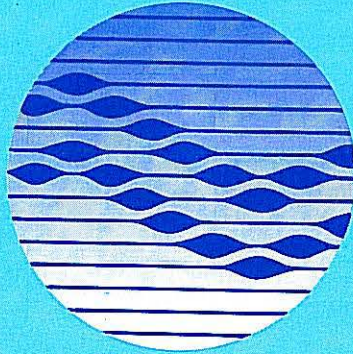
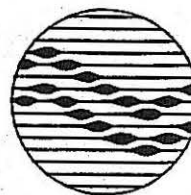


TGo 92/31



LABORATORIUM VOOR TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE

ZOET EN ZOUT GRONDWATER  
IN DE KUSTSTREEK



geologisch instituut S8  
krijgslaan 281  
B-9000 gent

telefoon 091/64 46 47  
fax 091/64 49 97

TRACTEBEL

Studie en verslag :

Prof. Dr. W. DE BREUCK

Dossiernummer : TGO92031

Datum : juni 1992

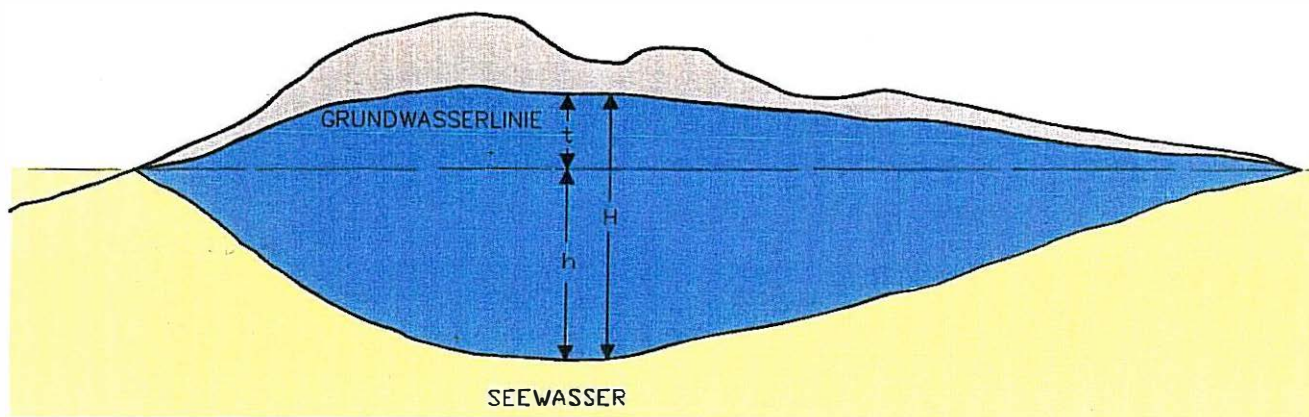
## Inleiding

Toen op het einde van de vorige eeuw men ijverig zocht naar nieuwe waterreserves voor de bevoorrading van de badplaatsen aan de kust vermeldde André d'ANDRIMONT de mogelijkheden voor winning van water in de duinen. Hiertoe verwees hij naar de nota van W. BADON GHIJBEN, waarin deze, met betrekking tot de waterbevoorrading van de Legerstelling van Amsterdam, een theorie over de verdeling tussen zoet en zout water in de ondergrond had ontwikkeld. Volgens deze auteur zou het neerslagwater dat op de duinen terecht komt voor ongeveer de helft zeewaarts stromen en voor de andere helft polderwaarts. Dit zoete water zou boven het zoute water uit drijven. Rekening houdend met de drukhoogten in de watervoerende laag onder de duinen en de zee en polders en het verschil in soortelijk gewicht tussen zee- en zoet water berekende hij de diepte van het scheidingsvlak tussen zoet en zout water. In de duinen waar de grondwatertafel  $a$  meter hoger staat dan de zeespiegel bevindt het scheidingsvlak zich op  $a/1,0238-1,000 = 42a$  meter onder de watertafel.

Omstreeks de eeuwwisseling verscheen in een Duits tijdschrift een verslag van A. HERZBERG over zijn onderzoekingen op de eilanden Norderney, Juist en Borkum met betrekking tot de bevoorrading door middel van grondwater (Fig.1). Deze was tot dezelfde bevinding gekomen als W. BADON GHIJBEN, namelijk dat zich onder de eilanden een zoetwaterlens bevond, waarvan de diepte bepaald werd door het verschil tussen de hoogte van de watertafel op het eiland en de zeespiegel. Volgens de berekeningen van A. HERZBERG bedraagt deze diepte 37 maal dat verschil. Deze theorie, thans gekend onder de naam van GHIJBEN-HERZBERG, alhoewel uitgewerkt voor een statische toestand geeft een vrij goed beeld van de verdeling tussen zoet en zout water in de ondergrond. Afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden bevindt zich tussen beide een minder of meer uitgebreide brakwaterzone.

In de ondergrond van de kuststreek treft men meerdere watervoerende lagen aan maar het is vooral de bovenste die in aanmerking komt voor ontginning omdat de diepere ofwel een gering debiet leveren ofwel teveel zout bevatten.

Anders dan in Nederland beschikt men in België over belangrijke zoetwatervoorraden in het binnenland en vrij spoedig besliste men dan ook de kuststeden met pijplijnen van water te voorzien. Toch werden er beperkte duinwaterwinningen uitgebouwd in Adinkerke, De Panne, Bredene, Wenduine, Heist en Knokke. Overal was men echter beducht voor verzilting. Over de toestand van het grondwater in de achterliggende polders was weinig geweten behalve dat het op vele plaatsen zout was. Tijdens de tweede wereldoorlog werd door een afdeling van het Duitse leger in de Westhoek de verdeling van zoet en zout water in de ondergrond in kaart gebracht.



