

TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE

**ECOSYSTEEMVISIE VOOR DE
VLAAMSE KUST**

DEELSTUDIE: HYDROGEOLOGIE

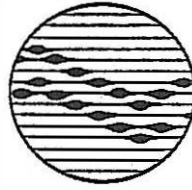
20/11/12



UNIVERSITEIT GENT

Laboratorium
voor
Toegepaste Geologie
en
Hydrogeologie

ECOSYSTEEMVISIE VOOR DE
VLAAMSE KUST
DEELSTUDIE : HYDROGEOLOGIE



Geologisch Instituut
Krijgslaan 281, S8
B-9000 Gent

tel. 09/264 46 47
fax 09/264 49 88

Opdrachtgever

AMINAL

Leiding : Prof. Dr. W. DE BREUCK
Studie en verslag : Lic. K. MARTENS
Prof. Dr. K.
WALRAEVENS

Onderzoeksnummer : TGO 94/42

Datum : mei 1995

INHOUD

LIJST MET FIGUREN LIJST MET TABELLEN

Inleiding

1. Beschikbare gegevens	1
2. Lithologische bouw van het kwartaire reservoir	2
3. Grondwater in de Kwartaire watervoerende laag	31
3.1. Hydrogeologische bouw en hydraulische parameters	
3.2. Grondwaterstromingspatroon en grondwaterstijghoogte	38
3.3. Grondwaterkwaliteit	61
3.4. Grondwaterkwetsbaarheid	80
3.5. Evapotranspiratie en infiltratie	82
4. Menselijke ingrepen in de grondwaterhuishouding	88
4.1. Drainering polders	
4.2. Verstedelijking (verharde oppervlakken en afvoer via riolering)	89
4.3. Drinkwaterwinning	91
4.3.1. Huidige situatie	92
4.3.2. Alternatieven	102
4.4. Verzilting	103
5. Duin-polder overgangszone als kwelzone	104
5.1. Huidige toestand	
5.2. Herstelmogelijkheden	106
6. Leemten in de kennis	107
7. Besluit	108
 Bibliografie	 109

LIJST MET FIGUREN

- Figuur 2.1: Lithologisch profiel langsheen de Belgische Kust (LAGA & VANDENBERGHE, 1990)
- Figuur 2.2: Het tertiair substraat in het kustgebied (naar DE MOOR & DE BREUCK, 1969)
- Figuur 2.3: Dikte van het kwartair in het kustgebied (naar DE MOOR & DE BREUCK, 1969)
- Figuur 2.4: Lithologisch profiel dwars door het studiegebied in De Panne (LEBBE, 1978)
- Figuur 2.5: Localisatie van de verschillende boringen en ligging van het profiel in De Panne (LEBBE, 1978)
- Figuur 2.6: Localisatie van de boringen en profielen in het duingebied tussen Koksijde en Oostduinkerke (LEBBE & DE BREUCK, 1980)
- Figuur 2.7: Lithologisch profiel VB1 tot VB14 in het zuidelijke gedeelte van de duinen tussen Koksijde en Oostduinkerke (LEBBE & DE BREUCK, 1980)
- Figuur 2.8: Lithologische profielen van de boringen DB1, DB2, DB9 en DB4 in de duinen tussen Koksijde en Oostduinkerke (LEBBE & DE BREUCK, 1980)
- Figuur 2.9: Localisatie van het lithostratigrafisch profiel in Oostduinkerke (MAHAUDEN et al., 1982)
- Figuur 2.10: Doorsnede AA' met aanduiding van de verschillende lithologische eenheden (MAHAUDEN et al., 1982)
- Figuur 2.11: Doorsnede BB' met aanduiding van de verschillende lithologische eenheden (WALRAEVENS et al., 1993)
- Figuur 2.12: Localisatie van de verschillende profielen in Oostduinkerke en Nieuwpoort
- Figuur 2.13: Doorsnede CC' met aanduiding van de verschillende lithologische eenheden (MAHAUDEN et al., 1993c)
- Figuur 2.14: Lithologisch profiel van de Oostlaan naar Albert-I-laan in Oostduinkerke (MAHAUDEN et al., 1993a)
- Figuur 2.15: Doorsnede DD' met aanduiding van de verschillende lithologische eenheden (MAHAUDEN et al., 1993b)
- Figuur 2.16: Doorsnede EE' met aanduiding van de verschillende lithologische eenheden (MAHAUDEN et al., 1993c)
- Figuur 2.17: Localisatie van de verschillende boringen in Middelkerke
- Figuur 2.18: Localisatie van de twee profielen in het duingebied ten oosten van De Haan (DEVOS, 1984)
- Figuur 2.19: Lithostratigrafische doorsnede A'B en AA' (DEVOS, 1984)
- Figuur 2.20: Verbreiding van het oppervlakteveen in het duingebied ten oosten van De Haan (DEVOS, 1984)
- Figuur 2.21: Geologische bouw ter hoogte van het natuurgebied "de Fonteintjes" in Blankenberge (VERMOORTELT & DE BREUCK, 1994)
- Figuur 2.22: Geologisch profiel ter hoogte van Zeebrugge (DEPRET, 1983)
- Figuur 3.1a: Verdeling van de doorlatende en halfdoorlatende lagen in het duingebied ten westen van De Panne
- Figuur 3.1b: Uitbreiding van de leem-klei-veenafzettingen in het bovenste gedeelte van eenheid B' in Oostduinkerke (MAHAUDEN et al., 1982)
- Figuur 3.2: Ligging van K41,8 en K42,8 in de duinen tussen De Haan en Wenduine (WALRAEVENS et al., 1990)
- Figuur 3.3: Verdeling van de doorlatende en halfdoorlatende lagen in K41,8 en K42,8

- in de duinen tussen De Haan en Wenduine (WALRAEVENS et al., 1990)
- Figuur 3.4: Het strand met natuurlijke grondwaterstroming (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.5: het strand met verminderde grondwaterstroming van de duinen naar de zee (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.6: Het strand met de grondwaterstromingen ten gevolge van een overexploitatie (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.7: De Jonge Duinen onder natuurlijke omstandigheden (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.8: De Jonge Duinen met drainage in de polders (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.9: De Jonge Duinen met een waterwinning (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.10: De Jonge Duinen met een waterwinning in overexploitatie (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.11: Hydro-isohypsen van de watertafel en de grondwaterstroming in de top van de freatisch watervoerende laag in de Westhoek (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.12: Stijghoogtekaart van de laagste grondwaterstand in de periode mei 1975 - augustus 1977 ten westen van De Panne (LEBBE, 1978)
- Figuur 3.13: Stijghoogtekaart van de hoogste grondwaterstand in de periode mei 1975 - augustus 1977 ten westen van De Panne (LEBBE, 1978)
- Figuur 3.14: Localisatie van de verschillende peilbuizen in Adinkerke (BOLLE, 1983)
- Figuur 3.15: Zoetwaterstijghoogte bij 193SB8F2 (BOLLE, 1983)
- Figuur 3.16: Zoetwaterstijghoogte bij 193SB10F1, F2 en F3 (BOLLE, 1983)
- Figuur 3.17: Zoetwaterstijghoogte bij 193SB11F1, F2 (BOLLE, 1983)
- Figuur 3.18: Zoetwaterstijghoogte bij 193SB12F1, F2 (BOLLE, 1983)
- Figuur 3.19: Zoetwaterstijghoogte bij 193SB16F1, F2 en F3 (BOLLE, 1983)
- Figuur 3.20: Hydro-isohypsen van de freatische eenheid A in Oostduinkerke (gemiddelde) (MAHAUDEN, 1982)
- Figuur 3.21: Laagste zoetwaterstijghoogte van de freatische eenheid A in Oostduinkerke (MAHAUDEN, 1982)
- Figuur 3.22: Hoogste zoetwaterstijghoogte van de freatische eenheid A in Oostduinkerke (MAHAUDEN, 1982)
- Figuur 3.23: Horizontale grondwaterstroming in het bovenste deel van het kwartair grondwaterreservoir in Oostduinkerke (WALRAEVENS et al., 1993)
- Figuur 3.24: Waargenomen gemiddelde stijghoogteconfiguratie (1980 - 1983) in de doorlatende lagen 1, 2 en 3 in duingebied ten oosten van De Haan (DEVOS, 1984)
- Figuur 3.25: Getijdefluctuatietraject (cm) in laag B met zone waar laag 2 ontbreekt in het duingebied ten oosten van De Haan (DEVOS, 1984)
- Figuur 3.26: Stijghoogteverschil tussen laag 2 en 3 in het duingebied ten oosten van De Haan (DEVOS, 1984)
- Figuur 3.27: Mathematisch grondwaterstromingsmodel in het duingebied ten oosten van De Haan (WALRAEVENS et al., 1990)
- Figuur 3.28: Profielen van zoetwaterpercentage in de Westhoek (LEBBE, 1984)
- Figuur 3.29: Natuurlijke evolutie van de grondwaterstroming, zoetwaterstijghoogteconfiguratie en de kwaliteitsverspreiding onder de duinen, het strand en de zee na het ontstaan van de duingordel. Berekend met de numerische methode (tweedimensionaal, in verticaal vlak) (LEBBE, 1984)
- Figuur 3.30: De Oude Duinen onder natuurlijke omstandigheden (LEBBE & PEDE, 1986)
- Figuur 3.31: Grondwaterkwaliteitsprofiel van het strand tot in de polders (LEBBE et al., 1983)

- Figuur 3.32a: Simulatie van de grondwaterstroming in Oostduinkerke (WALRAEVENS et al., 1993)
- Figuur 3.32b: De evolutie van de zoet-zout water verdeling en stroming in profiel K41,8 gedurende 1200 jaar in de duinen tussen De Haan en Wenduine (LEBBE et al., 1990)
- Figuur 3.33: Berekende verspreiding van de grondwaterkwaliteit in profiel K41,8 voor de actuele toestand in de duinen tussen De Haan en Wenduine. De resultaten van de grondwateranalyses worden weergegeven met de code van de classificatie van Stuyfzand (LEBBE et al., 1990)
- Figuur 3.34: De evolutie van de zoet-zout water verdeling en stroming in profiel K42,8 gedurende 1200 jaar in de duinen tussen De Haan en Wenduine (LEBBE et al., 1990)
- Figuur 3.35: Berekende verspreiding van de grondwaterkwaliteit in profiel K42,8 voor de actuele toestand in de duinen tussen De Haan en Wenduine. De resultaten van de grondwateranalyses worden weergegeven met de code van de classificatie van Stuyfzand (LEBBE et al., 1990)
- Figuur 3.36: Resultaten grond- en oppervlakteanalyse voor het natuurgebied "de Fonteintjes" in Blankenberge (VERMOORTELT & DE BREUCK, 1994)
- Figuur 3.37: Verziltingskaart (DE BREUCK et al., 1974)
- Figuur 3.38: Grondwaterkwetsbaarheidkaart (LOY & BAETEN, 1987)
- Figuur 3.39: Jaarlijkse iso-hyetenkaart van België (LEMEUR et al., 1984 naar DUPRIEZ & SNEYERS, 1979)
- Figuur 3.40: Neerslag en temperatuur en het potentiale evapotranspiratie patroon voor de periode 1957-1976 voor Koksijde. PET werd berekend aan de hand van de Penman methode (KHEDR, 1993)
- Figuur 3.41: Variatie van de evapotranspiratie in fijnspar- en beukenbestand te Odeigne (juli 1966-december 1970) (BULTOT et al., 1972 in LUST et al., 1984)
- Figuur 4.1: De Oude Duinen met drainage in het Overdekt Waddenlandschap (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 4.2: Localisatie van de verschillende vergunde waterwinningen
- Figuur 4.3: De Oude Duinen met een waterwinning (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 4.4: Voedingsgebied voor de waterwinning (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 4.5: Bredene: jaardebieten 1987-1994 (VMW, 1995)
- Figuur 4.6: Localisatie van de waterwinning te Bredene (VMW, 1995)
- Figuur 5.1: De Oude Duinen onder natuurlijke omstandigheden (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 5.2: De Oude Duinen met drooggelegde lage polders (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 5.3: De Oude Duinen met een waterwinning (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 5.4: De zoute kwel in het noorden van de Moeren, voor 1957 (AMERYCKS & T'JONCK, 1957 in DE VOS, 1985)

LIJST MET TABELLEN

- Tabel 3.1. Overzicht van de jaarlijkse verdamping van zeven begroeiingstypen in het Nederlandse duingebied onder normale klimaatomstandigheden (LEMEUR et al., 1984 naar BAKKER, 1981)
- Tabel 4.1. Infiltratiesnelheden doorheen verschillende wegdekken (VYNCKE et al., 1984)
- Tabel 4.2. Afvloeingscoëfficiënt in functie van het oppervlak (VAN DEN BOSSCHE, 1994)
- Tabel 4.3. Neerslag afvloeingscoëfficiënt in functie van bebouwing (VAN DEN BOSSCHE, 1994)
- Tabel 4.4. Grondwaterwinning door de openbare drinkwatermaatschappijen, debiet in 1982 (DE SMEDT et al., 1984)
- Tabel 4.5. Grondwaterwinning ter hoogte van Nieuwpoort in 1991 (AMINAL, 1991 in MAHAUDEN et al., 1991)
- Tabel 4.6. Vergunde grondwaterwinningen (AMINAL, 1995)

Ecosysteemvisie voor de Vlaamse Kust

Deelstudie Hydrogeologie

Inleiding

Met haar schrijven van 3 januari 1995 (BNO/NO/ICZM 94.55/1) gaf het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Milieu, Natuur en Landinrichting (AMINAL) het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (LTGH) van de Universiteit Gent opdracht een ecosysteemvisie uit te werken.

Het studiegebied werd begrepen tussen de laagste laagwaterlijn en de overgangszone tussen Duin- en Polderstreek (met inbegrip van de poldergebieden waarvan het behoud en beheer belangrijk is voor de Duinstreek).

Deze studie omvat:

- beschikbare gegevens
- lithologische bouw van het kwartaire reservoir
- grondwater in de kwartaire watervoerende laag
- menselijke ingrepen in de grondwaterhuishouding
- duin-polder overgangszone als kwelzone
- leemten in de kennis
- besluit

1. Beschikbare gegevens

Archief van de Belgische Geologische Dienst

Archief van het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie

Archief van de V.M.W.

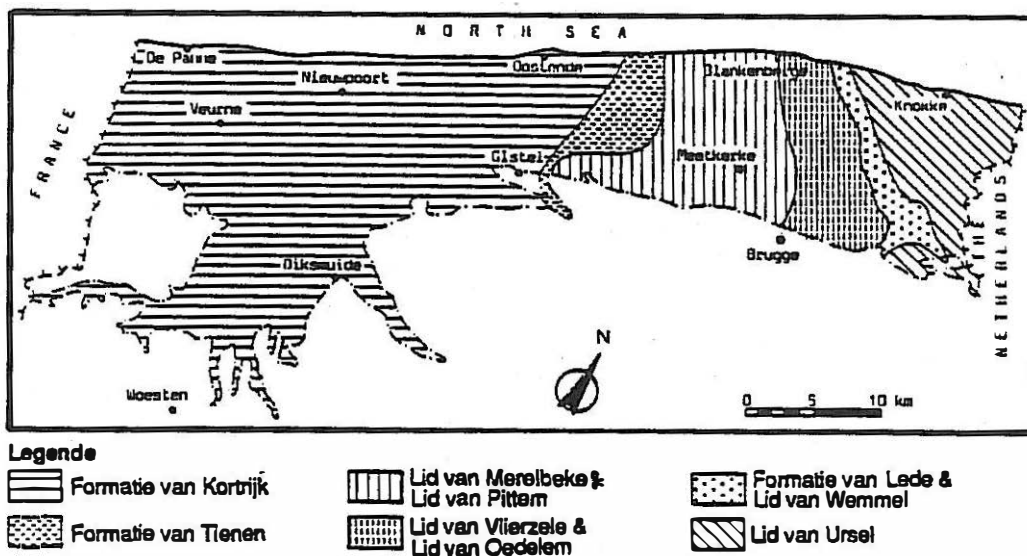
Databank voor grondwaterwinningen van AMINAL

Licentiaatsthesisen

Doctoraatsthesisen

2. Lithologische bouw van het kwartair reservoir

Om de lithologische bouw van het kwartair reservoir weer te geven werd beroep gedaan op verschillende studies. Figuur 2.1 geeft een W-E doorsnede van de kust. De klei van het Ieperiaan (Formatie van Kortrijk) vormt het tertiair substraat aan de westkust. Het is ook de basis van het kwartair freatisch reservoir. De tertiaire formaties hellen zacht naar het noordoosten. In de Oostelijke Kustvlakte komen van west naar oost achtereenvolgens jongere tertiaire lagen voor (Fig. 2.2). Tussen Bredene en Klemskerke bestaat de top van het Tertiair uit de Formatie van Tielt, het vroegere Ieperiaan-zand. Vanaf Klemskerke tot nabij Wenduine komen het Lid van Merelbeke en het Lid van Pittem voor. Nog verder naar het oosten tot in Zeebrugge is er een snelle opeenvolging van zandige afzettingen: achtereenvolgens zijn dit het Lid van Vierzele, het Lid van Oedelem, de Formatie van Lede en tot slot het Lid van Wemmel. De klei van Asse (Lid van Asse en Lid van Ursel) sluit het geheel af en komt voor tot aan de Nederlandse grens. Waar een zandig substraat voorkomt aan de top van het Tertiair, is het freatisch reservoir zeer dik: het omvat er naast het Kwartair, eveneens deze tertiaire zandige lagen.

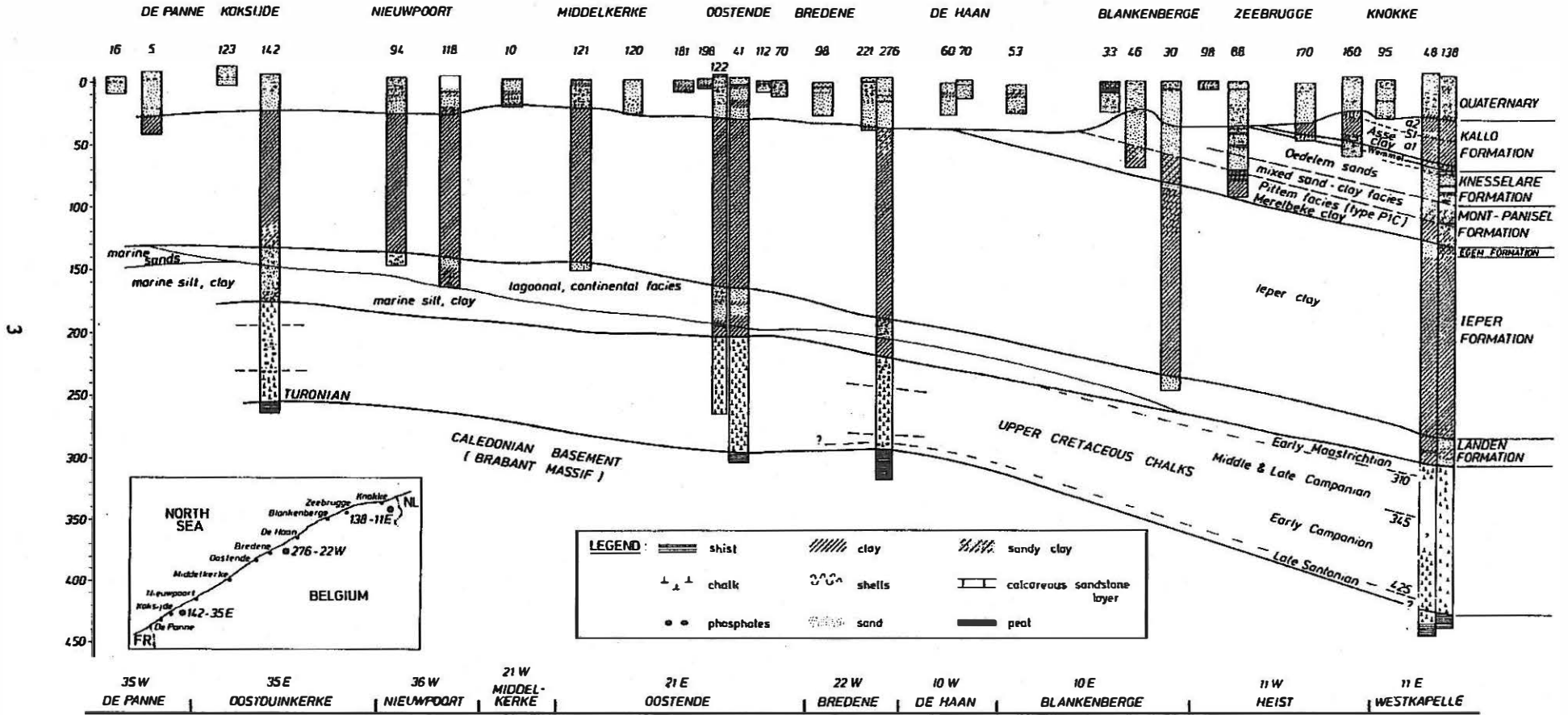


Figuur 2.2: Het tertiair substraat in het kustgebied
(naar DE MOOR & DE BREUCK, 1969)

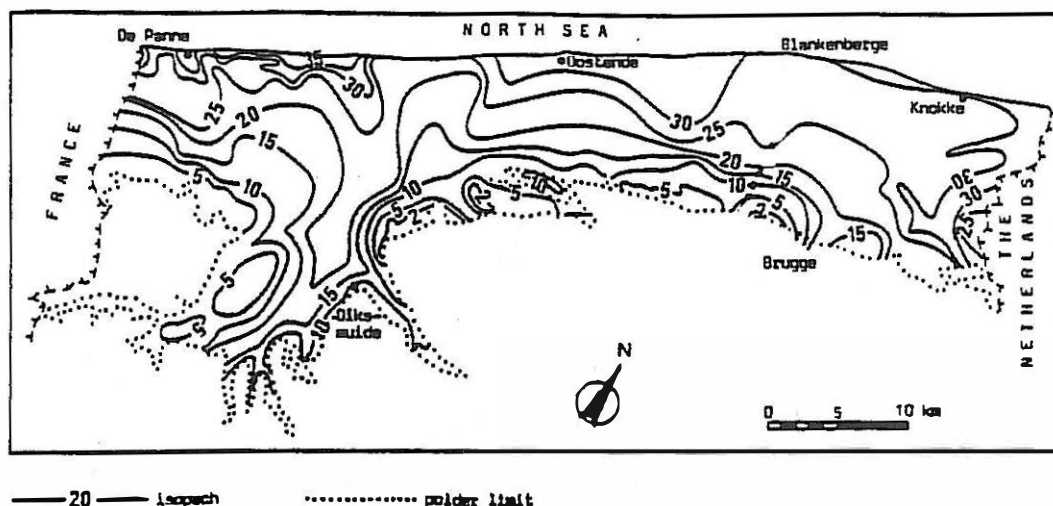
Volgens DE MOOR & DE BREUCK (1969) wordt de top van de tertiaire klei, onder de duinmassieven tussen Bredene en Vlissegem en tussen Heist en Knokke, aangetroffen op een diepte van 25,00 tot 35,00 m. De dikte van het kwartair grondwaterreservoir bedraagt dus 35,00 m (Fig. 2.3).

SW

NE



Figuur 2.1: Lithologisch profiel langs de Belgische Kust (LAGA & VANDENBERGHE, 1990)



Figuur 2.3: Dikte van het kwartair in het kustgebied (naar DE MOOR & DE BREUCK, 1969)

In hetgeen volgt worden de onderscheiden deelgemeenten van west naar oost in detail besproken.

De WESTHOEK (LEBBE, 1978)

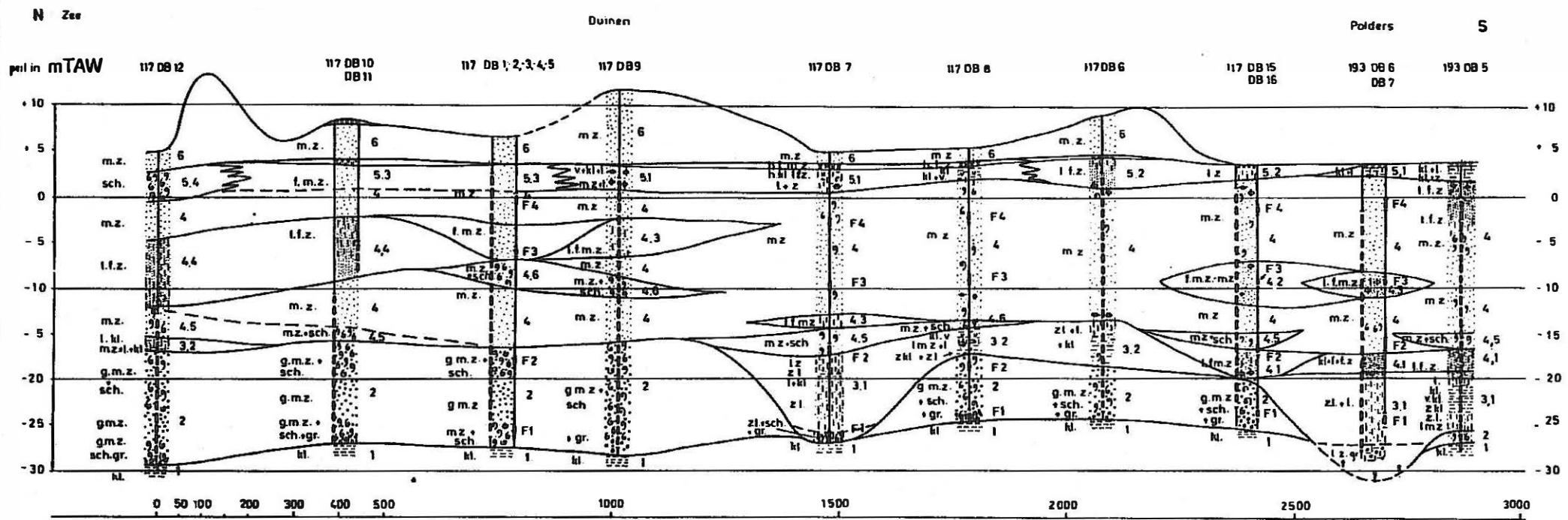
In het lithostratigrafisch profiel dwars door de duinen tot in de Polders, komen de verschillende lagen duidelijk (Fig. 2.4) tot uiting. Laag 1, het tertiair substraat, wordt gevormd door de mariene zware klei van de Groep van Ieper, het vroegere Ieperiaan (Yc). De top van het substraat ligt tussen de $-24,5^{\circ}$ m T.A.W. en $-31,0$ en heeft een golvend verloop. Figuur 2.5 geeft de ligging aan van de boringen in het studiegebied. In de boringen 193DB6 en 193DB7 is de top van de klei niet aangeboord. Er is een continue daling van de top van het substraat, van de Franse grens ($-24,6$) naar het oosten toe, tot aan het Leopold I-monument ($-31,6$) te De Panne.

Laag 2, voornamelijk opgebouwd uit middelmatig tot grof middelmatig zand met een erg veranderlijke hoeveelheid schelpen en schelpgruis, ontbreekt enkel in de boringen 117DB7 en 193DB6. De top van de afzetting ligt meestal tussen de $-15,5$ en $-18,5$ m, zodat de dikte in de meeste boringen begrepen is tussen 12 en 6 m.












Laag 3 is een klei-leemcomplex. De samenstelling, de dikte en het peil waarop deze afzetting voorkomt is plaatsafhankelijk. In het noordelijk gedeelte ontbreekt deze afzetting meestal. Uitzondering hierop zijn de boringen 117DB12 en 117DB14, waar de afzetting bestaat uit een circa 2 m dikke lemige zandlaag met fijn schelpgruis en klei-leemlenzen met erboven 10 tot 50 cm leem met kleilaagjes van verschillende centimeters dik. Naar het zuiden tot in de polders, dus vanaf de boringen 117DB7 tot 193DB5, komt dit pakket met afwisseling van lemig zand, zandige leem en zandige klei als één laag voor, weliswaar met veranderlijke dikten.

