

## MONITORING VAN DE VERDROGINGS- EN VERZILTINGSPROBLEMATIEK IN HET KUSTGEBIED

Dieter Vandevelde

Lic. Dieter Vandevelde. Vakgroep Geologie en Bodemkunde, Universiteit Gent. Krijgslaan 281, S8, B-9000 Gent. Tel. + 32 9 264 46 33; Fax. + 32 9 264 49 88. E-mail: [dieter.vandevelde@rug.ac.be](mailto:dieter.vandevelde@rug.ac.be)

### 1. Inleiding

De ondiepe ondergrond in het kustgebied is opgebouwd uit ongeconsolideerde sedimenten van mariene en continentale oorsprong. Het is een pakket bestaande uit een afwisseling van zandige, siltige, kleiige en venige lagen. Hydrogeologisch gezien worden zandige lagen door hun grove korrel beschouwd als goed doorlatende lagen, terwijl siltige, kleiige en venige lagen eerder matig tot slecht doorlatend zijn. Deze afwisseling van goed, matig en slecht doorlatende lagen heeft een belangrijke invloed op grondwaterstromingspatronen en grondwaterkwaliteit. In goed doorlatende lagen zal het grondwater zich vrij gemakkelijk lateraal verplaatsen, terwijl in matig tot slecht doorlatende lagen de grondwaterstroming trager en voornamelijk vertikaal zal gebeuren. Door de goed doorlatende eigenschappen van zandige lagen zal grondwater hierin vrij gevoelig zijn voor veranderingen in waterkwaliteit, dit in tegenstelling met matig tot slecht doorlatende lagen waar de kwaliteit van het grondwater weinig in de tijd zal variëren.

Naast de lithologische opbouw van het grondwaterreservoir hebben verschillende processen een belangrijke invloed op de grondwaterkwaliteit en grondwaterstromingspatronen. De kwaliteit van het grondwater hangt samen met verschillende processen die in het grondwaterreservoir kunnen optreden. De voornaamste zijn oplossing- en neerslagreacties, redoxprocessen, kationuitwisselingsreacties en complexvormingsreacties. Getijden zorgen voor wisselende grondwaterstanden en -stromingen, en neerslag voor een verzoeting van het ondiepe gedeelte van het grondwaterreservoir. De laatste 2000 jaar spelen antropogene invloeden een belangrijke rol, zoals drainage, irrigatie, grondwaterwinning, bemaling, grondbewerking, grote waterbouwkundige werken, agrarische en industriële pollutie.

Grondwaterstromingspatronen en grondwaterkwaliteit in het kustgebied zijn dus het resultaat van een complexe interactie tussen verschillende natuurlijke en antropogene processen.

### 2. Het Quartair aquifersysteem

Het Quartair aquifersysteem wordt gedefinieerd als het pakket slecht, matig en goed doorlatende lagen boven de klei van de Formatie van Kortrijk (Tertiair). Deze klei vormt door zijn homogeniteit, dikte en laterale continuïteit een zeer slecht doorlatende laag en daarom de basis van het Quartair aquifersysteem. De slecht doorlatende lagen binnen het aquifersysteem zijn eerder heterogeen en discontinu. Aangezien de top van het Tertiair in het kustgebied niet alleen gevormd wordt door de klei van de Formatie van Kortrijk, maar ook door zandige afzettingen van de formatie van Maldegem, Aalter, Gent en Tielt, worden deze goed doorlatende afzettingen opgenomen in het Quartair aquifersysteem. Dit aquifersysteem bestaat dus uit Quartaire en Tertiaire afzettingen met aan de basis de klei van de Formatie van Kortrijk. De gemiddelde dikte van het Quartair aquifersysteem bedraagt 25 m.

### 3. De verziltings- en verdrogingsproblematiek

Toen de zee zich terugtrok uit het kustgebied, bleef een ondergrond verzadigd met zout water achter. Het gebied was nu onderhevig aan continentale processen. Door neerslag ontstond zoet oppervlaktewater dat infiltreerde in de bodem en geleidelijk aan zorgde voor een verzoeting van het grondwaterreservoir. Het zoute grondwater werd teruggedrongen naar diepere lagen. De belangrijkste infiltratiegebieden waren de gebieden waar goed doorlatende lagen dagzoomden zoals duinen en kreekruigen. Hierdoor ontstonden grondwaterstromingspatronen die vanuit de duinen en kreekruigen gericht waren naar zee en poldergebied. In laaggelegen poldergebieden ontstond hierdoor een kwel van zout grondwater. Tussen het duingebied en de zee ontstond een grondwaterstromingspatroon waarbij een ondiepe stroming optrad van zoet grondwater vanuit de duinen naar de zee en een diepe stroming van zout grondwater vanuit de strandzone naar het duingebied. Er stelde zich dus een evenwichtssituatie in afhankelijk van neerslag, evapotranspiratie, zeespiegelstijgingen en -dalingen.

Het verzoetend proces had als resultaat dat er belangrijke zoetwaterlenzen ontstonden in het kustgebied. Aangezien de ondergrond van het duingebied voornamelijk is opgebouwd uit goed doorlatende lagen, vormden zich hier de grootste zoetwaterlenzen, waarvan sommige reikten tot op de Tertiaire klei.