**Figuur 1. Diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water**  
 Met deze eenvoudige schets, die verscheen in de "Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung XLIV.Jahrg. Nr 44" van november 1901, lichtte A. HERZBERG het principie van de verdeling tussen zoet en zout water in een door de zee omgeven eiland toe. Aannemend dat het s.g. van zeewater ongeveer 1,027 bedraagt zou de diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water t.o.v. de zeespiegel  $h$  gelijk zijn aan 37 maal de hoogte van de watertafel boven de zeespiegel  $t$ .

Het duurde echter tot in de jaren zestig voordat men eindelijk een duidelijk beeld van grondwaterkwaliteit in de kuststreek kreeg. Met de steun van het Instituut voor Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en Landbouw en van het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek werd door het Geologisch Instituut van de Universiteit Gent de verziltingsverschijnsel in de polders systematisch onderzocht zodat men thans een goed beeld heeft van de verhouding tussen zoet en zout grondwater in de kuststreek. Uit dit onderzoek is gebleken dat de kwaliteit van het grondwater eng verbonden is met de recente geologische geschiedenis van het gebied en met de ingreep van de mens.

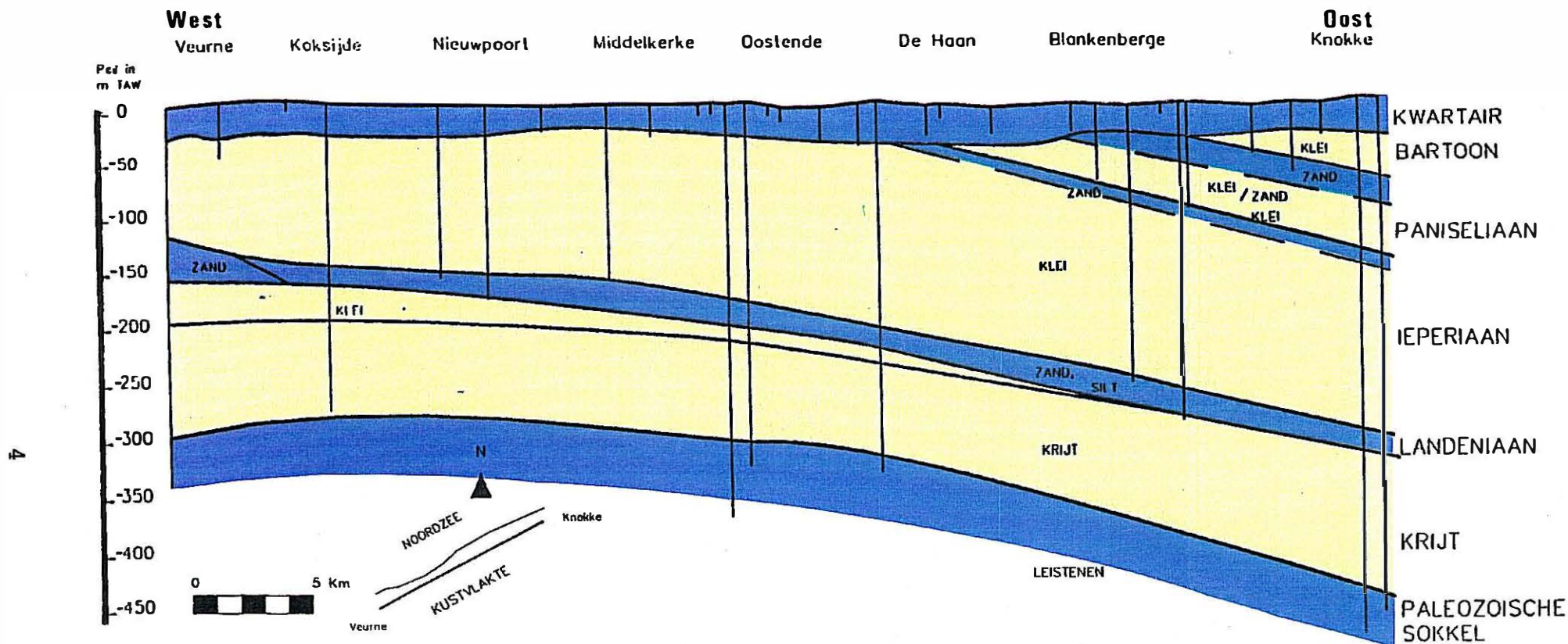
### **De ondergrond van de Kustvlakte**

De Belgische kust is een zestigtal km lang. Langs de zeezijde strekt zich een duingordel uit, die in breedte varieert van een vijftigtal meters tot enkele kilometers en waarvan de hoogste punten tussen +20 en +30 m (t.o.v. nulpeil N.G.I.) liggen. Daarachter ligt over een breedte van een tiental kilometers de poldervlakte waarvan de hoogte schommelt tussen +2 en +5 m. In de IJzervallei reikt de kustvlakte veel verder zuidwaarts tot 25 km van de kustlijn. In de Moeren aan de Belgisch-Franse grens ligt het peil onder +2 m.

De onmiddellijke ondergrond van de Kustvlakte wordt gevormd door kwartaire afzettingen die rusten op een tertiair substraat van eocene ouderdom (Fig.2). Dit laatste bestaat uit een opeenvolging van kleiige en zandige lagen, die in noord-oostelijke richting hellen. Van de Franse grens tot aan de lijn Bredene-Gistel bestaat het substraat uit klei (Ieperiaanklei), daarna tot aan De Haan uit fijn zand (Ieperiaanzand), vervolgens tot aan de lijn Blankenberge-Brugge uit kleiig zand en zandige klei (Paniseliaan klei-zandkomplex), tot aan de lijn Heist-Westkapelle uit zand (Paniseliaanzand) en vandaar tot aan de Nederlandse grens uit klei (Bartoonklei).

