

Geo-elektrisch onderzoek zou standaard een onderdeel moeten zijn binnen het geohydrologisch onderzoek

1. Inleiding

Voorafgaand aan de opbouw van geo-hydrologische (computer)modellen, wordt de ondergrond verkend. Hierbij wordt onder andere op basis van de beschikbare boorbeschrijvingen bepaald waar de water-voerende pakketten zich bevinden en waar weerstandbiedende kleilagen voorkomen. Iedere geohydroloog kent hierbij de problemen dat:

a. boorbeschrijvingen zeer beperkt beschikbaar zijn. Bovendien betreffen zij vaak hoofdzakelijk boringen (pompputten



IR. N. L. VAN DER MOOT
WMD

en waarnemingsputten) die geconcentreerd zijn in en rond de grondwaterwinplaatsen. Voor regionale modellen moet de informatie daardoor geëxtrapoleerd worden naar ver buiten de grondwaterwingebieden, waardoor de betrouwbaarheid daar sterk afneemt.

b. de boorbeschrijvingen zelden diep genoeg gaan. De diepteligging van de geo-hydrologische basis moet vaak worden afgeleid van één of hooguit enkele diepe boringen. Ook het voorkomen en de verbreiding van diepere weerstandbiedende kleilagen wordt vaak afgeleid van de informatie uit deze sporadisch beschikbare

Samenvatting

Voorafgaand aan de opbouw van geo-hydrologische computermodellen wordt de ondergrond verkend. Boorbeschrijvingen en geologische kaarten leveren hierbij onvoldoende informatie. In vrijwel geheel Nederland zijn in het verleden echter geo-elektrische oppervlaktemetingen uitgevoerd, die een schat aan informatie bevatten met betrekking tot de opbouw van de diepere ondergrond. Uit deze informatiebron blijkt echter vrijwel niet te worden geput. Binnen onder andere het pilot-project Breevenen is door de WMD een geo-elektrisch onderzoek uitgevoerd. De resultaten leverden een nieuw inzicht op in de opbouw van de diepere ondergrond, dat naderhand door middel van een tweetal diepe boringen is geverifieerd.

diepe boringen. Juist het al dan niet aanwezig zijn van deze diepe kleilagen is belangrijk, onder andere in verband met het voorkomen dan wel het voorkomen van het optrekken van zoutwaterkegels. c. de geologische kaart van Nederland hoofdzakelijk de bovenste 50 m van de ondergrond in kaart brengt.

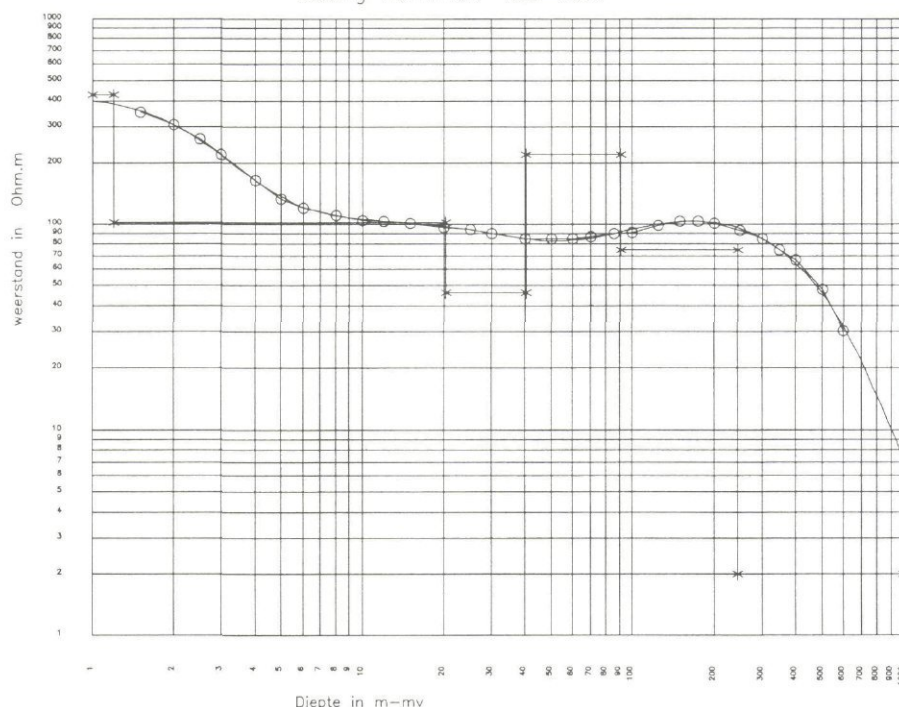
Er bestaat echter een uitermate bruikbare methodiek om onder andere de variabiliteit van de ondergrondse opbouw in kaart te brengen; het geo-elektrisch onderzoek. Deze methodiek is bij iedere geohydroloog vanuit zijn/haar opleiding bekend, maar wordt zelden of nooit toegepast.