Toen de mens ten tonele verscheen ontstonden wijzigingen in het natuurlijk evenwicht. Door o.a. waterwinning, irrigatie, drainage, bemalingen en waterbouwkundige werken werden natuurlijke grondwaterstromingspatronen verstoord. Enerzijds had dit als resultaat dat in sommige gebieden de gemiddelde grondwaterstand verlaagde waardoor er een verdroging optrad van het gebied met belangrijke gevolgen voor fauna en flora. Anderzijds hadden deze ingrepen een impact op het natuurlijk verzoetingsproces. Waar zoet grondwater op grote schaal werd opgepompt, werd op sommige plaatsen de natuurlijke stroming vanuit infiltratiegebieden zoals duinen en kreekgebieden verstoord en ontstond een stroming van zout water vanuit de polders en de strandzone naar de duinen en kreekgebieden.

### 4. Onderzoek

In de periode 1963 tot 1973 werd de verziltingstoestand vastgelegd op een verziltingskaart (De Breuck *et al.*, 1963-1973). Deze kaart geeft de diepte van het grensvlak weer tussen zoet en zout water (TDS = 1500 mg/l). Op deze kaart is duidelijk merkbaar dat belangrijke zoetwaterlenzen gesitueerd zijn ter hoogte van duingebieden en kreekruigen (zie fig. 1).

Na 1973 werden er nog verschillende studies uitgevoerd in het kustgebied, maar een grootschalig onderzoek over het volledige kustgebied werd sindsdien niet meer uitgevoerd.

Nu komt Europa echter om de hoek kijken. In het kader van de Europese Kaderrichtlijn dienen de lidstaten ernaar te streven de achteruitgang van de toestand van het grondwater te voorkomen, grondwaterlichamen herstellen en zorgen voor een evenwicht tussen onttrekking en aanvulling van grondwater, teneinde in alle grondwaterlichamen een goede grondwaterstand te bekomen. Om de doelstellingen van de Europese Kaderrichtlijn te verwezenlijken heeft de Vlaamse Regering in haar milieubeleidsplan, en meer bepaald via het thema verdroging, een herstelprogramma opgenomen om de grondwaterwinningen in het kustgebied te laten afstemmen op de draagkracht van het watersysteem. Om dergelijk herstelprogramma te kunnen uitwerken is er informatie nodig over de evolutie van het grondwaterpeil en de zoet-zoutwaterverdeling in het kustgebied. De voorbije tientallen jaren werden er geregeld onderzoeken uitgevoerd door verschillende instanties in het kader van verschillende studies, maar het ontbrak tot nu toe aan een meetnet die toeliet om het beheer van de zoetwatervoorraden te ondersteunen en de

verdroging en verzilting in het volledige kustgebied op te volgen. Wel is een potentieel aan waarnemingsputten aanwezig die kunnen gebruikt worden om een dergelijk meetnet uit te bouwen. In opdracht van Aminal-Afdeling Water werd daarom in april 2001 gestart met de uitbouw van een primair grondwatermeetnet in het kustgebied.