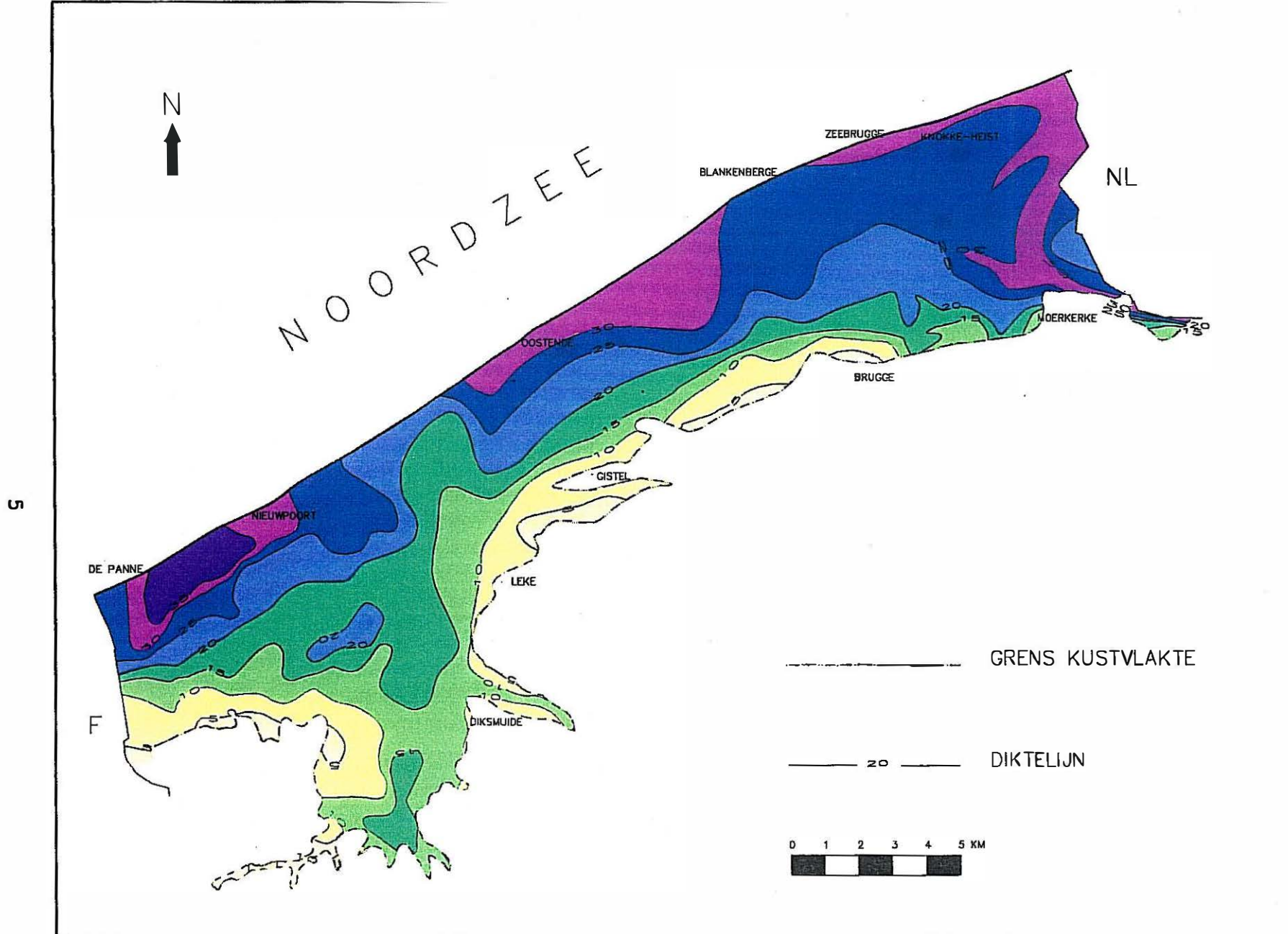
De Ieperiaanklei, die meer dan 100 m dik is, vormt in het grootste gedeelte van de kuststreek een uiterst slecht doorlatende laag die de bovenste freatische watervoerende laag scheidt van de watervoerende laag in het Landeniaanzand. Deze wordt onderaan begrensd door de Landeniaanklei en Krijt, die beide zeer slecht doorlatend zijn en de watervoerende laag scheiden van die in de paleozoïsche sokkel. Ten oosten van Oostende treft men tussen de Ieperiaanklei en de Paniseliaanklei een watervoerende laag in het Ieperiaanzand aan en nog meer oostwaarts een watervoerende laag tussen de Paniseliaanklei en de Bartoonklei in het Paniseliaanzand. Het is echter de freatische watervoerende laag in vooral kwartaire sedimenten die voor winning in aanmerking zou kunnen komen ware het niet dat deze op vele plaatsen zout water bevat.

De dikte van de kwartaire afzettingen neemt vanaf de poldergrens van ongeveer 5 m toe naar meer dan 30 m aan de duin-



**Figuur 2. De watervoerende lagen in de Kuststreek**

Een doorsnede door het kustgebied toont aan dat de bovenste watervoerende laag hoofdzakelijk door kwartaire sedimenten is opgebouwd. Ten westen van Bredene wordt deze freatisch watervoerende laag onderaan begrensd door de Ieperiaanklei, die een laag van meer dan 100 m dikte vormt. Tussen De Haan en Blankenberge vormen de kleiige sedimenten van het Paniseliaan de basis van de watervoerende laag, in Knokke de klei van het Bartonian. Afgesloten watervoerende lagen treft men aan in het Paniseliaan zand, het Ieperiaanzand, het Landeniaanzand en de gesteenten van de paleozoïsche sokkel.