In dit artikel wordt kort ingegaan op het principe en de interpretatie van geo-elektrische oppervlaktemetingen. Vervolgens wordt aangegeven hoe het staat met de beschikbaarheid van de gegevens. Besloten wordt met een case-study, aan de hand waarvan de bruikbaarheid van geo-elektrisch onderzoek binnen het geohydrologisch onderzoek wordt aangetoond.

2. Wat zijn geo-elektrische oppervlakte-metingen

Het principe van geo-elektrische oppervlakte-metingen is eenvoudig. Tussen twee stroom-elektroden wordt een elektrische stroom door de grond gestuurd. Met twee meet-elektroden wordt het spanningsverschil gemeten. Als de stroom-elektroden verder uit elkaar worden geplaatst, gaat de stroom dieper door de ondergrond en gaat dus door meerdere sedimentlagen. Iedere sedimentlaag heeft zijn eigen elektrische eigenschappen. Zo geleiden klei- en veenlagen de elektrische stroom goed (lage specifieke formatieweerstanden) en zand- en grindlagen slecht (hoge specifieke formatieweerstanden). Ook de grondwaterkwaliteit heeft effect op de formatieweerstand. Jong grondwater in infiltratiegebieden heeft nog weinig stoffen in zich kunnen oplossen en heeft dus een hoge specifieke weerstand. Daarentegen heeft relatief oud kwelwater een lage specifieke weerstand.

Meting nummer: 12E-203



coördinaten
(246000 , 563200)

Afb. 1 - voorbeeld van een gemeten weerstandskromme met interpretatie.

Diepte in m-mv	Weerstand in Ohm.m
1.20	427.00
20.30	102.00
40.40	46.00
90.90	220.00
244.70	75.00
Eindweerstand	2.00

Gesommeerd kwadr. verschil
op log-schaal: 0.002

Doordat de stroom-elektroden steeds verder uit elkaar worden geplaatst, bepalen de elektrische eigenschappen van steeds meer sedimentlagen met de daarin aanwezige grondwaterkwaliteit de gemeten specifieke weerstand. Het resultaat is een weerstandskromme (zie afb. 1).