Laag 4, rustend op laag 3 of op laag 2, bestaat grotendeels uit goed gesorteerd middel

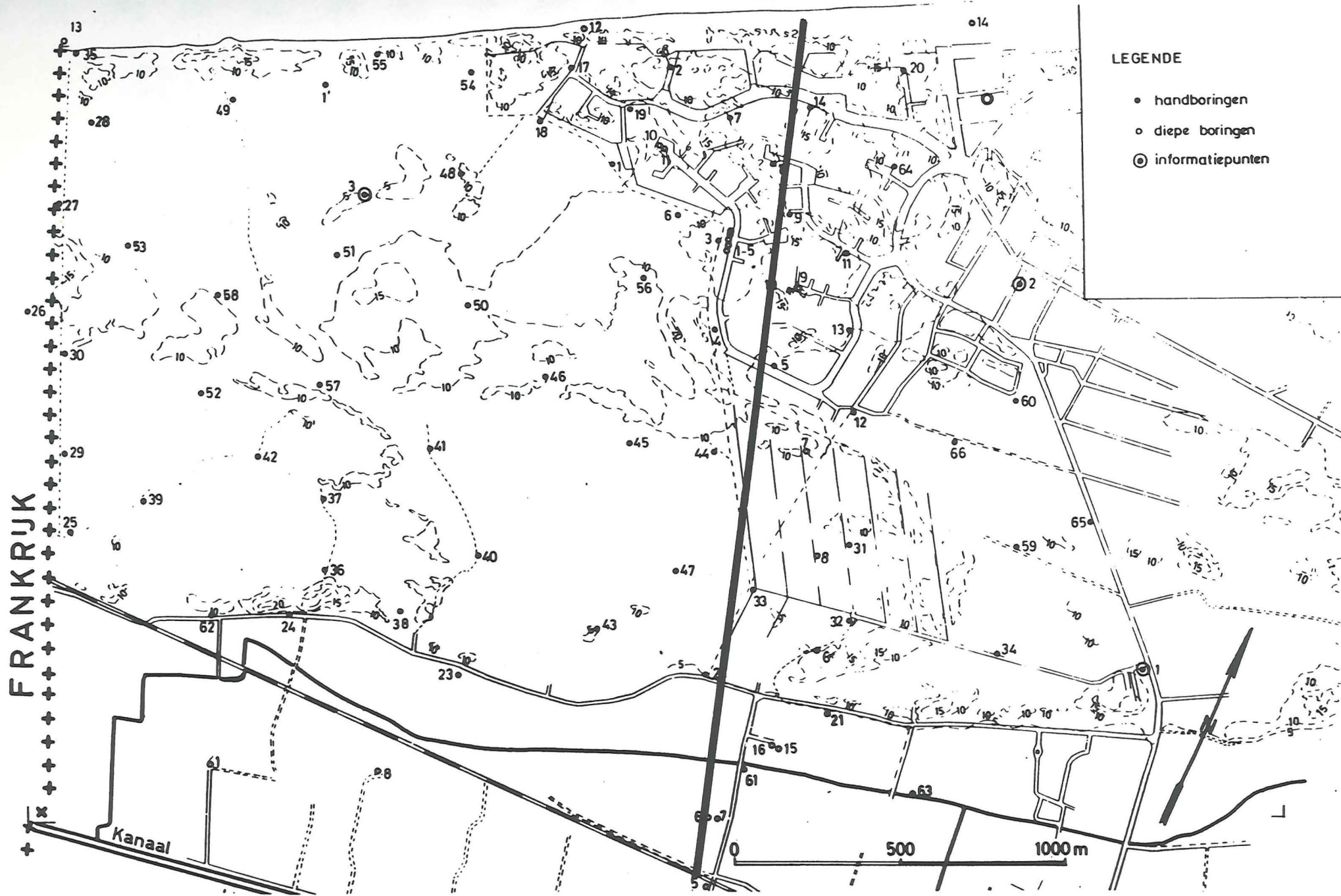
* Alle peilen zijn aangegeven in m t.o.v. het nulpunt van de Tweede Algemene Waterpassing (T.A.W.) van het NGI, dat overeenkomt met laag laag water (laag springtij).



Legende

- | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  grof middelmatig zand |  leemhoudend fijn zand |  humushoudend |
|  middelmatig zand |  leem of leemhoudend |  grint |
|  fijn middelmatig zand |  veen of veenhoudend |  klei of kleihoudend |
|  weinig leemhoudend fijn middelmatig zand |  schelpbank of schelphoudend | |

Figuur 2.4: Lithologisch profiel dwars door het studiegebied in De Panne (LEBBE, 1978)



Figuur 2.5: Localisatie van de verschillende boringen en ligging van het profiel in De Panne (LEBBE, 1978)

matig tot middelmatig fijn zand. De basis ervan ligt tussen de peilen -14,5 en -17,5. De top schommelt tussen -1 en +3. In deze laag komen fijne zandlenzen voor, of weinig leemhoudend fijn zand.

Laag 5 omvat een klei-leem-zandcomplex dat lateraal grote faciëswisselingen vertoont: het gaat van roestkleurige schelpen en schelpgruis (aan de zeezijde, onder de duinreep en het hoge strand) over naar een middelmatig tot fijn middelmatig zand en uiteindelijk een sterk leemhoudend zand met dunne klei-leemlagen en veen. De laag 5 ligt in het overdekte waddenlandschap aan het oppervlak en vormt in de duinen de basis van de duinzanden.

De bovenste laag, laag 6, bestaat uit duin- en strandafzettingen. In het duingebied komt het duinzand voor vanaf het maaiveld tot het peil +4. Banden van bruin licht humeuze zanden komen voor op verschillende diepten. Het zijn resten van oude begroeiingshorizonten. Het strandzand is fijner en iets minder gesorteerd dan het duinzand.

Duingebied tussen *KOKSIJDE* en *OOSTDUINKERKE* (LEBBE, 1973; LEBBE & DE BREUCK, 1980)

Figuur 2.6 geeft de ligging van de boringen in de duinen tussen Koksijde en Oostduinkerke aan. Een doorsnede van het zuidelijk gedeelte van dit duingebied wordt in figuur 2.7 weergegeven. De bovenste laag, reikt tot een peil van +4 tot +4,5 en wordt gevormd door recent duinzand (5). Aan de basis of iets hoger bevindt zich een doorlopende humeuze laag, die naar het oosten toe in tweeën splitst.

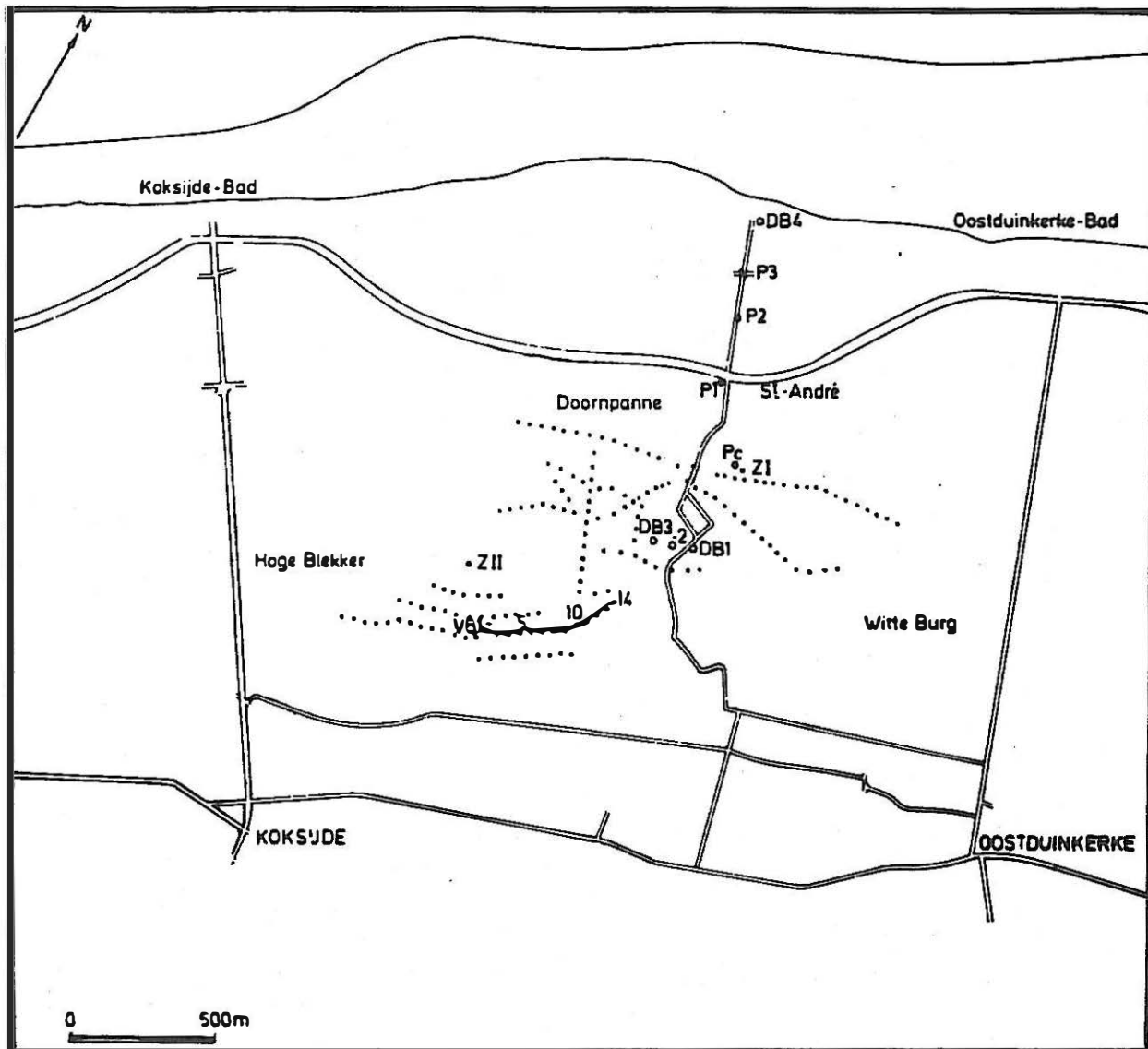
Onder de duinafzettingen komen de Afzettingen van Duinkerke voor. Bovenaan bestaan ze uit een afwisseling van zandige en zand lemige laminae, die dieper geleidelijk overgaan naar een lemig zand (4.3) dat op zijn beurt rust op een zandige laag. In boring 118VB3 wordt ter hoogte van de bovenste laminae een kleilens van 7 cm dikte waargenomen. De laag met een afwisseling van laminae neemt naar het oosten in dikte toe en gaat tenslotte over in een laag van kleilig zand met schelpgruis.

De onderliggende lemige zandlaag gaat in het oosten over in een zwart gespikkelde kleilaag die in boring 118VB14 een dikte van ongeveer 65 cm bereikt (4.4).

Het onderste gedeelte van de afzetting bestaat uit middelmatig zand (4.2), waarin schelpenbanken aangetroffen worden. Onderaan komt meestal een schelpenbank voor (4.1). In de boringen 118VB10 en 118VB11 wordt daaronder een ophoping van kleikeien aangetroffen.

Op sommige plaatsen is dieper grijs fijn zand aangeboord. Het maakt waarschijnlijk deel uit van de Afzettingen van Calais.

Het oostelijk gedeelte van het profiel verschilt duidelijk van het westelijk gedeelte. In het oosten vertoont het maaiveld een golvend verloop en ligt het hoger dan in het westen. Er komen meer begroeiingshorizonten voor in het oosten. De Afzettingen van Duinkerke zijn er kleilig en bijgevolg weinig doorlatend, in tegenstelling tot het lemige faciës in het westen, dat het water beter doorlaat. Op de kleilige laag heeft zich waarschijnlijk een stuwwaterlaag gevormd. Daar heeft zich herhaaldelijk een begroeiingshorizont ontwikkeld.



Figuur 2.6: Localisatie van de boringen en profielen in het duingebied tussen Koksijde en Oostduinkerke (LEBBE & DE BREUCK, 1980)

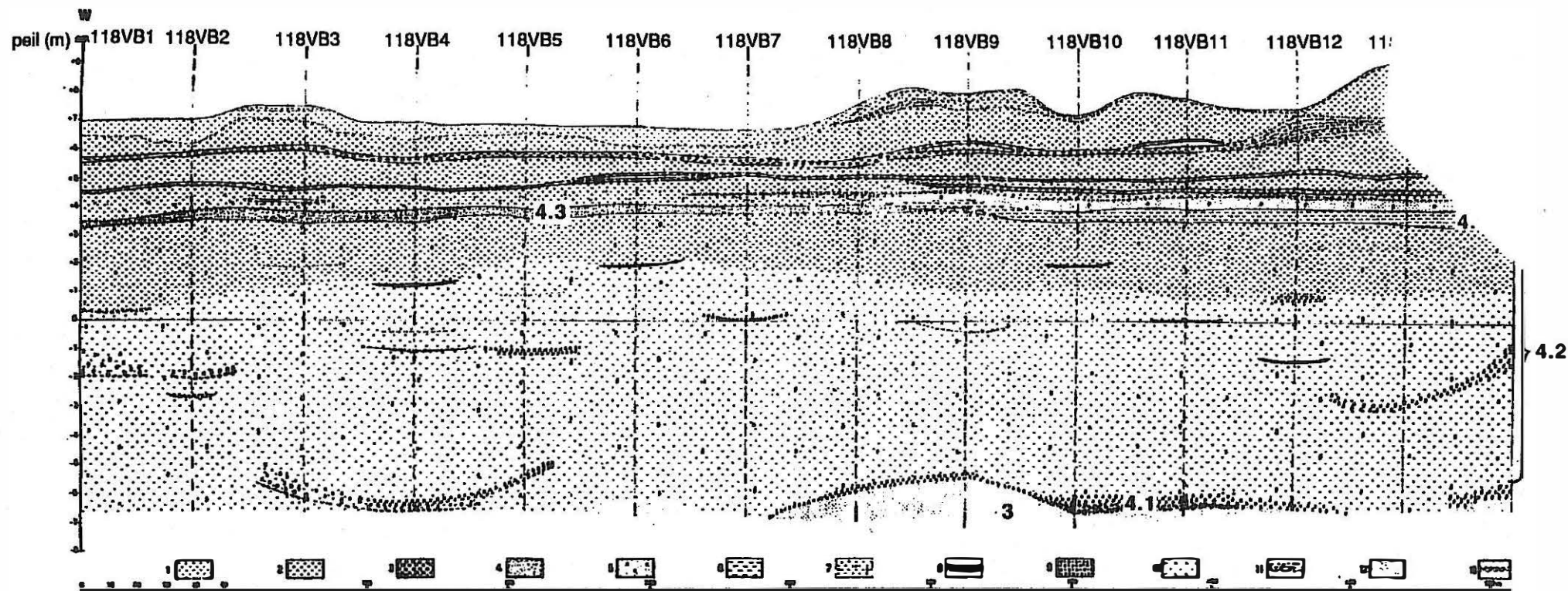


Fig. 6 - Litostratigrafisch profiel door de duinen van Koksijde volgens west-oostrichting.

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. Geel duinzand met humeuze deeltjes en met wortelharen.</p> <p>2. Bleekgeel duinzand met kris-kras-gelaagdheid.</p> <p>3. Humushoudend zand.</p> <p>4. Lemig zand.</p> <p>5. Grijsgroen kleilig zand met schelpgruis en gebleekte schelpen van <u>Cardium edule</u>.</p> <p>6. Grijsblauwe zwart-gespikkelde klei.</p> <p>7. Bleek middelmatig zand met gebleekte schelpen van <u>Donax</u> en <u>Cardium</u>.</p> | <p>8. Veenlaagjes (gedeeltelijk verslagen).</p> <p>9. Schelpen.</p> <p>10. Grijs middelmatig tot grof zand met een weinig schelpen, hout en kleibrokjes.</p> <p>11. Ophoping van grote gerolde kleibollen.</p> <p>12. Grijs fijn lemig zand.</p> <p>13. Afwisseling van dunne humeuze laagjes met laagjes van bleekgeel duinzand.</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Figuur 2.7: Lithologisch profiel VB1 tot VB14 in het zuidelijke gedeelte van de duinen tussen Koksijde en Oostduinkerke (LEBBE & DE BREUCK, 1980)

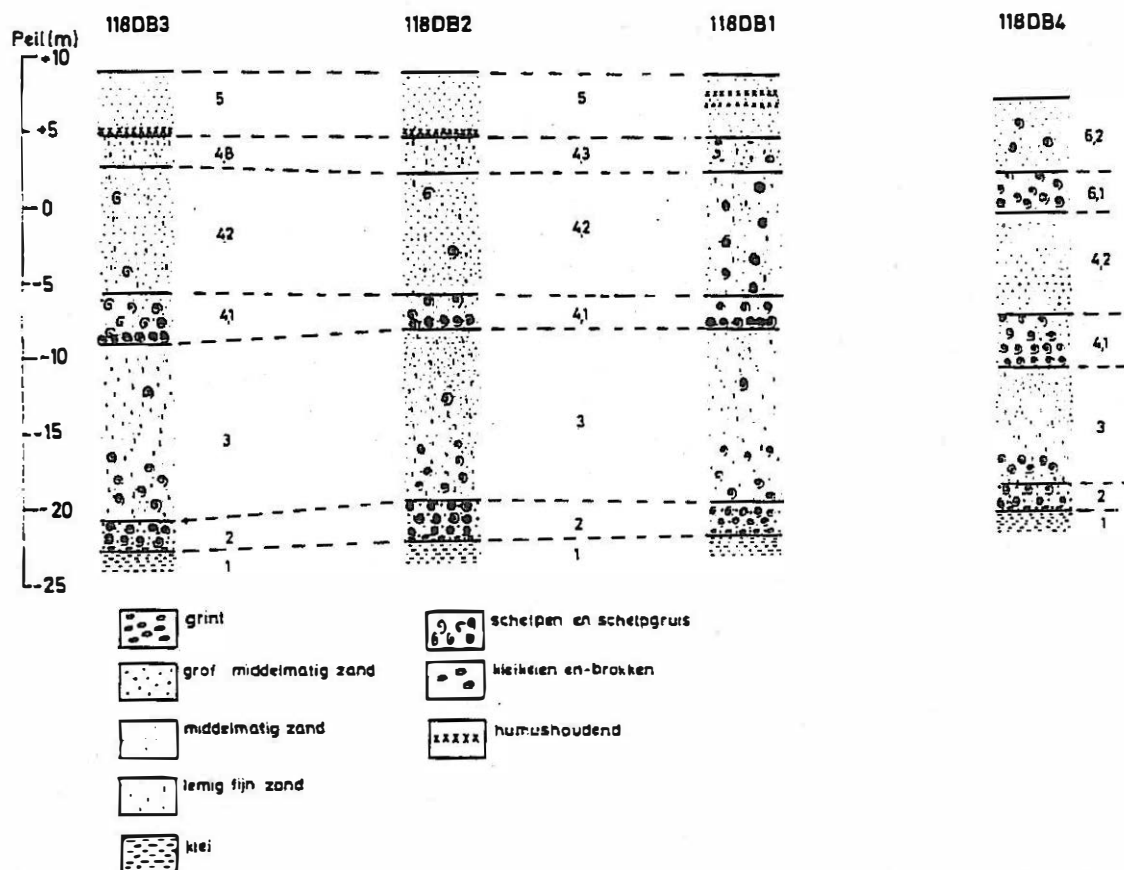
In het centrale gedeelte wordt duinzand boven het peil van +4,5 aangetroffen (5). Tussen +4,5 en +2 komt lemig en kleiig zand voor. Van +2 tot -9 wordt fijn zand (4.2) met onderaan over een dikte van 2 m een schelpenbank (4.1) aangetroffen. Deze laag kan tot de Afzettingen van Duinkerke gerekend worden.

Van -9 tot -20 ligt een laag leemhoudend fijn zand (3). Het onderste gedeelte van deze afzetting (2) bevat tamelijk veel schelpen en bestaat uit enigszins fijner en slechter gesorteerd materiaal. Dit zand behoort tot de Afzettingen van Calais.

Daaronder ligt een schelpenlaag met slecht gesorteerd materiaal (1). Deze laag is een restant van de Eem Formatie (Eemiaan) (SCHITTEKAT, 1972 in LEBBE & DE BREUCK, 1980).

Op -22 wordt de klei van Ieper aangeboord.

In het profiel van boring 118DB4 op het strand (Fig. 2.8) komt bovenaan het strandzand voor. Tussen +2 en -2 bevindt zich een schelpenbank (6.1). Daaronder, tot het peil -11,5 wordt fijn zand van de Afzettingen van Duinkerke aangetroffen (4.2). Dieper komen dezelfde afzettingen als in het voorgaande profiel voor.



Figuur 2.8: Lithologische profielen van de boringen DB1, DB2, DB9 en DB4 in de duinen tussen Koksijde en Oostduinkerke (LEBBE & DE BREUCK, 1980)

OOSTDUINKERKE (MAHAUDEN et al., 1982; ANGIUS, 1991; MAHAUDEN et al., 1993a en 1993c)

De localisatie van het lithostratigrafisch profiel wordt in figuur 2.9 weergegeven. In dit profiel (Fig. 2.10) is laag Yc de basis van het grondwaterreservoir, die wordt gevormd door het tertiair kleiig substraat (de vroegere Yc, Ieperiaanklei). Deze komt voor op het peil -19,35 (Mariapark) tot -20,80 (in het oostelijk deel van de Karthuisduinen). Deze laag is opgebouwd uit mariene zware grijze tot blauwgrijze klei.

Laag C bestaat uit grijs middelmatig tot grof zand met schelpen en schelpfragmenten. Deze laag is overal aanwezig. De dikte van deze afzetting varieert van 1,4 m (Hannecartbos) tot 5,25 m (in het oostelijk deel van de Karthuisduinen). In het zuidelijk gedeelte van het profiel heeft laag C een uniforme dikte van 4 tot 5 m.

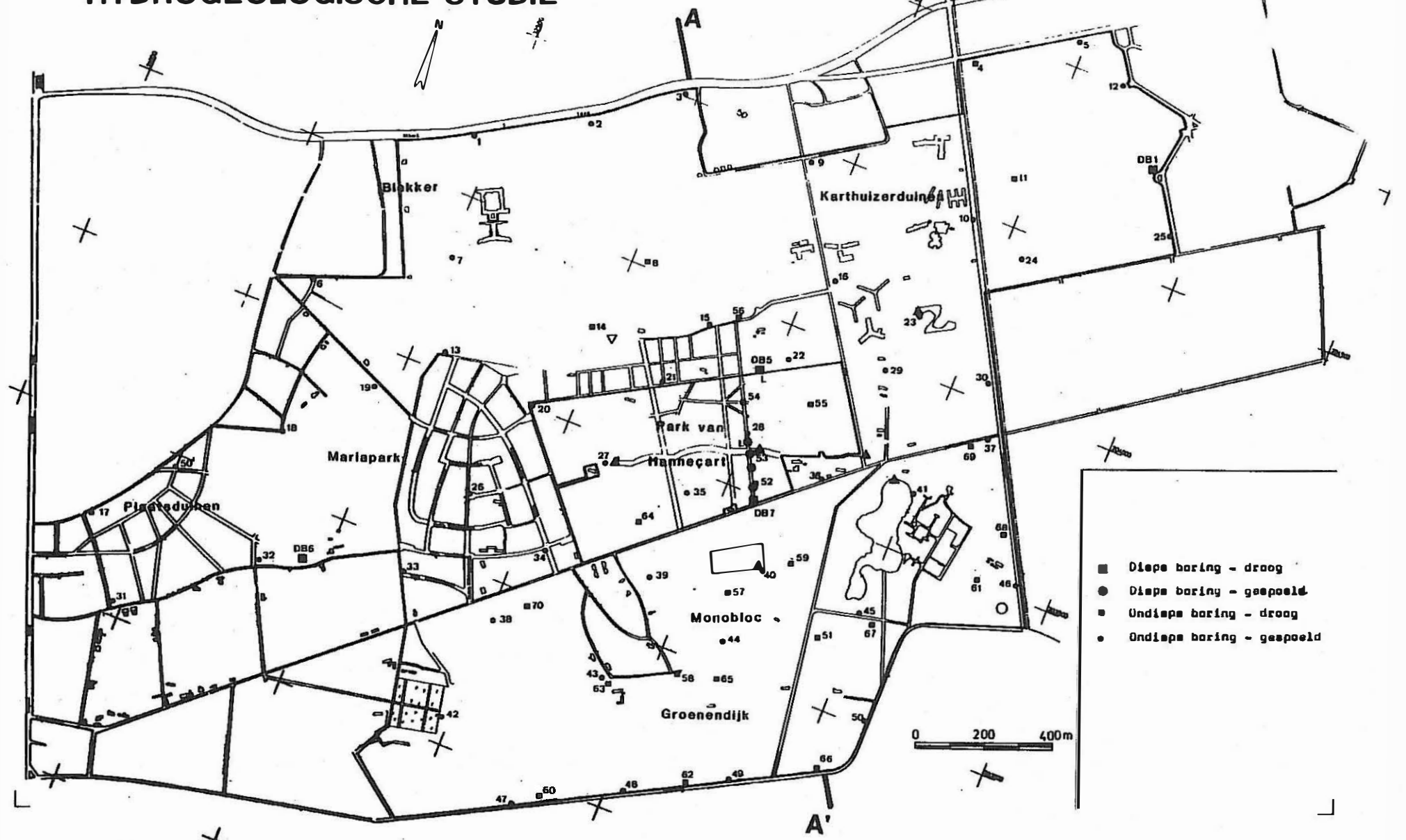
Laag C' is opgebouwd uit een afwisseling van laagjes fijn tot zeer fijn zand en laagjes zandhoudende leem tot leem. De zandhoudende leem- en leemlaagjes bevatten meestal veen. Dit complex is 7,5 m dik in het oostelijk deel van de Karthuisduinen terwijl ze afwezig is in het Mariapark en in het zuidelijk gedeelte van het profiel.

Laag B, rustend op laag C' of laag C, bestaat uit fijn zand met schelpfragmenten. De dikte varieert van 2,9 m (Hannecartbos, DB7) tot 10,0 m of meer (Mariapark en SB5, respectievelijk SB4).

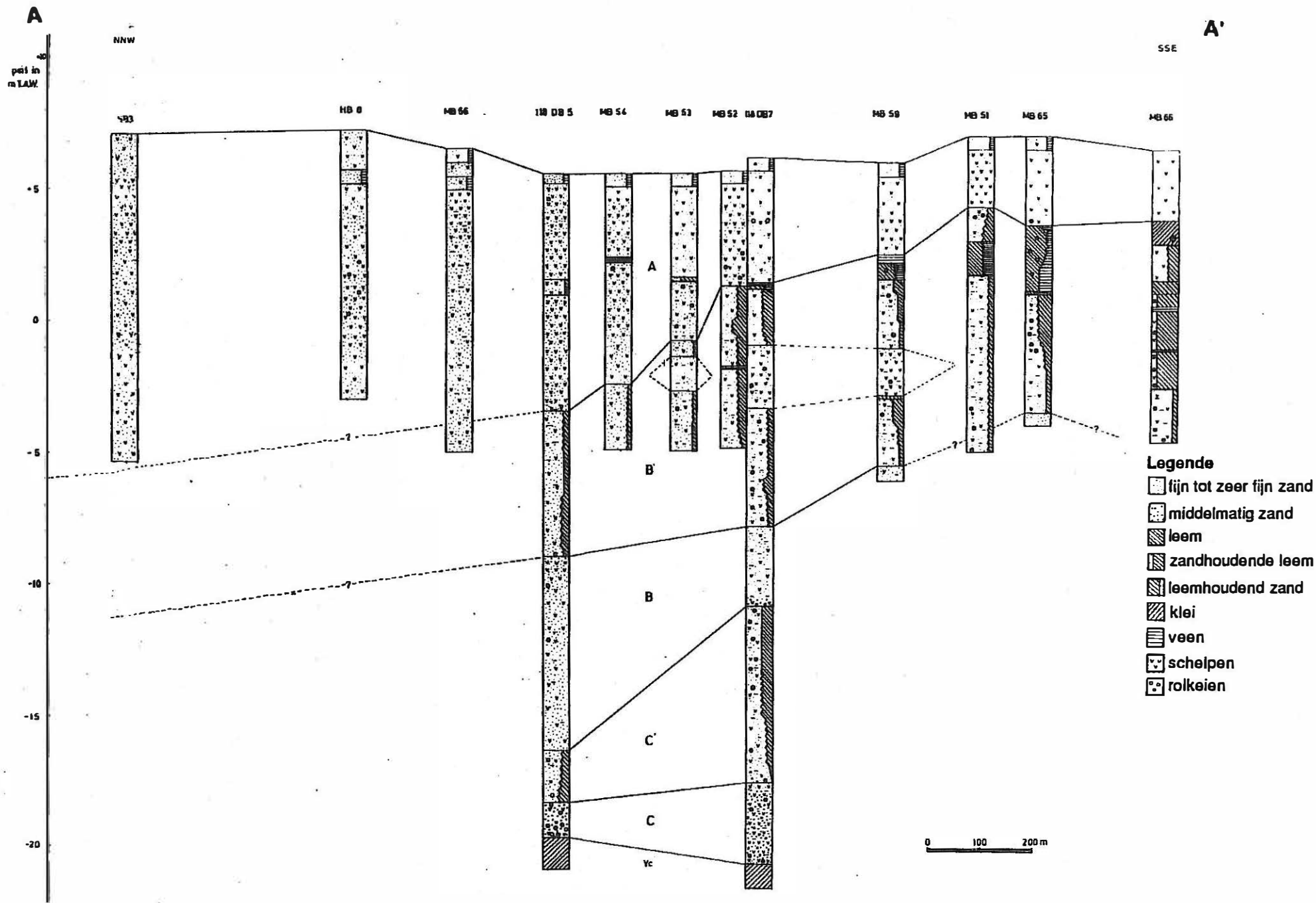
Laag B', afwezig in het oostelijk deel van de Karthuisduinen, bestaat uit een afwisseling van zandhoudende leem of leemlaagjes en laagjes fijn tot zeer fijn zand. In het zuidoostelijke gedeelte van dit studiegebied wordt hiertoe ook het klei-leem-veen complex gerekend. In het Hannecartbos bereikt deze laag een dikte van 5,5 m terwijl ze slechts 0,5 m is in het Mariapark. Hoe meer naar het zuidoosten, hoe kleiiger de afzetting wordt.

De bovenste laag, laag A, bestaat uit duin- en strandafzettingen. Hierin komen soms humushoudende zones (oude begroeiingshorizonten) voor. In de studie van ANGIUS heeft deze laag een gemiddelde dikte van 6 m en komt enkel voor in de duinen, zie profiel AA' (Fig. 2.11).