**Figuur 3. Dikte van de kwartaire sedimenten in de Kuststreek**

De dikte van de watervoerende laag in het Kwartair neemt toe van de zuidergrens van het kustgebied naar de kustlijn, van 2 tot meer dan 35 m. In de figuur is geen rekening gehouden met de dikte van de duinen boven het peil + 5 m (t.o.v. het nulpunt van het N.G.I.)

grens (Fig.3). In het duingebied bedraagt ze meer dan 50 m. Tijdens het Pleistoceen, periode gekenmerkt door ijstijden en lage zeespiegelstanden, werden de tertiaire lagen in het kustgebied diep uitgeschuurd. Tijdens de laatste interglaciale en de daaropvolgende laatste ijstijd van het Weichseliaan werden eerst zandige en daarna lemige sedimenten afgezet.

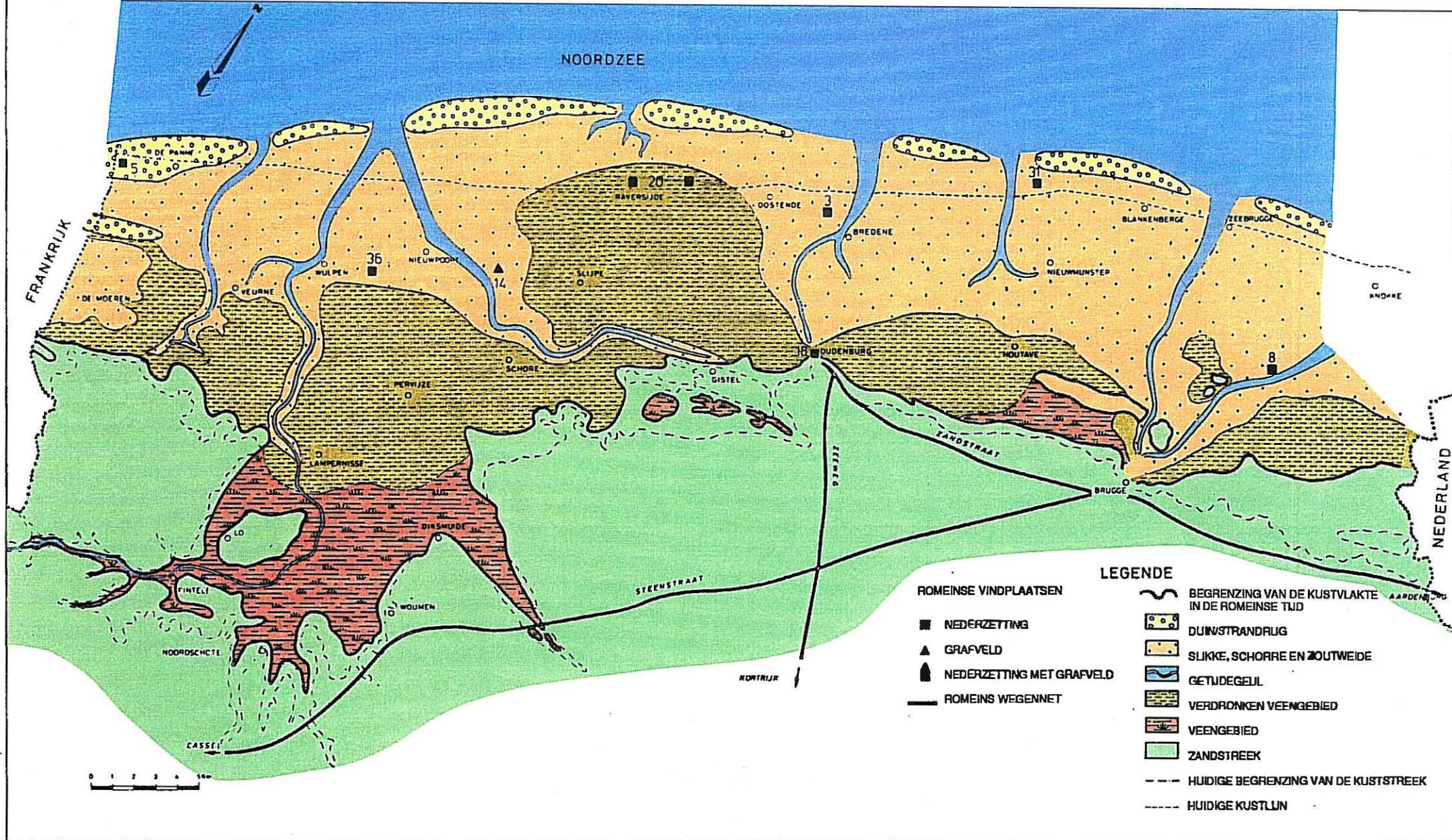
De eigenlijke opvulling van het kustgebied kwam echter tot stand na de laatste ijstijd ongeveer 10 000 jaar geleden. Deze periode, die loopt tot heden en die men het Holoceen noemt, wordt gekenmerkt door een algemene verwarming van het klimaat. Hierdoor smolten de ijskappen af en begon de zeespiegel te stijgen. Omstreeks 9000 jaar voor heden bevond deze zich nog op 45 m onder het huidig peil en lag de kustlijn ter hoogte van de Doggersbank. Op het land ontwikkelde zich een vegetatie die in de diepere depressies van het landschap evolueerde tot veengroei en aanleiding gaf tot het zgn basisveen. Mettertijd overstroomde de Noordzee het kustgebied en zette er klei, silt en zand af, waardoor het oppervlak geleidelijk steeg. De kustvlakte bestond toen grotendeels uit een met geulen doorsneden waddegebied waar onder invloed van de getijden zand en klei werden aangevoerd.