3. Interpretatie

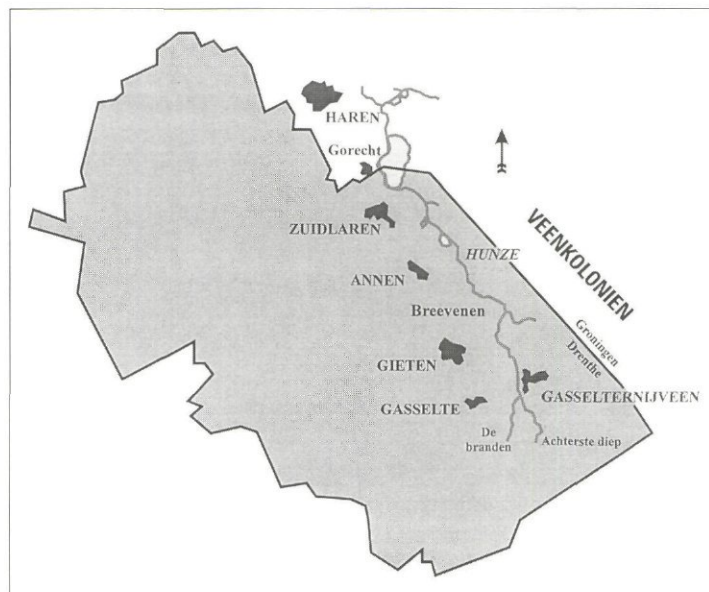
Bij de interpretatie wordt ervan uitgegaan dat de ondergrond opgebouwd is uit horizontaal gelaagde formaties die homogeen en isotroop zijn. Tegenwoordig worden de metingen met computerprogramma's, zoals GEO-ELEC [Van der Moot, 1995], geïnterpreteerd. Hierbij wordt voor iedere laag de onderkant en de specifieke formatieweerstand ingevoerd (zie afb. 1). Het programma berekent vervolgens de daarbij behorende weerstandskromme. Uiteraard moeten bij een goede interpretatie de gemeten en berekende weerstandskrommen vrijwel samen vallen. Hier treedt evenwel het probleem van het equivalentie-principe op; een vrijwel onbepaald aantal schematisaties levert dezelfde weerstandskromme op. De oplossing is dus niet uniek. Het is daarom belangrijk om alle bekende gegevens uit boorbeschrijvingen en grondwaterkwaliteit-analyses bij de interpretatie mee te nemen.

Verder kan worden uitgegaan van het principe dat 'Moeder Natuur geen gekke dingen doet'. Voor de waarde van iedere interpretatie-parameter (diepteligging van de geo-elektrische basis in m-NAP, diepteligging van de laagovergangen in m-NAP, specifieke formatie-weerstanden) in de ene meting geldt, dat deze samenhang moet vertonen met die in de rondom liggende metingen. Door per parameter op een kaart op de locatie van iedere meting de geïnterpreteerde waarde uit te zetten en iso-lijnen hiertussen te trekken, kan op deze samenhang gecontroleerd worden. Het iso-lijnen patroon moet logisch zijn. Zo behoort de specifieke weerstand geleidelijk te verlopen, waarbij deze in infiltratiegebieden hoog en in kwelgebieden laag is. De diepteligging van de laagovergangen moet eveneens geleidelijk te verlopen. Dit geldt uiteraard niet ter plaatse van discontinuïteiten zoals erosiegeulen en breuken. Metingen, waarvan de geïnterpreteerde waarde het kaartbeeld sterk verstoren, moeten opnieuw geïnterpreteerd worden. Hierdoor is het interpreteren van geo-elektrische oppervlakte-metingen een iteratief proces, dat pas klaar is, als voor alle parameters logische iso-lijnen patronen zijn verkregen.

4. Beschikbare gegevens

In de periode lopend van het eind van de

Afb. 2 - Locatie pilot-project Breevenen.



jaren zestig tot begin jaren tachtig, zijn in opdracht van Rijkswaterstaat door TNO in vrijwel geheel Nederland geo-elektrische oppervlaktemetingen uitgevoerd ter bepaling van de ligging van het zoet/zoutgrensvlak. De onderlinge afstand van deze metingen bedraagt circa 1,5 à 2 km, waardoor een uniforme gebiedsdekking is verkregen.