HYDROGEOLOGISCHE STUDIE



Figuur 2.9: Localisatie van het lithostratigrafisch profiel in Oostduinkerke (MAHAUDEN et al., 1982)



Figuur 2.10: Doorsnede AA' met aanduiding van de verschillende lithologische eenheden (MAHAUDEN et al., 1982)

OOSTDUINKERKE (MAHAUDEN et al., 1982; ANGIUS, 1991; MAHAUDEN et al., 1993a en 1993c)

De localisatie van het lithostratigrafisch profiel wordt in figuur 2.9 weergegeven. In dit profiel (Fig. 2.10) is laag Yc de basis van het grondwaterreservoir, die wordt gevormd door het tertiair kleilig substraat (de vroegere Yc, Ieperiaanklei). Deze komt voor op het peil -19,35 (Mariapark) tot -20,80 (in het oostelijk deel van de Karthuizerduinen). Deze laag is opgebouwd uit mariene zware grijze tot blauwgrijze klei.

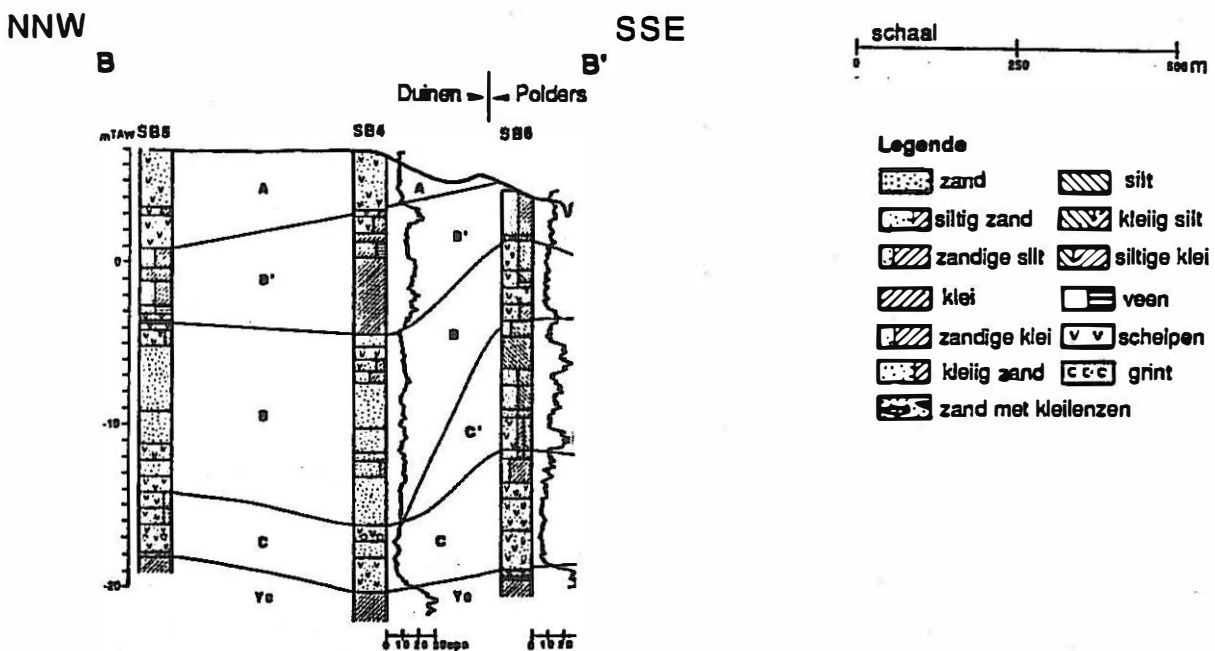
Laag C bestaat uit grijs middelmatig tot grof zand met schelpen en schelpfragmenten. Deze laag is overal aanwezig. De dikte van deze afzetting varieert van 1,4 m (Hannecartbos) tot 5,25 m (in het oostelijk deel van de Karthuizerduinen). In het zuidelijk gedeelte van het profiel heeft laag C een uniforme dikte van 4 tot 5 m.

Laag C' is opgebouwd uit een afwisseling van laagjes fijn tot zeer fijn zand en laagjes zandhoudende leem tot leem. De zandhoudende leem- en leemlaagjes bevatten meestal veen. Dit complex is 7,5 m dik in het oostelijk deel van de Karthuizerduinen terwijl ze afwezig is in het Mariapark en in het zuidelijk gedeelte van het profiel.

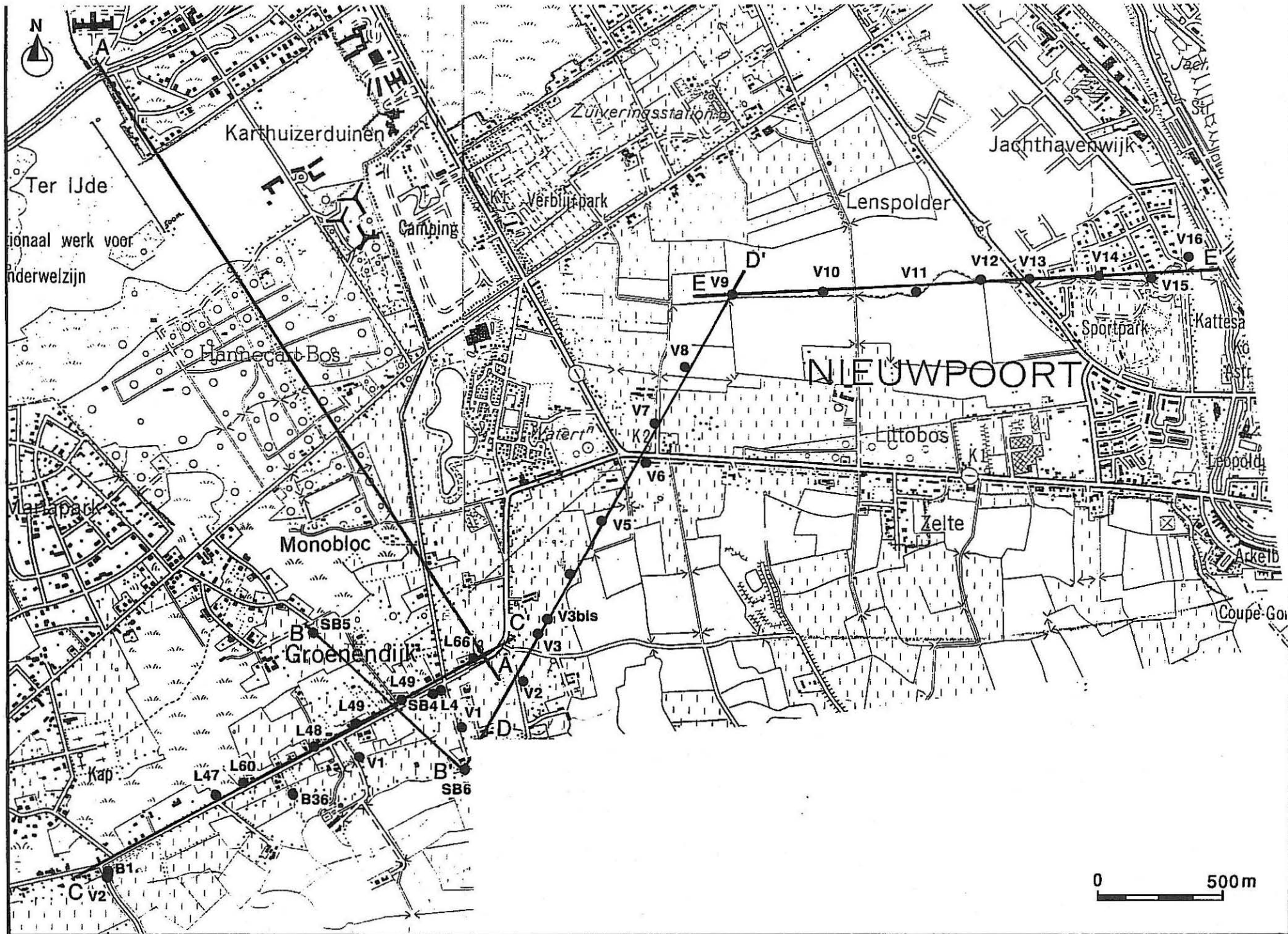
Laag B, rustend op laag C' of laag C, bestaat uit fijn zand met schelpfragmenten. De dikte varieert van 2,9 m (Hannecartbos, DB7) tot 10,0 m of meer (Mariapark en SB5, respectievelijk SB4).

Laag B', afwezig in het oostelijk deel van de Karthuizerduinen, bestaat uit een afwisseling van zandhoudende leem of leemlaagjes en laagjes fijn tot zeer fijn zand. In het zuidoostelijke gedeelte van dit studiegebied wordt hiertoe ook het klei-leem-veen complex gerekend. In het Hannecartbos bereikt deze laag een dikte van 5,5 m terwijl ze slechts 0,5 m is in het Mariapark. Hoe meer naar het zuidoosten, hoe kleiiger de afzetting wordt.

De bovenste laag, laag A, bestaat uit duin- en strandafzettingen. Hierin komen soms humushoudende zones (oude begroeiingshorizonten) voor. In de studie van ANGIUS heeft deze laag heeft een gemiddelde dikte van 6 m en komt enkel voor in de duinen, zie profiel AA' (Fig. 2.11).



Figuur 2.11: Doorsnede BB' met aanduiding van de verschillende lithologische eenheden (WALRAEVENS et al., 1993)



Figuur 2.12: Localisatie van de verschillende profielen in Oostduinkerke en Nieuwpoort

Op figuur 2.12 is de ligging van de verschillende profielen in Oostduinkerke aangegeven, terwijl in figuren 2.13 en 2.14 de lithologie schematisch voorgesteld wordt.

NIEUWPOORT (MAHAUDEN et al., 1991; MAHAUDEN et al., 1993b)

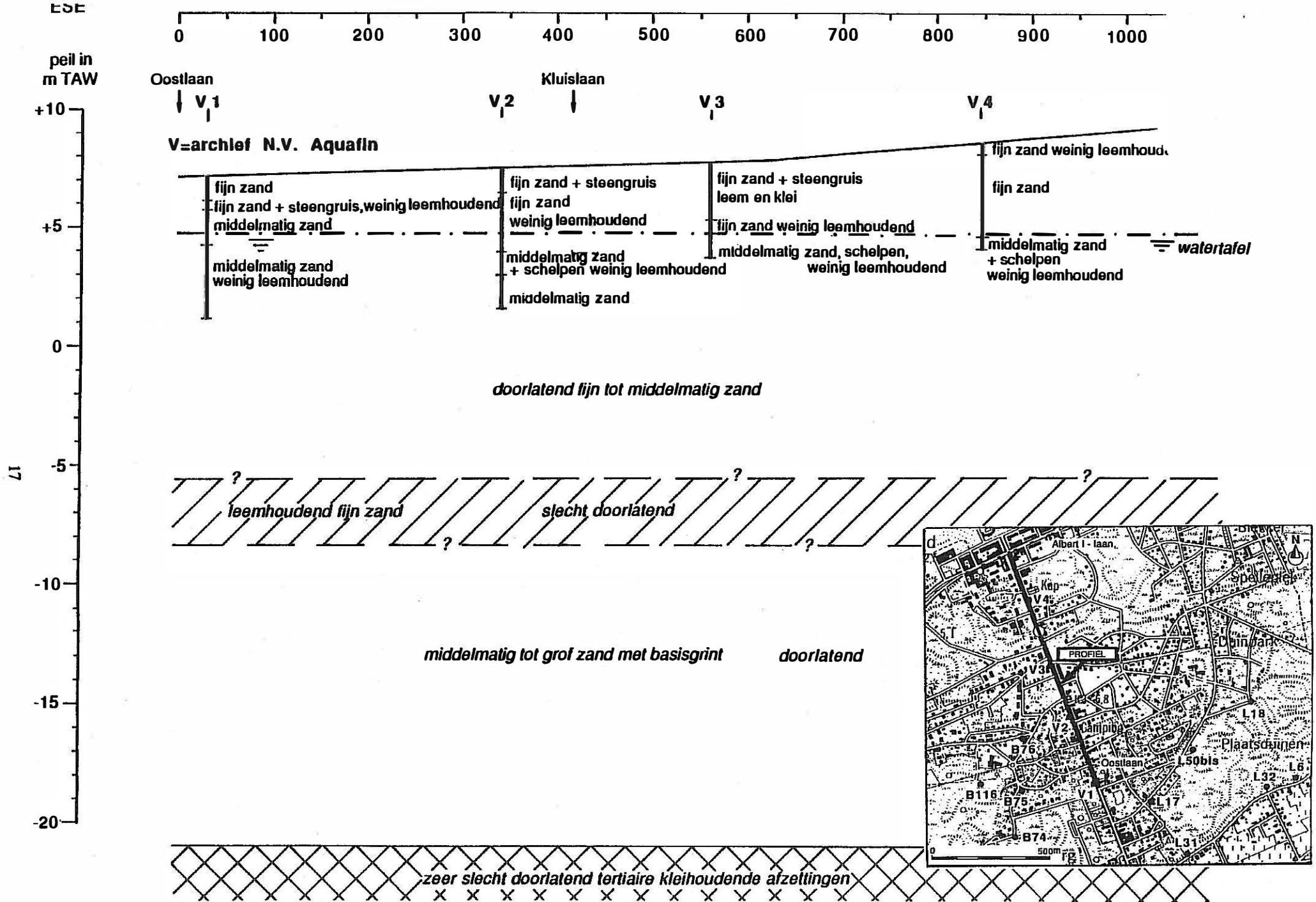
De top van de tertiaire afzettingen ligt in dit studiegebied op ongeveer -20 en vormt de kleiige basis van het kwartair grondwaterreservoir. De kwartaire sedimenten, die grotendeels bestaan uit zand, zijn er ongeveer 25 m dik. Meestal is dit zand fijn in de bovenste 10 tot 15 m en wordt het grover naar onderen toe (middelmatig tot grof). Onderaan bevat het grint- en schelpfragmenten. In deze kwartaire zanden komen meestal ook fijnere afzettingen voor. Hun verbreiding is goed gekend te hoogte van Groenendijk, maar minder goed in de Polders. Nabij Groenendijk komen vanaf ongeveer +3,0 leem-, klei- en veenafzettingen voor; hun basis werd aangetroffen tot -4,5. Zowel de dikte als de aard van deze afzettingen kunnen lateraal sterk wisselen. Volgens de boorgegevens komen fijne afzettingen voor ter hoogte van boringen V1, V3 tot en met V8 en V16 (Fig. 2.15 en Fig. 2.16). De ligging van de profielen zijn in figuur 2.12 terug te vinden.

In de polders bestaat de bovenste 0,5 tot 2,5 m uit klei. Onder deze polderklei kan plaatselijk nog een leemlaag (al dan niet zandig) voorkomen, meestal is deze ongeveer 1 m dik; hieronder wordt telkens fijn zand aangeboord.

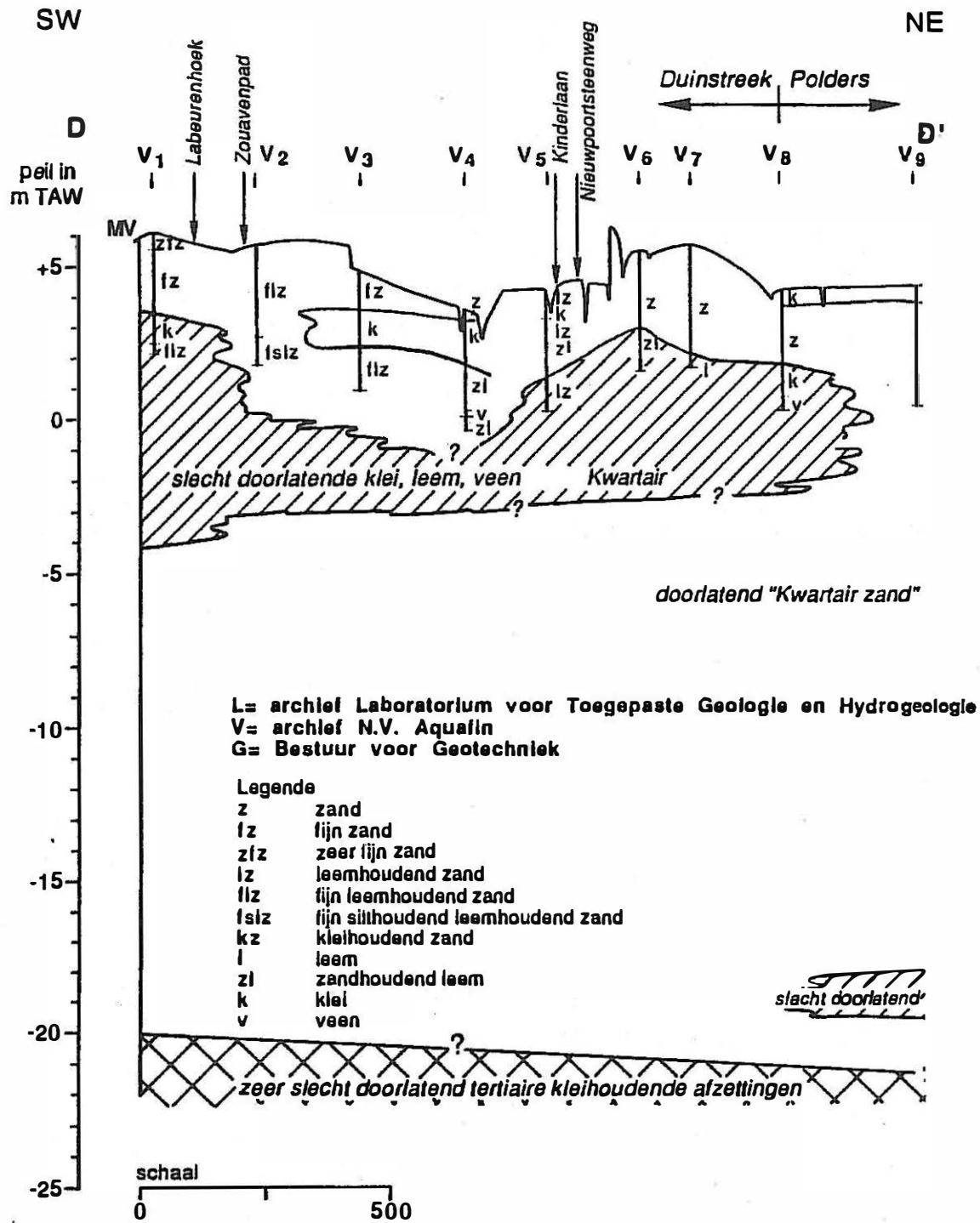
Het freatisch grondwaterreservoir wordt op een diepte van 26 tot 30 m begrensd door de kleiige tertiaire sedimenten.

MIDDELKERKE

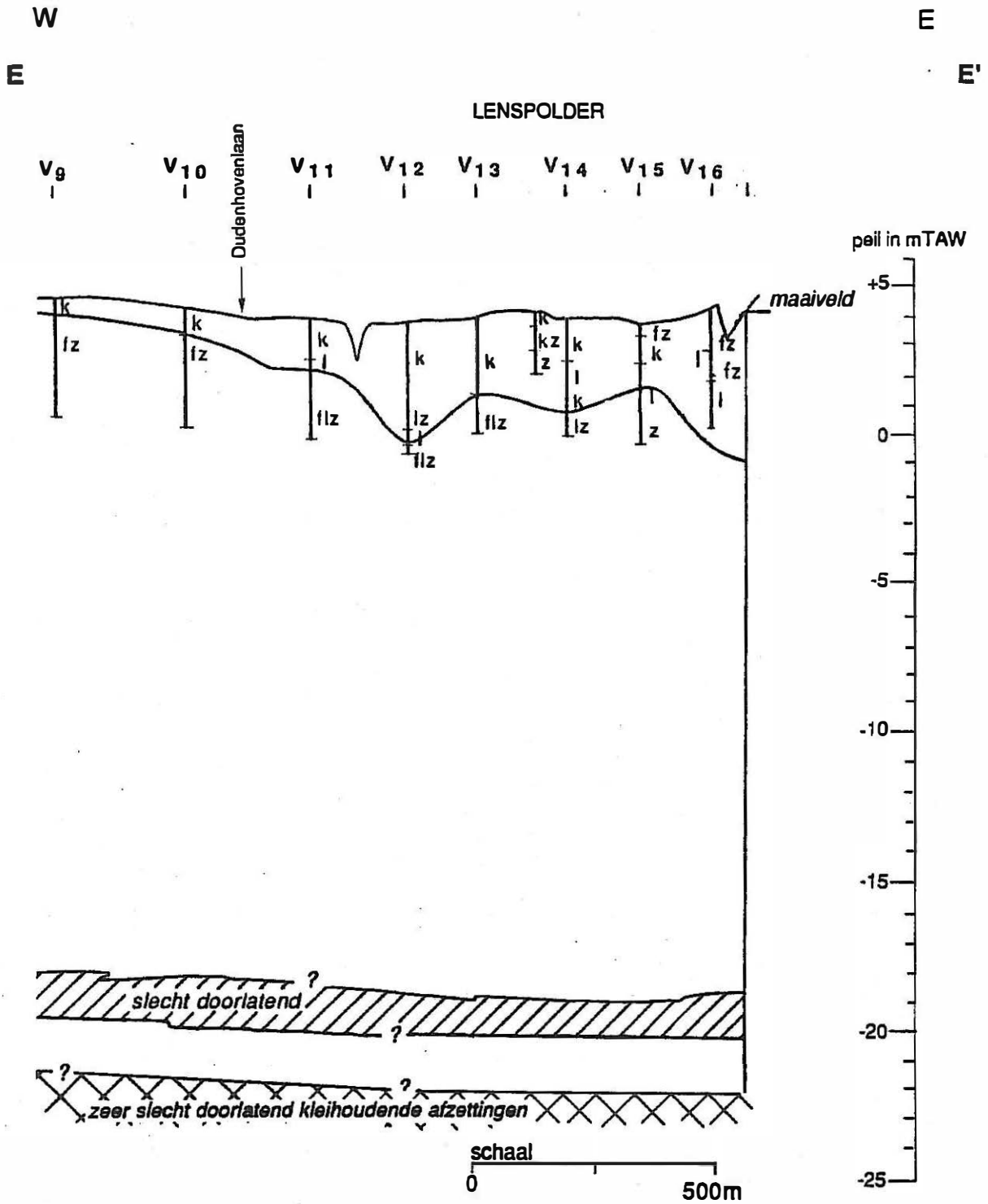
Op basis van enkele boorbeschrijvingen van de Belgische Geologische Dienst kan een interpretatie gegeven worden. Ten oosten van Middelkerke dorp zijn er slechts gegevens tot ca. 7,70 m diepte (boring 15), tot in de grijze klei (Fig. 2.17). Deze kleiige afzetting kan reeds op een diepte van 5,40 m voorkomen (boring 17). Hierop rust een grijs kwartshoudend zand dat een maximale dikte heeft van 1,80 m, voorkomend op een diepte van 5,90 m tot 7,70 m (boring 15). De minimale dikte bedraagt slechts 0,25 m en komt voor op een diepte van 6,65 m tot 6,90 m (boring 16). Het gele duinzand met een dikte van 4,90 m (boring 17) tot 6,65 m (boring 16) sluit het pakket af. Uit deze boorbeschrijvingen is af te leiden dat de basis van het grondwaterreservoir niet aangeboord werd, want in het duingebied ten westen van Middelkerke is doorheen de kleiafzetting geboord. De plaats van deze boringen is op figuur 2.17 aangegeven. De onderste aangeboorde afzetting bestaat uit fijn zand en komt voor op een diepte tussen 9,30 m en 10,60 m. Hierop rust de grijze klei die kan aangeboord worden op een diepte van 7,00 m of 9,00 m (boringen 22 en 23, respectievelijk 24). De dikte varieert van 3,60 m (boring 22) tot 2,30 m (boring 23). Op deze kleilaag ligt een laag grijs kwartshoudend zand met een dikte tussen 2,00 m en 5,00 m (boringen 22 en 23, respectievelijk 24). Ook hier is het duinzand de bovenste laag. De dikte is geringer dan in het oosten van Middelkerke en bedraagt 4,00 (boringen 22 en 24) tot 5,00 m (boring 23).



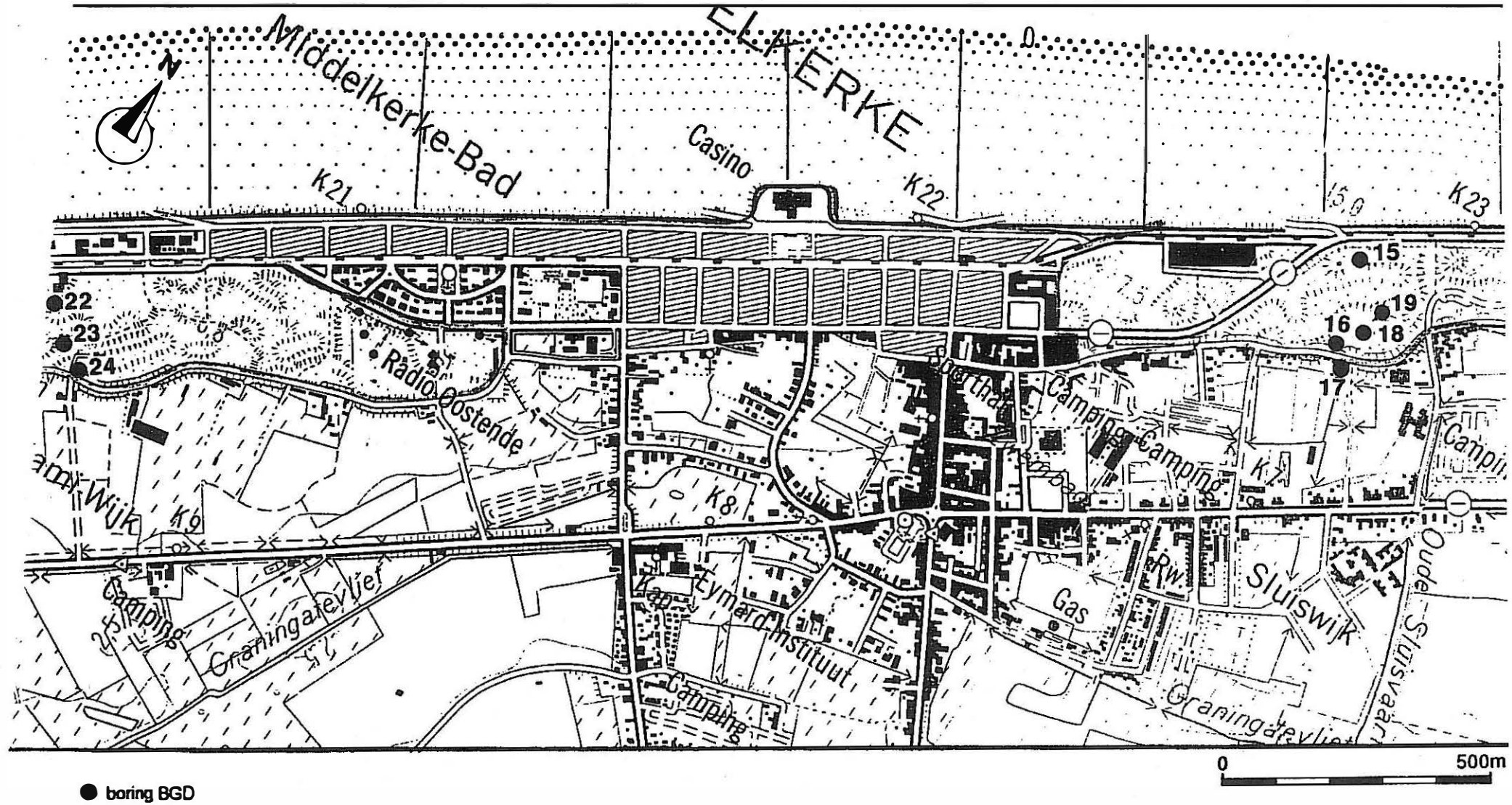
Figuur 2.14: Lithologisch profiel van de Oostlaan naar Albert-I-laan in Oostduinkerke (MAHAUDEN et al., 1993a)



Figuur 2.15: Doorsnede DD' met aanduiding van de verschillende lithologische eenheden (MAHAUDEN et al., 1993b)



Figuur 2.16: Doorsnede EE' met aanduiding van de verschillende lithologische eenheden (MAHAUDEN et al., 1993b)



iguur 2.17: Localisatie van de verschillende boringen in Middelkerke

OOSTENDE

De volgende beschrijving is gebaseerd op gegevens van de Belgische Geologische Dienst. Alle metingen worden hierin weergegeven ten opzichte van het maaiveld. De basis van het grondwaterreservoir bevindt zich op een diepte van 24,00 m tot 21,30 m (ter hoogte van Walraversijde). Hierop kunnen drie eenheden onderscheiden worden. De oudste afzetting bestaat uit zand dat met toenemende diepte overgaat van fijn naar grof zand. Aan de basis ligt soms basisgrint. De dikte bedraagt ongeveer 12 m. Hierop ligt een kleipakket waarin veen kan voorkomen. Deze laag kan reeds op een diepte van 3,60 m aangeboord worden of in uitzonderlijke gevallen op een diepte van 8,75 m. Het grondwaterreservoir bestaat bovenaan uit strand- en duinzand waarvan de dikte 3,60 m tot 8,90 m bedraagt.

BREDENE

Uit boorbeschrijvingen ter hoogte van de waterwinning in Bredene (VMW) kan afgeleid worden dat de watervoerende laag bestaat uit 7 eenheden.

