikbare informatie inzake de geohydrologische situatie in kaart te brengen.

Deze notitie handelt uitsluitend over de verzamelde geohydrologische gegevens. De resultaten van het natuurwaardenonderzoek wordt separaat gerapporteerd.

Het doel van deze inventarisatie is vast te stellen, welke geohydrologische gegevens beschikbaar zijn en welke gegevens zijn nog noodzakelijk voor het maken van een beoordeling van de effecten van de mogelijke aanleg van de parkeergarage op de locatie De Dennenkamp.

2 Werkwijze

De volgende partijen zijn benaderd om bestaande informatie te verzamelen:

- gemeente Renkum
- provincie Gelderland
- MBCS te Velp (onderwijsinstelling)
- TNO-NITG (voorheen Rijks Geologische Dienst)
- personen met kennis van de lokale omstandigheden.

Daarnaast zijn (bodem)kaarten en informatie uit relevante literatuur gebruikt.

Op basis van een analyse van de resultaten zijn vervolgens conclusies getrokken en aanbevelingen voor vervolgonderzoek gedaan. Daarbij is ook een globale kostenraming gemaakt

3 Resultaten

Informatie uit kaarten

Uit kaartmateriaal blijkt dat De Dennenkamp op circa 50 m + NAP ligt.

Op basis van de bodemkaart blijkt dat het gebied bestaat uit Holtpodzolgronden, bestaande uit grof zand met grind dat op minder dan 40 cm diepte begint. De locatie is gelegen op een stuwwal.

De grondwatertrap van het gebied is VII. Dit betekent dat de Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) > 80 cm is en dat de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) > 120 cm is.

Informatie van de gemeente Renkum

De beschikbare informatie is voornamelijk afkomstig van bodemonderzoeken die in Oosterbeek zijn uitgevoerd. Omdat het freatisch grondwater zich in Oosterbeek op circa 15 m-mv bevindt, wordt het grondwater aldaar niet in de bodemonderzoeken meegenomen en wordt de bodem meestal slechts tot circa 2,0 m-mv onderzocht.

Uit de uitgevoerde onderzoeken blijkt dat er plaatselijk schijngrondwaterspiegels voorkomen. Een schijngrondwaterspiegel geeft niet de werkelijke grondwaterstand aan, maar wordt veroorzaakt doordat er water boven op een ondoordringbare laag blijft staan. In het geval van Oosterbeek bestaat deze laag uit (dunne) leemlagen. De exacte ligging en diepte van deze (schijn)grondwaterspiegels is variabel en voor het plangebied niet bekend.

Verder blijkt de grond ter plaatse te bestaan uit fijn tot grof zand.

Het gebied ligt vlak bij een grondwaterbeschermingsgebied. Er wordt aan de noordzijde van Oosterbeek, grondwater onttrokken door Vitens. Hierdoor is aanvullende informatie over de situatie rond Oosterbeek aanwezig (zie Informatie uit de literatuur).

Informatie van de provincie Gelderland

Door de aanwezigheid van een aantal peilbuizen zijn er gegevens beschikbaar over de grondwaterstanden in/rond Oosterbeek. Het blijkt dat de grondwaterstand ter plaatse sterk verschilt, zoals uit onderstaande tabel blijkt.

Tabel 1. Grondwaterstanden in / rond Oosterbeek.

Peilbuis nr.	Ligging	Ligging t.o.v. NAP	Grondwaterstand
40AP0565	Ten noorden van De Dennenkamp	+ 51 m	21,90 m-mv
40AP0563	Ten oosten van De Dennenkamp	+ 40 m	17,55 m-mv
40AP0424	Ten westen van De Dennenkamp	+ 43 m	11,85 m-mv
40AP0542	Ten zuidoosten van De Dennenkamp	+ 30 m	7,00 m-mv
40AP0306	Ten zuiden van De Dennenkamp	+ 11 m	0,70 m-mv

De diepste grondwaterstand wordt aangetroffen ten noorden van Dennenkamp. De laagste grondwaterstand wordt ten zuiden van De Dennenkamp aangetroffen. Oosterbeek ligt op een helling, vlak langs de Rijn. Het grote verschil in grondwaterstanden wordt gedeeltelijk verklaard door de ligging van de peilbuizen ten opzichte van NAP. De peilbuis ten zuiden van Oosterbeek ligt op de rand van de uiterwaard van de rivier (x m + NAP, terwijl De Dennenkamp ligt op 50 m +NAP).

Gezien de hoogteligging van Dennenkamp en de ligging van de meetpunten wordt op De Dennenkamp een grondwaterstand van circa 20 m-mv verwacht.

De gegevens van de Provincie Gelderland zijn bijgevoegd in bijlage 1. De ligging van de peilbuizen en De Dennenkamp zijn in een figuur aangegeven.

Informatie van de MBCS te Velp (onderwijsinstelling)

Zelf beschikt men niet over gegevens van het plangebied, maar op basis van kennis en ervaring met vergelijkbare gebieden in de omgeving heeft men het volgende advies gegeven:

- Onderzoek laten doen naar de aanwezigheid van leemlagen
- Hoogstwaarschijnlijk gebruiken de bomen het water uit de schijngrondwaterspiegels voor hun vochtvoorziening, niet het grondwater zelf (dat zit te diep).
- Wanneer de parkeergarage wordt aangelegd en dit moet in den droge gebeuren, dan moet er geen bronbemaling worden gebruikt, omdat dit schade aan de bomen zal veroorzaken. In dat geval moeten er damwanden worden geplaatst.
- Bomen kunnen door hun capillaire werking lang regenwater opnemen.
- Het regenwater van de parkeergarage moet weer geïnfiltreerd worden en niet via de riolering weglopen.

Informatie van TNO-NITG

Deze organisatie beschikt over een grote database met gegevens, die tegen betaling kunnen worden opgevraagd. Ze beschikken over informatie over de ondiepe ondergrond in de nabijheid van Oosterbeek (zie ook Informatie van de provincie Gelderland en Informatie uit de literatuur), maar niet over informatie over de ondiepe ondergrond van De Dennenkamp zelf.

Informatie van lokale experts

Niek Zuurdeeg, oud-leraar bodemkunde/hydrologie

Volgens dhr. Zuurdeeg zijn er in het gebied verticale leemschotten aanwezig. Deze schotten lopen van oost naar west. Plaatselijk zitten de leemlagen aan maaiveld. Er zijn in het gebied diverse vijvertjes en bronnen aanwezig die gevoed worden door het water dat op de leemlagen staat. De heer Zuurdeeg heeft van diverse locaties in Oosterbeek foto's van de bodemopbouw. Deze foto's zijn gemaakt bij ontgravingswerkzaamheden in Oosterbeek.