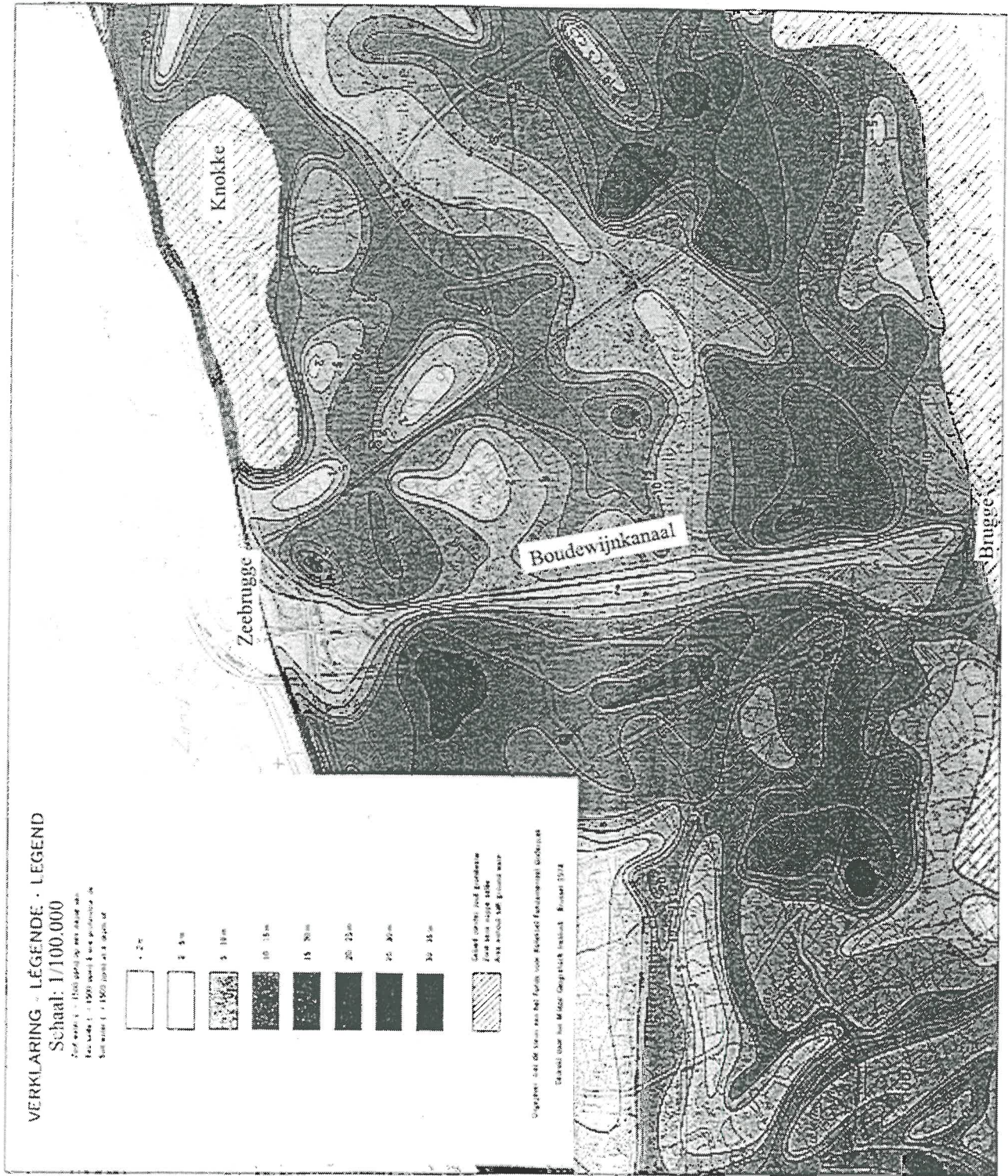


Fig. 1: Uittreksel uit de verziltingskaart (De Breuck et al., 1963-1973)

## 5. Monitoring van grondwater

Grondwatermonitoring gebeurt voornamelijk met behulp van waarnemingsputten (ook peilbuizen, peilputten, piëzometers of gewoon putten genoemd). Deze PVC-buizen zijn onderaan voorzien van een filter en worden vertikaal in de grond geplaatst, snijdend met de watertafel. Ter hoogte van het filterniveau stroomt grondwater de waarnemingsput binnen wat toelaat om stijghoogten op te meten en waterstalen te nemen om kwaliteitsanalyses uit te voeren.

Door het plaatsen van filters op verschillende dieptes in éénzelfde boorgat of op kleine afstand van elkaar, kan een beeld verkregen worden over de toestand van het grondwater op verschillende dieptes in het Quartair aquifersysteem.

De monitoring van de zoet-zoutwaterverdeling gebeurt bij voorkeur m.b.v. geleidbaarheidsmetingen en grondwaterkwaliteitsanalyses, terwijl de bepaling van grondwaterstromingspatronen gebeurt door het opmeten van stijghoogten.

## 6. Zoetwaterstijghoogten

Grondwaterstanden in waarnemingsputten geven ons enerzijds informatie over de fluctuaties van de grondwaterspiegel in een bepaald gebied en anderzijds kunnen horizontale en verticale grondwaterstromingspatronen eruit afgeleid worden. Hydraulische stijghoogten worden opgemeten door de diepte van het waterpeil te meten t.o.v. een vast referentiepunt, meestal het maaiveld of de top van de waarnemingsput. Dit referentiepunt wordt genivelleerd in mTAW. Om grondwaterstromingspatronen te kunnen afleiden uit stijghoogten, dient de dichtheid van het water dezelfde te zijn. Meestal gebruikt men hiervoor zoetwaterstijghoogten, dus een stijghoogte indien de waterkolom in de waarnemingsput volledig bestaat uit zoet water. Bij grondwaterreservoirs die gevuld zijn met zoet, zout en brak water (zoals in het kustgebied) is het daarom niet voldoende om alleen de diepte van het water te meten; voor het bepalen van een zoetwaterstijghoogte dient het specifiek gewicht van de waterkolom in rekening gebracht te worden. Hierbij wordt verondersteld dat de waterkolom over de volledige lengte van de waarnemingsput bestaat uit water met één specifiek gewicht. Wanneer dit niet het geval is, dienen de verschillende specifieke gewichten gekend te zijn, alsook hun overeenkomstige diepte-intervallen. Dit wordt afgeleid uit resistiviteitsmetingen die in het boorgat of in de waarnemingsput zelf worden uitgevoerd.

Stijghoogten worden beïnvloed door getijden, neerslag, nabijgelegen oppervlaktewater en antropogene invloeden zoals drainage, irrigatie en waterwinning. Het maandelijks opvolgen van de grondwaterstand is een minimum om algemene tendenzen in grondwaterstanden op te volgen. Om kortstondige fluctuaties in grondwaterstanden op te meten dient gebruik te worden gemaakt van automatische registratie-apparatuur zoals bvb. 'Divers'.