Er bestaan geen aanwijzingen dat het tertiair substraat aangeboord werd. Eenheid 1 bestaat uit fijn lemig zand. Deze laag komt voor van -18,70 tot -19,00. Bovenaan wordt eenheid 1 begrensd door een laag van fijn tot middelmatig zand met enkele schelpjes. Deze laag is 9,30 m dik. Hierop rust eenheid 2, bestaande uit fijn tot middelmatig zand met klei en veenlaagjes. Eenheid 4 komt voor van -4,00 tot -4,20 en is opgebouwd uit zandige klei. Het grijs fijn zand heeft een dikte van 2 m en wordt tot eenheid 5 gerekend. Vanaf -1,20 komt een laag met grijs, fijn tot middelmatig zand, dat weinig leem bevat, voor. Dit is eenheid 6. De bovenste laag bestaat uit geel, grijs zand en kan als duin- en strandafzettingen omschreven worden.

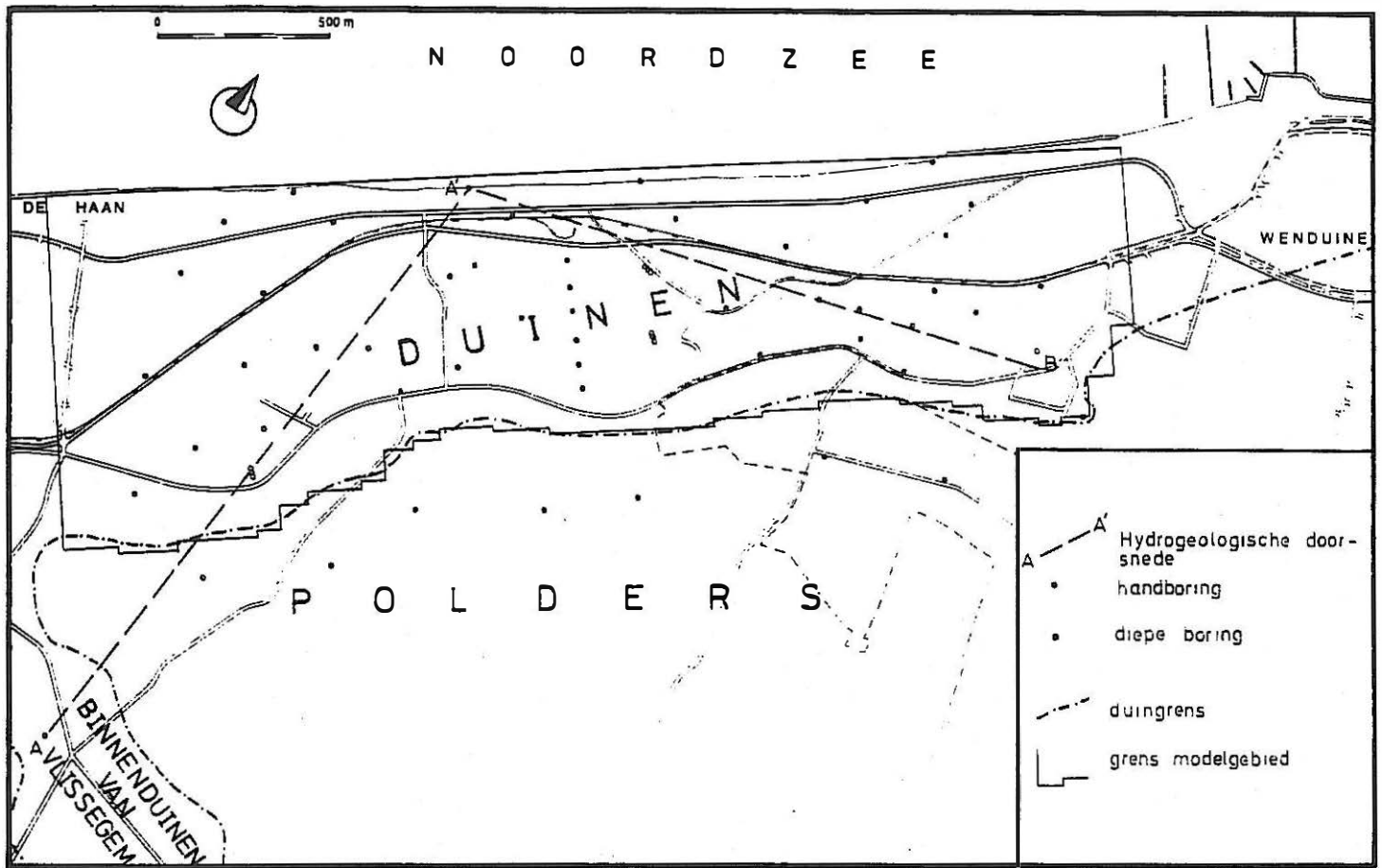
Duingebied ten oosten van *DE HAAN* (DEVOS, 1984).

Vier morfografische eenheden strekken zich uit over het studiegebied tussen Wenduine en De Haan. Van noordwest naar zuidoost onderscheidt men achtereenvolgens het strand (ongeveer 360 m breed), de "jonge" duinen, de polders en de "binnenduinen" van Vlissegem. De duinen van de Zandpanne (jonge duinen) zijn 700 tot 1000 m breed en ze zijn begrensd door de Noordzee in het westen, terwijl de polders de grens zijn in het zuidoosten (WALRAEVENS et al., 1990).

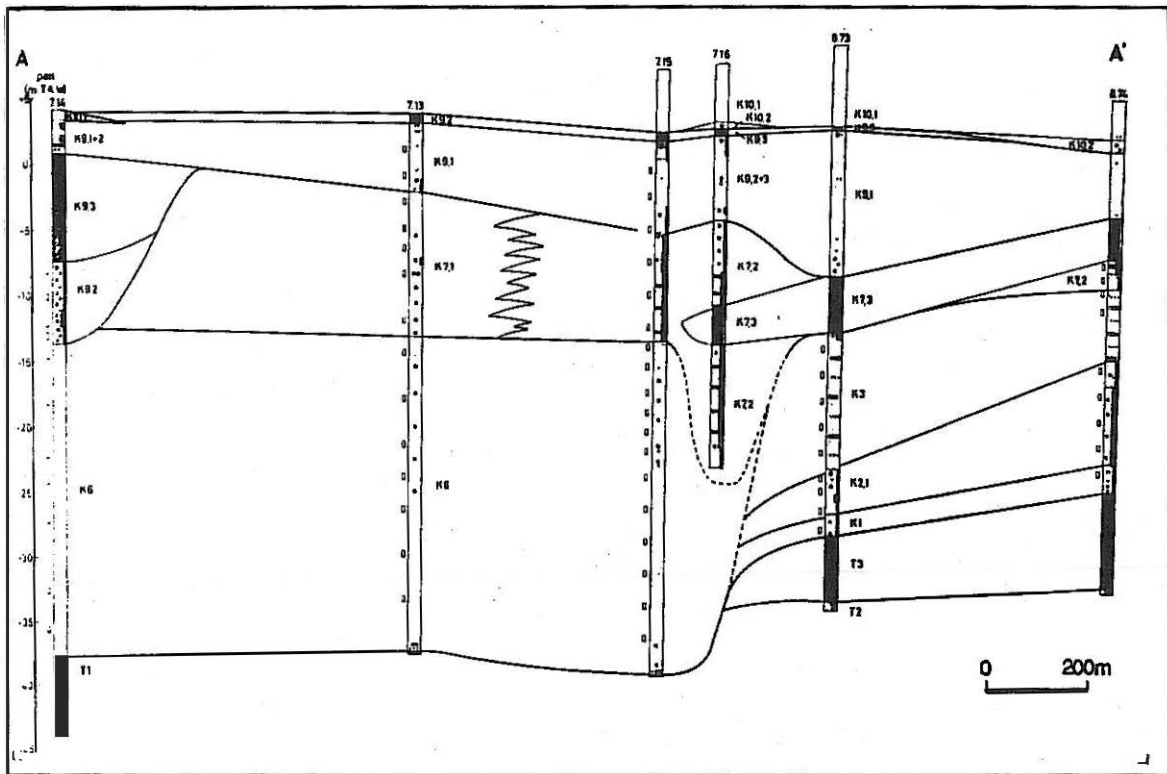
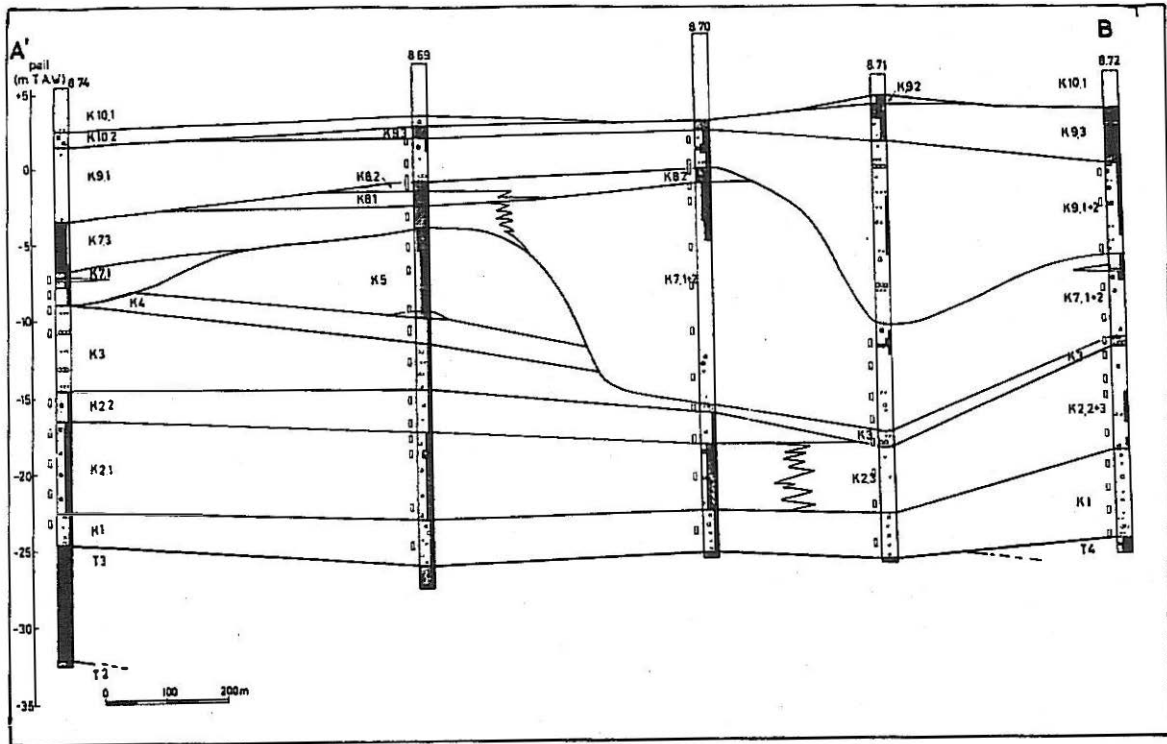
De basis van het grondwaterreservoir is de top van het tertiair substraat. Deze vormt twee duidelijke vervlakkingen. Nabij De Haan bestaat hij uit klei van de Formatie van Ieper en bevindt zich op het peil -38. Verder oostwaarts rijst hij vrij plots op naar een tweede vervlakking op het peil -26 en komen achtereenvolgens een smalle strook zeer fijn zand (Lid van Egem), klei (Lid van Merelbeke) en een zand-klei-complex (Lid van Pittem) aan de top van het Tertiair voor.

Boven deze beide vervlakkingen is de opbouw van de diepere kwartaire ondergrond totaal verschillend.

In het gebied (Fig. 2.18) werden twee profielen opgesteld (Fig. 2.19). Het kwartair grondwaterreservoir is in 10 verschillende eenheden onder te verdelen.



Figuur 2.18: Localisatie van de twee profielen in het duingebied ten oosten van De Haan(DEVOS, 1984)



Figuur 2.19: Lithostratigrafische doorsnede A'B en AA' (DEVOS, 1984)

Laag K1 rust in het centrale en het oostelijke gedeelte op het tertiaire substraat. Het bestaat uit grijs tot groengrijs middelmatig zand en weinig grint. Het bevat meestal weinig leem. De dikte van K1 neemt in regel af van oost naar west: 5,70 m in boring 8.72 tot 1,70 m in boring 8.73. Boven de diep gelegen, zuidwestelijke vervlaking in het tertiaire substraat ontbreekt K1.

Op laag K1 rust overal in het gebied een afzetting, die onder verschillende faciëssen kan voorkomen: groengrijs sterk leemhoudend, glauconiethoudend zeer fijn zand (K2,1), grijs zeer weinig leemhoudend fijn zand (K2,2), en grijs fijn tot middelmatig zand met schelpen (K2,3). In het duingebied ongeveer halverwege De Haan en Wenduine (boringen 8.69, 8.70, 8.73 en 8.74) komt voornamelijk het sterk leemhoudende faciës K2,1 voor, dat zich verder van de andere faciëssen onderscheidt door de algehele afwezigheid van schelpen.

De dikte van het sterk leemhoudend zeer fijn zand varieert van 0 tot 5,5 m en neemt toe van west naar oost, alvorens vrij plots te verdwijnen tussen de boringen 8.70 en 8.71. In het oosten van het duingebied zijn de zandige faciëssen K2,2 en vooral K2,3 vertegenwoordigd; gezamenlijk vertonen ze een dikte van 4,5 m (boring 8.71) tot 7 m (boring 8.72). Tevens bedekt een 2 tot 3 m dikke laag K2,3 vaak K2,1.

Evenals de laag K1 komt K2 in het zuidwesten van het studiegebied boven de diepe insnijding in het tertiaire substraat niet meer voor.

De Afzetting van ebrugge (K3) werd steeds op laag K2 als grinthoudend fijn zand tot zandhoudend grint (K3,1) waargenomen. Het kan plaatselijk naar onderen toe overgaan in grijs middelmatig zand (K3,2). Laag 3 komt voor tussen de peilen -9 en -25 en de dikte ervan varieert van enkele decimeters (boring 8.72) tot 12 m (boring 8.73). In laatstgenoemde boring ravineert K3 bijna volledig de onderliggende laag K2.

Plaatselijk rust op het grintrijk niveau K3 een laag grijs leemhoudend fijn zand (Afzetting van Damme (K4)). Deze werd enkel in boring 8.69 geïdentificeerd, waar een dikte van anderhalve meter werd vastgesteld. In dit materiaal komen geen schelpen voor.

Laag 5 is eveneens een zeer lokale afzetting. In boring 8.69 wordt ze aangetroffen tussen de peilen -4,4 en -10,3 en bestaat uit grijs tot bruingrijs, sterk leemhoudend zeer fijn zand, dat leem- en veenniveaus bevat. De topzone wordt gevormd door 1,5 m fijn zandhoudende leem met humus. De belangrijkste veenniveaus bevinden zich aan de basis van de afzetting en rondom het peil -8,3. Schelpen zijn afwezig.

Laag 6 rust rechtstreeks op het Tertiair in het zuidwesten van het gebied. Het is een laag bestaande uit lichtgrijs fijn zand met wat schelpen. Deze laag K6 vult er de diepe insnijding in het tertiaire substraat op. De dikte kan oplopen tot 25 m. Zowel lateraal als verticaal vertoont K6 een opvallende homogeniteit.

Op de lagen K3, K5 of K6 wordt een afzetting aangetroffen, waarvan de dikte en de samenstelling lateraal zeer snel variëren: de Afzetting van Calais (K7). In deze laag kunnen drie faciëssen worden onderscheiden: lichtgrijs fijn tot zeer fijn zand (K7,1), lichtgrijs, leemhoudend fijn zand met klei- en veenlaagjes (K7,2) en slappe, blauwgrijze klei (K7,3).

Plaatselijk is laag K7 volledig uit K7,1 opgebouwd (boring 7.13). Elders kan K7,1

volledig vervangen zijn door het leemhoudend faciës K7,2 (boring 7.15). Op de meeste plaatsen evenwel wordt K7,1 bedekt door een min of meer dik pakket van K7,2. De dikte van K7,2 loopt op tot ruim 17 m in boring 7.16.

Faciës K7,2 is weinig humushoudend en kan veenlaagjes bevatten van enkele centimeters tot enkele decimeters.

De zandige faciëssen K7,1 en K7,2 ontbreken, of zijn althans sterk gereduceerd in dikte op plaatsen waar K4 en/of K5 voorkomen, of waar K3 oprijst tot op een relatief hoog peil. Dit is het geval voor een groot gedeelte van het meest zeewaartse areaal van het studiegebied.

Op de faciëssen K7,1 of K7,2 ofwel rechtstreeks op K5, K4, of K3 wordt slappe, blauwgrijze klei aangetroffen (K7,3). Deze kleilaag kan op zijn beurt bedekt zijn door een nieuwe laag K7,2.

Evenals in de twee vorige faciëssen kunnen in de klei K7,3 plaatselijk verspreide schelpen voorkomen, vooral van *Cardium*. De totale dikte van de kleilaag K7,3 kan oplopen tot ruim 4 m. Hij ontbreekt over een groot gedeelte van het westen van het gebied, alsook in een langgerekte strook, die de oostelijke helft van het studiegebied van zuidwest naar noordoost doorsnijdt (onder andere boringen 8.71 en 8.72).

Het oppervlakteveen (K8) komt over grote delen van het studiegebied tussen de peilen 0 en -2,50 voor. De verbreiding ervan is in figuur 2.20 weergegeven. Daaruit blijkt dat in de ondergrond van het duingebied ten oosten van De Haan drie grote veenplaten kunnen worden onderscheiden: een noordoostelijke, een zuidoostelijke en een vrij sterk versneden zuidwestelijke. De dikte van de veenlaag is in de regel begrepen tussen 1 en 2 m, uitgezonderd in een paar boringen op de randen van de veengebieden, waar de veenlaag geravineerd wordt door de bovenliggende laag K9. De eigenlijke veenlaag (K8,1) bestaat hoofdzakelijk uit roestbruine houtveen, hoewel onderaan meestal een paar decimeters donkerbruin rietveen voorkomt. Plaatselijk in het centrale gedeelte van het duingebied is deze veenlaag in twee gesplitst door de aanwezigheid van een laagje van enkele decimeters sterk humushoudende klei.

Eveneens in het centrale duingebied kan de veenlaag bedekt zijn met een laagje sterk humushoudende leem (K8,2), dat zelfs de volledige laag K8 kan vormen (boring 8.70).

De Afzetting van uinkerke (K9) vertoont een zeer grillig patroon. Zowel de dikte als het faciës kunnen lateraal zeer snel variëren. Net als in de laag K7 worden in K9 drie faciëssen onderscheiden; grijs fijn zand (K9,1), lichtgrijs, leemhoudend fijn zand met kleilaagjes (K9,2) en grijze klei (K9,3).

Het zandige faciës K9,1 vormt voor een groot deel de opvulling van een belangrijk geulsysteem, dat bijna het volledige noordwesten van het gebied beslaat, alsook een brede zuidwest-noordoost gerichte vertakking vertoont, die tot in Wenduine reikt. Bovendien bedekt K9,1 meestal de randen van de veenplaten. Dergelijke maximaal drie meters dikke zandlichamen zijn verbonden met de zandige geulopvullingen en ziet men naar het centrum van de veenplaten toe geleidelijk overgaan in klei K9,3.

Het leemhoudend fijn zand met kleilaagjes K9,2 kan voorkomen als een tamelijk dik (tot 8 m) pakket aan de basis van de geulopvullingen (boring 7.14). In het duingebied daarentegen komt het vaak voor als een vrij dunne laag op K9,1.

De gezamenlijke dikte van de zandige geulopvullingen K9,1 en K9,2 kan oplopen tot 15 m.

De klei K9,3 vormt meestal de topzone van de laag K9. Op de randen van de veenplaten, of waar helemaal geen veen K8 in de ondergrond voorkomt, is de dikte van de K9,3 meestal beperkt tot een meter (in de polders) en tot enkele decimeters (in de duinen). In de duinen nabij De Haan kan K9,3 zelfs volledig ontbreken. In het centrale duingebied daarentegen kan dit faciës gedeeltelijk uit zandhoudende leem bestaan.

Waar het faciës K9,2 het hoofdbestanddeel van de geulopvulling vormt, kan de kleiige topzone K9,3 gemakkelijk een dikte van enkele meters halen (boring 7.14). De overgang van het kleiige faciës K9,3 naar het zandige faciës K9,1 gebeurt in de duinen meestal geleidelijk, via een leemhoudend laagje K9,2. Daarentegen is deze overgang op de meeste plaatsen in de polders zeer scherp.

Het duinzand (K10) is een zeer homogeen, zeer goed gesorteerd fijn zand, dat nagenoeg geen kalk bevat. Er kunnen één of meer sterker humushoudende horizonten voorkomen. Aan de basis van het (jonge) duinzand komt plaatselijk een laagje zeer weinig leemhoudend fijn zand (K10,2) voor.

Uit deze geologische verkenning is gebleken dat de lithostratigrafie van de kwartaire ondergrond in de streek van De Haan en Wenduine erg complex van bouw is. De lagenopvolging in het oosten van het gebied blijkt gedeeltelijk overeen te komen met deze beschreven te Zeebrugge (zie verder).

De stratigrafische betekenis van de lagen K1, K2 en K6 is onduidelijk. De reden hiervoor werd in DEVOS (1984) uitvoerig besproken.

BLANKENBERGE (VERMOORTEL & DE BREUCK, 1994a, 1994b en 1994c)

Het geologisch profiel verloopt van het strand (SB1) tot in de polders (SB3). Het duingebied en het strand hebben een gelijkwaardige bouw. Vooral recente duin- en strandprocessen hebben hier een rol gespeeld in de ontwikkeling van de bovenste lagen. De bouw wordt verduidelijkt in figuur 2.21.

De diepte van de top van het Tertiair ligt tussen -18 (SB3) en -20 (SB2). Reeds in 1974 werden twee boringen uitgevoerd. De top van het tertiair substraat bevindt zich op 27,5 m diepte en op 26,5 m (DE BREUCK, 1974). Hierop rust een laag van grof zand, schelpfragmenten en grint. Deze eenheid kan 2 m dik zijn en behoort tot de Afzetting van Kaprijke (K1).

De Afzetting van Moerkerke (K2), rustend op K1, bestaat uit fijn tot zeer fijn zand. Plaatselijk kunnen dunne afzettingen van leem of klei voorkomen. Deze laag kan 15 m dik zijn.

Boven het homogeen zandpakket ligt een ca. 3 tot 4 m dik heterogene eenheid: het veen-klei-leemcomplex (de Afzetting van Eeklo). In boring SB1 bestaat deze afwisselend uit dunne veen-, leem-, en zandlaagjes, in boring SB2 uit zware klei en leem en in boring SB3 uit leem en zand.

Op dit heterogeen pakket komt een donkerbruine veenlaag voor; de dikte ervan bedraagt ongeveer 0,5 m in de boringen SB1 en SB2, terwijl ze een dikte van 3 m heeft in boring SB3. Deze laag behoort tot het oppervlakteveen.

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
GEOLOGISCH INSTITUUT
LEERSTOEL VOOR TOEGEPASTE GEOLOGIE
(PROF. DR. W. DE BRUICK)

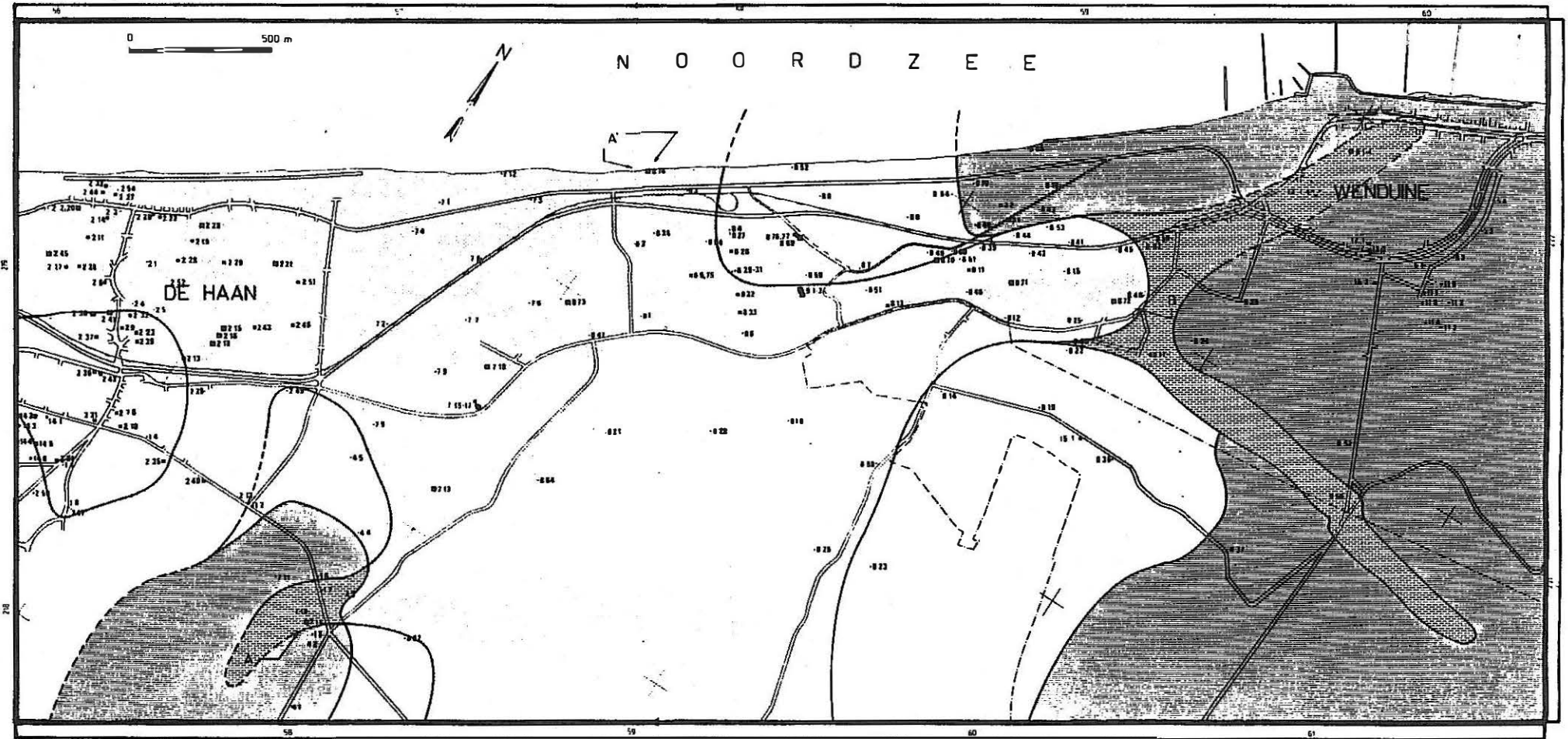
HYDROGEOLOGIE VAN HET DUINGEBIED
TEN OOSTEN VAN DE HAAN
DOOR JAN DEVOS (1984)

ZONERINGSKAART

LEGENDE

diepte > 30 m		geel met lichte speling
diepte 15-30 m		geel met lichte speling
diepte < 15 m		vochtig met zandige bedekking
vochtig		vochtig met zandige bedekking
diepte 15-30 m		
diepte < 15 m		

A' → locatie van lithologische, hydrogeologische
of hydrochemische doorsnede



Figuur 2.20: Verbreiding van het oppervlakteveen in het duingebied ten oosten van De Haan (DEVOS, 1984)

De geologische bouw van de lagen boven het veenpakket wordt gekenmerkt door een sterke laterale heterogeniteit. In boringen SB3 en SB2 werd hoofdzakelijk klei en zware klei aangetroffen onder de aangevoerde grond, respectievelijk zand (zone tussen N34 en Graaf Jansader) en steenslag (boring SB2). Dit zijn de Duinkerken-afzettingen (K8).

Duin- en strandafzettingen: in SB1 is de veenlaag bedekt door fijn zand. Deze laag komt voor tussen +6 en +20 m.

ZEEBRUGGE (DEPRET, 1983)

Van het oorspronkelijk strand en duingebied blijft heden ten dage nagenoeg niets meer over: door de verstedelijking langs de kustlijn, maar vooral door de recente havenontwikkeling zijn de grootste gedeelten ervan ofwel afgetopt ofwel verhoogd. Het hoogste punt in de Duinstreek ligt op ongeveer +12 m.

Hier zal enkel het kwartaire besproken worden, de watervoerende laag boven de tertiaire kleilaag (Lid van Ursel (T11), in het noorden en het Lid van Asse (T10) meer zuidelijk) (Fig. 2.22). Er worden in de kwartaire afzettingen 10 eenheden onderscheiden.

De Afzetting van Kaprijke (K1) rust op de tertiaire klei en wordt gekenmerkt door een heterogeen, grinthoudend zand tot zandhoudend grint met veel schelpen en schelpfragmenten.

De Afzetting van Moerkerke (K2) is een zandpakket met een dikte van 6 tot 8 m. Het zandpakket is overwegend samengesteld uit fijn en in mindere mate middelmatig zand met weinig of geen schelpen.

De Afzetting van Zeebrugge (K3) kan in 3 zones onderverdeeld worden. Er kan echter geen scherpe grens getrokken worden tussen K2 en K3. Overwegend is het een grinthoudend zand tot plaatselijk zandhoudend grint. K3,1 en K3,3 worden gescheiden door een kleihoudende zone K3,2. Er is weinig verschil tussen K3,1 en K3,3. De dikte van K3,2 varieert van ongeveer 3 tot 6 m. Eenheid K3 heeft een totale dikte tussen 9 en 12,5 m.