Omstreeks 5300 jaar voor heden had zich reeds een duingordel ontwikkeld, die verder zeewaarts lag dan de huidige kustlijn en waarvan de "oude duinen van Adinkerke-Ghyvelde" een getuigerest zijn. De landwaartse grens van de kust van die tijd verschilt niet zo veel van de huidige begrenzing van de kustvlakte. In die periode vormde zich een moeras, waarin overvloedig veen groeide. Dit veen bedekte grote delen van de kustvlakte en bereikte op vele plaatsen dikten van 2 tot 3 m. Ongeveer 3000 jaar geleden werd het gebied opnieuw door de zee overstroomd, waardoor een einde kwam aan de veengroei. Op sommige plaatsen aan de zuidelijke grens van het kustgebied bleef veen groeien tot 2000 jaar voor heden, zoals in de Moere van Meetkerke.

Deze invasie van de zee vormde de eerste van een reeks overstromingen, die zich regelmatig in de loop van de tijd tot op heden hebben voorgedaan en die men aanduidt met de term Duinkerke-transgressies. Het is vooral de Duinkerke-2-transgressie die nagenoeg de ganse kustvlakte heeft bedekt. Deze kwam tot stand op het einde van de derde eeuw van onze tijdrekening (Fig.4). De duingordel werd doorbroken op verschillende plaatsen en van uit die bressen stroomde het zeewater met de getijden langs geulen, die zich steeds verder uitbreidden, in het verdronken veenlandschap. Langs de geulen werd zand afgezet terwijl op de veenplaten in rustiger omstandigheden klei bezonk.

Wanneer zich in de achtste eeuw een nieuwe beschermende duingordel had gevormd, werden de getijdegeulen of kreken geleidelijk opgevuld met zandig materiaal. De ontwatering van het gebied, dat geleidelijk door de mens in gebruik werd genomen, had voor gevolg dat de met klei bedekte veenplaten lager kwamen te liggen dan de zandige kreken. Veen ondergaat immers





**Figuur 4. Het landschap in de Romeinse tijd**

In de Romeinse tijd had zich, volgens C.BAETEMAN, R.DE CEUNYNCK, F.MOSTAERT en H.THOEN (1987), zeewaarts van de huidige kustlijn een duingordel ontwikkeld voor de kustvlakte. Kreken, die aan getijwerking onderhevig waren, ontwaterden het gebied. In de derde eeuw van onze tijdrekening werd gans de kustvlakte voor meerdere eeuwen overstroomd. Alleen enkele delen, waar het veen zeer hoog was opgegroeid, zoals te Meetkerke, bleven boven water steken.

een zeer grote volumevermindering bij ontwatering. Aldus vormden de vroegere getijdegeulen kreekkruggen, die hoger kwamen te liggen dan de met klei bedekte veengebieden, de zogenaamde poelgronden. De latere overstromingen van de Duinkerke-3-transgressies hebben in de IJzer- en in de Zwinvlakte nieuwe sedimenten afgezet.

### **De methoden van onderzoek**

Om een inzicht te krijgen in het gedrag en de kwaliteit van het grondwater moet steeds een uitgebreid terreinonderzoek worden uitgevoerd. Boringen verschaffen informatie aangaande de aard en de opeenvolging van de grondlagen. In de boorputten plaatst men peilbuizen, voorzien van filters en stijgbuizen. Hierin meet men de waterstanden, waarmee men de grondwaterstroming kan bepalen. In die peilputten neemt men watermonsters die aan de hand van uitvoerige analyses informatie verstrekken over de kwaliteit van het grondwater. door middel van pompproeven op putten meet men de hydraulische parameters van de watervoerende lagen.

Het boren van putten is echter zeer duur en tijdrovend. Geofysische methoden kunnen hierbij worden ingeschakeld om op een snelle en efficiënte wijze inlichtingen te verkrijgen over de bouw van de ondergrond en de kwaliteit van het grondwater. In de kustvlakte was het aangewezen om gebruik te maken van resistiviteitssonderingen en verschillende geofysische boorgatmetingen.

Een resistiviteitssondering omvat het bepalen van de resistiviteit van de ondergrond door aan het oppervlak een elektrische stroom in de grond te brengen met behulp van een elektrodenpaar waartussen men de stroomsterkte meet en een ander elektrodenpaar waartussen men het potentiaalverval meet. Het verplaatsen van de elektroden laat toe de verandering van de resistiviteit in de diepte te bepalen. Door een vaste elektrodenopstelling horizontaal te verplaatsen kan men de laterale resistiviteitsveranderingen meten. De resistiviteit van de grond hangt af van de aard van de grond en van de kwaliteit van het water. In de kustvlakte heeft verzadigd zand een resistiviteit van ca 45 ohm.m, klei een resistiviteit van 7 ohm.m en een sediment met zout water een resistiviteit van minder dan 3 ohm.m.

In een boorgat kan men verschillende geofysische metingen uitvoeren. Vooral de resistiviteitsmetingen met verschillende opstellingen en natuurlijke gammametingen laten toe precies de aard van de grondlagen en de kwaliteit van het grondwater vast te stellen.

De ouderdom van het grondwater kan worden bepaald met koolstof-14-methode en door meting van de tritiumhoeveelheid. Daartoe neemt men monsters uit de peilputten.