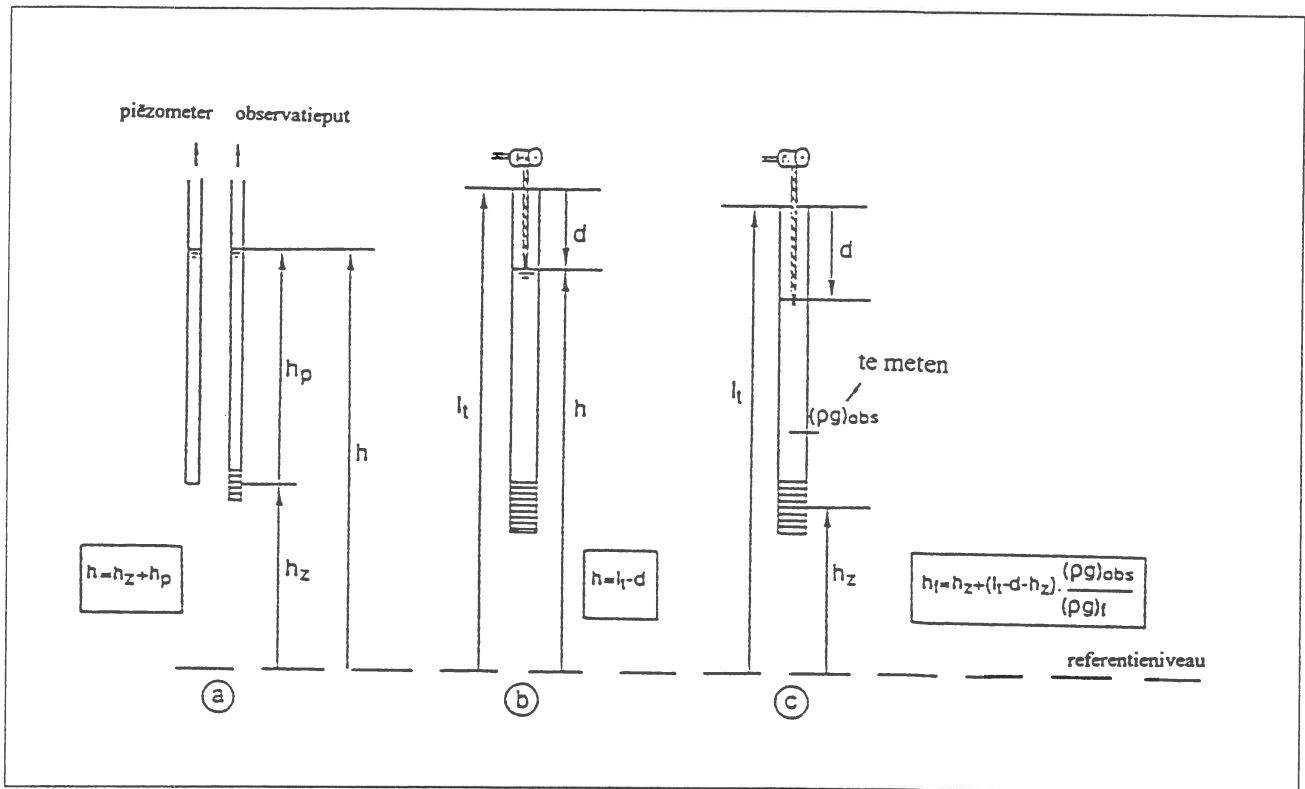


Fig. 2: De hydraulische stijghoogte,  $h$ , als de som van de plaatshoogte,  $h_z$ , en de drukhoogte,  $h_p$ . In de praktijk wordt de top van de waarnemingsput of het maaiveld,  $l_t$ , gemeten en de diepte van de waterkolom ten opzichte van het maaiveld. De zoetwaterstijghoogte,  $h_f$ , is een functie van de stijghoogte  $h_z$ , de lengte van de waterkolom in de waarnemingsput ( $l_t - d - h_z$ ) en de verhouding van het specifiek gewicht van de waterkolom geobserveerd in de waarnemingsput  $(\rho_g)_{obs}$  en het specifiek gewicht van het zoet water  $(\rho_g)_f$  (Lebbe, 1999).

## 7. Monitoring zoet-zoutwaterverdeling

Zoet en zout water kunnen van elkaar onderscheiden worden door meting van de geleidbaarheid. De reciproke waarde van de geleidbaarheid is de resistiviteit. De resistiviteit van het grondwater (poriënwater) kan bepaald worden door resistiviteitsmetingen uit te voeren op een waterstaal afkomstig uit een waarnemingsput. Deze geeft echter informatie over de resistiviteit van het grondwater t.h.v. een bepaald filter-interval (lengte meestal 1 m). Door het uitvoeren van geofysische boorgatmetingen, waarbij de formatieresistiviteit wordt gemeten, kan de resistiviteit van het grondwater afgeleid worden over het volledige diepte-interval van de waarnemingsput.

Het uitvoeren van resistiviteitsmetingen m.b.v. de lang-normaal en kort-normaal opstelling in het boorgat net voor het plaatsen van de waarnemingsput, geeft al een eerste beeld van de zoet-zoutwaterverdeling rond het boorgat. Deze opstelling is opgebouwd uit twee stroomelektroden (A en B) en twee spanningselektroden (M en N) (zie fig. 3). Deze opstelling wordt de 'vierpuntelektrodenopstelling' genoemd. De stroomelektrode B en de spanningselektrode N worden op grote afstand van elkaar en van het boorgat aan het maaiveld opgesteld. Op de sonde die zich in het boorgat bevindt, zijn vier ringelektroden aangebracht (twee stroomelektroden A1 en A2 en twee spanningselektroden M1 en M2). De elektrische stroom verspreidt zich met een bolvormige symmetrie in alle richtingen vanuit de

stroomelektrode A. Er ontstaat een spanningsverschil wanneer de stroom door een medium met een bepaalde resistiviteit vloeit (wet van Ohm). De stroom wordt constant gehouden, terwijl het spanningsverschil gemeten wordt. Hieruit wordt de formatieresistiviteit afgeleid.