De Afzetting van Damme (K4) bestaat uit lagen grijs fijn zand waarin dunne, vaak minder dan 0,5 m dikke, leemhoudende en veenhoudende niveaus kunnen voorkomen. Er zijn weinig of geen schelpen en schelpfragmenten aanwezig. Deze afzetting is ongeveer 4 m dik.

De Afzetting van Eeklo (K5) is het veen-leem-zandcomplex. Er komen verscheidene lemige en venige niveaus voor. Bovenaan wordt K5 afgesloten door een zandlaag. De dikte van de zandlagen varieert van 1 tot 3 m terwijl die van de leem-veenlagen 0,5 tot 2,0 m bedraagt. De zandige eenheden bestaan uit een vrij homogeen al of niet weinig leemhoudend zeer fijn tot fijn zand.

De Afzetting van Calais (K6) komt plaatselijk voor (ten zuiden van de duinreep, westelijk van Zeebrugge-dorp). Het is een slappe, blauwgrijze, leemhoudende klei met een dikte die meestal minder is dan 0,2 m.

Oppervlakteveen (K7) komt voor als een noordwest-zuidoost gerichte 3 tot 5 km brede strook dat op K5 en plaatselijk op K6 als een donkerbruine veenlaag aangetroffen wordt.

De dikte neemt van zuid naar noord toe van gemiddeld 1,3 m tot meer dan 2 m. De basis van K7 vertoont hier en daar geulen van enkele tientallen meters breed.

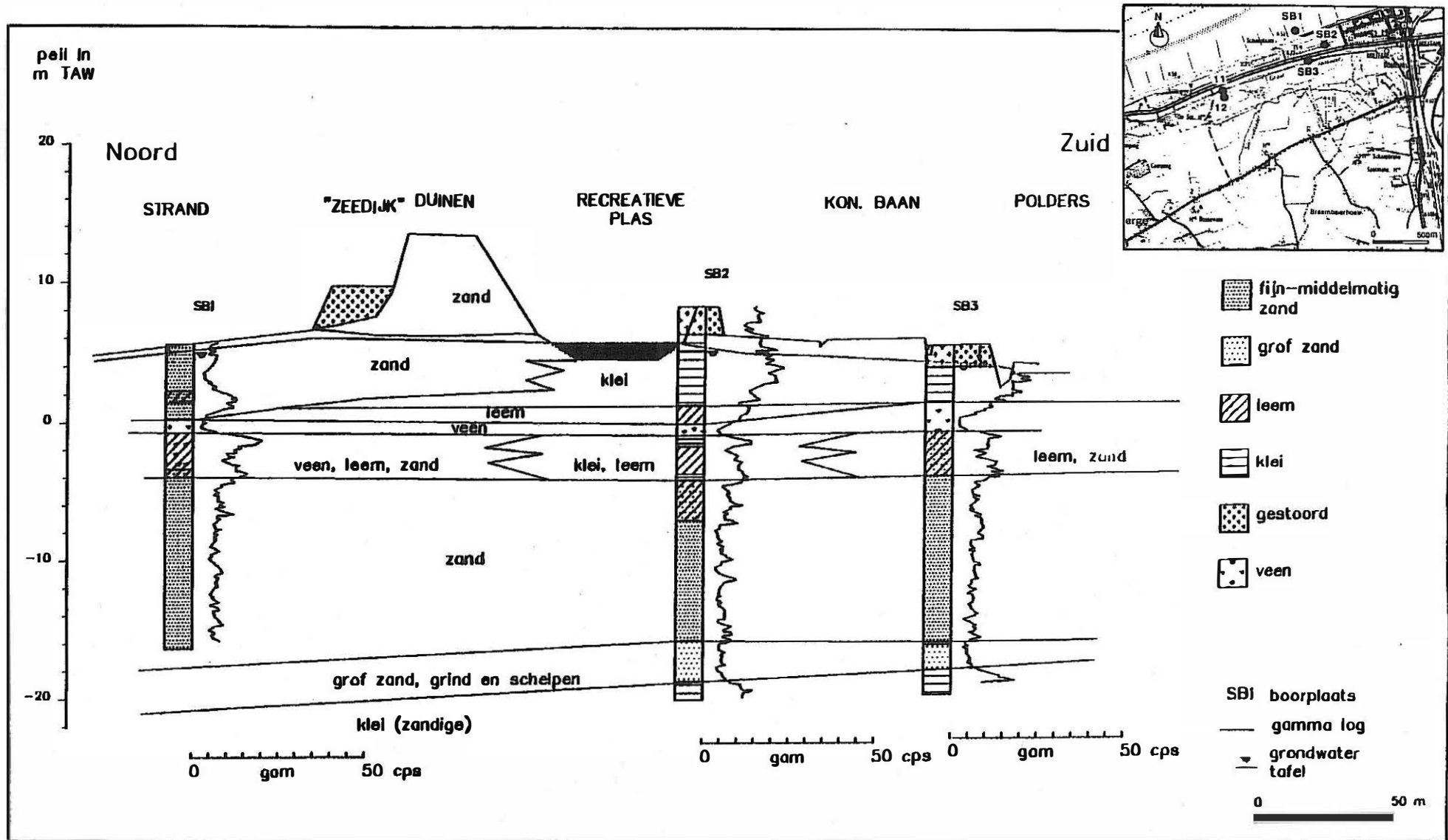
De Afzetting van Duinkerken (K8) bestaat uit fijn zand waarin regelmatig veenbrokken van allerlei afmetingen, klei- en leembrokken en klei- en leemlamellen zitten. Het zijn grote geulvormige insnijdingen in K7.

Eenheid K9 is van antropogene oorsprong en werd waargenomen op K7 (zie profiel K7 + K9). Het omvat alle heropgevulde veenputten. Er werd geen onderscheid gemaakt naar de grondsoort aangezien de veenputopvullingen erg heterogeen zijn. Meestal bestaan ze uit kleine en grote klei-, leem-, veen- en in mindere mate zandbrokken die zijn ingebed in een overwegend zandige ofwel kleiige matrix. De samenstelling van het oorspronkelijk op veen liggende dek wordt min of meer in de veenputopvulling weerspiegeld.

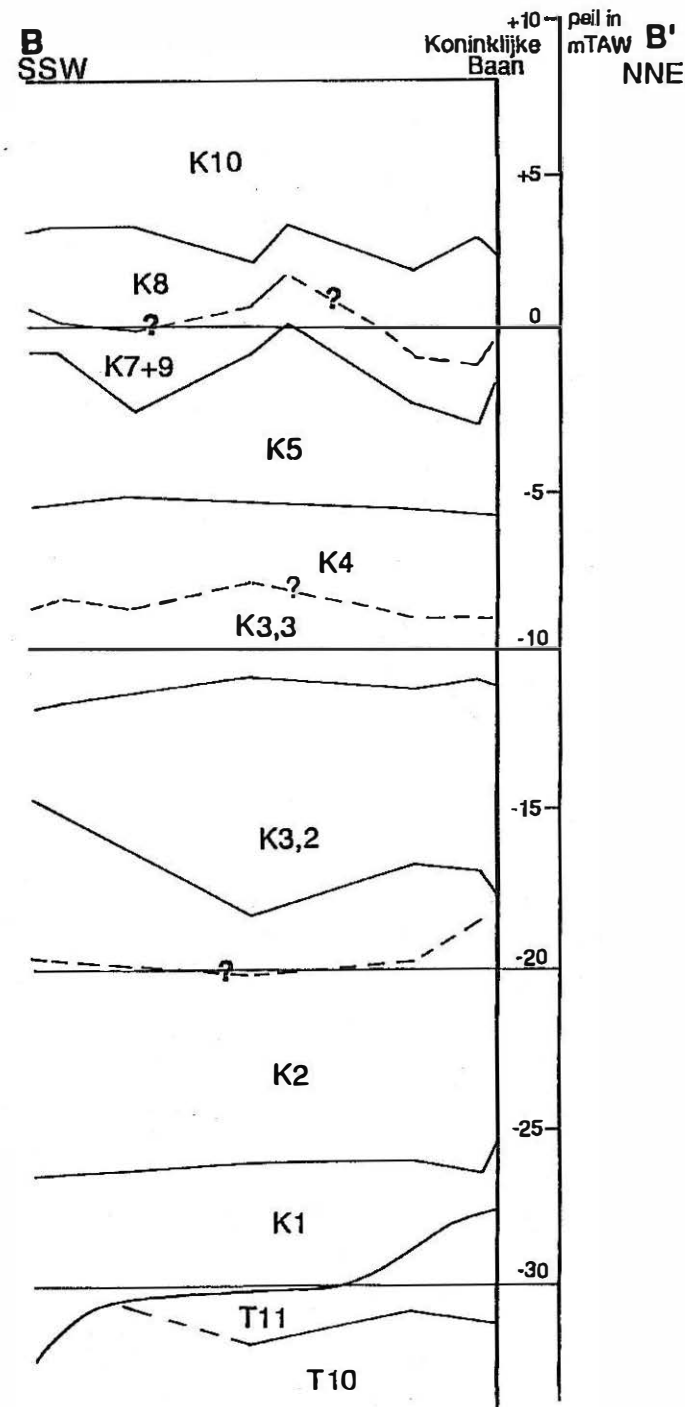
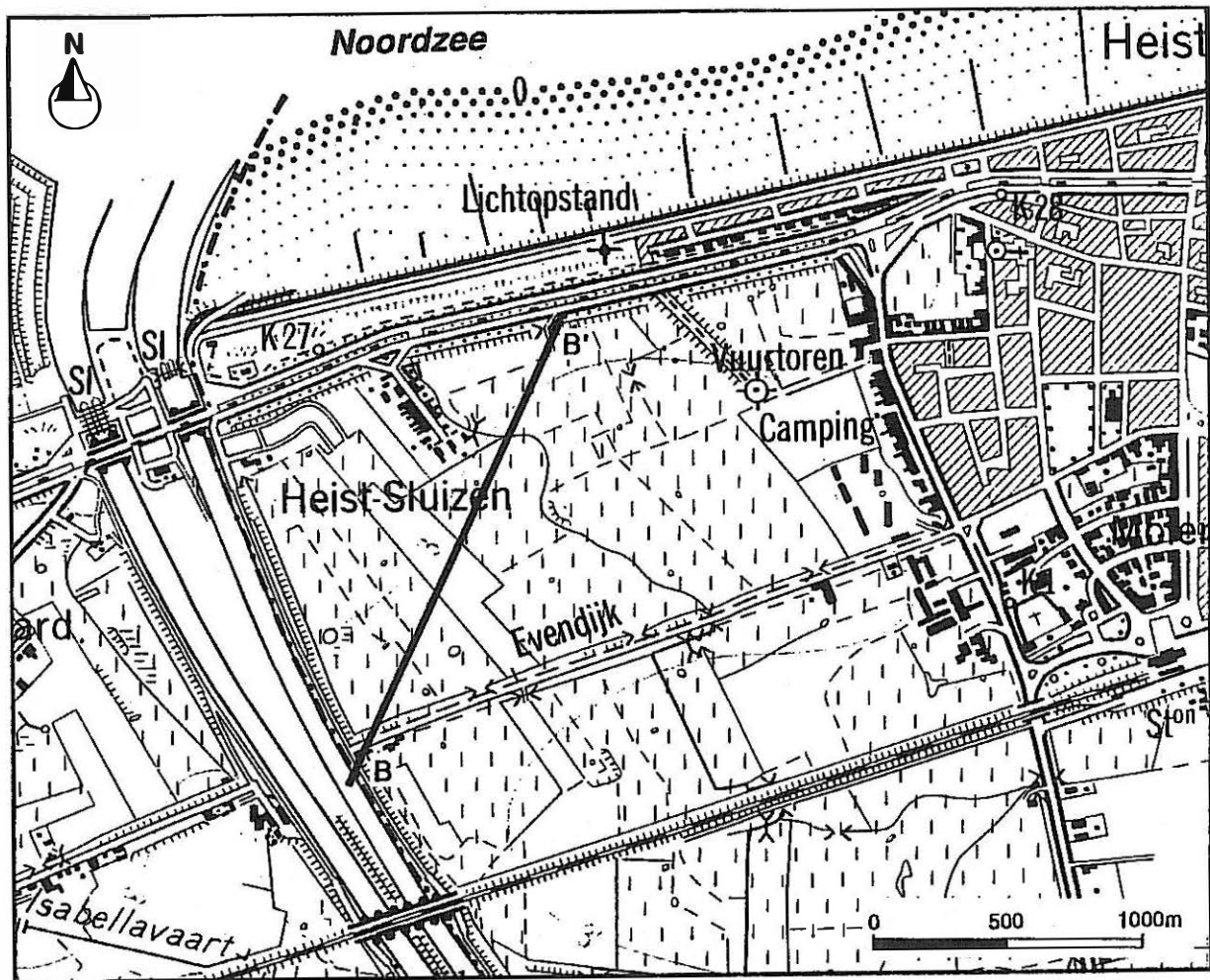
Eenheid K10 omvat alle aanvullingen en vergravingen met uitzondering van de veenputopvullingen. Wegens gebrek aan gegevens werd ook hier geen onderscheid doorgevoerd. Naargelang van de omstandigheden en van de bestemming van de aanvulling betreft het zeer zuivere zanden of zeer heterogene mengsels van klei, leem, zand en veen.

Het Kwartair onder het oppervlakteveen bestaat vrijwel alleen uit pleistocene afzettingen, meer specifiek uit het Eemiaan en het Weichseliaan. Het Eemiaan is essentieel grofkorrelig met aan de basis de Afzetting van Kaprijke (2 tot 6 m grinthoudend middelmatig zand) en daarop de Afzetting van Moerkerke (6 tot 8 m fijn tot middelmatig zand). Ook het Weichseliaan vangt aan met grofkorrelige sedimenten, maar wordt naar boven toe fijner. Onderaan treft men de Afzetting van Zeebrugge (9 tot 12,5 m grinthoudend middelmatig zand) aan; in het midden bevindt zich de Afzetting van Damme (4 m fijn zand). Daarop rust het veen-leem-zandcomplex van de Afzetting van Eeklo. Deze bestaat uit horizontale, 1 tot 3 m dikke lagen zeer fijn zand die van elkaar worden gescheiden door 0,5 m tot 2 m dikke veen-leemlagen.

Het Holoceen is gekenmerkt door zijn heterogeniteit en grote en snelle variaties in dikte. Het omvat de Afzetting van Calais, het oppervlakteveen en de Afzetting van Duinkerken. De Afzetting van Calais (0,6 m leemhoudende klei) is slechts van gering belang en komt zeer plaatselijk voor. Gewoonlijk treft men, onmiddellijk op het Pleistoceen, het Oppervlakteveen aan. Zijn oorspronkelijke dikte bedraagt 1,5 tot 3 m; zijn huidige dikte wordt echter bepaald door insnijding van de Afzetting van Duinkerke maar vooral door voormalige veenontginning. De afzetting van Duinkerke is zowel qua uitbreiding als samenstelling, de grilligste natuurlijke kwartaire afzetting. Op het veen is ze dun (2 tot 3 m) en vooral kleiig en lemig; in de veenloze krekken is ze dik (5 tot 10 m) en zandig.



Figuur 2.21: Geologische bouw ter hoogte van het natuurgebied "de Fonteintjes" in Blankenberge (VERMOORTELT & DE BREUCK, 1994)



Figuur 2.22: Geologisch profiel ter hoogte van Zeebrugge (DEPRET, 1983)

3. Grondwater in de Kwartaire watervoerende laag

3.1. Hydrogeologische bouw en hydraulische parameters

De hydrogeologische opbouw van de ondergrond van het duingebied is niet homogeen. Plaatselijk komen slecht doorlatende lagen voor, terwijl elders over grote diepte een goed doorlatend (zand)pakket aanwezig is. Ter plaatse van de slecht doorlatende lagen staat het grondwater aanzienlijk hoger dan in de aangrenzende gebieden met een goed doorlatend zandpakket (BAKKER, 1981). Dit is enkel van toepassing in gebieden waar het grondwater wordt aangevuld. In gebieden met een opwaartse verticale grondwaterstroming, krijgt men het tegenovergestelde.

De hydraulische parameters zijn afhankelijk van de lithologie. De doorlatende lagen, die overwegend zandig zijn, hebben een hoge hydraulische doorlatendheid. De grondwaterstroming gebeurt er hoofdzakelijk horizontaal, bij halfdoorlatende of slecht doorlatende lagen grotendeels verticaal. De samenstelling van de halfdoorlatende lagen kan variëren van leemhoudende fijne zanden tot leem en klei. Hun hydraulische doorlatendheid is klein tot zeer klein. De halfdoorlatende lagen zijn lateraal zeer veranderlijk in samenstelling en dikte. Plaatselijk kunnen ze ontbreken.

Het freatisch grondwaterreservoir wordt onderaan vrij ondiep begrensd door een dikke zware kleilaag die als een ondoorlatend substraat beschouwd kan worden.

DE PANNE

Het grondwaterreservoir in het duingebied ten westen van De Panne is op te delen in 5 eenheden: drie doorlatende lagen en twee slecht doorlatende lagen. Het profiel wordt in figuur 3.1a weergegeven. Het tertiair substraat is de basis van het grondwaterreservoir. De onderste doorlatende laag (A) wordt plaatselijk bedekt door de slecht doorlatende laag A'. De doorlatende laag B staat in contact met laag A waar A' afwezig is. Laag B' varieert van halfdoorlatend (in het noordelijk deel van de duinen) naar slecht doorlatend (zuidelijk deel van de duinen en in de polders). Hierop rust de freatisch watervoerende laag C. Deze laag is afwezig in de polders.

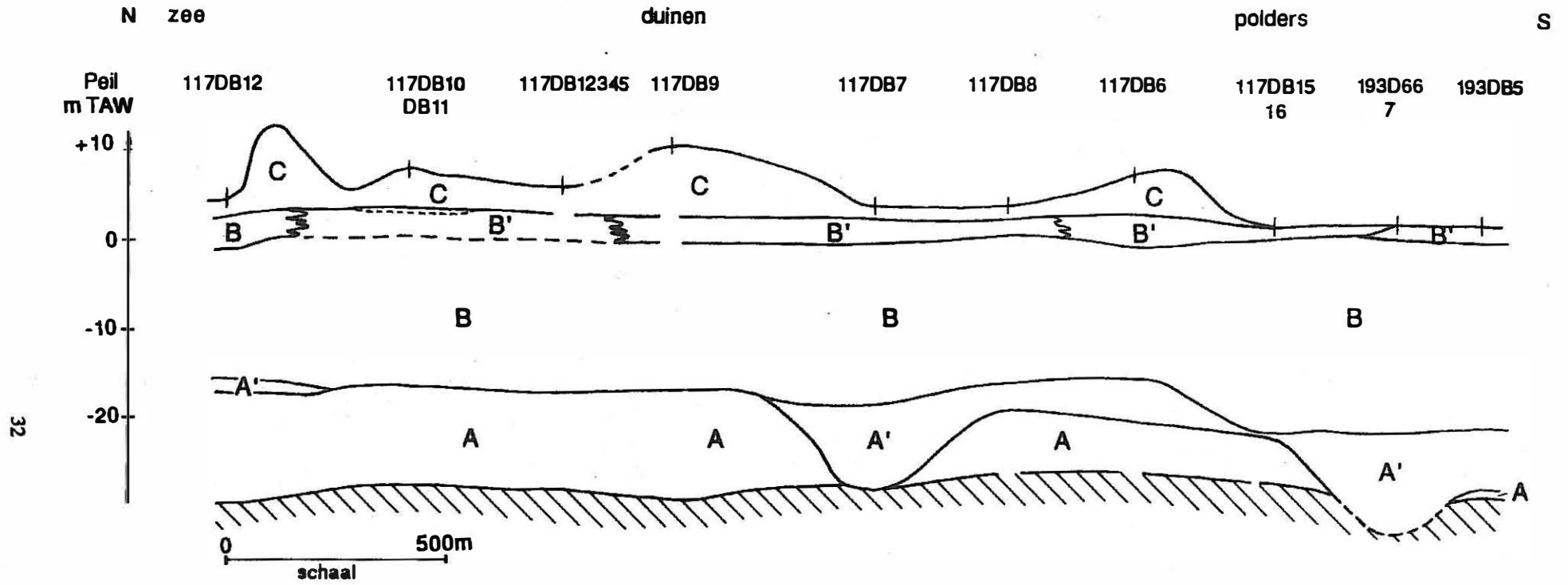
Duingebied tussen *KOKSIJDE en OOSTDUINKERKE* (LEBBE & DE BREUCK, 1980)

Er werd verondersteld dat de freatische laag homogeen is. Voor de transmissiviteit werd door middel van een pompproef een algemene waarde van 340 m²/d aangenomen. De elastische bergingscoëfficiënt bedraagt circa 3.10⁻³. Er werd geen rekening gehouden met halfdoorlatende lagen. Dergelijke lagen kunnen de grondwaterbeweging beïnvloeden.

OOSTDUINKERKE (MAHAUDEN et al., 1982)

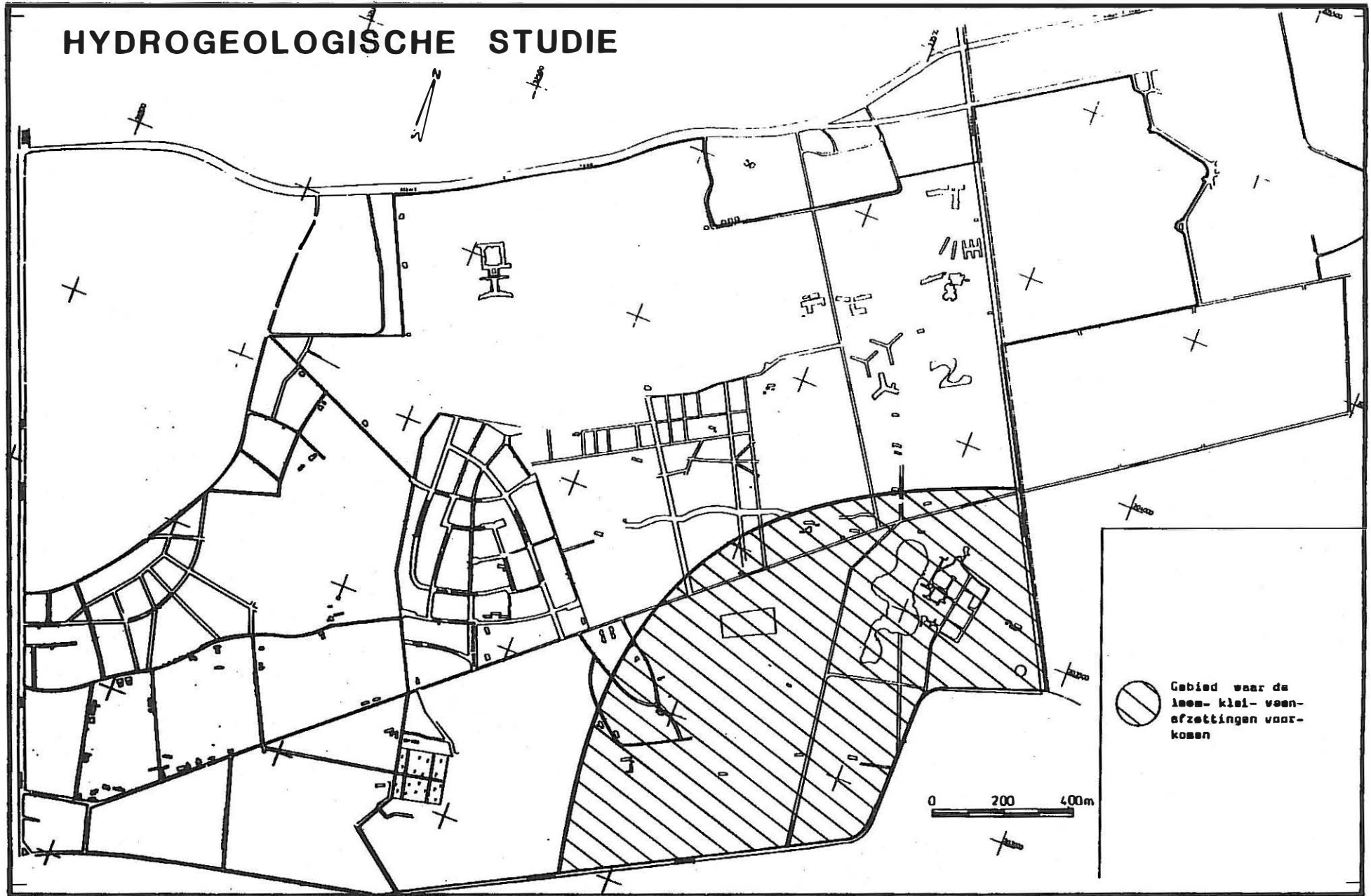
Er kunnen vijf eenheden onderscheiden worden in het kwartaire grondwaterreservoir. De hydraulische doorlatendheid wordt bepaald uit de korrelverdeling en pompproeven. Het freatisch reservoir is onderaan begrensd door de zware Yc-klei op een peil van ongeveer -20. De lagen worden weergegeven van oud naar jong (Fig. 2.10).

De onderste doorlatende laag (C) heeft een doorlatendheid van ongeveer 70 m/d.



Figuur 3.1a: Verdeling van de doorlatende en halfdoorlatende lagen (duingebied ten westen van De Panne)

HYDROGEOLOGISCHE STUDIE



Figuur 3.1b: Uitbreiding van de leem-klei-veenafzettingen in het bovenste gedeelte van eenheid B' (MAHAUDEN et al., 1982)

Hierop ligt een slecht doorlatende laag (C') met een hydraulische doorlatendheid van 1,3 m/d. De hydraulische weerstand (afgeleid uit de pompproef) bedraagt 492 dagen.

Laag B, een doorlatende laag, heeft een hydraulische doorlatendheid van 4 m/d.

Laag B is bedekt door een slecht doorlatende laag B'. In het zuidoosten van het studiegebied bevat deze eenheid in haar bovenste gedeelte (soms tot het peil +4 m) veen-, klei- en leemlagen. De laterale uitbreiding van dit gedeelte is in figuur 3.1b weergegeven. Afhankelijk van de plaats werden waarden van 700 d tot 1100 d vastgesteld voor de hydraulische weerstand.

De freatisch watervoerende laag (A) bestaat uit fijn zand, hiertoe worden eveneens de duinzanden gerekend. De hoge hydraulische doorlatendheid (16,5 m/d) is te wijten aan de goede sortering van de duinzanden.

Het kwartair grondwaterreservoir bestaat dus uit drie goed doorlatende lagen (A, B en C) gescheiden door twee slecht of halfdoorlatende lagen (B' en C').

MIDDELKERKE

Aan de hand van de lithologische beschrijving kan het aangeboorde grondwaterreservoir opgedeeld worden in twee watervoerende lagen waartussen zich een slecht of doorlatende laag, bestaande uit klei, bevindt. De hydraulische doorlatendheid is onbekend.

OOSTENDE

Het kwartair grondwaterreservoir bestaat uit twee goed doorlatende lagen gescheiden door een slecht doorlatende laag. Er is geen informatie over de hydraulische doorlatendheid.

BREDENE

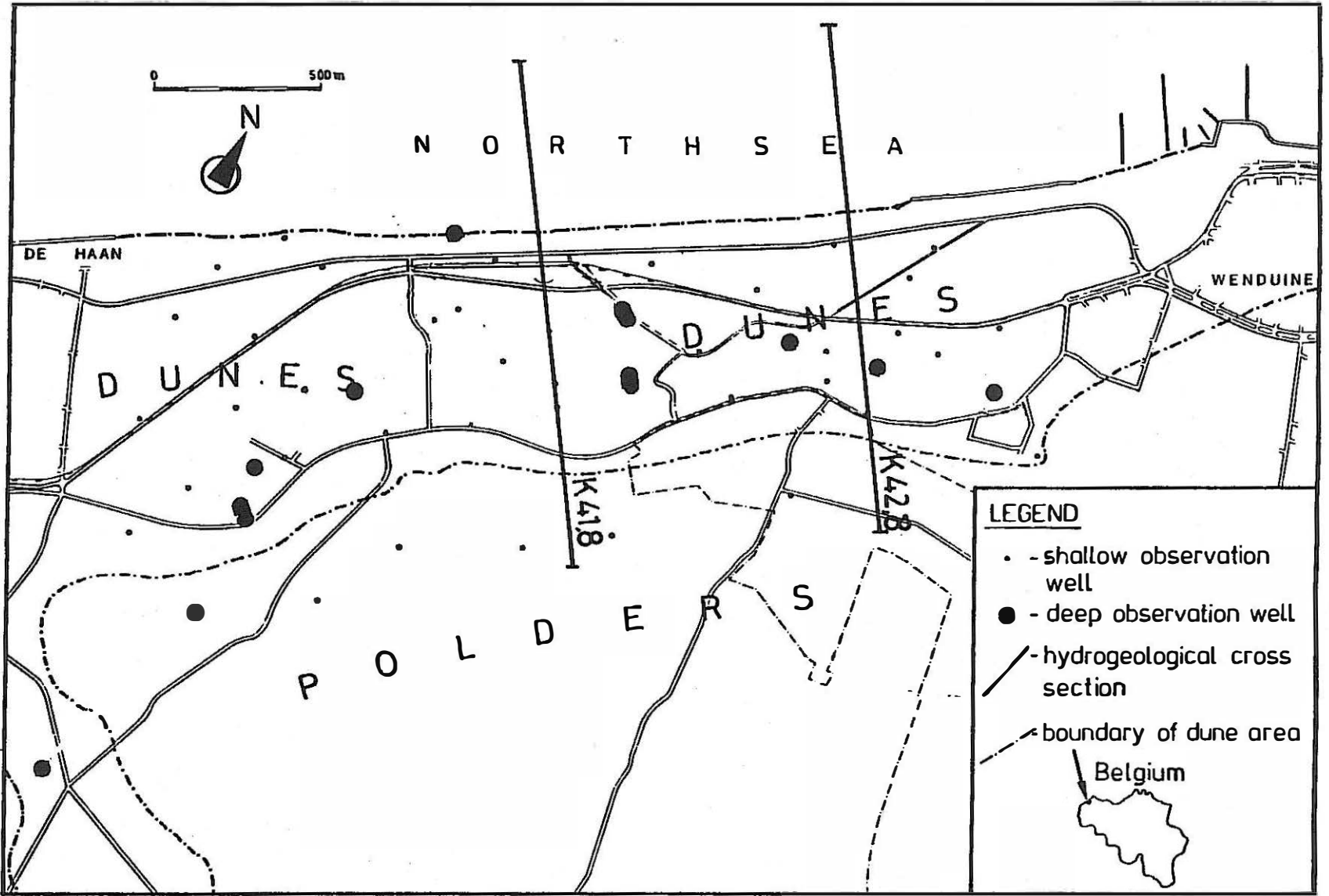
De 7 eenheden kunnen verdeeld worden in doorlatende en slecht doorlatende lagen. Eenheid 1 is vermoedelijk de basis van het grondwaterreservoir. Eenheden 2, 5 en 7 kunnen beschouwd worden als watervoerende lagen. Ze bestaan uit fijn tot middelmatig zand. De overige eenheden (3, 4 en 6) zijn de slecht of halfdoorlatende lagen.