Dhr. B. van de Weerd, hydrogeoloog

Op circa 500 meter van het gemeentehuis is op 8 m-mv een leemlaag aanwezig, waarboven een schijngrondwaterspiegel aanwezig is. De aanwezigheid van leemlagen kan sterk wisselen. Ten aanzien van De Dennenkamp kan dhr. van de Weerd geen uitspraken doen over de ligging van leemlagen en schijngrondwaterspiegels. In de zuidelijke berm van de Dennenkampseweg zit een stijpbuis van Vitens die wordt gebruikt om het diepe grondwater te monitoren.

Om locatiespecifieke informatie te vergaren, adviseert dhr. Van de Weerd om boringen te plaatsen, zowel handmatig als machinaal (avegaar).

Informatie uit de literatuur

Artikel uit H₂O (nr. 22, jaargang 2002).

Uit het artikel blijkt dat de situatie rond Oosterbeek zeer complex is. De gegevens hebben geen betrekking op De Dennenkamp, maar op het nabijgelegen grondwateronttrekkinggebied van Doorwerth (pompstation Oosterbeek), alwaar Vitens drinkwater wint.

Er is een methode ontwikkeld om stromingsbarrières voor laterale grondwaterstroming en anisotrope zones in gestuwde gebieden te karteren. De ontwikkelde methode is op te splitsen in twee delen: analyse van bestaande hydrogeologische data en geofysisch/geomechanisch onderzoek.

In de hydrogeologische data-analyse worden uit de beschikbare peilbuisdata en lokale kennis zo goed mogelijk locaties van barrières vastgesteld. Vervolgens wordt met het geofysisch onderzoek in het veld ruimtelijke verbreiding van deze en eventuele nieuwe barrières zoveel mogelijk vastgelegd.

Met georadar-metingen kunnen laterale grondwaterstromingsbarrières, de oppervlakkige grens tussen gestuwd en ongestuwd sediment en de grondwaterspiegel worden gekarteerd. Voor het verifiëren van

de aanwijzingen voor laterale grondwaterstromingsbarrières kunnen mechanische sonderingen worden gebruikt. Mechanische sonderingen leveren relatief eenduidige data en ook de waterspanning kan worden gemeten. Sonderingen zijn relatief goedkoop ten opzichte van diepe boringen (tot 30 m-mv).

Het artikel is opgenomen als bijlage 2.

4 Conclusies

Op basis van de verzamelde gegevens kan worden opgemaakt dat de bomen in De Dennenkamp afhankelijk zijn van het 'hangwater' (water dat blijft 'hangen' aan humus en het worteldek van begroeiing en het wortelstelsel van de bomen zelf) en de water boven op de aanwezige leemlaagjes voor hun watervoorziening (de schijngrondwaterspiegel). Het echte grondwater zit te diep om door de bomen gebruikt te kunnen worden.

De geohydrologische situatie in het gebied is zeer complex. Er kunnen in het gebied zowel horizontale als verticale leemlagen voorkomen. De aanwezigheid van deze leemlagen kan de grondwaterstroming aanzienlijk beïnvloeden, waardoor de (schijn)grondwaterstand over korte afstanden sterk kan verschillen. Er is nauwelijks/geen gedetailleerde informatie over het onderzoeksgebied beschikbaar.

De huidige informatie is volstrekt ontoereikend om een gefundeerde uitspraak te kunnen doen of en in hoeverre de bouw van een ondergrondse parkeergarage de geohydrologie van het gebied zou kunnen beïnvloeden.

Wel kan met zekerheid geconcludeerd worden dat er in het gebied leemlagen aanwezig zijn. Het water dat op deze leemlagen achterblijft, voedt diverse vijvertjes, bronnen en het groen in het gebied.

5 Aanbevelingen

Om een uitspraak te kunnen doen over de eventuele gevolgen, zal eerst meer informatie verzameld moeten worden over de geohydrologie door middel van metingen in het veld. Via het veldonderzoek zullen met name de horizontale en verticale leemlagen in kaart gebracht moeten worden, evenals de diepte van de schijngrondwaterspiegels.

Dit kan het beste geschieden door middel van handboringen (tot 5 of 6 m-mv). Met sonderingen of mechanische boringen bestaat het risico dat de afdichtende leemlagen worden doorboord. Het (schijn)grondwater zou vervolgens door deze boorgaten kunnen wegzakken naar de diepere bodemlagen. Hierdoor bestaat er een reëel risico dat de bomen van hun watervoorziening worden afgesneden. Door middel van handboringen kan tijdig met een boring worden gestopt, zodra een leemlaag wordt aangetroffen.

Gezien de grote variatie in de bodem, wordt voorgesteld om een tamelijk dicht net van boringen te zetten, om zodoende een goed initieel beeld te krijgen van de geohydrologische situatie. Het enige nadeel is, dat het verrichten van handboringen dieper dan 5 – 6 meter beneden het maaiveld nagenoeg onmogelijk is.

Bij de plaatsing van handmatige boringen moet een dicht raster worden aangehouden, aangezien de ligging van leemlagen sterk kan verschillen en sommige leemlagen slechts een decimeter dik zijn. Bij de boringen moet niet alleen gekeken worden naar de ligging van de leemlagen maar ook naar de grondwaterstand, een sterk wisselende grondwaterstand tussen de verschillende boringen duidt op de aanwezigheid van een verticale leemlaag.

Bovendien is het van belang om de geohydrologische situatie van het lager gelegen deel van De Dennenkamp in kaart te brengen. Omdat het terrein op een helling ligt, kunnen activiteiten op hoger gelegen delen ook invloed uitoefenen op de lager gelegen delen.

Dit is met name van belang voor de monumentale bomen in de nabijheid van het gemeentehuis. Al deze bomen zouden beïnvloed kunnen worden door de bouw van een ondergrondse parkeergarage.