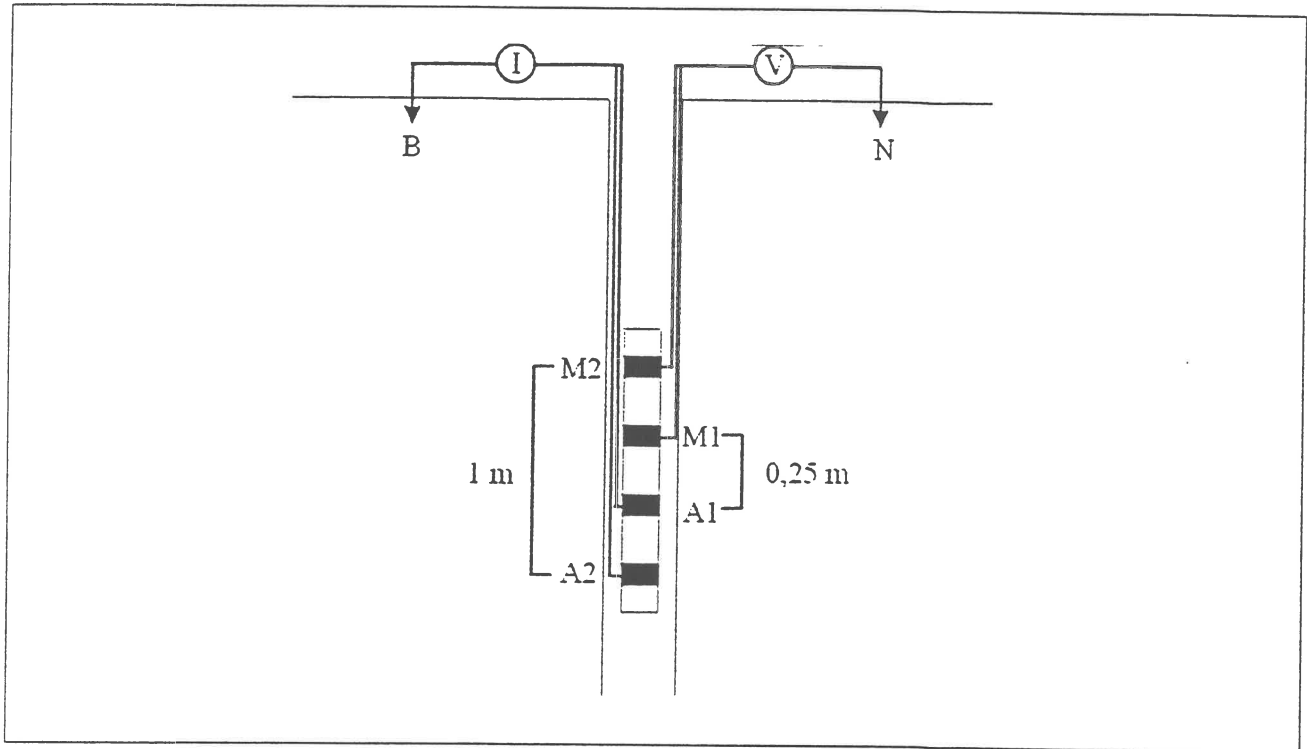


Fig. 3: Elektrodenrangschikking voor de kort- en lang-normaal opstelling (resp. 0.25 en 1 m tussen de twee elektroden A en M)

Lang-normaal en kort-normaal opstellingen laten echter niet toe om metingen te verrichten in verbuiste boorgaten aangezien deze opstellingen een geleidend medium vereisen tussen de meetsonde en de sedimenten rond het boorgat. Bovendien worden deze metingen beïnvloed door het boorgat en de boormodder. De gefocuseerde elektromagnetische inductiemethode daarentegen is ongevoelig voor de waarnemingsput en het boorgat waardoor metingen kunnen verricht worden in verbuiste boorgaten. Dit laat toe om de evolutie van de zoet-zoutwaterverdeling rond een waarnemingsput in de tijd op te volgen.

De EM39-sonde is een elektromagnetische inductielogger, specifiek ontworpen voor gebruik in verbuiste boorgaten (zie fig. 4). Een wisselstroom wekt een primair magnetisch veld op dat een elektrische stroom genereert in het omgevend sediment (zogenaamde Eddy-stromen). Deze elektrische stroom genereert op zijn beurt een secundair magnetisch veld dat geregistreerd wordt door de sonde. Aangezien de grootte van het secundair magnetisch veld proportioneel is met de geleidbaarheid van het omgevend sediment, kan de geleidbaarheid rechtstreeks op het toestel worden afgelezen. Door de sonde in de waarnemingsput neer te laten wordt een beeld verkregen van de geleidbaarheid in functie van de diepte. De resultaten worden weergegeven op een curve met de geleidbaarheid in abscis en de diepte in ordinaat. Deze curven laten toe om de waterkwaliteitsverdeling nabij de waarnemingsput af te leiden (zie fig. 5).