Duingebied ten oosten van *DE HAAN* (DEVOS, 1984)

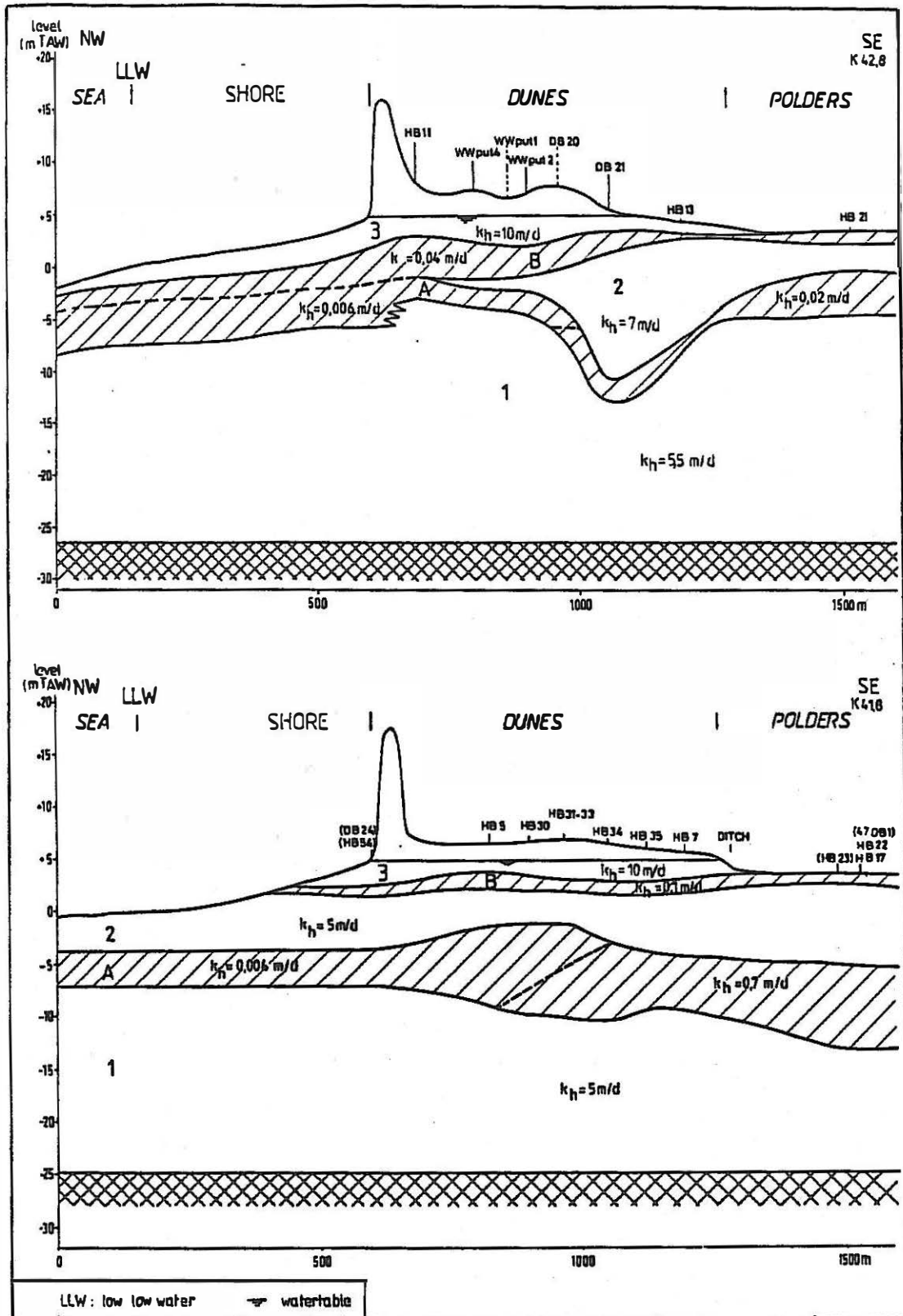
Op grond van de lithostratigrafische bouw kan men in het kwartaire grondwaterreservoir drie doorlatende lagen, gescheiden door twee halfdoorlatende lagen, onderscheiden. De basis van het grondwaterreservoir is het tertiaire kleisubstraat.

De verschillende eenheden van het kwartair grondwaterreservoir worden van oud naar jong in de figuren 3.2 en 3.3 beschreven.

Voor de onderste watervoerende laag (1) bedraagt het doorlaatvermogen in het westen van de Zandpanne ongeveer 220 m²/dag terwijl de hydraulische doorlatendheid ongeveer 5 m/d is. In het centrale duingebied is het doorlaatvermogen beduidend lager en heeft een waarde tussen 70 en 125 m²/d. De gemiddelde hydraulische doorlatendheid van laag 1 is het kleinst in het centrale gedeelte van het duingebied en neemt zowel naar het oosten als naar het westen toe.



Figuur 3.2: Ligging van K41,8 en K42,8 in de duinen tussen De Haan en Wenduine (WALRAEVEN'S et al., 1990)



Figuur 3.3: Verdeling van de doorlatende en halfdoorlatende lagen in K41,8 en K42,8 in de duinen tussen De Haan en Wenduine (WALRAEVENS et al., 1990)

Laag 1 is bedekt door de halfdoorlatende laag A. De hydraulische weerstand van laag A bedraagt van enkele honderden dagen. In het centrale en oostelijk duingebied de Zandpanne daarentegen bevat deze halfdoorlatende laag het oppervlakteveen en de klei van de Afzetting van Calais zodat de hydraulische weerstand er oploopt tot meer dan 10.000 dagen. Deze laag kan plaatselijk zeer dun of afwezig zijn, hierdoor staat laag 1 in contact met laag 2. Op deze plaatsen grijpt voeding van laag 1 plaats. De hydraulische doorlatendheid is zeer laag onder de kust en in het noordelijk gedeelte van de duinen. Meer landinwaarts is de hydraulische doorlatendheid beduidend hoger (zuidelijk gedeelte van de duinen en onder de polders) (WALRAEVENS et al., 1990).

Voor de middelste doorlatende laag (2) is de hydraulische doorlatendheid 5 m/d. In profiel K42.8 komt laag 2 onder het strand en de zee niet voor (Fig. 3.3).

De hydraulische weerstand voor de halfdoorlatende laag B kan variëren van enkele dagen in het zeewaartse gedeelte van het westelijke pannengebied tot enkele duizenden dagen in het noordoostelijk duingebied, waar deze laag bovendien verticaal aansluit op de halfdoorlatende laag A. Deze zeer grote verschillen in hydraulische weerstand verklaren ten dele het reliëf in de watertafel. In de polders (landinwaarts) dagzoomt laag B en de watertafel wordt er kunstmatig gecontroleerd (WALRAEVENS et al., 1990).

De freatische watervoerende laag 3 heeft een hydraulische doorlatendheid van 10 tot 20 m/d. De bergingscoëfficiënt nabij de watertafel bedraagt 0,28. Door seizoenschommelingen varieert de dikte van het verzadigde gedeelte van de duinzandlaag in de loop van het jaar. Laag 3 treedt op als infiltratiegebied.

Het grondwaterreservoir is dus ongeveer 30 m dik en bestaat uit drie doorlatende lagen 1, 2 en 3. Deze worden gescheiden door twee slecht doorlatende lagen A en B. Ze bestaan uit klei, leem of veen (WALRAEVENS et al., 1990).

BLANKENBERGE (VERMOORTELT & DE BREUCK, 1994b)

De basis van het grondwaterreservoir wordt begrensd door tertiaire substraat. In dit profiel bestaan er twee doorlatende lagen gescheiden door een slecht doorlatende laag. De hydraulische doorlatendheid van de onderste doorlatende laag is gemiddeld 11 m/d.

Omgeving van ZEEBRUGGE (DEPRET, 1983)

De hydraulische doorlatendheden van de kwartaire eenheden zijn de volgende, op grond van hun granulometrische kenmerken bepaald:

Afzetting van Duinkerke	K8: 9,5 m/d
Afzetting van Eeklo (zandige pakket)	K5: 3,0 m/d
Afzetting van Damme	K4: 9,0 m/d
Afzetting van Zeebrugge (zandige pakket)	K3: 12,5 m/d
Afzetting van Moerkerke	K2: 10,0 m/d
Afzetting van Kaprijke	K1: 15,0 m/d

Het complex vanaf de Afzetting van Damme tot en met de Afzetting van Kaprijke mag aanzien worden als één doorlatende laag met vrij hoge hydraulische doorlatendheid (gemiddeld 11,5 m/d). De Afzetting van Eeklo fungeert in haar geheel als een half doorlatende laag gezien de vrij lage hydraulische doorlatendheid van de fijn tot zeer fijne

zandlagen K5 (gemiddeld 3 m/d) die van elkaar worden gescheiden door weinig doorlatende veen-leemlagen K5. De doorlatendheid van de met zand opgevulde krekken (K8) van de Afzetting van Duinkerke heeft gelijkaardige waarden als die van de dieper liggende pleistocene afzettingen.

3.2. Grondwaterstromingspatroon en grondwaterstijghoogte

BAKKER (1981) noteerde als natuurlijke situaties in duinvalleien in Nederland seizoenfluctuatietrajecten (verschil tussen de hoogste en de laagste gemiddelde maandstand over een periode van 10 jaar) van 0,4 tot 0,7 m, met de laagste waterstanden in september-oktober, en de hoogste in februari-maart. LEBBE & DE BREUCK (1980) komen voor de Westkust tot analoge waarden. De gemiddelde jaarstand blijkt onder invloed van natte en droge jaren 0,6 tot 0,9 m te kunnen variëren.

DEVOS (1984) vermeldt enkele belangrijke verschijnselen die fluctuaties van de stijghoogte veroorzaken. Ten eerste wijst hij op de getijdewerking. Het stijghoogteverloop in het meest zeewaartse gedeelte van de duinen kan hierdoor onregelmatigheden vertonen.

Vervolgens zijn er de seizoenschommelingen. Gedurende de winter komt het grootste gedeelte van de neerslag de grondwatervoorraad ten goede. De stijghoogten nemen toe en streven naar een evenwicht met de voeding door het neerslagwater. De verhoogde evapotranspiratie zorgt ervoor dat tijdens de zomer de neerslag grotendeels terugkeert naar de atmosfeer, eventueel na een kort verblijf in de bovenste bodemlaag. Het grondwaterreservoir blijft zodoende verstoken van verdere aanvulling. Ondertussen vloeit grondwater af naar gebieden met lagere stijghoogte. Er is een tekort op de grondwaterbalans van het reservoir, wat zich uit in een stijghoogteverlies. Wanneer de evapotranspiratie gedurende het zomerhalfjaar groter wordt dan de neerslag ontstaat een tekort op de bodemwaterbalans in de onverzadigde zone. De vegetatie zal in de eerste plaats de waterreserves in deze onverzadigde zone aanspreken. Ligt de grondwatertafel echter ondiep, dan grijpt tevens nalevering van grondwater naar de atmosfeer plaats. Dit veroorzaakt een daling van de grondwatertafel. In hoge duingebieden daarentegen is de grondwatertafel door een voldoende dikke aeratiezone beschermt tegen evapotranspiratie.

Anderzijds bereikt het infiltrerend neerslagwater sneller de watertafel in laaggelegen gebieden dan in de hoge duinen. In hooggelegen duingebieden treedt het tijdstip van hoogste grondwaterstand dan ook met een of twee maanden vertraging op t.o.v. in laaggelegen duingebieden. De vertraging van de minima is minder systematisch.

De seizoenfluctuaties van de grondwatertafel worden beperkt door de nabijheid van de zee. Onder de hoogwaterlijn zijn de seizoenfluctuaties immers haast onbestaande. Nabij de polders daarentegen worden de seizoenfluctuaties nauwelijks gedempt. De polders vertonen immers zelf een afwisseling van hoge (winter-) grondwaterstand en lage (zomer) grondwaterstand.

De grootste seizoenfluctuaties treft men dan ook aan in de duinpannen op een afstand van de hoogwaterlijn van ongeveer twee derden van de breedte van het duinmassief.

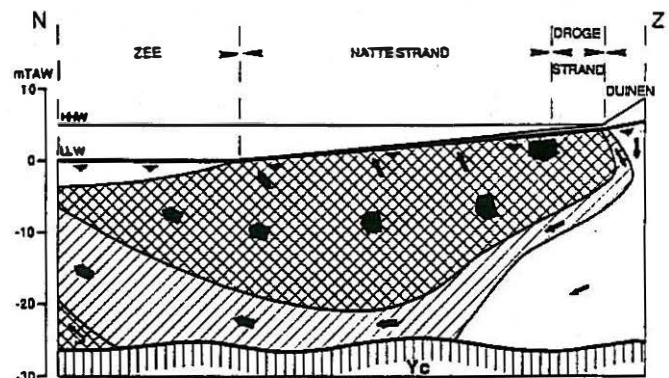
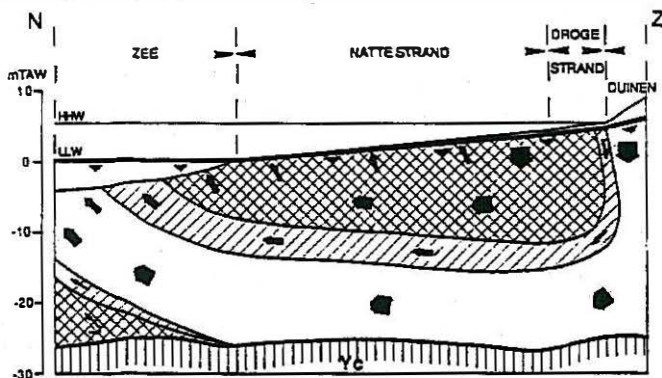
Een sterke drainage beperkt de seizoenfluctuaties en wist ook grotendeels de schommelingen van kortere duur uit.

In de polders, waar de watertafel zeer ondiep ligt, reageert de stijghoogte onmiddellijk en zeer duidelijk op plotse meteorologische veranderingen zoals een hevige regenval.

In LEBBE et al. (1993) werd gebruik gemaakt van de studies door LEBBE (1981 en 1983) om de verspreiding en de stroming van zoet en zout water onder het strand aan de Westkust weer te geven. De volgende drie figuren zijn hiervan het resultaat.

De eerste doorsnede (Fig. 3.4) beschouwt de toestand onder volkomen natuurlijke omstandigheden, d.w.z. zonder enige vorm van antropogene beïnvloeding van het grondwaterreservoir. In de duinen infiltreert zoet water, dat ondergronds gedeeltelijk afstroomt in de richting van de zee. Op het droge strand en op het hoogste gedeelte van het natte strand infiltreert zout water tijdens de vloed. Dit geïnfilteerde zout water zowel als het onderliggende zoet duinwater stromen in de richting van de zee. Op het grootste gedeelte van het natte strand is er uitsijpeling van zout water tijdens de eb. Ter hoogte van de scheiding tussen zoet en zout water ontstaat door menging van zoet en zout water een brakke overgangszone. Aangezien deze brakke overgangszone bijna uitsluitend het gevolg is van laterale hydrodynamische dispersie is de dikte er vrij beperkt. Het zoet duinwater wordt langzaam brakker in zeewaartse richting. Onder de laagwaterlijn sijpelt het zoet water opwaarts uit de bodem in de zee. Onder de zee komt onder het uitsijpelend zoet water een zoutwatervoet voor met tussen beide waters een brakke overgangszone.

De tweede doorsnede (Fig. 3.5) beschouwt de stroming en de verspreiding bij een verminderde zoetwaterstroming vanuit de duinen in zeewaartse richting. Deze vermindering kan het gevolg zijn van waterwinning in het duingebied en/of de inkrimping van het infiltratieareaal van zoet neerslagwater, door o.m. de uitbreiding van een bebouwde kom. Op het droge en hoogste gedeelte van het natte strand (+ 4,5 m) infiltreert nu, in vergelijking met de vorige situatie, meer zout water tijdens de vloed. Hierdoor vergroot de zoutwaterlens onder het strand. De overgangszone tussen zoet en zout water komt dieper te liggen. Het onderliggende zoetwater wordt nu vlugger brak naar de zee toe. Alleen brak water sijpelt verder zeewaarts uit. De zoutwatervoet onder deze brakke lens verplaatst zich in zeewaartse richting. De verdeling van zoet en brak water, zoals hier beschreven, kan ook voorkomen als een overgangstoestand met name als de zoetwaterstroming in de richting van de zee plots wegvalt of omkeert tengevolge van sterke pompingen in de duinen.



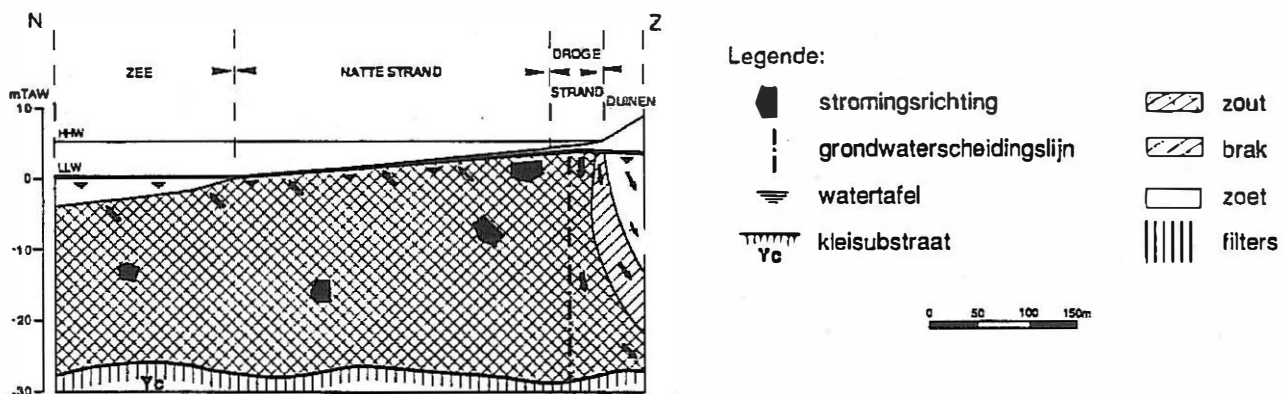
Legende:
 zout
 brak
 zoet

0 50 100 150m

guur 3.4: Het strand met natuurlijke grondwaterstroming (LEBBE et al., 1993)

Figuur 3.5: Het strand met verminderde grondwaterstroming (LEBBE et al., 1993)

De derde doorsnede (Fig. 3.6) geeft de stroming en de verspreiding van zoet en zout water onder het strand weer als er gedurende een geruime tijd een overexploitatie is van de zoetwatervoorraad in het duingebied waarbij een stroming plaats heeft van onder het strand in de richting van de duinen. Hierbij zal een gedeelte van het zout water dat op het droge strand infiltreert in de richting van de overexploitatie stromen. Tussen het zoet duinwater en het zout water is een brakke overgangszone die hoofdzakelijk door transversale hydrodynamische dispersie bepaald wordt. Het grootste gedeelte van het zoute water dat in het hoogste gedeelte van het natte strand infiltreert zal in de richting van de zee stromen waar het dan op het lage gedeelte van het natte strand en onder de zee uitsijpelt.



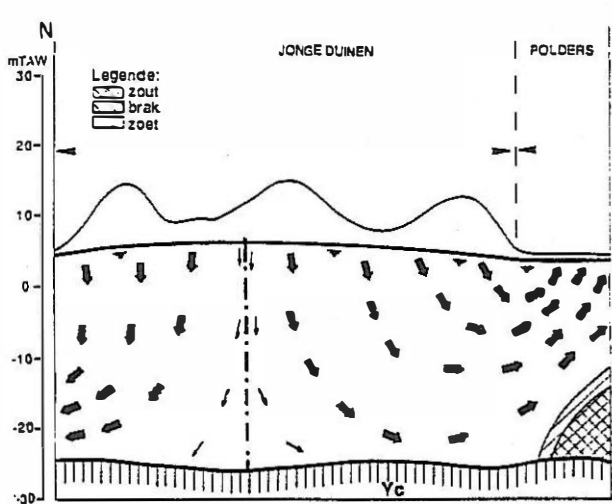
Figuur 3.6: Het strand met de grondwaterstromingen ten gevolge van een overexploitatie (LEBBE et al., 1993)

De WESTHOEK (LEBBE et al., 1993)

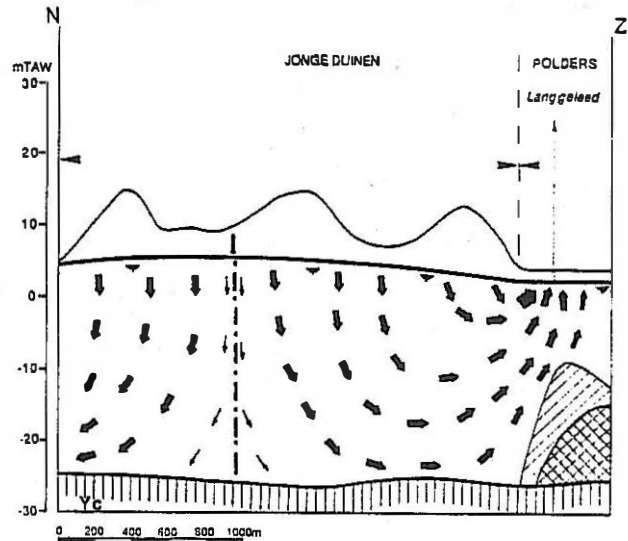
In natuurlijke toestand is het freatisch grondwaterreservoir onder de Jonge Duinen gevuld met zoet water. Enkel nabij het "ondoorlatende" substraat en in slecht doorlatende afzettingen komt water voor met een iets hoger zoutgehalte. In De Panne werd een onderscheid gemaakt tussen het zoet water in de Jonge Duinen die gelegen zijn op de Oude Duinen en het zoet water in de Jonge Duinen gelegen op de afzettingen van het getijdengebied. In het eerste geval is het totale zoutgehalte lager. Dit komt doordat de afzettingen reeds over een langere periode doorstroomd werden door zoet water. Bij dynamisch evenwicht is de totale hoeveelheid water afkomstig van het neerslagoverschot gelijk aan de hoeveelheid die enerzijds stroomt in de richting van de zee en anderzijds in de richting van de polders. Het jaarlijks gemiddelde neerslagoverschot, berekend voor het duingebied bedraagt 280 mm voor de periode 1957-1976 (LEBBE, 1978). Dit cijfer werd bevestigd door de vergelijking van het gemiddelde Cl-gehalte van het neerslagwater en het gemiddelde Cl-gehalte in het zoete grondwater van de duinen.

In figuur 3.7 wordt de grondwaterstroming en -verdeling in de Jonge Duinen weergegeven zoals deze bestond voordat de aangrenzende polders intensief gedraineerd werden. Door de getijdewerking van de zee is de gemiddelde waterstand onder de hoogwaterlijn, relatief hoog, namelijk ca. + 4,3 m. Ter hoogte van de poldergrens zal de gemiddelde waterstand voorkomen op ca. + 2,8 m. Daar de gemiddelde stijghoogte op de hoogwaterlijn hoger is dan aan de poldergrens stroomt het grondwater in onder het grootste deel van de duinen in de richting van de polders en in het kleinste deel van de duinen in de richting van de zee. Door de aanleg van de Langgeleed in de 18^{de} eeuw werden de

polders grenzend aan de duinen beter gedraineerd. Door de daling van de gemiddelde waterstand in de polders daalt eveneens de waterstand in de duinen en verplaatst de grondwaterscheidingskam zich in de richting van de zee (deze toestand is voorgesteld in figuur 3.8). De daling van de watertafel in de duinen, tengevolge van een waterstandsdaaling in de polders, is een functie van de afstand tot de hoogwaterlijn. Tegen de poldergrens aan benadert de watertafel deze van de polders. In het midden van de duinen is de watertafeldaling gelijk aan de helft van deze in de polders. Deze watertafeldaling zal dus onafhankelijk zijn van de hydraulische parameters van het grondwaterreservoir.



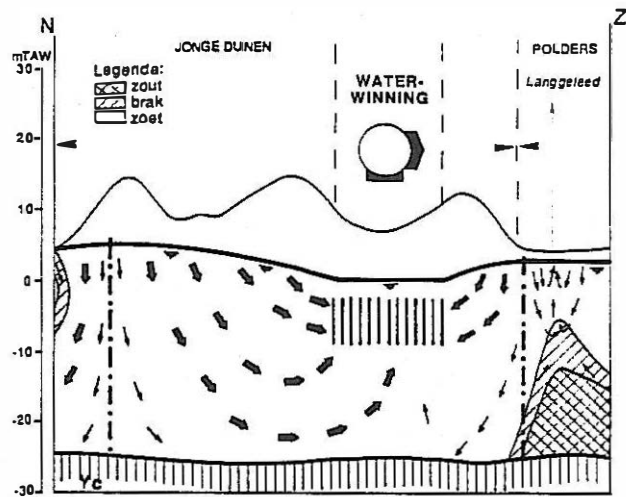
Figuur 3.7: De Jonge Duinen onder natuurlijke omstandigheden (LEBBE et al., 1993)



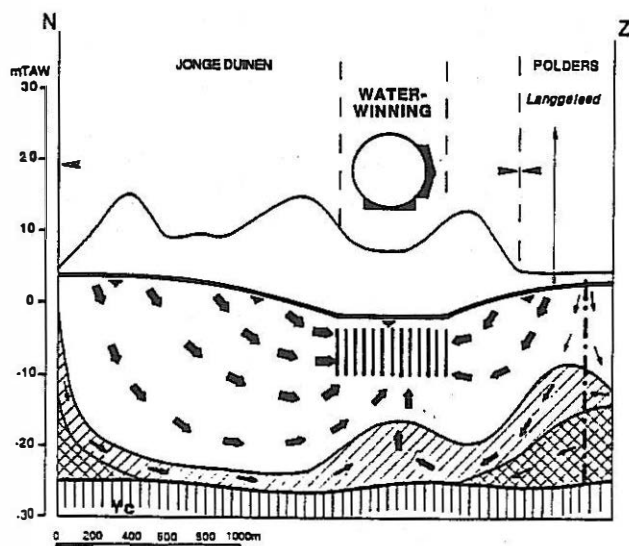
Figuur 3.8: De Jonge Duinen met drainage in de polders (LEBBE et al., 1993)

In figuur 3.9 is de situatie geschetst in het duingebied en de aangrenzende polders waarbij water in de duinen wordt onttrokken. Bij deze situatie vloeit een klein gedeelte van het water dat infiltreert in de duinen in de richting van de zee. Het grootste gedeelte van het infiltrerende water stroomt in de richting van de waterwinning. Het invloedgebied van de waterwinning reikt tot aan de poldergrens. Als dit grondwaterstromingspatroon zich voordoet in een doorsnede die dwars door het zwaartepunt van de waterwinning loopt, dan heeft men net geen overexploitatie van de zoetwatervoorraad van het duingebied. Op deze wijze kan men water winnen zonder het gevaar van verzilting van de winning. Door de winning van zoet water in de duinen ontstaat echter een daling van de watertafel. Deze is maximaal in de omgeving van de winning en neemt geleidelijk af met de afstand tot de waterwinning.

In figuur 3.10 wordt een grondwaterstroming in een duingebied geschetst waarbij overexploitatie plaatsheeft in het duingebied. In dit geval strekt de invloed van de waterwinning zich uit tot onder het strand en tot ver in de polders. Er ontstaat een stroming van zout water van zowel onder het strand als onder de polders naar de duinen toe. Een dergelijke winning heeft slechts een beperkte duur. Na een bepaalde periode zal zout water opwaarts getrokken worden tot in de waterwinningsputten. Hierdoor zal het zoutgehalte van het opgepompte water voortdurend stijgen tot boven de normen voor drinkwater. Vanaf dit ogenblik zal men genooddaakt zijn de waterwinning te stoppen voor een zeer lange periode (ca. 250 jaar) met name totdat de verzilting teruggedrongen is door het natuurlijke infiltrerende duinwater.