In eerste instantie is begonnen deze metingen op de klassieke wijze te interpreteren met behulp van standaardkrommen. Rond 1972 kwam het eerste computerprogramma voor het interpreteren van de metingen beschikbaar. Dit programma draaide op een volgens de huidige maatstaven trage HP-machine. Hoewel de interpretatiemogelijkheden hiermee verbeterden, bleef het een zeer tijdrovend proces. Het resultaat was hierdoor niet altijd de best mogelijke interpretatie. Hierbij komt nog dat niet alle relevante informatie bij het interpreteren werd meegenomen. Bovendien werd het zwaartepunt bij de interpretatie gelegd bij het fitten van de 'staart' van de kromme; het begin werd van ondergeschikt belang beschouwd. Het begin van de kromme bepaalt evenwel in sterke mate het verdere verloop van de gemeten kromme. Het verdient daarom aanbeveling de geo-elektrische metingen (beschikbaar bij het NITG, voorheen TNO) opnieuw te interpreteren, voordat geohydrologische schematisaties hiervan worden afgeleid.

5. Case-study: het pilot-project Breevenen

Aanleiding

De WMD is bezig met het onderzoek voor het pilot-project Breevenen. De aanleiding voor dit onderzoek is uitgebreid beschreven in H₂O (28) nr. 22 [Hoogsteen, K. J. en

Buitenkamp, M, 1995]. Het project behelst een grondwaterwinning van 3,5 Mm³/jaar in het gebied Breevenen (zie afb. 2), gecombineerd met de ontwikkeling van vochtige natuurgebieden.

Het gebied Breevenen ligt aan de voet van de Hondsrug in het Hunzedal. Door de sterke gradiënt van het maaiveldniveau, die gevolgd wordt door de stijghoogte van het grondwater, heerst hier van nature een sterke kweldruk. Aangezien het gebied landbouwkundig in gebruik is, worden de Breevenen sterk gedraineerd. Voor het pilot-project zal de oorspronkelijke hydrologische situatie zoveel mogelijk worden hersteld. Hiertoe zal de drainage-capaciteit van het gebied sterk worden verminderd, onder andere door het opzetten van de oppervlaktewaterpeilen.

Geo-elektrisch onderzoek

Om de hydrologische en ecologische effecten van de voorgenomen ingrepen te kunnen voorspellen is een goed geohydrologisch model nodig. De hydrologische en ecologische effecten van de ingreep zullen op perceelsniveau voorspeld moeten worden. Essentieel hierbij is dat de variabiliteit in de opbouw van de ondergrond goed in het model zit. Probleem is dat bij de verkenning van de ondergrond op het gewenste detailniveau, de toen nog drie diepe boringen in de omgeving van het gebied onvoldoende waren. Wel is de dichtheid van uitgevoerde geo-elektrische oppervlaktemetingen in het gebied vrij groot. De onderlinge afstand van de metingen is hier kleiner dan 1 km. Een deel van deze metingen was uitgevoerd aan het eind van de jaren zestig en door TNO geïnterpreteerd [Csonka, 1980]. In 1980 zijn aanvullende metingen uitgevoerd voor het onderzoek waarop de vergunning-

aanvraag voor de winning Annen is gebaseerd. Deze metingen zijn in 1989 geïnterpreteerd door de WMD [Csengö, 1989]. Bij deze interpretatie zijn de metingen ingepast in het kaartbeeld dat door TNO reeds was afgeleid. Er waren echter al aanwijzingen dat dit beeld niet klopte, doordat voor geo-hydrologisch veldonderzoek 2 diepe putten waren geboord op de winlocatie Annen.

Voor het project Breevenen, zijn de geo-elektrische metingen in een beperkt gebied tussen de winning Annen en de locatie Breevenen opnieuw bekeken. Door alle beschikbare informatie in de interpretaties mee te nemen en gebruik te maken van de geavanceerdere mogelijkheden van het geo-elektrisch interpretatie programma GEO-ELEC [Van der Moot, 1995], leidde dit tot een afwijkend beeld van de opbouw van de diepe ondergrond. Volgens de hernieuwde interpretaties [Van der Moot, 1996] bleek de geo-hydrologische basis zich onder het gebied Breevenen niet op 300 m minus maaiveld te bevinden, zoals door TNO was afgeleid, maar op 212 m minus maaiveld. Bovendien werd een erosiegeul aangetoond, waarbinnen de geo-hydrologische basis reikte tot maximaal ca. 285 m minus maaiveld. Deze erosiegeul moet volgens deze interpretatie volledig zijn opgevuld met grove sedimenten.