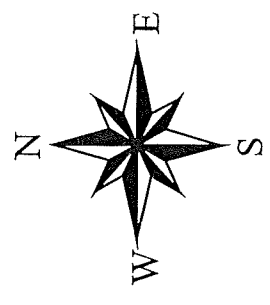
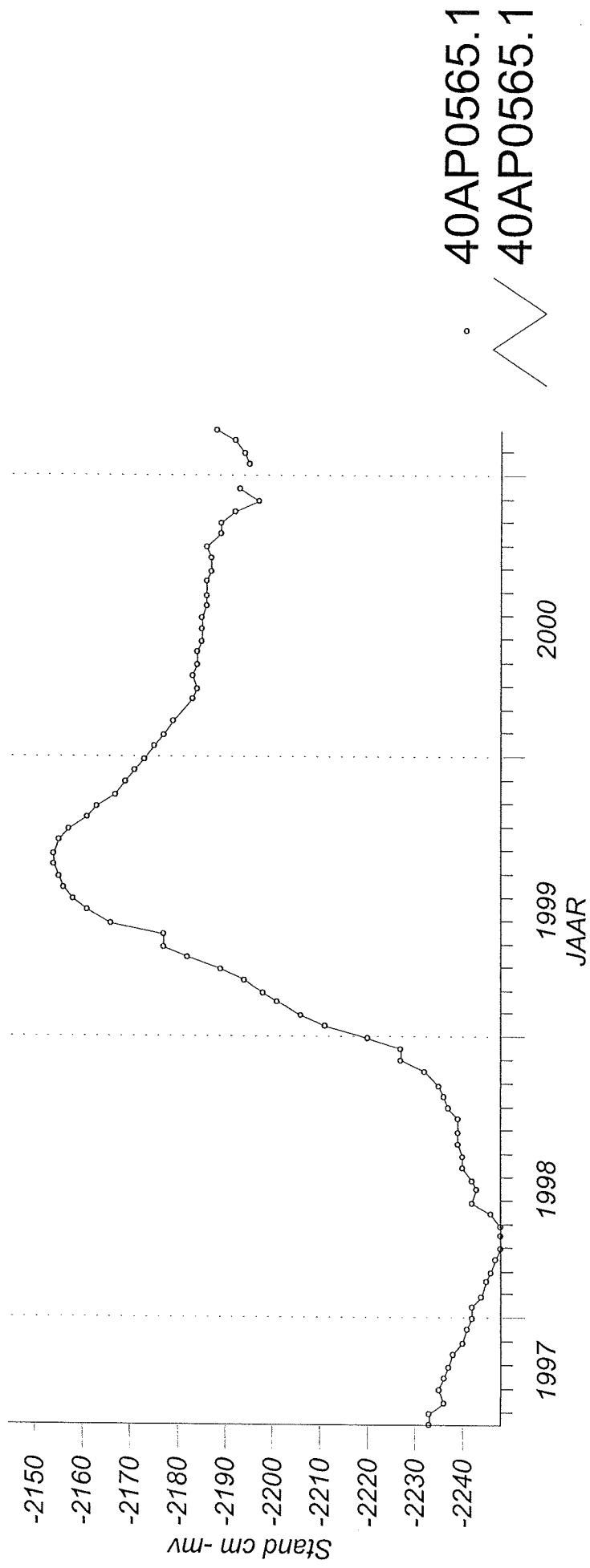
Die hoger op de helling ligt. Maar ook de bomen in de lanen worden mogelijkwerijze beïnvloed. Zoals gezegd, er is onderzoek noodzakelijk om daaromtrent uitspraken te kunnen doen.

Bijlage 3 bevat een beknopte beschrijving van de voorgestelde onderzoeksopzet en een globale kostenraming.