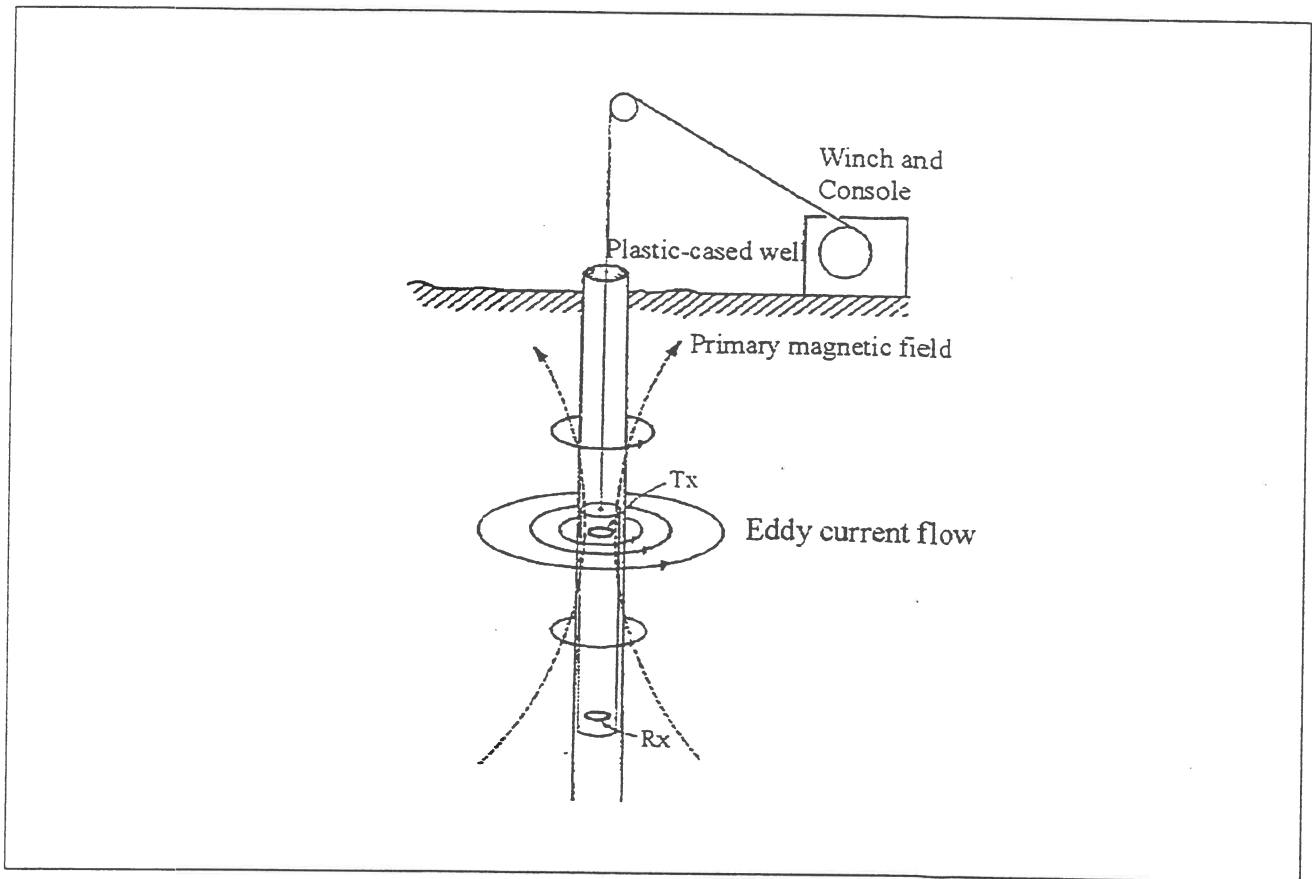


Fig. 4: De gefocusseerde elektromagnetische inductiemethode (Rx is de ontvangerspoel, Tx is de zendspoel) (McNeill *et al.*, 1990)

Voor een inschatting van de kwaliteit van het poriënwater wordt enerzijds beroep gedaan op het verband tussen de gemeten formatieresistiviteit en de poriënwaterresistiviteit (formule van Archie) en anderzijds op het verband tussen de poriënwaterresistiviteit en de TDS (total dissolved solids, in mg/l).

Wet van Archie (1942):

$$F = \frac{\rho_t}{\rho_w}$$

met F = formatiefactor

$\rho_t$  = resistiviteit formatie ( $\Omega m$ )

$\rho_w$  = resistiviteit poriënwater ( $\Omega m$ )

Voor het Vlaamse kustgebied wordt een gemiddelde formatiefactor aangenomen van 3,2. Het verband tussen de TDS en de resistiviteit van het poriënwater wordt gegeven door (Lebbe & Pede, 1986):

$$\rho_w (\Omega m) = \frac{10^4}{\text{TDS (mg/l)}} \quad (\text{bij } 10 \text{ à } 11 \text{ }^\circ\text{C})$$

Op basis van voorgaande werd een tabel opgesteld rekening houdend met de classificatie opgesteld door De Moor & De Breuck (1969). De geleidbaarheid is de reciproke waarde van de resistiviteit.