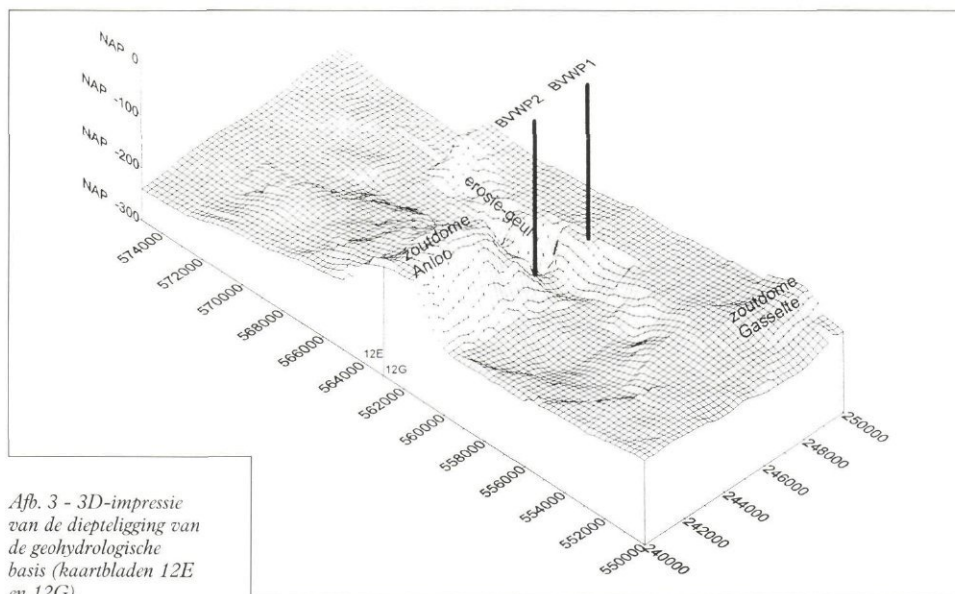
Zo'n diepe erosiegeul lijkt zeer extreem, maar uit geologisch onderzoek [RGD, 1990] is bekend dat dergelijke diepe erosiegeulen in dit gebied kunnen voorkomen. Deze zijn aan het einde van de ijstijd in het Elsterien uitgesleten en opgevuld met afzettingen behorend tot Peelo-formatie.

Toetsing resultaten in de praktijk

Om dit nieuwe beeld van de opbouw van de diepe ondergrond te verifiëren zijn eind 1996 2 diepe verkenningboringen gemaakt, die zijn afgewerkt als waarnemingsput. De eerste boring was gepland buiten de erosiegeul, waar de geo-elektrische basis op 212 m minus maaiveld werd verwacht. Deze verwachting werd zelfs nog overtroffen toen de boring al op 174 m minus maaiveld de basale kleilaag aantroef.

De tweede boring was daar gepland waar de erosiegeul werd verwacht. Ook deze verwachting werd bewaarheid, toen in plaats van op 285 m minus maaiveld, de basale kleilaag op 269 m minus maaiveld werd aangetroffen.

De afwijkingen tussen de verwachte diepte en de geringere aangetoonde diepte van de geo-hydrologische basis, worden voor een groot deel verklaard door het (te) beperkte onderzoeksgebied. Circa 3 km ten zuid-



Afb. 3 - 3D-impressie van de diepteligging van de geo-hydrologische basis (kaartbladen 12E en 12G).

westen van het onderzochte gebied bevindt zich de zoutpeiler van Anloo. Door het naar boven dringen van de peiler steenzout, is de geo-hydrologische basis hier tot minder dan 40 meter minus maaiveld omhoog gekomen. De geo-hydrologische basis onder het gebied Breevenen blijkt zich dus op de flank van de zoutpeiler van Anloo te bevinden. Bovenstaande onderstreept het belang om het geo-elektrisch onderzoeksgebied niet te klein te kiezen, opdat het regionale verloop van een parameterwaarde goed kan worden meegenomen.