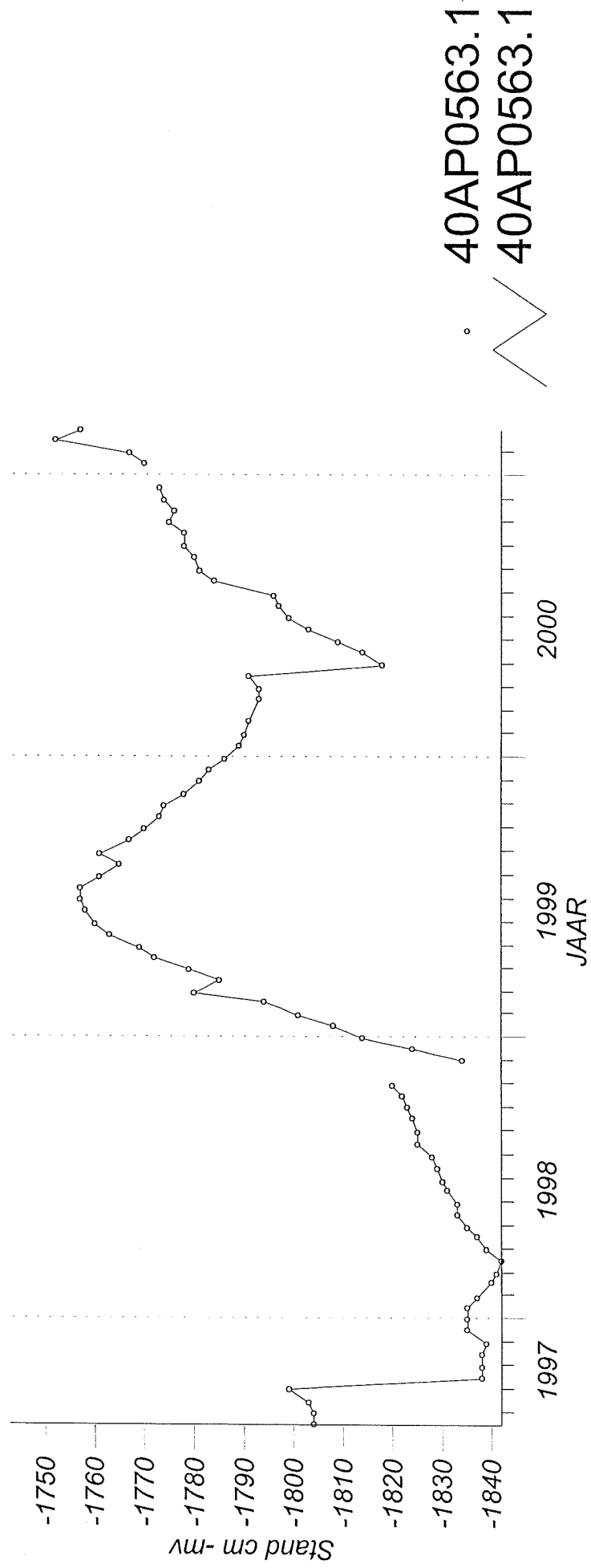
Bijlage 1

Gegevens Provincie Gelderland

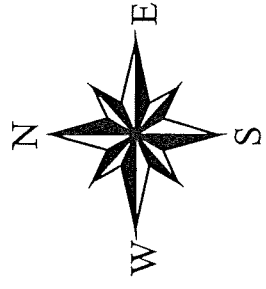
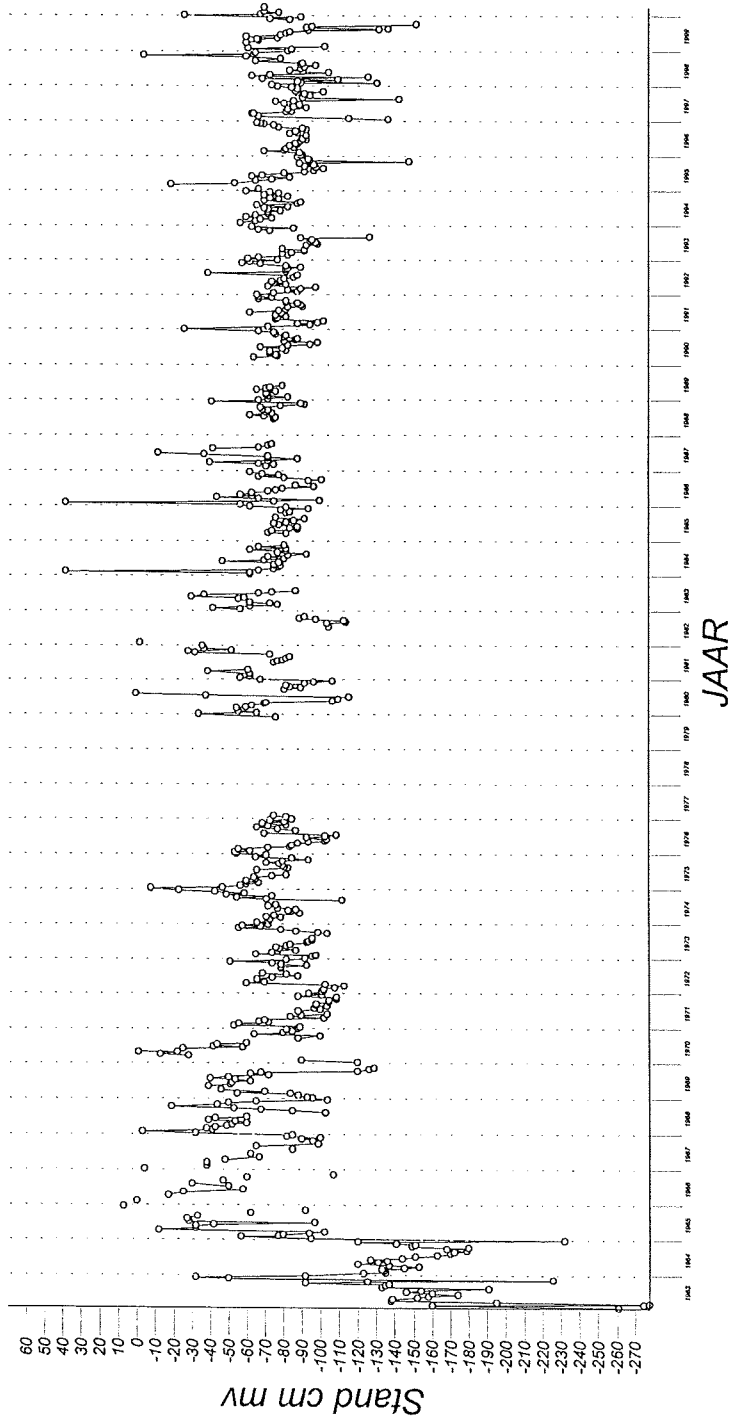
Grondwater- tijdreeks 15/08/1997-28/02/2001



Grondwater- tijdreeks 15/08/1997-28/02/2001



Grondwater- tijdreeks 25/01/1963-28/03/2000



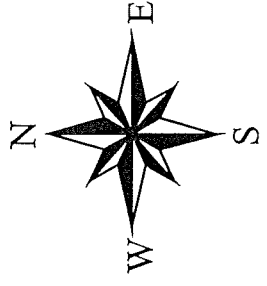
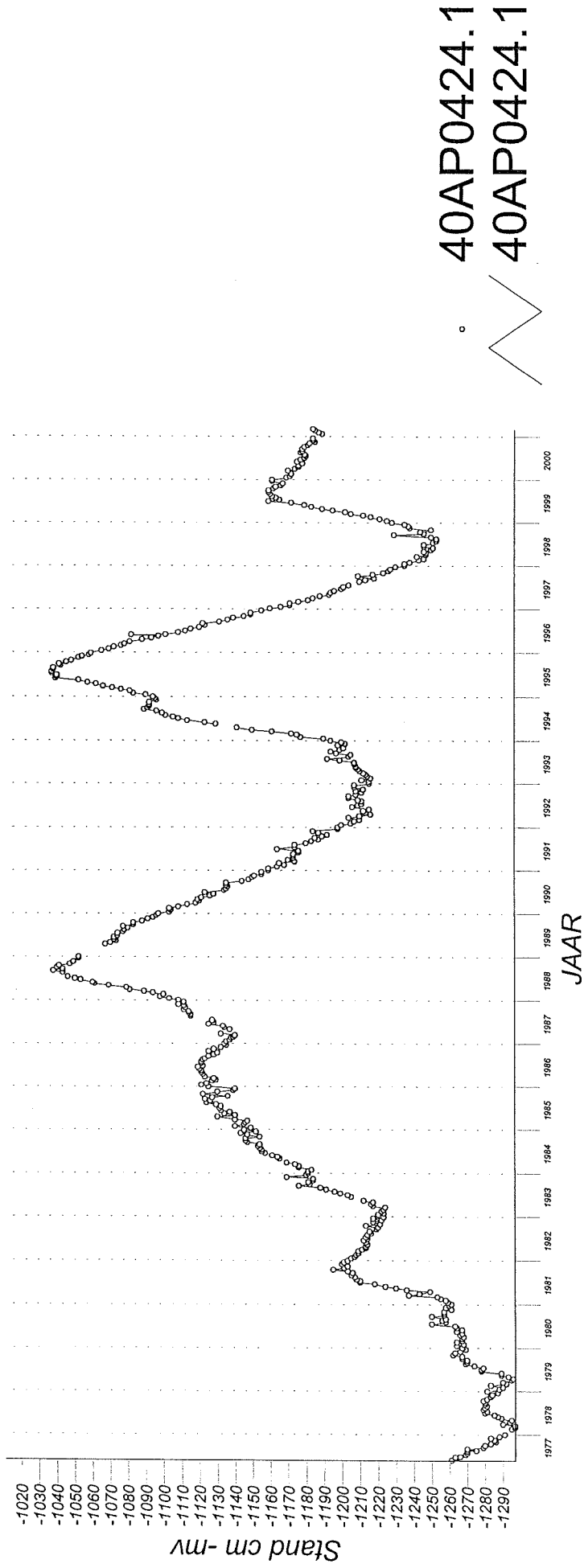
0.06 Miles

