



Het opsporen van grondwaterstromingsbarrières en anisotrope zones in gestuwde gebieden

BART GOES, TNO-NITG

SJEFF 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 strekking 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 hydrologische 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.

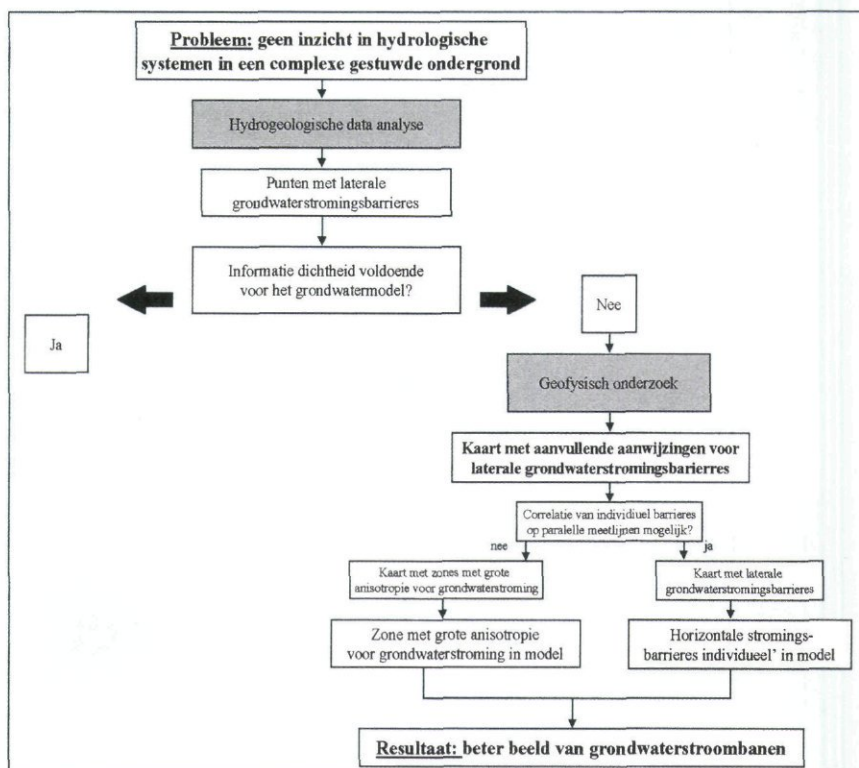
Overzicht van de methode

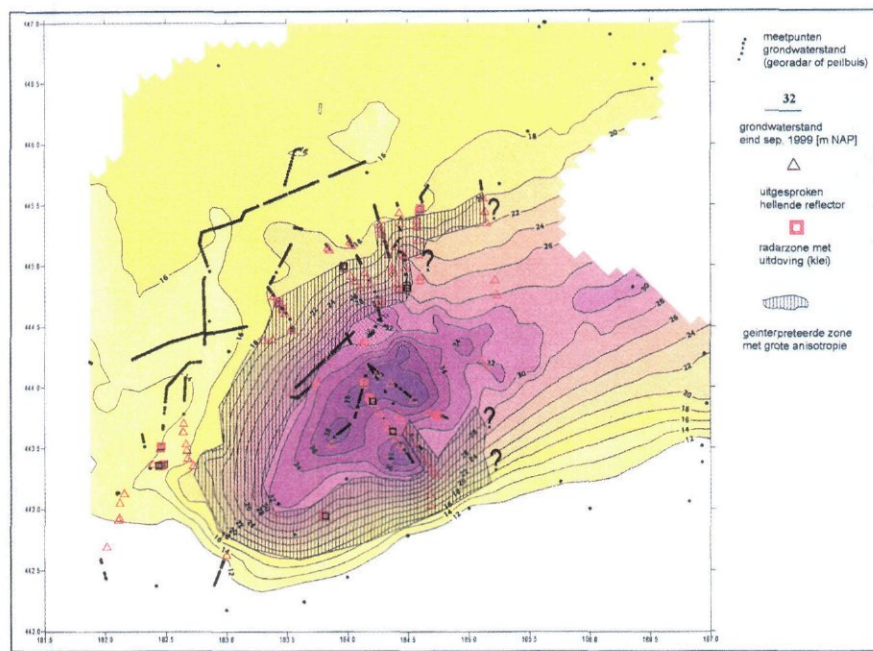
In afbeelding 1 staat een globaal stroomschema voor de kartering van laterale grondwaterstromingsbarrières in gestuwde gebieden.

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: Isohyets-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-

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 Strooming (nr. 7 uit 2001).

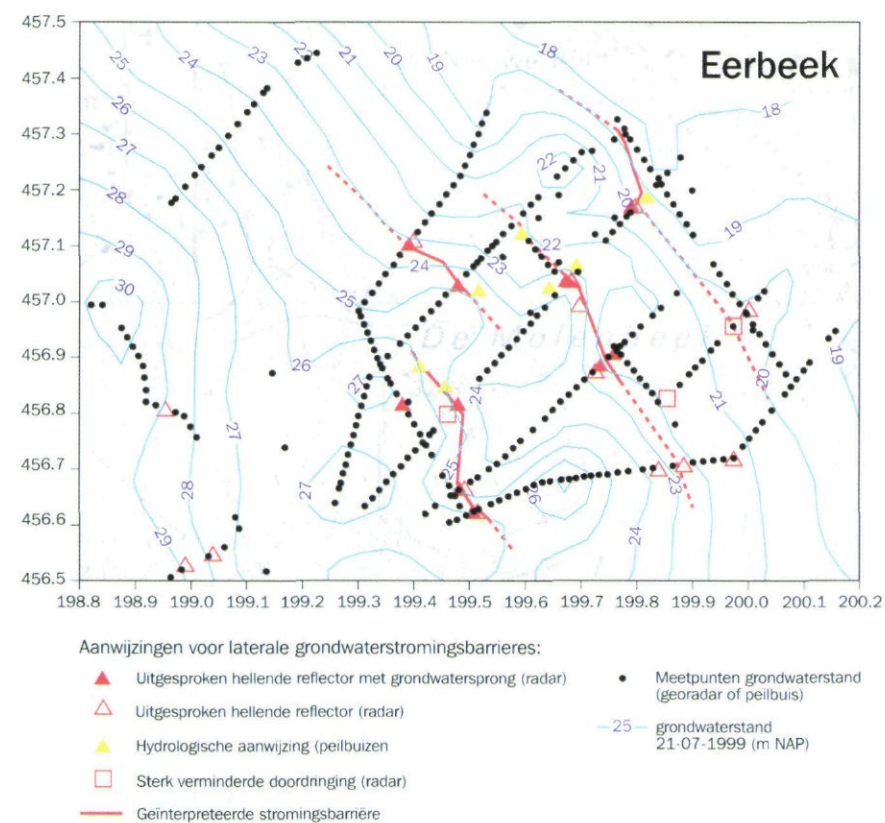
Doorwerth

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 stuwwalgebied. Geen van deze hypothesen is vol-

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		++



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 peilbuisen 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 grondwaterstandtijdreeksen 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 peilbuisen 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 peilbuisen/pompputten met één of meerdere filters en het grid met radarprofielen is door de vele bospaden zeer dicht (tussenafstand ~ 120-150m). Van de hydrogeologische data-analyse is de grondwaterstandenanalyse op grond van minimum-, gemiddelde en maximumwaarden in combinatie met het patroon van de tijdreekscurve 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 geo-elektriek 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 peilbuisen. 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/kanaal dient rekening gehouden te worden met de locaties van de barrières.