Figuur 3.9: De Jonge Duinen met een waterwinning (LEBBE et al., 1993)



Figuur 3.10: De Jonge Duinen met een waterwinning in overexploitatie (LEBBE et al., 1993)

Figuur 3.11 geeft de grondwaterstromingsgebieden in de duinen van de Westkust weer. Hierbij zijn de waterscheidingslijnen van de bovenste verzadigde grondwaterstromingen aangegeven. Zoals de stijghoogten veranderen deze waterscheidingslijnen eveneens in functie van de tijd (seizoenen). De getrokken lijnen zijn representatief voor de gemiddelde toestand gedurende de laatste 20 jaar. Hieruit blijkt dat de waterwinning van De Panne bedreigd wordt door zout water zowel van onder het strand als vanuit de polders.

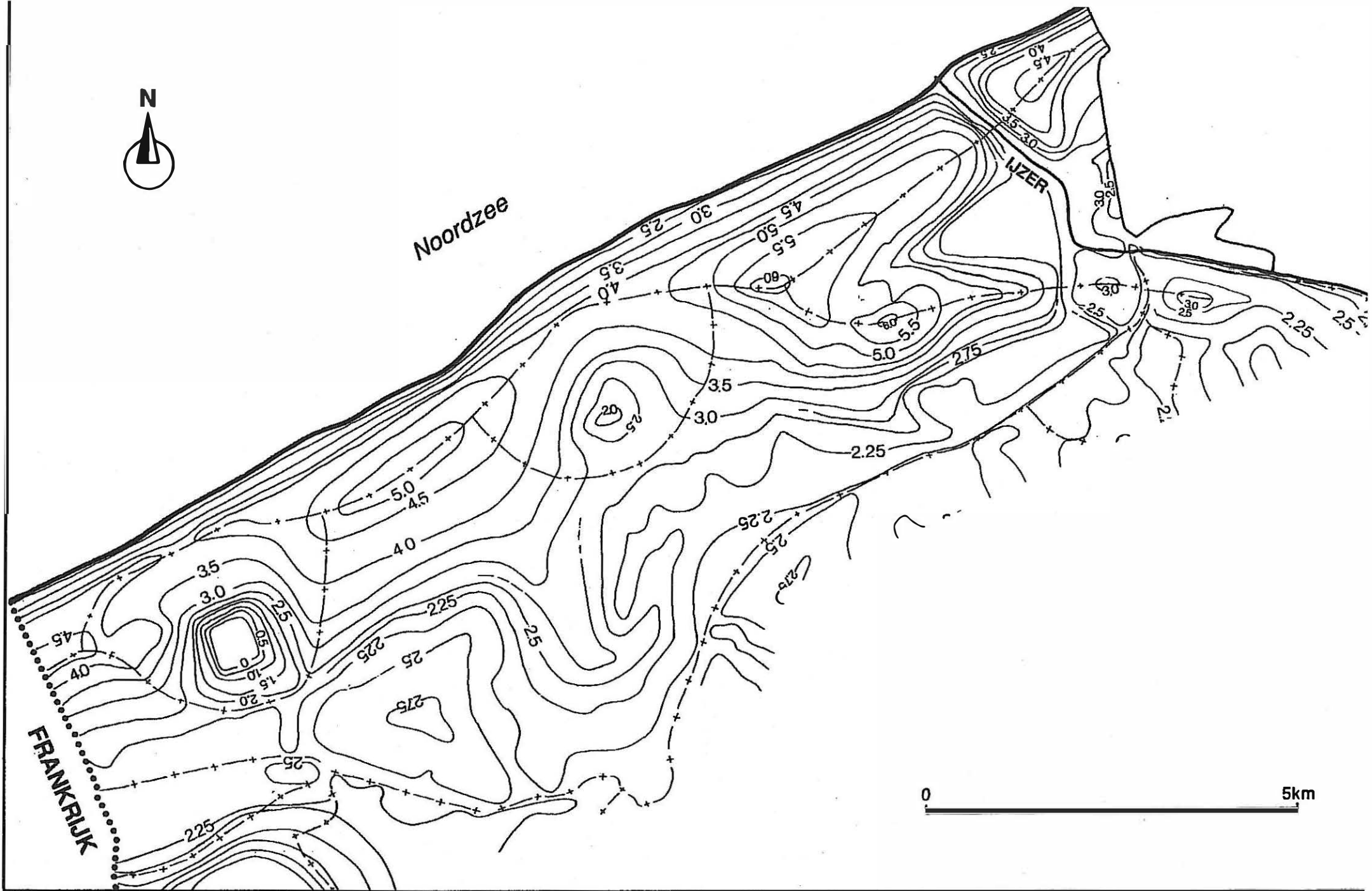
Figuur 3.10 is een weergave van een stroming in een doorsnede loodrecht op de as van de duinen die loopt doorheen het zwaartepunt van de waterwinning van De Panne. In parallelle doorsneden gaat deze situatie naarmate men zich verwijderd van het zwaartepunt van de waterwinning geleidelijk over in de vorige situatie (Fig. 3.9). Figuur 3.8 doet zich voor in doorsneden die buiten de invloed van de waterwinning gelegen zijn (LEBBE, 1993).

De laagste en de hoogste grondwaterstand gedurende de periode mei 1975 tot augustus 1977 zijn op de figuren 3.12 en 3.13 weergegeven.

Oude Duinen in ADINKERKE (BOLLE, 1983)

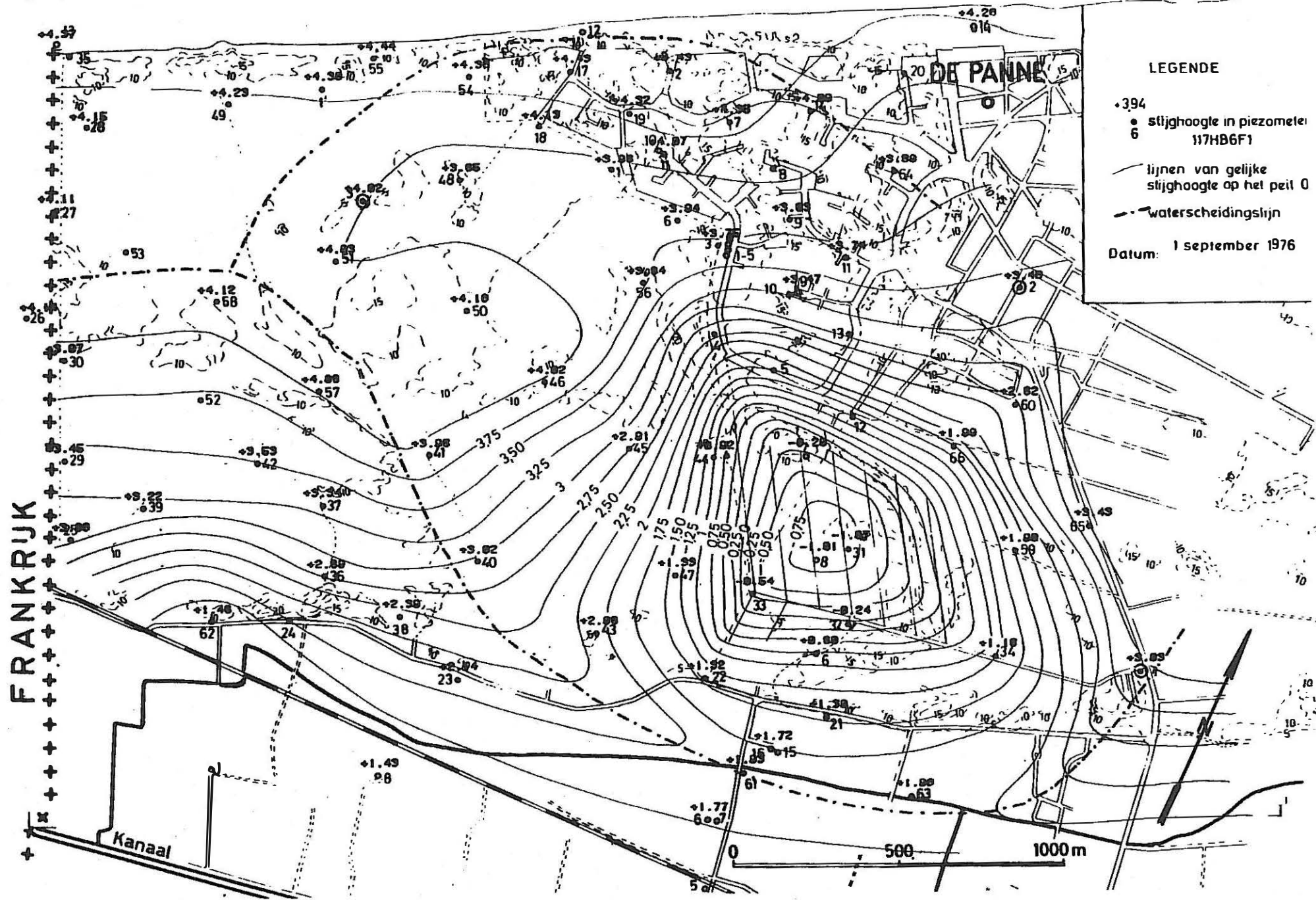
Onderzoek in de Westhoekduinen te De Panne heeft het belang van discontinue halfdoorlatende lagen in het freatisch reservoir aangetoond; deze lagen veroorzaken de opdeling tot een meerlagig reservoir. Er werd vastgesteld dat de stijghoogtefluctuaties, voortvloeiend uit de getijdebewegingen, door deze halfdoorlatende lagen naar boven toe sterk tot volledig worden gedempt. De ondiepe halfdoorlatende lagen beïnvloeden vooral de vorm van de grondwatertafel. Uit die vorm kunnen drie grote stromingsgebieden worden afgeleid waarin de grondwaterstroming in de richting van respectievelijk de zee, de polders en de waterwinning geschiedt. De grootte van deze, hoofdzakelijk horizontale, grondwaterstroming wordt vooral bepaald door de transmissiviteit van de watervoerende laag. De voeding van het freatisch reservoir gebeurt uitsluitend door de infiltratie van neerslagwater.

De figuren 3.14 tot en met 3.19 geven de plaats en de zoetwaterstijghoogte in de verschillende peilbuizen.



Figuur 3.11: Hydro-isohypsen van de watertafel en de grondwaterstroming in de top van de freatisch watervoerende laag (LEBBE et al., 1993)

N O O R D Z E E



LEGENDE

- 394
- stijghoogte in piezometer 117HB6F1
- 6
- lijnen van gelijke stijghoogte op het peil 0
- - - waterscheidingslijn

Datum: 1 september 1976

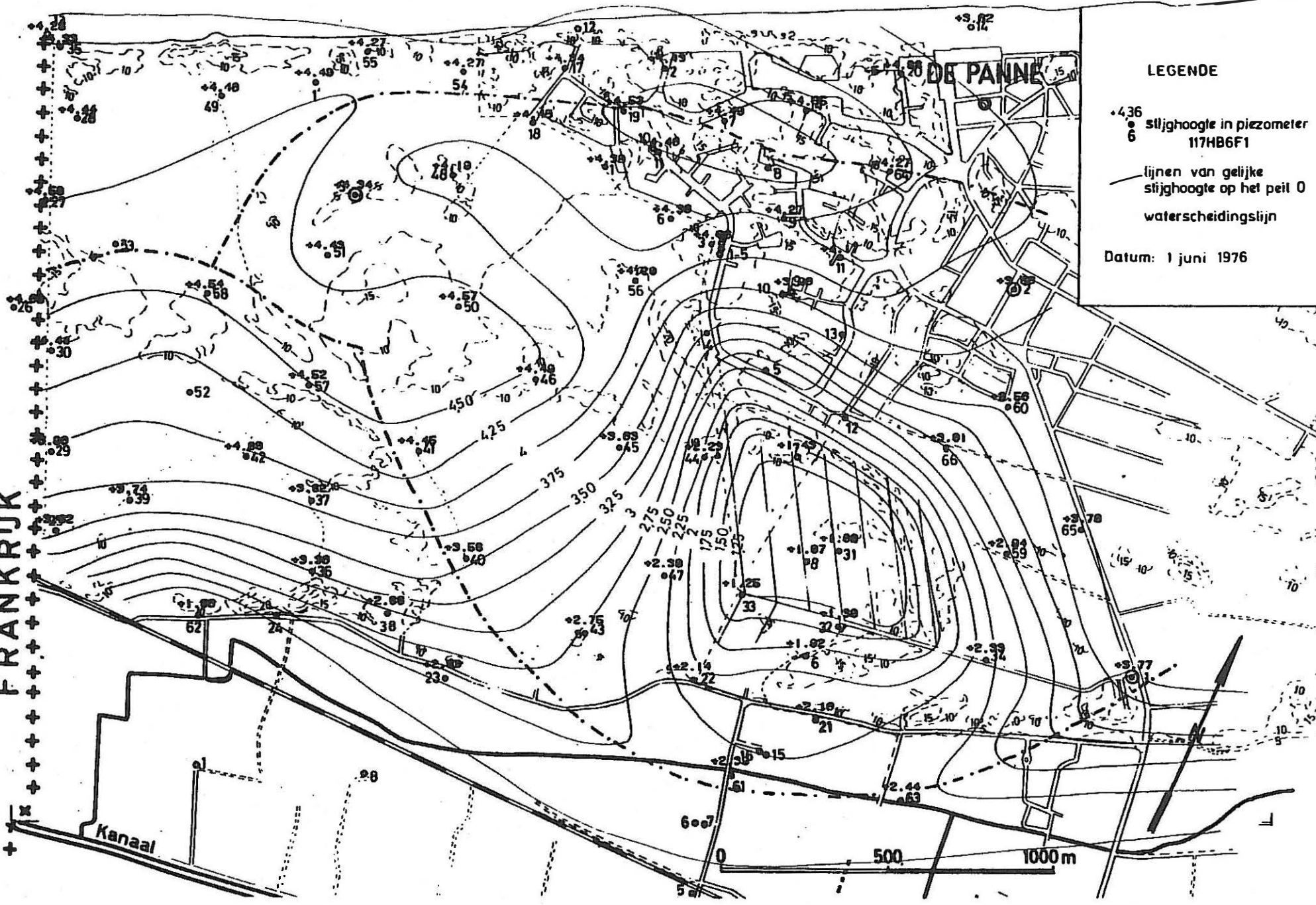
Figuur 3.12: Stijghoogtekaart van de laagste grondwaterstand in de periode mei 1975 - augustus 1977 (LEBBE, 1978)

N O O R D Z E E

LEGENDE

- 4.36
● stijghoogte in piezometer 117HB6F1
- lijnen van gelijke stijghoogte op het peil 0
- - - waterscheidingslijn

Datum: 1 juni 1976



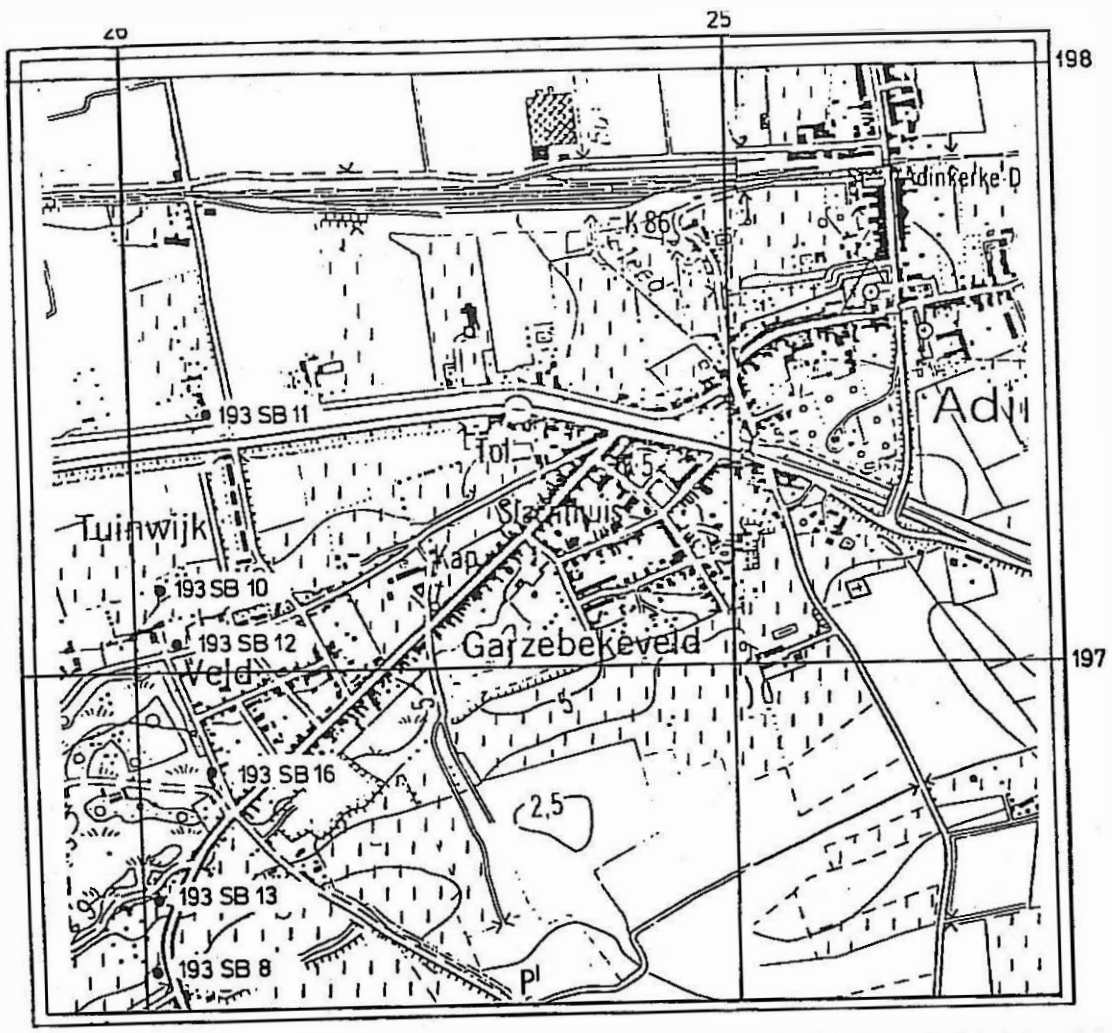
Figuur 3.13: Stijghoogtekaart van de hoogste grondwaterstand in de periode mei 1975 - augustus 1977 (LEBBE, 1978)

FRANKRIJK

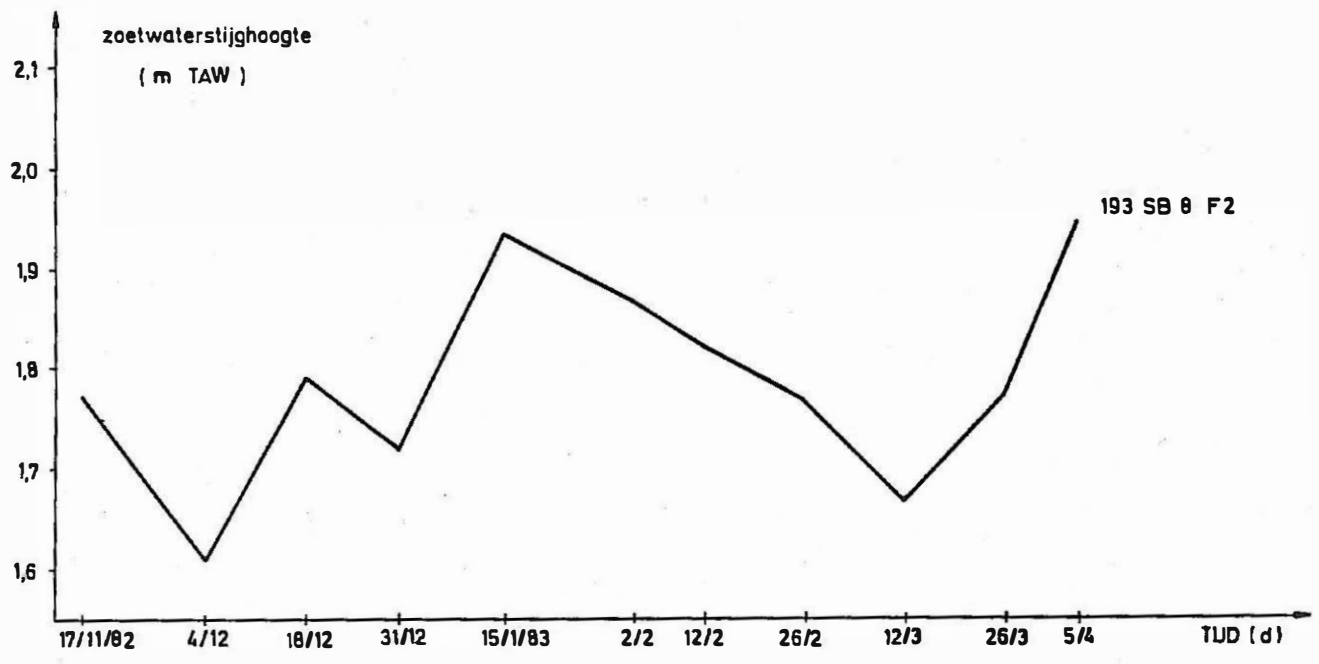
Kanaal

DE PANNE

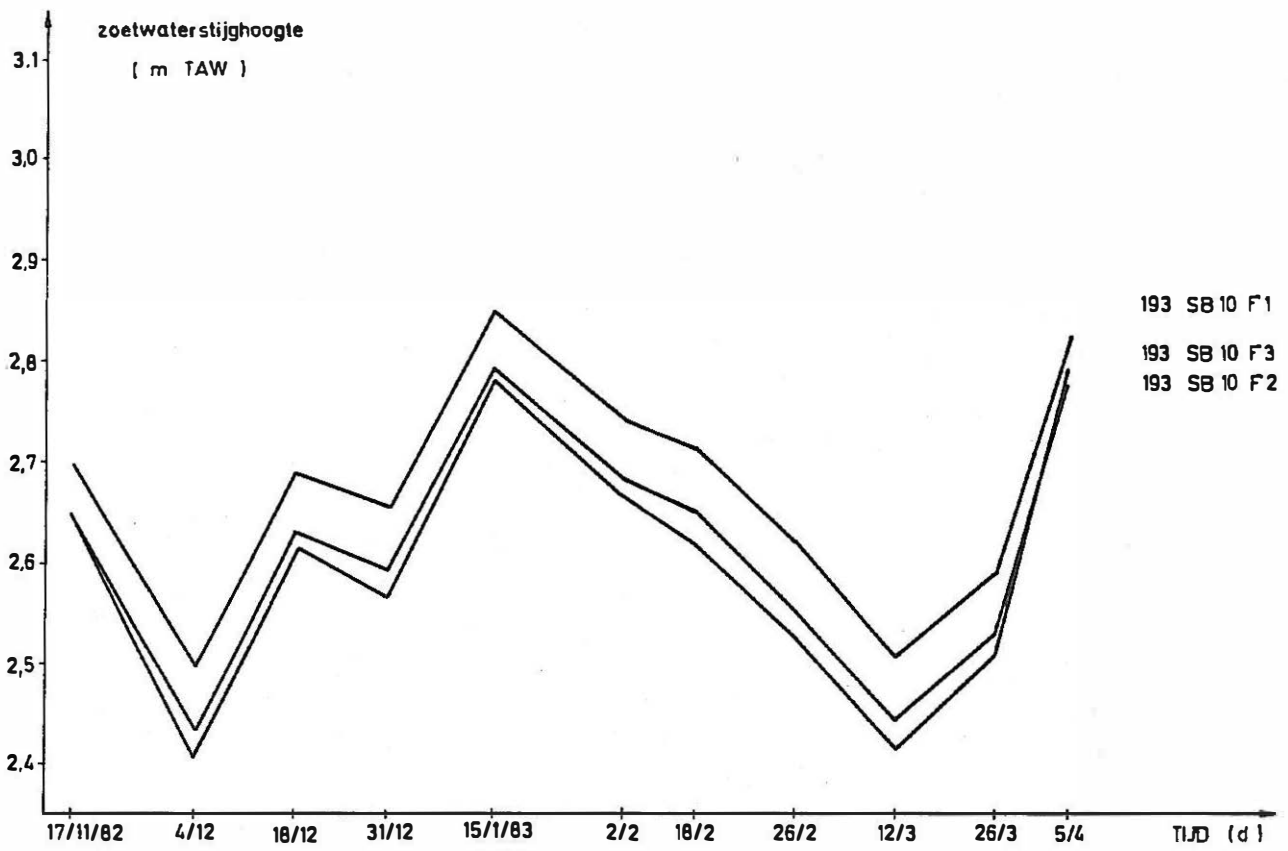
0 500 1000 m



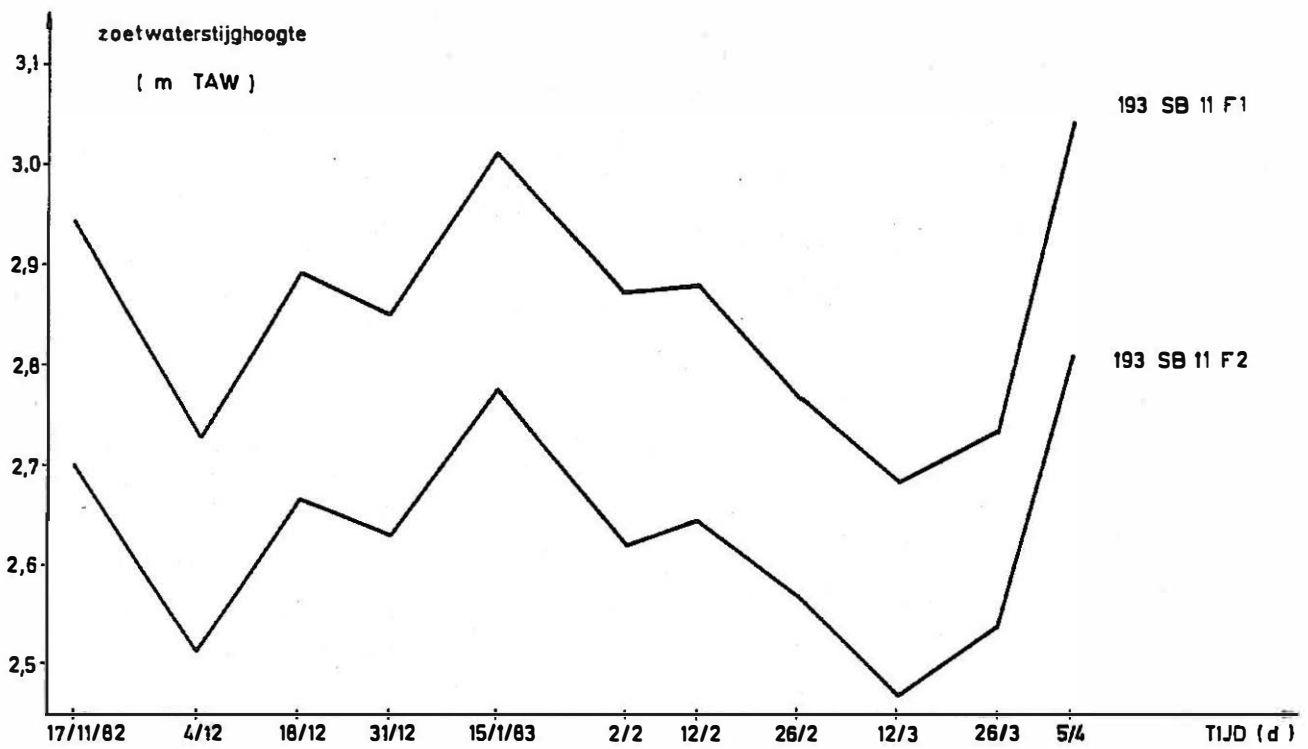
Figuur 3.14: Localisatie van de verschillende peilbuizen in Adinkerke (BOLLE, 1983)



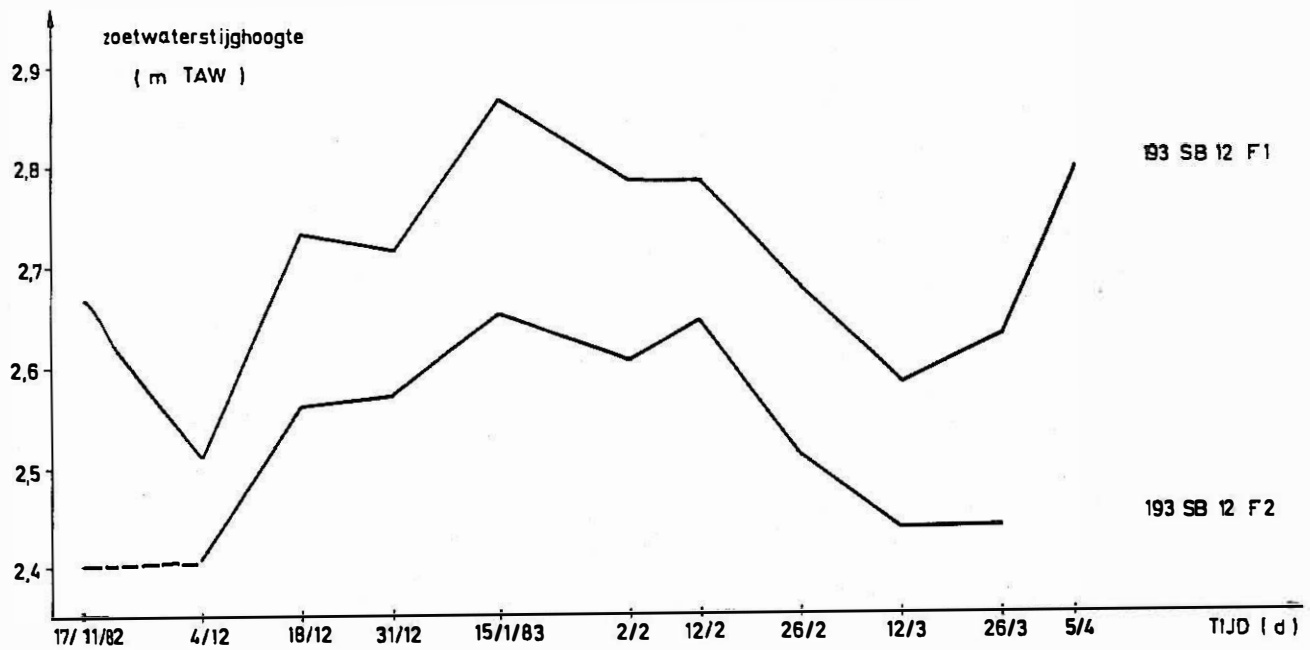
Figuur 3.15: Zoetwaterstijghoogte bij 193SB8F2 (BOLLE, 1983)