0.03

0

0.03

Grondwater- tijdreeks 27/05/1977-28/02/2001



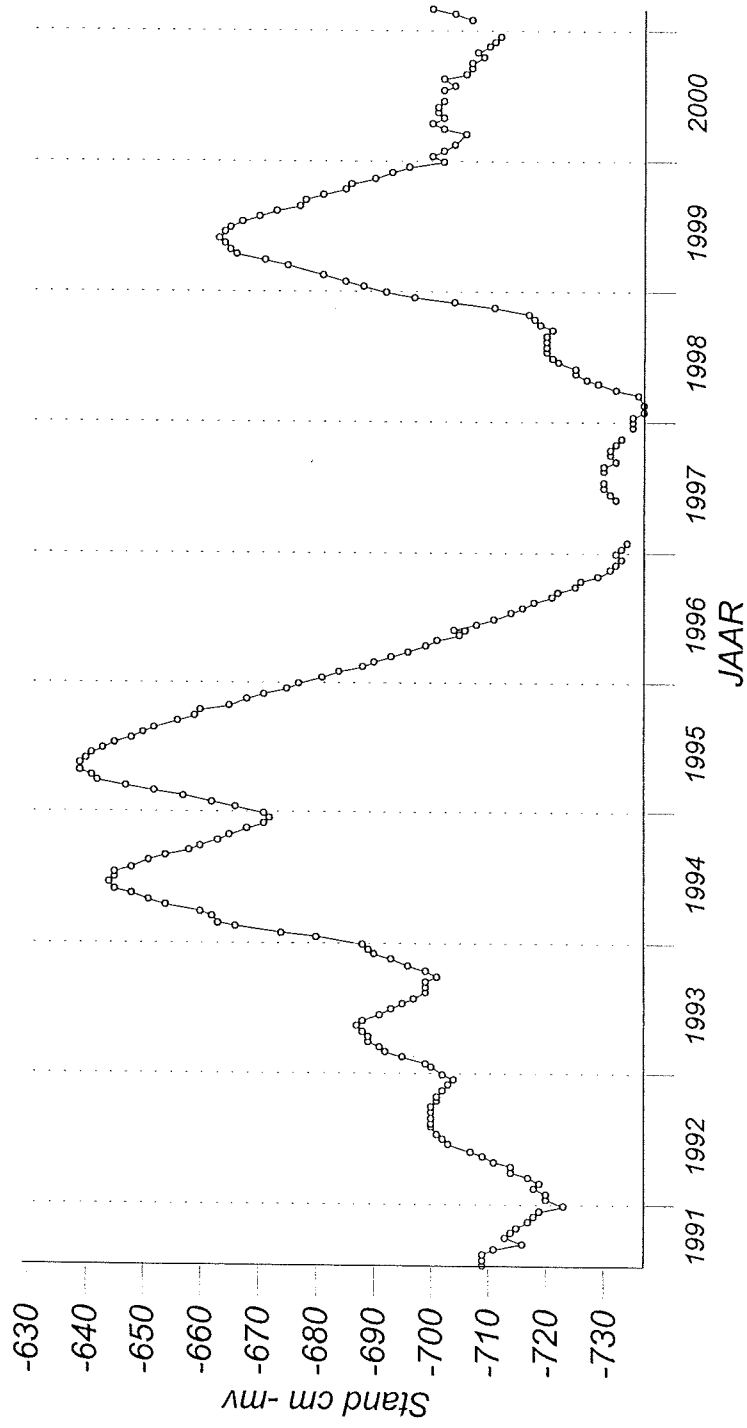
0.04 Miles

0.02

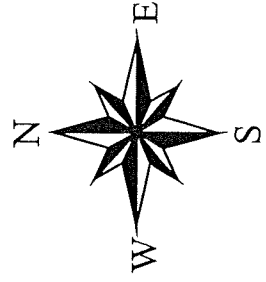
0

0.02

Grondwater- tijdreeks 16/07/1991-28/02/2001



40AP0542.1
40AP0542.1



0.014 Miles

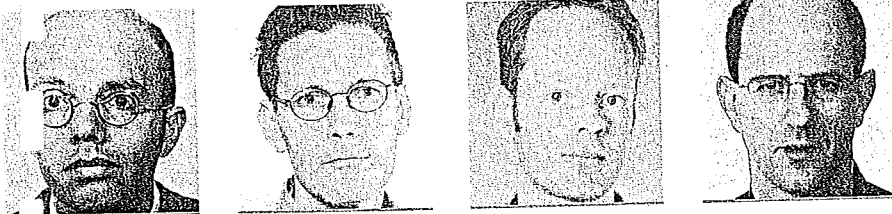
0.007

0

0.007

Bijlage 2

Artikel H₂O



Het opsporen van grondwaterstromingsbarrières en anisotrope zones in gestuwde gebieden

BART GOES, TNO-NITG
 SJEF MEEKES, TNO-NITG
 ATE OOSTERHOF, VITENS (VOORHEEN NUON WATER)
 RENÉ TANK, DIENST LANDELIJK GEBIED (VOORHEEN ARCADIS)

De grotendeels grofzandige stuwwallen behoren tot de belangrijkste grondwaterreservoirs van Nederland. Doeltreffend grondwaterbeheer is hier uiterst moeilijk, omdat de door de stuwing ontstane hellende kleilagen in het watervoerende pakket de hydrogeologische opbouw zeer complex maken. Een eenvoudige manier om de complexiteit van de ondergrond in kaart te brengen, is niet voorhanden. Boringen geven een weinig representatief beeld, omdat de lithologie binnen de gestuwde afzettingen over een zeer korte afstand kan variëren en omdat ze weinig zeggen over de helling en rekking van de lagen. Dit beeld kan verhelderd worden door een combinatie van een grondige analyse van hydrogeologische gegevens en geofysisch onderzoek. Deze aanpak heeft op een aantal gestuwde onderzoekslocaties meer inzicht in het hydrologisch systeem gegeven.

Binnen het derde deel van het project Ontwikkeling Ondiepe Data Acquisitie Methode (OODAM III) is een methode ontwikkeld om stromingsbarrières voor laterale grondwaterstroming en anisotrope zones in gestuwde gebieden te karteren. Het project is een samenwerking tussen het voormalige Waterbedrijf Gelderland en Nuon Water én TNO. Kennis over de ligging van de barrières en anisotrope zones is belangrijk voor een verantwoord beheer van de ondergrondse drinkwaterreservoirs in de gestuwde gebieden. De ontwikkelde methode is op te splitsen in twee delen: analyse van bestaande hydrogeologische data en geofysisch/geomechanisch onderzoek. In de hydrogeologische data-analyse worden uit de beschikbare peilbuisdata en de lokale kennis zo goed mogelijk locaties van barrières vastgesteld. Vervolgens wordt met het geofysische onderzoek in het veld de ruimtelijke verbreiding van deze en eventuele nieuwe barrières zoveel mogelijk vastgelegd.