Geleidbaarheid formatie (mS/m)	TDS (mg/l)	Kwaliteitsbeoordeling
< 50	< 1600	Zoet
50 – 400	1600 – 12800	Brak
> 400	> 12800	Zout

## 8. Case studie: zoet-zoutwaterverdeling in de nabijheid van het Boudewijnkanaal

Figuur 5 toont het geleidbaarheids- of conductiviteitsprofiel van een waarnemingsput gelegen naast het Boudewijnkanaal. Deze meting werd uitgevoerd in opdracht van Aminal-Afdeling Water. Naast het geleidbaarheidsprofiel wordt een vereenvoudigde litholog voorgesteld. Bij de interpretatie van de geleidbaarheidsmeting dient hiermee rekening gehouden te worden aangezien bij een zoet grondwater de kleiige afzettingen een hogere geleidbaarheid zullen vertonen in vergelijking met zandige afzettingen. Dit komt enerzijds doordat kleimineralen geleidend zijn (alvast meer dan een kwartskorrel) en anderzijds door de hoge porositeit van de kleiige afzettingen.

Uit het profiel valt af te leiden dat een kleine geleidbaarheid wordt gemeten in de bovenste 5 m van het profiel. Hierna stijgt de geleidbaarheid en bereikt haar maximale waarde op een diepte van 17 m. Hieronder komt terug een zone voor met lagere geleidbaarheden.

Op een diepte van 20 en 32 meter treden de belangrijkste veranderingen in lithologie op. In dit interval zijn meer kleiige afzettingen aanwezig, waardoor in geval van een zoet grondwater hogere geleidbaarheden zouden gemeten worden. De scherpe sprong op een diepte van 7 m komt niet overeen met een belangrijke verandering in lithologie en wordt toegeschreven aan een toenemende geleidbaarheid van het poriënwater. Het grondwater wordt dus brakker op een diepte van 7 m. De geleidbaarheid bereikt waarden groter dan 400 mS/m, zodat we in dit gedeelte van het grondwaterreservoir kunnen spreken over een zout grondwater.



Wanneer we vergelijken met de verziltingskaart (zie fig. 1) merken we op dat de zoet-zoutwatergrens in de omgeving van het Boudewijnkanaal vrij ondiep ligt (ca. 5 m t.o.v. het maaiveld). Dit is duidelijk in overeenstemming met de geleidbaarheidsmeting: op een diepte van 5 m wordt een geleidbaarheid gemeten van 40 mS/m (1500 mg/l TDS).

De daling van de geleidbaarheid vanaf 17 m diepte houdt verband met een verandering in lithologie. Het sediment wordt kleiiger, waardoor het grondwater minder mobiel wordt en dus belangrijke kwaliteitswijzigingen zich minder snel doorzetten. Het kleiig pakket op een diepte van 20 tot 32 m verhindert dus een verdere verspreiding van het zoute grondwater naar diepere lagen.

Het voorkomen van ondiep brak tot zout grondwater in de omgeving van het Boudewijnkanaal vindt zijn oorzaak in de hogere ligging van het kanaalpeil t.o.v. het draineringspeil van het omliggend poldergebied. Door sluiswerking in Zeebrugge stroomt zeewater het kanaal binnen waardoor een verzilting optreedt van het kanaalwater. Door de hogere ligging van het kanaal treedt er een grondwaterstroming op vanuit het kanaal naar het omliggend poldergebied. Hierdoor ontstaat een verzilting van het ondiepe grondwaterreservoir in de nabije omgeving van het Boudewijnkanaal. Op sommige plaatsen is de zilte kwel duidelijk in het landschap merkbaar door het voorkomen van zilte vegetatie.