Herziening kaartbladen 12E en 12G

Gebaseerd op de positieve resultaten van het beperkte onderzoek, werd besloten om de interpretaties van alle geo-elektrische metingen van de kaartbladen 12E [Van der Moot, 1997] en 12G [Van der Moot, 1997], die gezamenlijk het grootste deel van het geo-hydrologisch modelgebied beslaan, volledig te herzien. Dit resulteerde in een geheel ander inzicht in de opbouw van de diepe ondergrond.

Enkele resultaten zijn:

a. Geo-hydrologische basis

De diepteligging van de geo-hydrologische basis blijkt zeer sterk te variëren (zie afb. 3). Het blijkt dat oorspronkelijk de basis vrij vlak moet zijn geweest. Door zouttectoniek is de basis echter sterk omhoog gekomen bij Anloo en Gasselte. Bij de zoutpeiler van Anloo zelfs tot minder dan 40 m minus NAP. Verder is zeer duidelijk de Elsteriene erosiegeul te herkennen, die van zuid naar noord loopt ten oosten van de zoutpeiler van Anloo.

b. Voorkomen en verbreiding kleilichamen

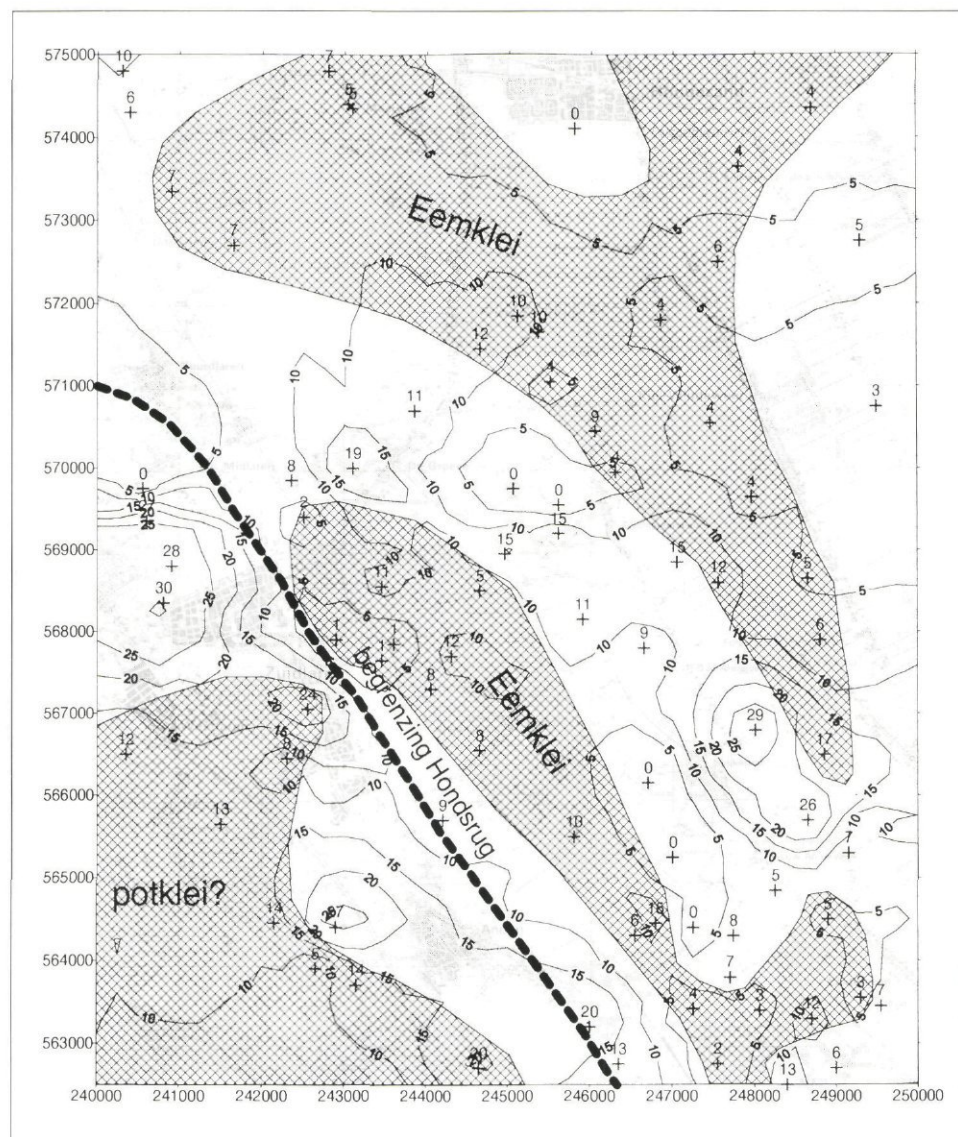
Boven het grofzandig deel van het watervoerend pakket, wordt op enkele plaatsen