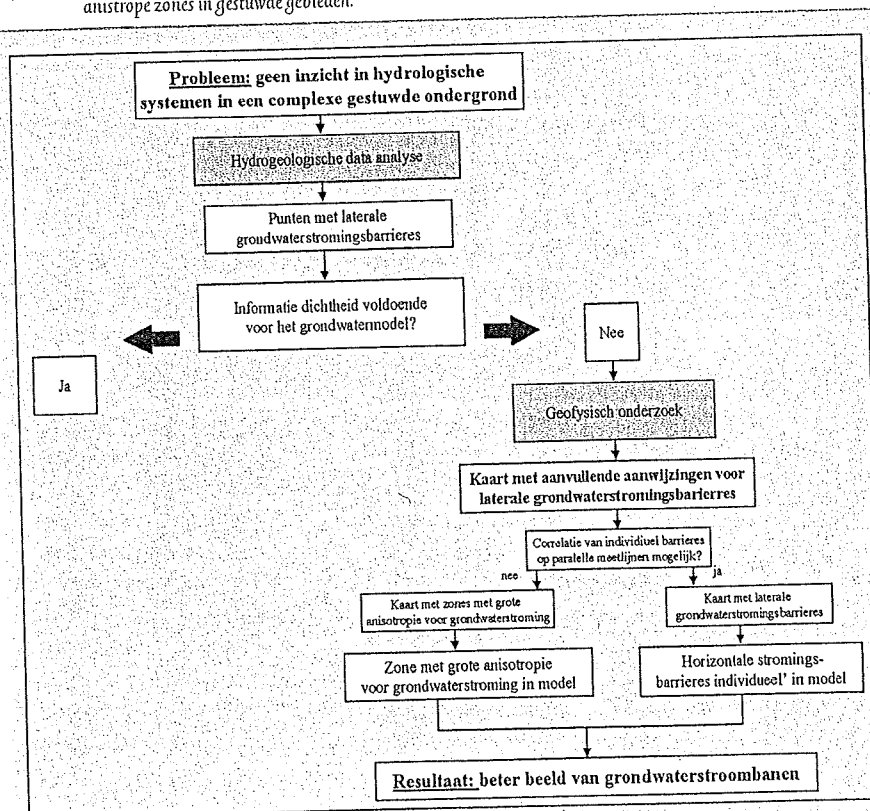
Overzicht van de methode

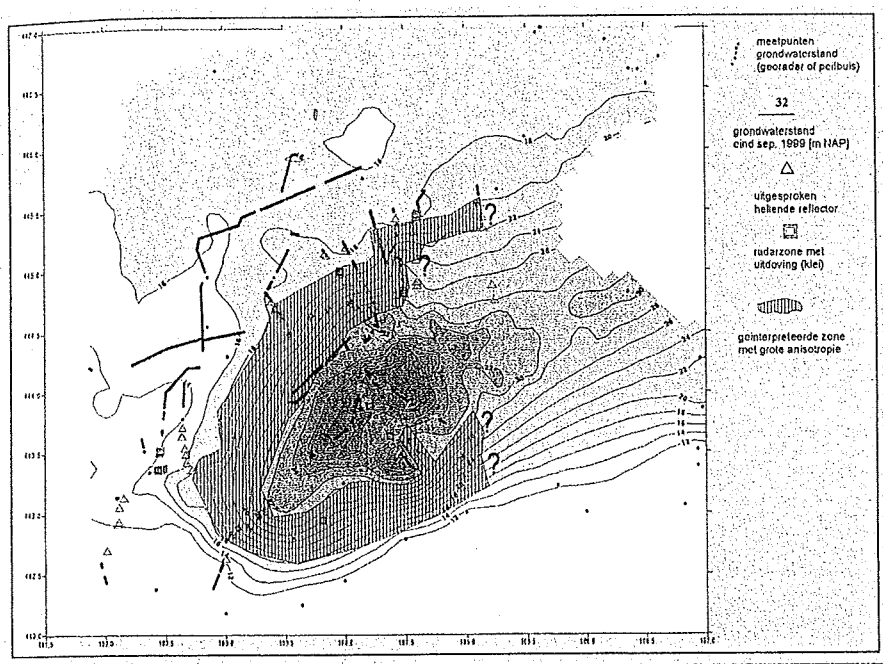
In afbeelding 1 staat een globaal stroomschema voor de kartering van laterale grondwaterstromingsbarrières in gestuwde gebieden.

Hydrogeologische data-analyse

De onderzoeksgebieden worden al tientallen jaren door waterbedrijven gebruikt voor de waterwinning. Boorbeschrijvingen zijn gemaakt, peilbuizen geplaatst en grondwaterstanden gemeten. Om de waterkwaliteit te bewaken zijn chemische analyses op watermonsters uitgevoerd. Aangevuld met de lokale gebiedskennis bestaat dus een veelheid aan hydrogeologische data. Voor dit onderzoek zijn geen nieuwe hydrogeologische data ingewonnen, omdat het plaatsen van extra peilbuizen, vanwege de diepe grondwaterstand op de stuwwallen, relatief kostbaar is. Met de beschikbare stijghoogtegegevens zijn voor de onderzoekslocaties isohypsenkaarten gemaakt. Grote gradiënten zijn aanwijzingen voor mogelijke barrières en/of anisotrope zones. Op locaties op de stuwwal waar peilbuisfilters op verschillende diepten staan, is een indeling in verschillende hydrologische eenheden, met hiertussen kleibarrières, gemaakt. Hierbij is onder meer gebruik gemaakt van tijdstijghoogte-grafieken en in boorbeschrijvingen waargenomen kleilagen. Wanneer de dichtheid van de peilbuisinformatie voldoende groot is, kunnen dwarsprofielen met mogelijke locaties

Afb. 1: Globaal stroomschema voor een methode voor de kartering van laterale grondwaterstromingsbarrières en anisotrope zones in gestuwde gebieden.





Afb. 2: Isohypsens-kaart van het freatische pakket bij Doorwerth (eind september 1999) op basis van georadaronderzoek en peilbuisgegevens.

van hellende stromingsbarrières worden samengesteld. De hydrologische aanwijzingen voor barrières kunnen worden aangevuld met aanwijzingen op basis van lokale gebiedskennis, zoals locaties van natte plekken, sprengkoppen en leemwinningskuilen. Ook in sleuven voor kabels en leidingen kan relevante informatie worden gevonden over de bodemopbouw.

Geofysische en geomechanische technieken

Een aanvullend geofysisch onderzoek is op zijn plaats wanneer de met behulp van de hydrogeologische data-analyse verkregen aanwijzingen voor laterale grondwaterstromingsbarrières onvoldoende zijn voor een goed inzicht in de hydrologische systemen. Een aantal geofysische technieken is getest op hun toepasbaarheid om hellende kleilagen te karteren.

De belangrijkste geteste geofysische technieken zijn: georadar, geo-elektriek (twee soorten) en hoge resolutie seismiek. Tevens is gebruik gemaakt van mechanische sonderingen. Het doel van het gebruik van de geofysische- en geomechanische technieken is tweeledig. Het eerste doel is het opsporen en karteren van de barrières. Het tweede doel is het bevestigen van mogelijke barrières. Regelmatige bevestiging is nodig, omdat uit de geofysische profielen niet altijd eenduidig kan worden afgeleid of de reflecties daadwerkelijk kleischotten zijn.