**Figuur 5. Diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water**  
Het grensvlak tussen zoet en zout water zoals aangegeven op de kaart stemt overeen met een zoutgehalte van 1500 mg/l. De kaart werd opgesteld aan de hand van meer dan 1700 resistiviteitsonderingen en 150 boringen. De zeer geringe beweging in natuurlijke omstandigheden van het grondwater heeft voor gevolg dat het patroon zich slechts uiterst langzaam wijzigt.

### Het grondwater in de kustvlakte

In de loop van de jaren werden meer dan 1700 resistiviteitssonderingen in de kustvlakte uitgevoerd die werden verwerkt in een kaart die de diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water aangeeft (Fig.5). Deze grens stemt overeen met ongeveer 1500 mg/l zout of een chloridegehalte van 800 mg/l. Erboven neemt het zoutgehalte zeer snel af en is het water zoet, eronder loopt het zoutgehalte zeer snel op tot meer dan 20000 mg/l. Dit werd bevestigd door gegevens van meer dan 150 geboorde putten en de analyse van zeer vele monsters. De talrijke metingen en boringen, die sinds de opmaak van de kaart werden uitgevoerd hebben het tracé nauwelijks gewijzigd.

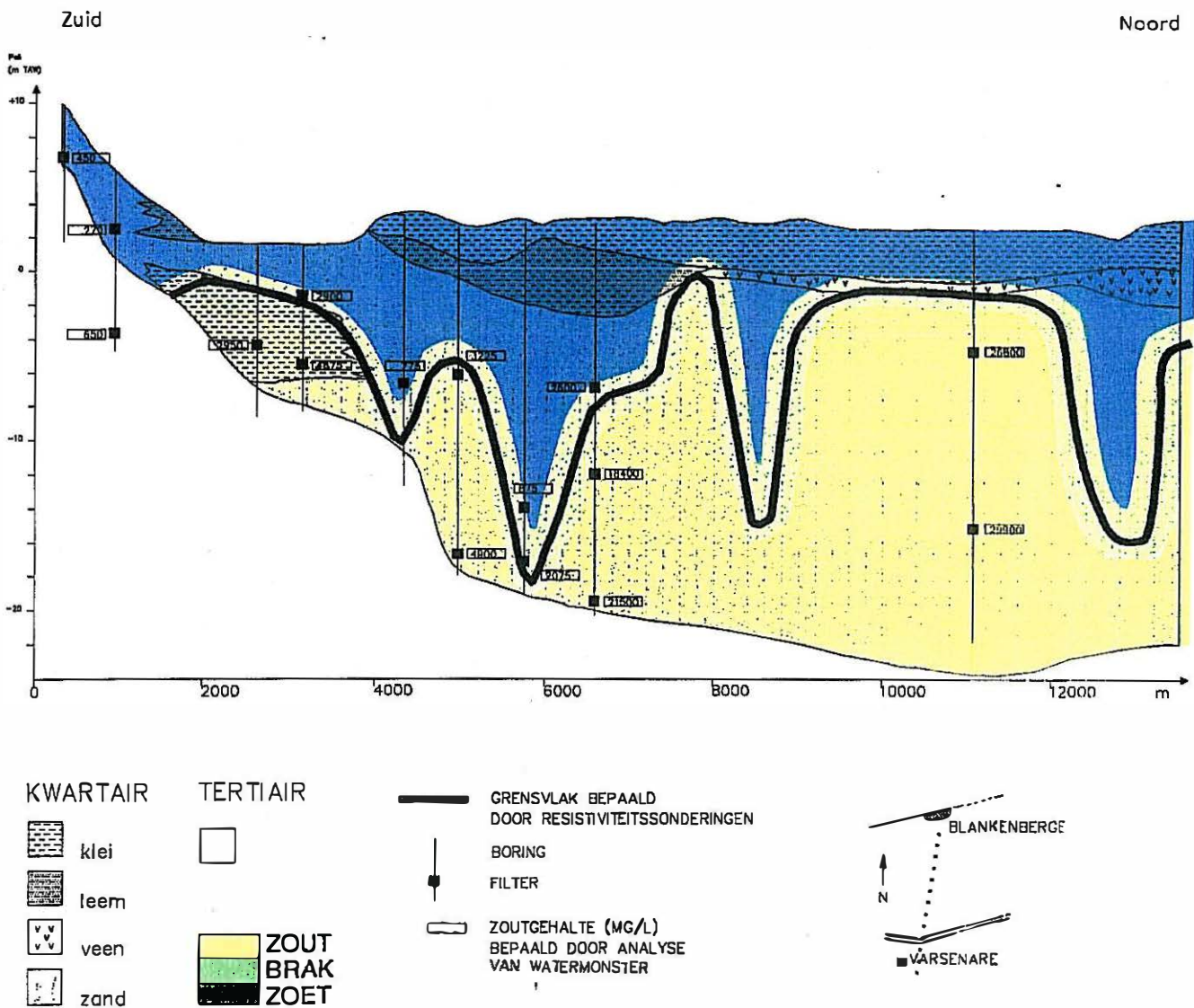
Het verloop van het grensvlak is zeer grillig; op een afstand van een honderdtal meters kan het 10 tot 20 m in diepte veranderen. Het is duidelijk dat dergelijke veranderingen niet met boringen kunnen worden opgespoord. Het resistiviteitsonderzoek dat hiertoe werd uitgevoerd werd telkens bevestigd door boringen en wateranalyses (Fig.6).

Op enkele plaatsen werden monsters voor ouderdomsbepaling genomen. Te Vlissegem (De Haan) op 6 km van de kust werd op twee verschillende tijdstippen op 23 m diepte een monster onttrokken (Fig.7). Het water had een zoutgehalte van meer dan 27000 mg/l. de datering van beide monsters gaf een ouderdom van ca 4000 jaar. In De Panne werd in een put op 3 km van de kustlijn op een diepte van 28 water met een zoutgehalte van 22000 mg/l bemonsterd. Het had een ouderdom van 3600 jaar.