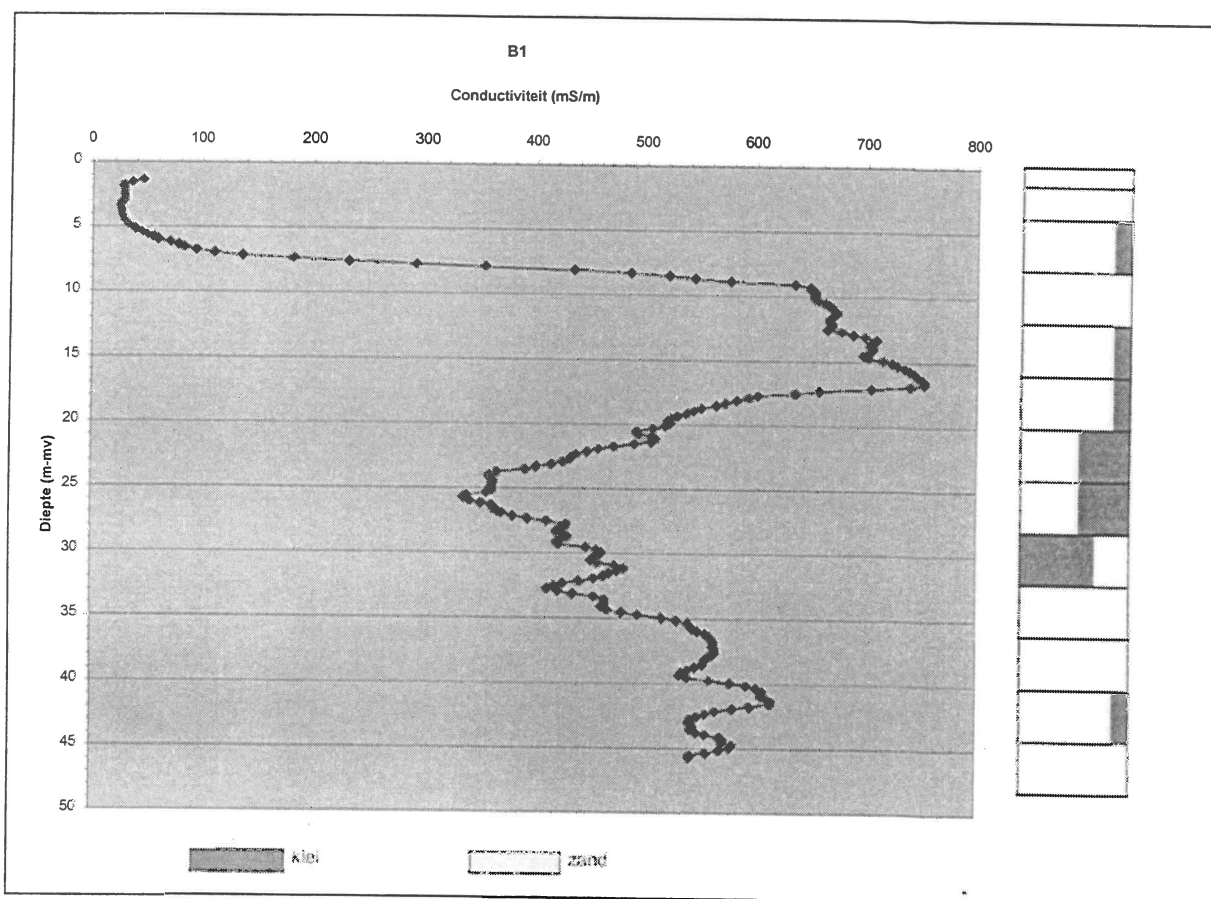


Fig. 5: EM39-meting uitgevoerd in een waarnemingsput gelegen naast het Boudewijnkanaal (Vandevelde *et al.*, 2002)

Door gebruik te maken van de EM39-sonde kan dus de zoet-zoutwaterverdeling in de nabijheid van een waarnemingsput opgevolgd worden. Voorwaarden zijn echter dat deze waarnemingsput geen metalen onderdelen bevat die de meting kunnen beïnvloeden en dat de diameter van de waarnemingsput voldoende groot is (min. 63 mm) om de sonde erin te kunnen laten afdalen.

Om belangrijke wijzigingen in de zoet-zoutwaterverdeling, geregistreerd door de EM39, na te gaan, kunnen waterkwaliteitsanalyses uitgevoerd worden om de meting te bevestigen. Wateranalyses hebben echter het nadeel dat ze representatief zijn voor een beperkt diepte-interval in het aquifersysteem.

## 5. Besluit

De monitoring van de verdrogings- en verziltingsproblematiek in het kustgebied dient enerzijds gesteund te zijn op peilmetingen ten einde zoetwaterstijghoogten te kunnen bepalen waardoor grondwaterstromingspatronen kunnen afgeleid worden, anderzijds op het uitvoeren van gefocuseerde elektromagnetische inductiemetingen waardoor een beeld wordt verkregen van de zoet-zoutwaterverdeling in de nabijheid van de waarnemingsput. Waterkwaliteitsanalyses kunnen aangewend worden om een algemeen beeld te verkrijgen van de kwaliteit van het grondwater in het kustgebied en vormen een belangrijke aanvulling op de EM39-metingen.

## 6. Referenties

1. De Breuck, W., De Moor, G., Maréchal, R. & Tavernier, R. (1963-1973). Diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water in de freatische laag van het Belgische kustgebied.
2. De Moor G. & De Breuck W. (1969). De freatische waters in het Oostelijk Kustgebied en in de Vlaamse Vallei. *Natuurwetenschappelijk tijdschrift*, 51, pp. 3-68.
3. Lebbe, L. & Pede, K. (1986). Salt-fresh water flow underneath old dunes and low polders influenced by pumpage and drainage in the Western Belgian coastal plain. *Proceedings of the 9th Salt Water Intrusion Meeting, Delft 1986*. pp. 199-220.
4. Lebbe, L. (1999). *Hydraulic Parameter Identification. Generalized Interpretation Method for Single and Multiple Pumping Tests*. Berlijn Springer Verlag, 359 p.
5. McNeill, J.D., Bosnar, M. & Snelgrove, F.B. (1990). *Resolution of an electromagnetic borehole conductivity logger for geotechnical and groundwater applications*. Technical note TN-25.
6. Vandevelde, D. & Lebbe, L. (2002). *Optimalisatie van het meetnet voor de monitoring van de verdrogings- en verziltingsproblematiek in het Vlaamse kustgebied* (in opdracht van Aminal-Afdeling Water). Rapport in voorbereiding.