Bijgaande tabel presenteert een overzicht van de ervaringen met de geofysische en geomechanische technieken binnen OODAM. Georadar is de meest geschikte techniek om aanwijzingen voor laterale grondwaterstro-

Tabel 1. Overzicht van geofysische en geomechanische technieken voor het opsporen van laterale grondwaterstromingsbarrières.

geofysische techniek	beeld	dieptebereik (m-mv)	snelheid techniek (km/dag)	doel van techniek		Werkt het?
				opsporen aanwijzing barrière	bevestigen aanwijzing barrière	
georadar 50 Mhz	2D	2 - 30	8 - 10	++	-	++
continue geo-elektriek	2D	0 - 30	0.4 - 0.5	+/-	+	+/-
mechanische sonderingen	1D	0 - 30	4 - 6 stuks/dag	-	++	++
hoge resolutie seismiek	2D	20 - 500	0.4	karakterisatie diepe (> 20 m-mv) ondergrond		++

mingsbarrières op te sporen, omdat het een zeer snelle techniek is (acht tot tien kolometer per dag) en een tweedimensionaal beeld oplevert. Voor het verifiëren van aanwijzingen voor laterale grondwaterstromingsbarrières kunnen geo-elektrische metingen of mechanische sonderingen gebruikt worden. Bij de mechanische sonderingen worden altijd twee of drie sonderingen vlak naast elkaar gezet in verband met de grote helling van de lagen in de ondergrond. Wanneer de locatie goed toegankelijk is, hebben mechanische sonderingen de voorkeur, omdat ze relatief éénduidige data van de ondergrond opleveren. Met mechanische sonderingen kan ook de waterspanning worden gemeten. Sonderingen zijn relatief goedkoop ten opzichte van boringen. Stenen in de gestuwde ondergrond bemoeilijken echter het plaatsen van sonderingen.

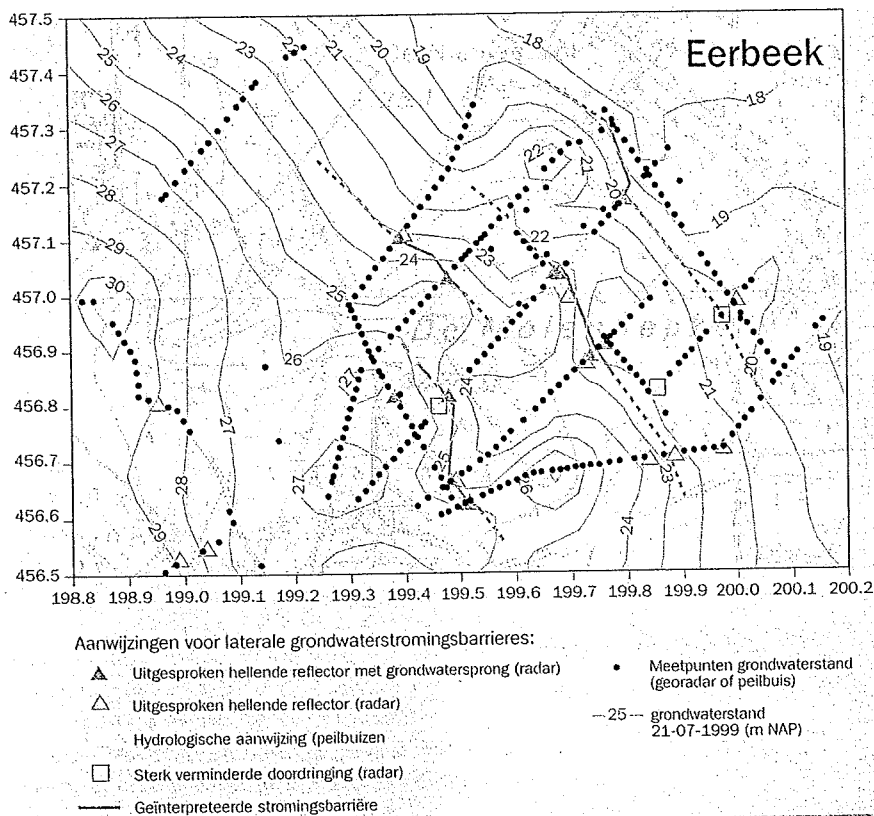
Hoge resolutie seismiek is met succes toegepast voor het vaststellen van de ondergrens van de anisotrope (gestuwde) sedimenten, de laterale verspreiding van de begraven anisotrope sedimenten en het karakter van het diepere (> 30 m-mv) gestuwde sediment.

Bovenstaande methode is op een zestal, door de waterleidingbedrijven geselecteerde, onderzoekslocaties ontwikkeld en toegepast. Hieronder zal voor twee van de zes locaties de onderzoeksvraag en de resultaten beschreven worden. De resultaten van onderzoekslocatie Montferland zijn al uitgebreid beschreven in het blad *Stroming* (nr. 7 uit 2001).

Doorwerth

In het onderzoeksgebied Doorwerth liggen twee grondwateronttrekkingen van Vitens: pompstation Oosterbeek en La Cabine (aan de rand van het onderzoeksgebied, nabij Arnhem). De beide pompstations onttrekken water uit het ongestuwde tweede watervoerende pakket met een gemiddeld debiet van respectievelijk twee en negen miljoen kubieke meter per jaar. In het gestuwde eerste watervoerende pakket bij Doorwerth is de grondwaterstand sterk verhoogd (15 tot 25 meter) in vergelijking tot de grondwaterstand in het freatische pakket in de omgeving. Binnen het gestuwde eerste watervoerende pakket treden ook grote verschillen in gemeten grondwaterstanden op.

Vitens wil graag weten of een interactie bestaat tussen het eerste en tweede watervoerende pakket en of het eerste watervoerende pakket als een klein watersysteem geïsoleerd van het tweede watervoerende pakket functioneert. In het verleden zijn verschillende hypothesen opgesteld over het optreden van sterk verhoogde grondwaterstanden in het stuwgebied. Geen van deze hypothesen is vol-



Afb. 3: Waterwinterrein van Vitens Gelderland bij Eerbeek met laterale grondwaterstromingsbarrières.

doende onderbouwd. De doelen van dit onderzoek zijn uitvinden of de gemeten hoge grondwaterstanden in de peilbuizen in het eerste watervoerende pakket over het hele gebied voorkomen en, indien bevestigd, de verklaring vinden voor deze verhoogde grondwaterstanden.

Uit analyse van gradiënten, absolute grondwaterstanden en grondwaterstandtijdsreeksen in het eerste watervoerende pakket van het centrale deel van de stuwwal blijkt dat het gestuwde eerste watervoerende pakket op deze locatie een aaneengesloten pakket is. Door de georadarmetingen was het mogelijk om een veel gedetailleerdere isohypsenkaart te maken dan uit peilbuisgegevens alleen. Hieruit konden onder andere nauwkeurig de grenzen van het centrale deel met verhoogde grondwaterstanden worden vastgesteld. Uit deze kaart blijkt dat de verhoogde grondwaterstanden in de peilbuizen niet zeer lokaal zijn maar over het hele gebied voorkomen (afbeelding 2).