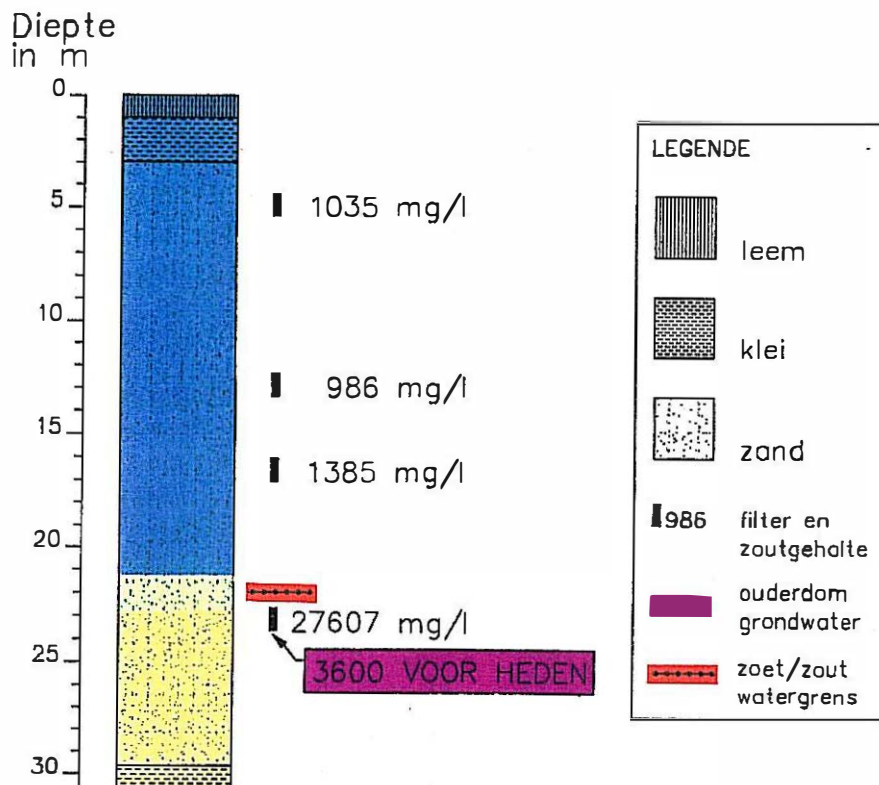
Het verband tussen de bodemkaart en de kaart van het zoet-/zoutwatergrensvlak is overduidelijk. Ter hoogte van de kreek-ruggen ligt het grensvlak diep, in de poelgronden ligt het nabij het oppervlak. In de duinen ligt het vlak zeer diep en waar een tertiair kleisubstraat aanwezig is rust de zoetwaterlens op de klei. Dit is het geval ten westen van Middelkerke, ter hoogte van De Haan en in Knokke.

In grote trekken kan men die verdeling van zoet en zout grondwater verklaren als volgt (Fig.8). Met de opvulling van de kustvlakte door de zee na het verdwijnen van de ijskappen werd met het sediment zeewater afgezet. Dat zoute grondwater werd niet uit het sediment verdreven wanneer zich het veenmoeras had gevormd. Het oppervlak lag immers nauwelijks boven de zeespiegel, zodat er geen belangrijke grondwaterstroming tot stand kon komen om het zoute grondwater uit te spoelen. Daarboven verhinderde het veen de insijpeling van neerslagwater.

Met de Duinkerke-overstromingen werd opnieuw zeewater aangevoerd. Het lijkt waarschijnlijk dat de zee langs de bestaande afwateringsgeulen of krekken het land binnendrong en het veenmoeras overstroomde. De krekken, die eerder zoet water afvoerden, hadden in hun onmiddellijke omgeving een verzoeting te weeggebracht. Met de overstroming werden deze plaatsen opnieuw verzilt. Na de vorming van een duingordel en de permanente bezetting door de mens vanaf de achtste eeuw werd de kustvlakte grotendeels voor de invloed van de zee afgesloten. De



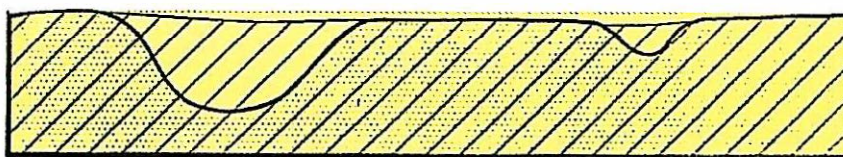
**Figuur 6. Doorsnede door de freatisch watervoerende laag**  
 Van Varsenare naar Blankenberge neemt de watervoerende laag in dikte toe. Onder een oppervlakkige laag van veen, klei en zand ligt een zandige laag van kwartaire ouderdom. Met resistiviteitssonderingen werd de diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water bepaald. Op verschillende plaatsen werden onder en boven dit vlak monsters onttrokken, die de verdeling tussen zoet en zout water bevestigden.