een kleilichaam aangetroffen (zie afb. 4). In het Hunzedal blijkt zich langs de voet van de Hondsrug een lichaam Eemklei te bevinden. Meer naar het noordoosten bevindt zich een tweede lichaam Eemklei. Tussen beide kleilichamen in ontbreekt de Eemformatie, of is deze zandig ontwikkeld. Onder het Drents Plateau/Hondsrug, blijkt eveneens een uitgebreid kleilichaam voor te komen. Aangenomen mag worden dat het hier Potklei betreft.

c. Anisotropie

Uit het kaartbeeld van de specifieke formatieweerstand van zowel het grofzandig watervoerend pakket als van het onderste, over het algemeen fijnzandige watervoerend pakket, blijkt dat deze weerstanden aan de voet van de Hondsrug in het Hunzedal zeer hoog zijn, terwijl het hier een kwelgebied betreft. Een aannemelijke verklaring voor de aangetroffen hoge formatieweerstanden is, dat relatief jong regenwater, dat nog arm is aan opgeloste stoffen, snel zeer diep in de ondergrond kan doordringen. Dit kan alleen gebeuren, als de verticale doorlatendheid veel groter is dan gebruikelijk. Het ligt dan voor de hand om te concluderen dat dit zijn oorsprong vindt in een inclinatie van de sedimentatiestructuren. Zo'n scheefstelling van de sedimentatiestructuren kan alleen worden verklaard als gevolg van stuwwerschuiven veroorzaakt tijdens de voorlaatste (Saalien) ijstijd.

Vergelijkbare anisotropie-structuren worden aangetroffen op de flanken van de zoutpeiler van Anloo. Door het opdringen van het steenzout, zijn de bovenliggende sedimentatiestructuren verstoord. Ook dit heeft geresulteerd in anisotropie, die met de geïnterpreteerde metingen duidelijk kan worden aangetoond. Ook hier geldt dat



Afb. 4 - Voorkomen klei boven het grofzandig deel van het watervoerend pakket (kaartblad 12E).

relatief jong regenwater snel tot op grote diepte doordringt, wat zich uit in hoge specifieke formatieweerstanden voor zowel het grofzandig deel van het watervoerende pakket als het onderste fijnzandige watervoerende pakket.

6. Conclusies

Het blijkt dat geo-elektrische oppervlakte-metingen een krachtig hulpmiddel zijn bij het in kaart brengen van de variabiliteit van de ondergrond. Hierbij moet ervan worden uitgegaan dat de oudere interpretaties, door de destijds beschikbare methoden niet zonder meer gebruikt kunnen worden, maar dat de metingen opnieuw geïnterpreteerd moeten worden. Doordat het interpreteren een iteratief proces is, waarbij het onderzoeksgebied niet te klein gekozen moet worden, is dit vrij arbeidsintensief. Het resultaat is echter alleszins de moeite waard. De diepteligging van de geo-hydrologisch basis, de dikte-variatie

van de watervoerende pakketten en het voorkomen en de dikte van kleilagen kan goed in kaart worden gebracht. Ook anisotropie kan worden aangetoond.