Naast het gebiedsdekkend in kaart brengen van de grondwaterstand was het doel van het georadar onderzoek bij Doorwerth het lokaliseren van scheefstaande kleilagen die laterale grondwaterstromingsbarrières vormen. In totaal zijn bij Doorwerth en Wolfhese 27 radarprofielen gemaakt met een totale lengte van ongeveer 25 kilometer. Op basis van de hydrogeologische data-analyse en de georadarmetingen aangevuld met sonderingen is

geconcludeerd dat de verhoogde grondwaterstanden in het centrale deel van de Doorwerthstuwwal veroorzaakt worden door anisotrope zones aan de randen van de stuwwal. Dat deze anisotrope zones bestaan uit een aantal zuid hellende slecht doorlatende (klei)lagen kon ook uit de radargrammen worden afgeleid. Deze structuur van de ondergrond verklaart ook het ontspringen van bronnen en beken aan de zuidzijde van de stuwwal.

Eerbeek

Aan de voet van de oostelijke Veluwe-stuwwal ligt het drinkwaterwingebied Eerbeek. Vitens onttrekt met het pompstation Eerbeek vanaf 1993 ongeveer 1.5 miljoen kubieke meter per jaar. In het dorp Eerbeek zijn enkele particuliere en industriële onttrekkingen. Totaal wordt hier 3.8 miljoen kubieke meter per jaar onttrokken. Hiervan onttrekt het waterbedrijf 0.8 miljoen kubieke meter uit de gestuwde pakketten en de resterende hoeveelheid onder de stuwwal.

Om te onderzoeken of door middel van infiltratie van water uit het Apeldoorns Kanaal de onttrekkingen kunnen worden gecompenseerd, is een grondwatermodel opgezet. Uit een eerste onderzoek is de conclusie getrokken dat te weinig bekend is over de geohydrologische opbouw van de stuwwal ter plekke om het model correct te gebruiken.

Op het waterwinterrein van het voormalige Waterbedrijf Gelderland is de informatie-

dichtheid groot: ongeveer 15 peilbuizen/pompputten met één of meerdere filters en het grid met radarprofielen is door de vele bospaden zeer dicht (tussenaafstand ~ 120-150m). Van de hydrogeologische data-analyse is de grondwaterstandenanalyse op grond van minimum-, gemiddelde en maximumwaarden in combinatie met het patroon van de tijdreekscurves succesvol gebleken voor het vinden van aanwijzingen voor laterale grondwaterstromingsbarrières. De radarmetingen zijn eveneens succesvol voor het karteren van aanwijzingen voor laterale grondwaterstromingsbarrières, de oppervlakkige grens tussen gestuwd en ongestuwd sediment en de grondwaterspiegel.

De meeste aanwijzingen voor barrières op de radar zijn in de sonderingen alleen bevestigd met grondwatersprongen in de waterspanningsmetingen en nauwelijks met contrasten in het wrijvingsgetal (lithologische overgangen). Hieruit kan geconcludeerd worden dat zeer dunne (minder dan één decimeter) hellende weerstandbiedende (klei)lagen laterale grondwaterstromingsbarrières kunnen vormen.

De geoelektriek kon op drie van de vier profielen uitsluitend geven of een op basis van radar vermoede barrière daadwerkelijk aanwezig is of niet. De exacte lokalisering van de barrière bleek echter lastig. Sonderingen bleken de meest betrouwbare methode om op basis van radar vermoede barrières te verifiëren.

De hydrogeologische data-analyse en het geofysische onderzoek leveren aldus een groot aantal aanwijzingen op voor laterale grondwaterstromingsbarrières. Deze aanwijzingen zijn volgens verwachte strekkingsrichting van de geologie en zoveel mogelijk evenwijdig aan de grondwaterisohypsen geïnterpoleerd. In totaal zijn twee lange (minstens 650 m) en twee kortere (minstens 400 m) barrières gelokaliseerd (zie afbeelding 3). Gezien de stijghoogteverschillen tussen beide kanten van de barrières (~ 2 m) kan worden aangenomen dat de barrières veel langer zijn. Verdere extrapolatie van de barrières is op basis van de beschikbare data echter niet goed mogelijk.

Buiten het waterwinterrein is de informatie-dichtheid veel lager: de bospaden liggen verder uit elkaar en er zijn weinig peilbuizen. In de grootste deel van de rest van het studiegebied was het daarom niet goed mogelijk de aanwijzingen voor de barrières te interpoleren.

De grenzen van de geohydrologische eenheden lopen parallel aan de stuwwal: evenwijdig aan de strekkingsrichting. Bij de planning van infiltratie vijvers/kanalen dient rekening gehouden te worden met de locaties van de barrières. ¶

Bijlage 3

Onderzoeksopzet en globale kostenraming

Bijlage 3

Globaal plan van aanpak geofysisch bodemonderzoek met kostenraming

De oppervlakte van het gebied waar de waardevolle bomen aanwezig zijn wordt geraamd op circa 235 m bij 252 m is 59.220 m².

Om een globaal beeld te krijgen van de diepte van de leemlagen en de schijngrondwaterspiegels wordt een raster van 50 bij 50 meter over het gebied gelegd. Op de snijpunten van het raster worden boringen gezet. Indien een snijpunt op bebouwing of wegen terecht komt wordt de boring verplaatst maar zal zo dicht mogelijk bij de oorspronkelijk geplande plek geplaatst worden.

De handmatige boringen zullen tot maximaal 6 m-mv worden gezet. Indien er al eerder een ondoorlatende laag wordt aangetroffen zal op de betreffende diepte de boring gestaakt worden. Iedere boring wordt gewaterpast om de NAP hoogte te bepalen. Van de boringen wordt een boorbeschrijving gemaakt en de diepte van de eventueel aanwezige schijngrondwaterspiegel bepaald.

Voor de uitvoering van de boringen zullen er KLIC meldingen verricht worden voor de ligging van kabels en leidingen.

De resultaten van het onderzoek worden weergegeven in een rapportage. In de bijlage bij de rapportage zijn o.a. de boorbeschrijvingen, een tekening met de boorpunten en doorsnede tekeningen weergegeven.

De globale kostenraming staat hieronder weergegeven:

Activiteit	tijd	Kosten per tijdseenheid (€)	Totaal (€)
20 boringen tot 6,0 m-mv	1 man 7 dagen	45,00 per uur	2520,00
KLIC meldingen	4 uur	65,00 per uur	260,00
20 waterpassingen	15 uur	45,00 per uur	675,00
Coördinatie / overleg	4 uur	65,00 per uur	260,00
Tekenwerk boorpuntenkaart	3 uur	50,00 per uur	150,00
Tekenwerk dwarsdoorsneden	5 uur	50,00 per uur	250,00
Interpretatie	4 uur	65,00 per uur	260,00
Rapportage	10 uur	65,00 per uur	650,00
Kwaliteitscontrole	1 uur	90,00 per uur	90,00
Subtotaal			5115,00

Voor de reiskosten wordt € 0,30 per km gerekend. De prijzen zijn exclusief 19 % B.T.W.

Naar aanleiding van de resultaten van het onderzoek kan eventueel een dichter meetnet worden gekozen of ter plaatse van specifieke punten meer boringen worden gezet.