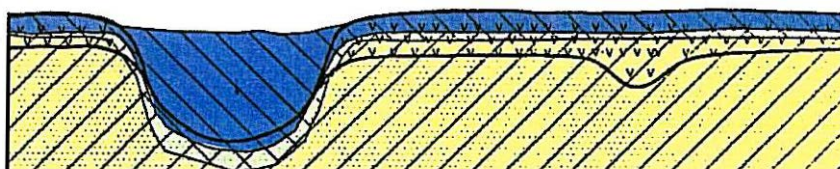
**Figuur 7. Bouw van het freatisch reservoir en grondwaterkwaliteit te Vlissegem**

Een boring te Vlissegem gaf het volgende profiel te zien: onder een laag van 3 m, bestaande uit vooral klei en leem, kwam een zandige laag van 26 m dikte voor rustend op een kleiige laag van tertiaire ouderdom. Met een resistiviteitssondering was het grensvlak tussen zoet en zout water bepaald op 22 m diepte. Watermonsters onttrokken op vier verschillende diepten bevestigden dat onder dit grensvlak het water een zoutgehalte van 27600 mg/l had terwijl erboven het gehalte onder 1500 mg/l lag. Een koolstof-14-datering leverde een ouderdom van 3600 jaar voor heden.

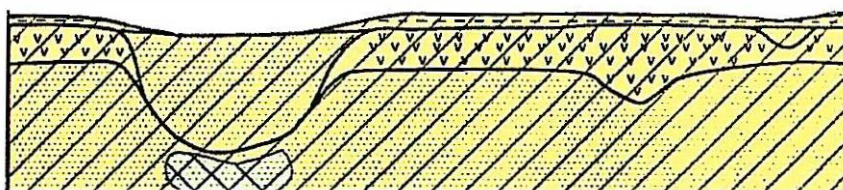
5000 JAAR VOOR HEDEN



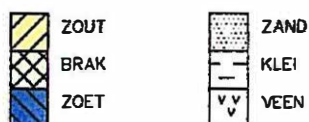
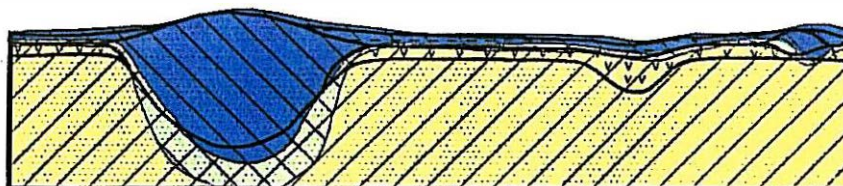
5000 TOT 2700 JAAR VOOR HEDEN



2700 TOT 1200 JAAR VOOR HEDEN



HUIDIGE TOESTAND NA INVERSIE VAN HET LANDSCHAP



**Figuur 8. Evolutie van de grondwaterkwaliteit in het kwartair reservoir**

Schetsmatig kan men de evolutie van de grondwaterkwaliteit voorstellen als volgt. Ongeveer 5000 jaar geleden had zich een schorregebied gevormd. Het grondwater was volledig zout. In de daaropvolgende periode kwam het veenmoeras tot stand. Het neerslagwater werd afgevoerd langs de krekken. Hierdoor ontzilte de onmiddellijke omgeving maar bleef onder de veengebieden het zoute water zitten. Tijdens de Duinkerke-overstromingen voerden de krekken opnieuw zout water aan. Van uit de krekken werd met het zeewater klei op de veengebieden afgezet, waardoor ook daar het grondwater zout werd. Na de afsluiting van de kustvlakte door een duingordel en de inpoldering door de mens verzandden de krekken. Door de ontwatering van de bovenste lagen klonken de met klei bedekte veengebieden in. In de aldus ontstane kreekruigen ontwikkelde zich een zoetwaterlens terwijl in de veengebieden, waar het grondwater nauwelijks beweegt, zout water op enkele meters onder het oppervlak voorkomt.

kreken voerden geleidelijk zoeter water naar de zee af.

In de duinen ontwikkelde zich in de loop der eeuwen een zoetwaterlens, die het grondwaterresevoir gevuld met zout water in de achterliggende polders, van de zee afsloot. Daardoor werd het zoute grondwater dat duizenden jaren geleden erin terechtkwam in de sedimenten opgesloten, zoals de dateringen uitwijzen. De kreken verzandden en slibden dicht. De afwatering gebeurde langs een door de mens gegraven grachtenstelsel. Door de afwatering klonken de met klei op veen bedekte gebieden in. In de nu hogergelegen zandige kreekruggen ontwikkelde zich een zoetwaterlens, analoog met wat zich in de duinen voordeed. De geringe verschillen in de waterstanden in de polders hebben voor gevolg dat het grondwater uiterst traag beweegt, waardoor ook de kwaliteit weinig verandert.

Waar de mens ingrijpt in de waterstanden wordt de stroming versneld en kan de kwaliteit op kortere termijn veranderen. Een voorbeeld hiervan is het systeem van ontwatering van de droogmakerij van De Moeren. Door voortdurend het zoete neerslagwater af te voeren en aldus een verlaging van de grondwaterstand in De Moeren ten opzichte van de omgevende hogergelegen polder te veroorzaken wordt de verzilting in de hand gewerkt. Het Boudewijnkanaal, waarin door de versassingen voortdurend zout water wordt aangevoerd en waarvan het peil boven dat van de omgevende polder ligt, heeft geleidelijk een smalle strook van de zoetwaterlens ten noorden van Brugge verzilt. Verzilting van de waterwinningen in de duingebieden komt tot stand door meer water te winnen dan de neerslag aanvoert.

Tot besluit kan men zeggen dat de kwaliteit van het grondwater in het freatische watervoerende laag in het kustgebied het resultaat is van de verschijnselen die er zich sinds de laatste ijstijd hebben voorgedaan. De evolutie van die kwaliteit geschiedt uiterst traag wegens de geringe snelheid van de grondwaterstroming. Drastische ingrepen door de mens, zoals de uitbouw van de achterhaven, waarin het waterpeil zal worden geregeld met zeewater en waarvan de inhoud aldus zal verzilten, kunnen zich na enkele jaren plaatselijk laten gevoelen.