7. Aanbevelingen

Het wordt sterk aanbevolen om geo-elektrisch onderzoek een standaard onderdeel te laten zijn van het verkennen van de ondergrond ten behoeve van geo-hydrologisch onderzoek. Hierbij moet de geldigheid van de resultaten van de interpretaties telkens getoetst worden, zodra nieuwe boorbeschrijvingen beschikbaar komen.

Literatuur

1. Csonka, J. (1981). *Geo-elektrisch onderzoek Veendam*. Dienst Grondwaterverkenning TNO.
2. Csengő, T. (1989). *Geo-elektrisch onderzoek Assen*. WMD, Assen.
3. Rijks Geologische Dienst (1990). *Assen West (12W), Assen Oost (12O)*. Toelichting bij de Geologische kaart van Nederland 1:50.000, Haarlem.

4. Hoogsteen, K. J. en Buitenkamp, M (1995). *Waterwinning en natuurontwikkeling in het Hunzedal*. H₂O (28) (1995), nr. 22.
5. Moot, N. L. van der (1995). *Handleiding 'GEO-ELEC'*. WMD, Assen.
6. Moot, N. L. van der (1996). *Geo-elektrisch onderzoek ten behoeve van het project Breevenen*. WMD, Assen.
7. Moot, N. L. van der (1997). *Geo-elektrisch onderzoek kaartblad 12E (Zuidlaren)*. WMD, Assen.
8. Moot, N. L. van der (1997). *Geo-elektrisch onderzoek kaartblad 12G (Gieten)*. WMD, Assen.

Summaries

• End of page 627.

H₂O (30) 1997, nr. 21; 645

G. A. VAN DEN BERG, L. M. VAN DER HEIJDT, J. J. G. ZWOLSMAN and J. P. G. LOCH:

The role of reactive sulphides in the immobilisation of heavy metals in the Brabantse Biesbosch

The concept of equilibrium partitioning, used for assessing quality standards for heavy metals in soils, sediments and suspended matter, does not discriminate between different binding mechanisms. However, the solid phases that control the concentrations of heavy metals in interstitial waters of (anoxic) sediments differ from those controlling heavy metal concentrations in surface water. In this study, the role played by reactive sulphides (AVS) in the immobilisation of heavy metals was investigated in contaminated freshwater sediments from the Brabantse Biesbosch. Depth profiles of AVS show that, in the surface sediment layer, heavy metal concentrations are not controlled by precipitation with sulphides. As a result of the strong variations in AVS-content with depth, the potential toxicity of the surface sediment layer can not be predicted on the basis of homogenized samples (from e.g. the top 10 cm). The use of partition coefficients, based on data from surface waters, results in underestimation of the actual heavy metal concentrations in interstitial waters, especially at the sediment-water interface. The relatively high metal concentrations in the interstitial water are caused by complexation of metals with organic (DOC) and inorganic (carbonates, sulphides) ligands. The increased mobility of heavy metals in the sediment surface layer may lead to metal transport to the water column. However, the high metal concentrations in the interstitial water do not necessarily lead to toxicological effects, because complexation of heavy metals decreases their biological availability.

H₂O (30) 1997, nr. 21; 649

L. W. BREEDVELD and W. M. G. M. VAN LOON:

Water based polymers: a problem for the aquatic environment?

Water based polymers are used in countless applications, such as in paints, textiles, packaging, for the dehydrating of sludge, to name but a few. Consequently, the occurrence of emissions may well be substantial. As part of the assessment for the granting of licences, the substances' degradability and toxicity is of importance. In general, water based polymers are poorly biodegradable. Less is known about the aquatic toxicity, but there are some indications that water based polymers are possible aquatic toxic, especially where cationic polymers and flocculants are concerned. With this in mind, the question we need to ask is whether water based polymers are a real problem for the aquatic environment.