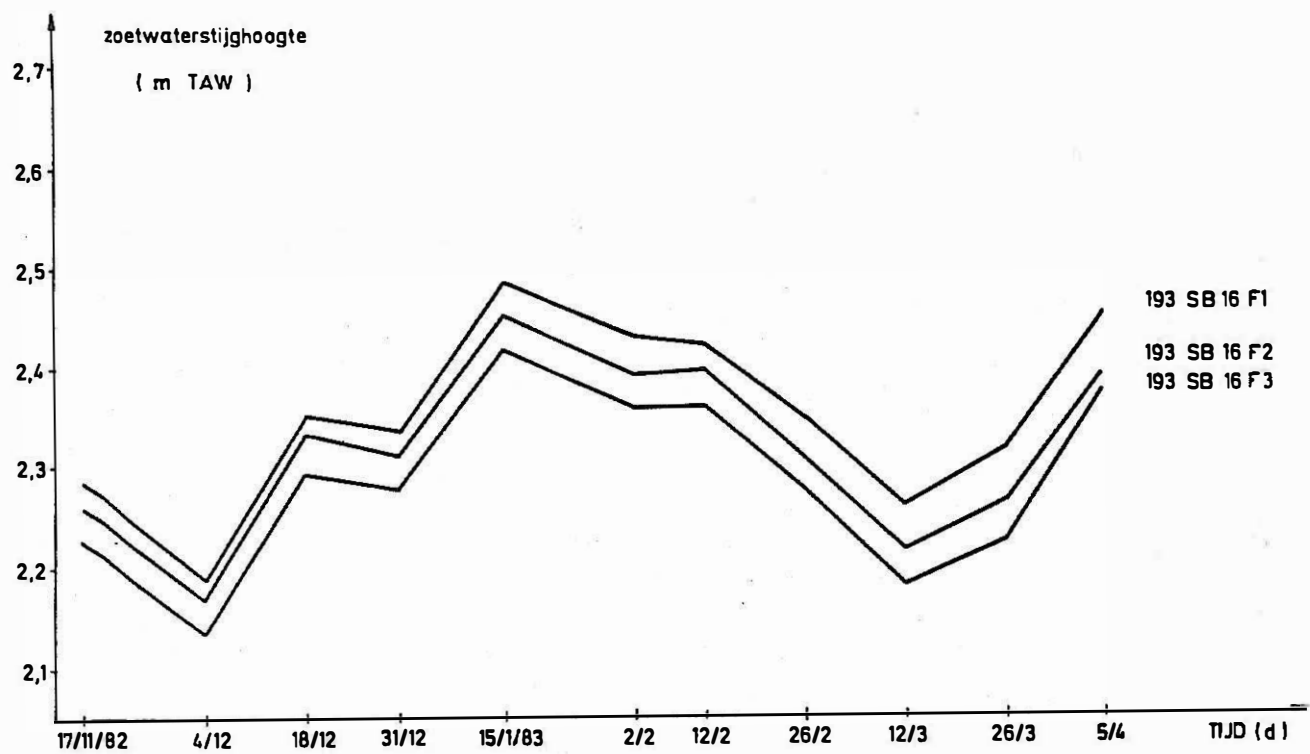
Figuur 3.16: Zoetwaterstijghoogte bij 193SB10F1, F2 en F3 (BOLLE, 1983)



Figuur 3.17: Zoetwaterstijghoogte bij 193SB11F1, F2 (BOLLE, 1983)



Figuur 3.18: Zoetwaterstijghoogte bij 193SB12F1, F2 (BOLLE, 1983)



Figuur 3.19: Zoetwaterstijghoogte bij 193SB16F1, F2 en F3 (BOLLE, 1983)

OOSTDUINKERKE (MAHAUDEN et al., 1982)

De grondwaterstand van de freatische watertafel (eenheid A) (Fig. 3.20) is hoog. In vochtige perioden werden peilen tot ongeveer + 6,3 opgemeten in de duinen ten noorden van het Mariapark en in het zuidoosten van het studiegebied. Er kunnen drie stromingsgebieden onderscheiden worden. Er is ondergrondse afvloeï in de richting van de zee ten noorden van de SW-NE verlopende waterscheidingskam. Daarnaast treedt afvloeï op in de richting van de polders in het zuiden en het zuidwesten (ten zuiden van de beide waterscheidingskammen). Het gebied tussen beide waterscheidingskammen draineert in het centrum naar de afwateringsbeek (Ydebeek) in het domein van HANNECART. Deze beek ontstond waarschijnlijk op natuurlijke wijze door de aanwezigheid van de leem-, klei- of veenafzettingen in het bovenste gedeelte van eenheid B' die de ondergrondse afvloeï van grondwater in neerwaartse en in zuidelijke richting bemoeilijkt. De grenzen van het stroomgebied zijn afhankelijk van de voeding van het grondwaterreservoir. De waterhuishouding in het zuidoosten van het studiegebied is beïnvloed door de gegraven vijver op de terreinen van TORAL. Voor recreatiedoeleinden wordt het peil er constant op ongeveer +4,7 gehouden.

De grondwaterstand in eenheden C en B is hoog onder de duinen in het noordwesten en zuidoosten. In het zuidoosten verschillen de stijghoogten boven en onder de halfdoorlatende eenheid C' ongeveer 2 m; de stroomrichting is er neerwaarts. Er is toename van het stijghoogteverschil van west naar oost tussen eenheden C en B. Het peil in C, de onderste doorlatende laag, is steeds het laagst.

Het grondwaterreservoir staat op verschillende plaatsen in verbinding met het oppervlaktewater. Enerzijds hebben we de vijvers en het wachtbekken, anderzijds de Ydebeek. De gemiddelde waterstand van de vijvers is lager dan de gemiddelde watertafel in de omgeving. Hieruit leidt men af dat grondwater naar de vijvers stroomt.

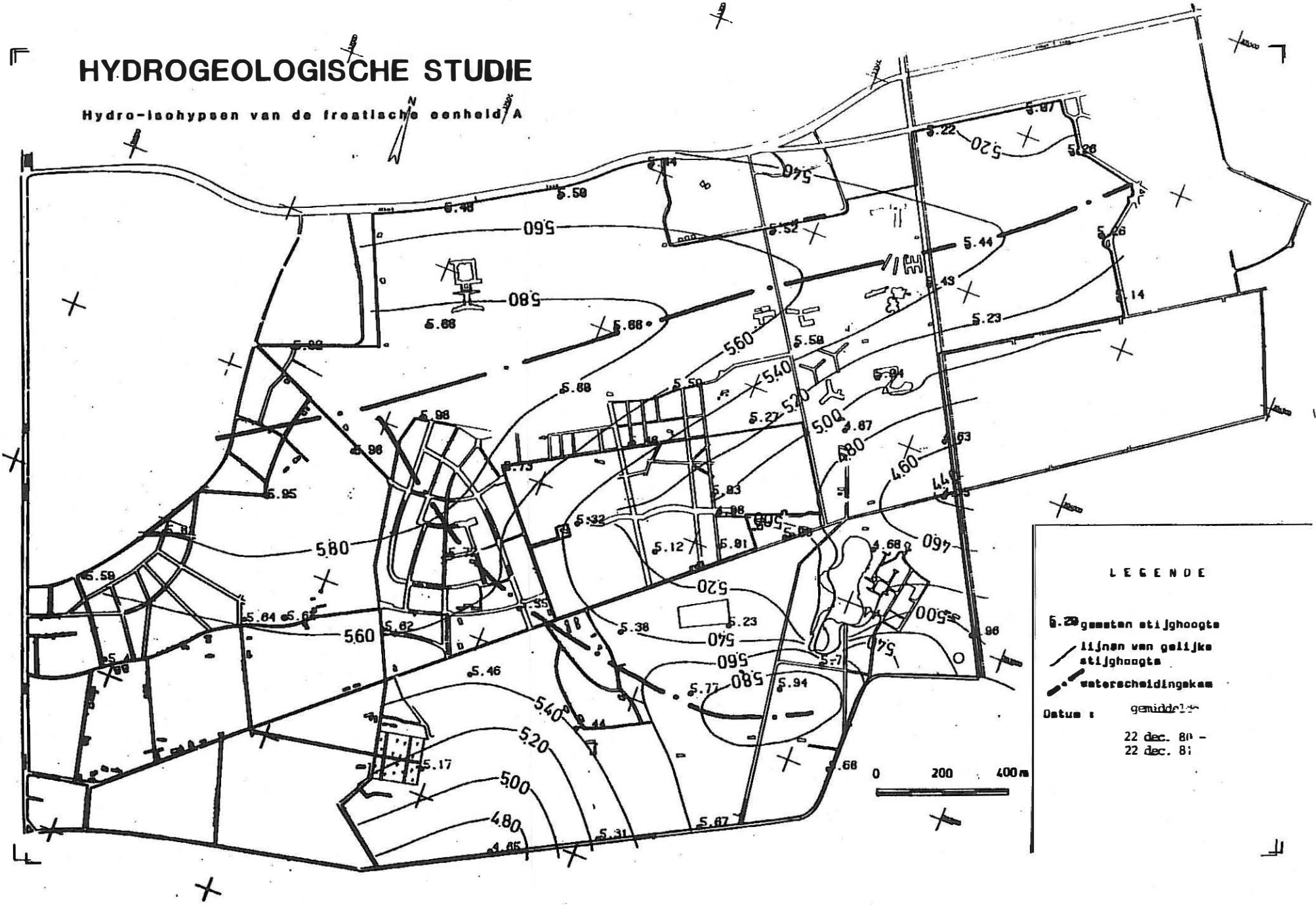
Een ander gedeelte van het grondwater vloeit naar de Ydebeek. Na een lange periode van droogte en bijgevolg zonder oppervlakkige afvloeï is het water in de beek afkomstig van het grondwaterreservoir. De beek heeft dan zijn basisafvoer.

Na een periode van neerslag neemt het debiet in de beek toe tot het een maximale waarde bereikt. Het afvloeiend water is dan voor het grootste gedeelte afkomstig van de oppervlakkige afvloeï en slechts voor een klein gedeelte van het grondwaterreservoir. De beek bereikt zijn piekafvoer.

De hydro-isohypsen van freatisch watervoerende laag met de laagste en de hoogste waarden worden in de figuren 3.21 en 3.22 weergegeven.

HYDROGEOLOGISCHE STUDIE

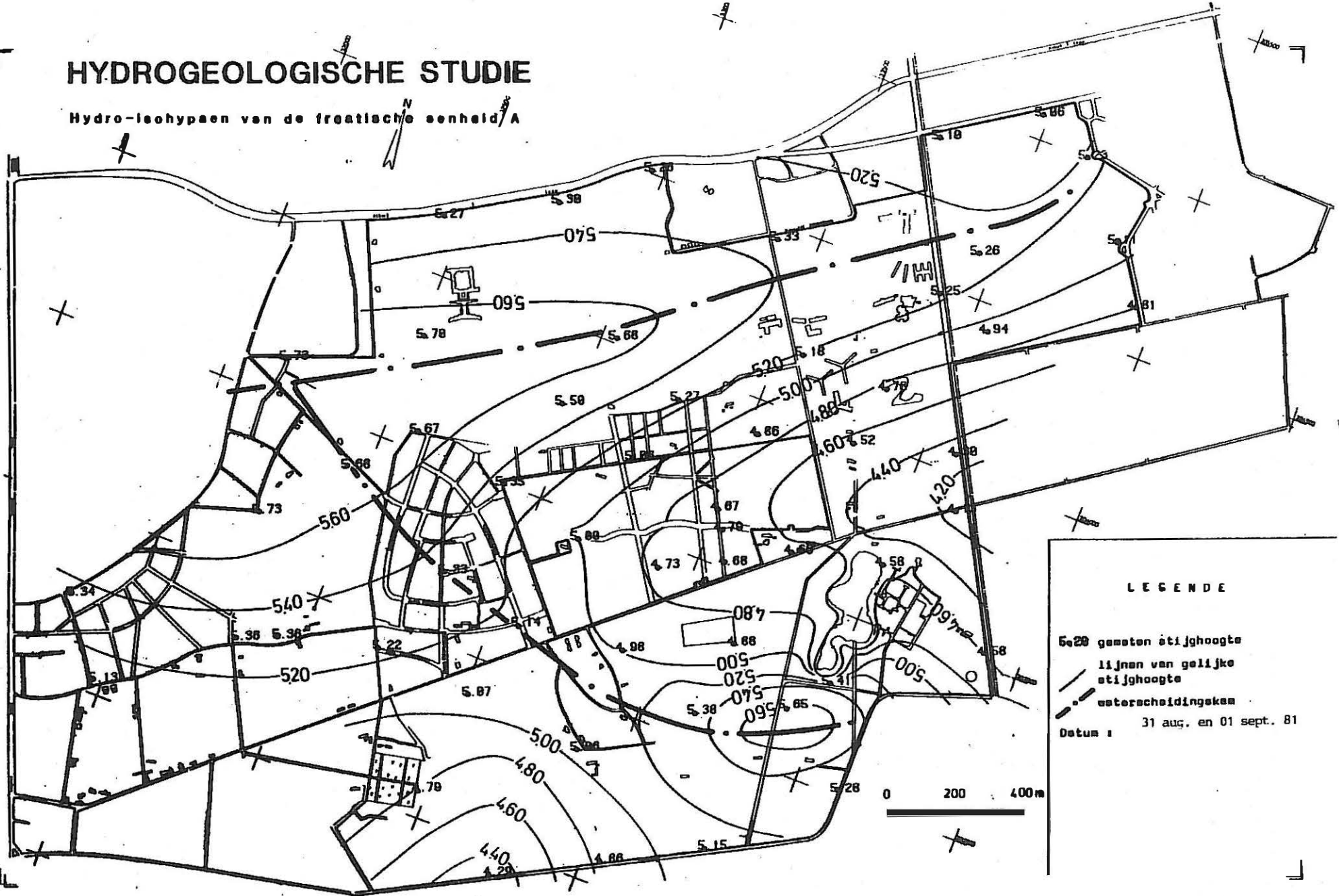
Hydro-isohypsen van de freatische eenheid A



Figuur 3.20: Hydro-isohypsen van de freatische eenheid A in Oostduinkerke (gemiddelde) (MAHAUDEN, 1982)

HYDROGEOLOGISCHE STUDIE

Hydro-ischypaen van de freatische eenheid A



LEGENDE

- 5.28 gemeten stijghoogte
- lijnen van gelijke stijghoogte
- waterscheidingske

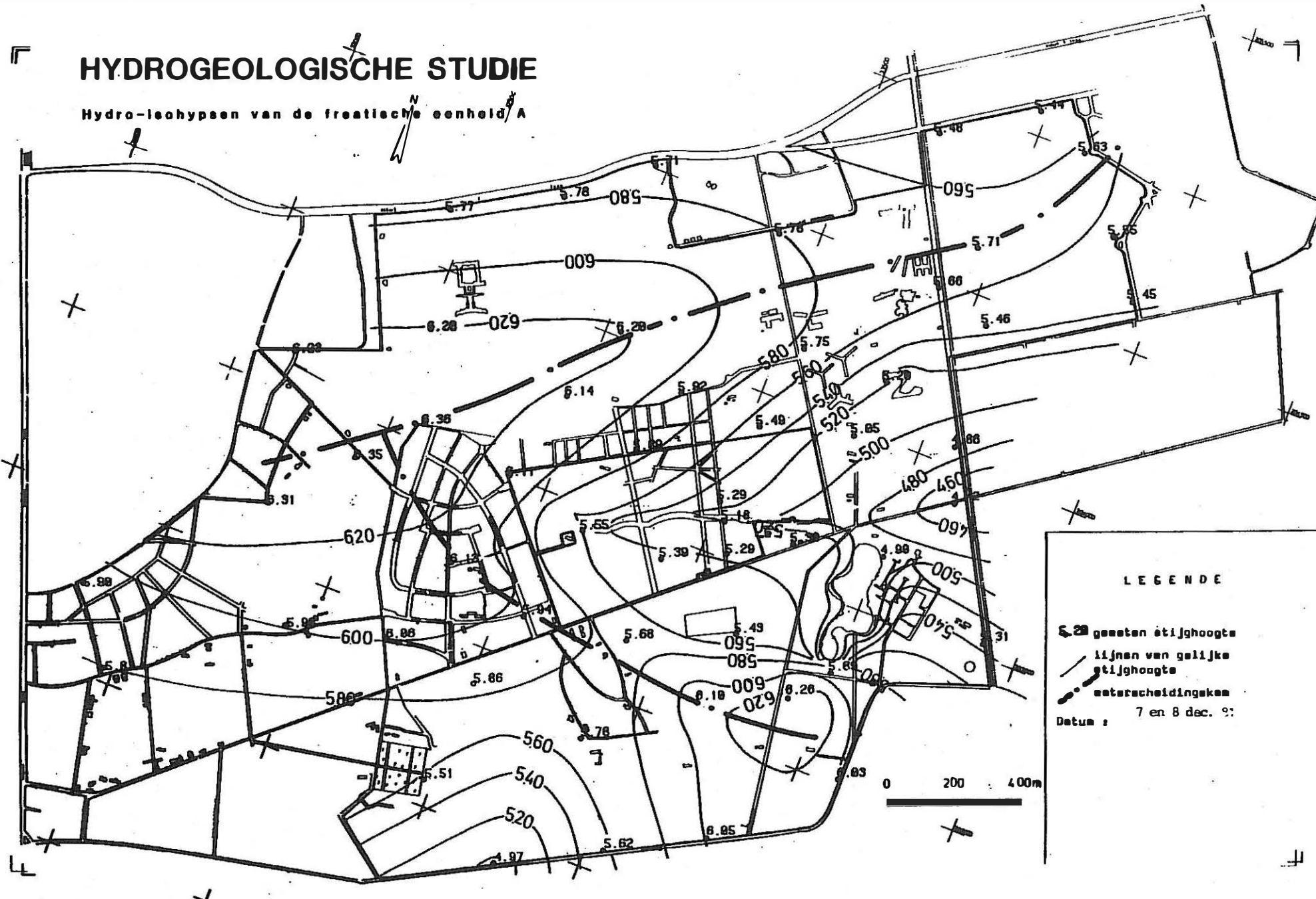
Datum : 31 aug. en 01 sept. 81

0 200 400m




Figuur 3.21: Laagste zoetwaterstijghoogte van de freatische eenheid A in Oostduinkerke (MAHAUDEN, 1982)

HYDROGEOLOGISCHE STUDIE

Hydro-ischypsen van de freatische eenheid A



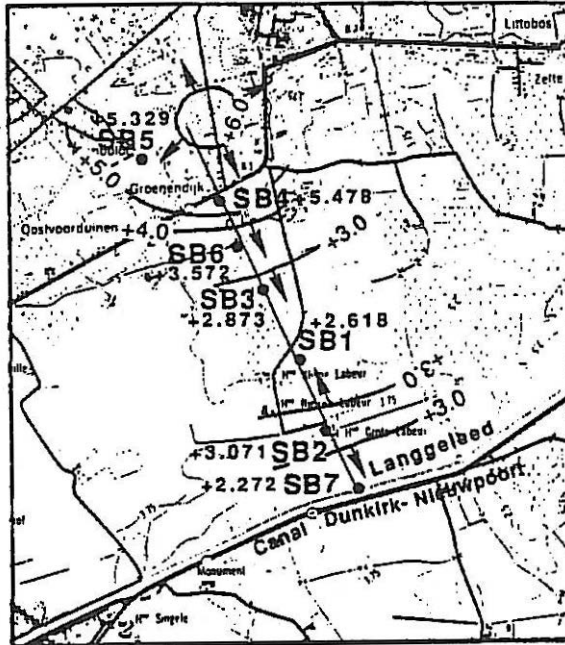
LEGENDE

-  gemeten stijghoogte
 -  lijnen van gelijke stijghoogte
 -  omtrekkingslijnen
- Datum : 7 en 8 dec. '82

0 200 400m

Figuur 3.22: Hoogste zoetwaterstijghoogte van de freatische eenheid A in Oostduinkerke (MAHAUDEN, 1982)

De horizontale grondwaterstroming in de duin-polders overgang gebeurt van noord naar zuid, dus van de duinen naar de polders en wordt in figuur 3.23 weergegeven (WALRAEVENS et al., 1993).



Figuur 3.23: Horizontale grondwaterstroming in het bovenste deel van het kwartair grondwaterreservoir (WALRAEVENS et al., 1993)

NIEUWPOORT (MAHAUDEN et al., 1991)

Aan de hand van gegevens van de Bodemkaart en van een studie in Oostduinkerke kunnen bepaalde conclusies getrokken worden. De hoge zeeduinengordel (Similiduin) vormt een belangrijk infiltratiegebied voor neerslagwater. Halfweg deze duinen bevindt zich een grondwaterscheidingskam waaruit het grondwater naar de zee en landinwaarts vloeit. Het landinwaartsvloeiend grondwater wordt gedraineerd in de Lenspolder door een stel beken, die naar de IJzer afwateren. Het bodemtype C3 dat voorkomt in de Groenendijk kan toegeschreven worden aan de kwelwerking vanuit de nabijgelegen hoge Zeeduinen. Het algemeen beeld van de grondwaterstand wordt gekenmerkt door lijnen van gelijke stijghoogte die ongeveer evenwijdig lopen met de Louisweg. De algemene grondwaterstroming is in natuurlijke omstandigheden zuidoostwaarts gericht.

De grondwaterstand (stijghoogte) hangt sterk af van de voeding, dus van de neerslaghoeveelheid. Aan de voet van de Zeeduinen werd gedurende de periode 1980-1982 in de freatische laag een seizoenverschil in grondwaterstand van 0,65 m gemeten.

Duingebied ten oosten van *DE HAAN* (DEVOS, 1984)

Het (zoetwater)stijghoogteverhang in laag 1 is klein. Relatief hoge stijghoogten treft men aan in de gebieden, waar deze laag wordt gevoed. Dit zijn essentieel de zones, waar de halfdoorlatende laag B weinig ontwikkeld is, of een kleine hydraulische weerstand vertoont. De voeding van laag 1 gebeurt grotendeels door de langgerekte zuidwest-noordoost gerichte insnijding van laag 2 waardoor de waterscheidingslijn tamelijk dicht bij de zuidelijke duinrand ligt. Ten noorden hiervan stroomt het grondwater naar de zee, ten zuiden ervan naar de polders. In de duinen en onder de hoogwaterlijn is er een neerwaart-

se stroming doorheen de tussenliggende halfdoorlatende laag (A of A en B). Bij gelijke afstand tot de zee en de polders is dit stijghoogteverschil een maat voor de hydraulische weerstand van de halfdoorlatende laag. In de polders daarentegen wordt de goed doorlatende laag 2 meestal gedraineerd. Het grondwater dat in laag 1 lateraal vanuit de duinen vloeit, sijpelt er langzaam opwaarts doorheen de halfdoorlatende laag A in de goed doorlatende laag 2.

In de doorlatende laag (1) is het verschil in stijghoogte tussen de noordgrens (hoogwaterlijn) en de zuidgrens (polders) van het duingebied vrij klein. In de lagen 2 en 3 is de stijghoogte anderhalve meter hoger aan de noordgrens dan aan de zuidgrens. Daardoor is de waterscheidingslijn zeer sterk zeewaarts opgeschoven (Fig. 3.24b en c). Van de neerslag die op het duingebied valt, stroomt dan ook het grootste deel naar de polders. In de duinen ligt het piëzometrisch vlak van de doorlatende laag 2 enkele centimeters tot enkele decimeters onder de watertafel: dit verschil geeft gedeeltelijk de grootte van de hydraulische weerstand aan van de tussenliggende halfdoorlatende laag B. Het geïnfiltreerde neerslagwater stroomt door B naar laag 2.

Het piëzometrisch vlak van laag 2 vertoont een opwelling in het westelijk duingebied, hoofdzakelijk als gevolg van de grotere breedte van het duinmassief (Fig. 3.24). De opwelling in het zeewaartse gedeelte van het middelste paraboolduin en in de Zandpanne houdt verband met de grote hydraulische weerstand van de onderliggende halfdoorlatende laag in die zone.

In de polders ligt de stijghoogte van laag 2 meestal hoger dan het peil in de sloot. Het water in deze laag wordt er aangevuld door laterale aanvloei vanuit de duinen en voor een klein gedeelte ook door opwaartse stroming vanuit laag 1; het wordt vervolgens gedraineerd door de sloten.

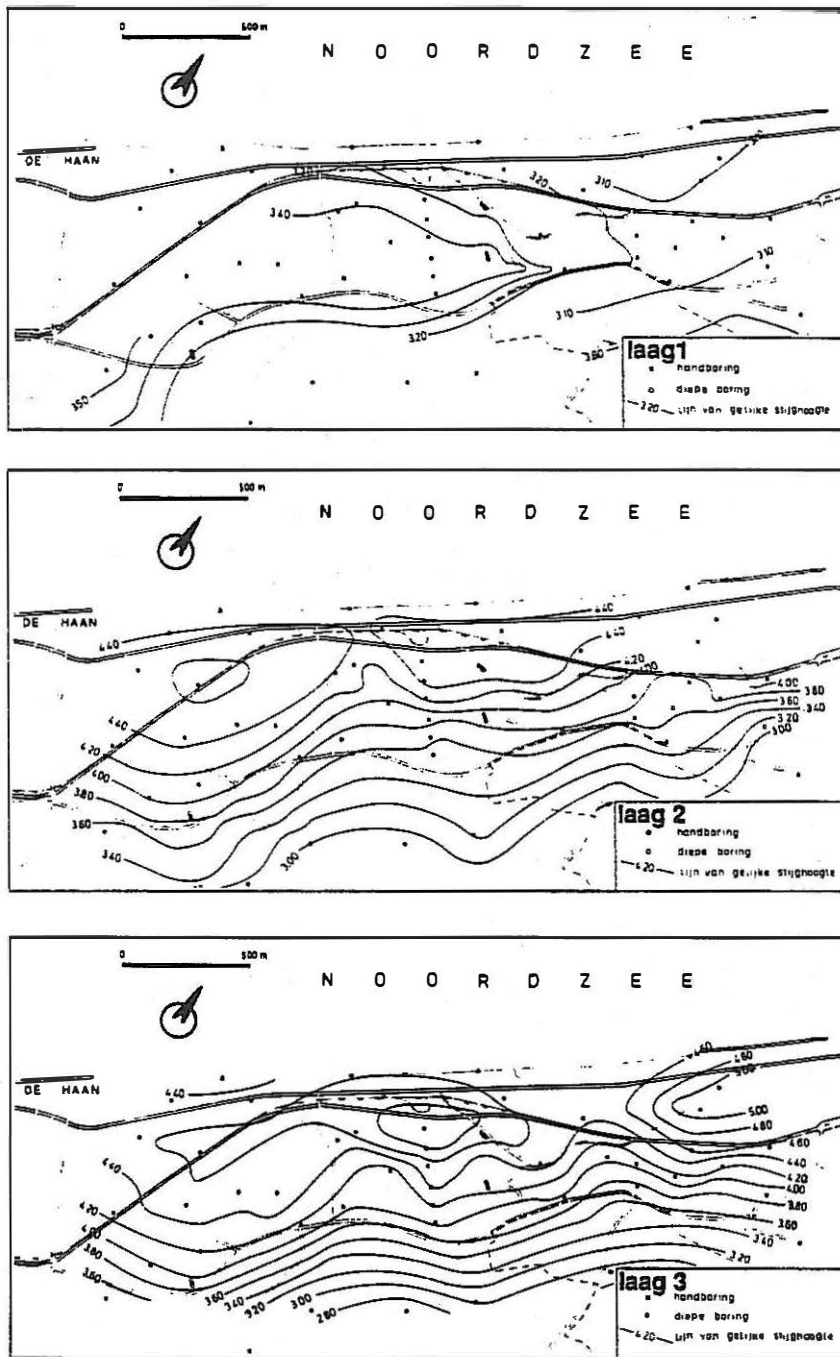
In het uiterste noordoosten van het duingebied ontbreekt de goed doorlatende laag 2 (zie Fig. 3.25).

De vorm van de grondwatertafel hangt nauw samen met de hydraulische weerstand van de halfdoorlatende laag B. Naarmate de top van deze laag op een hoger peil ligt, is dat ook het geval voor de grondwatertafel.

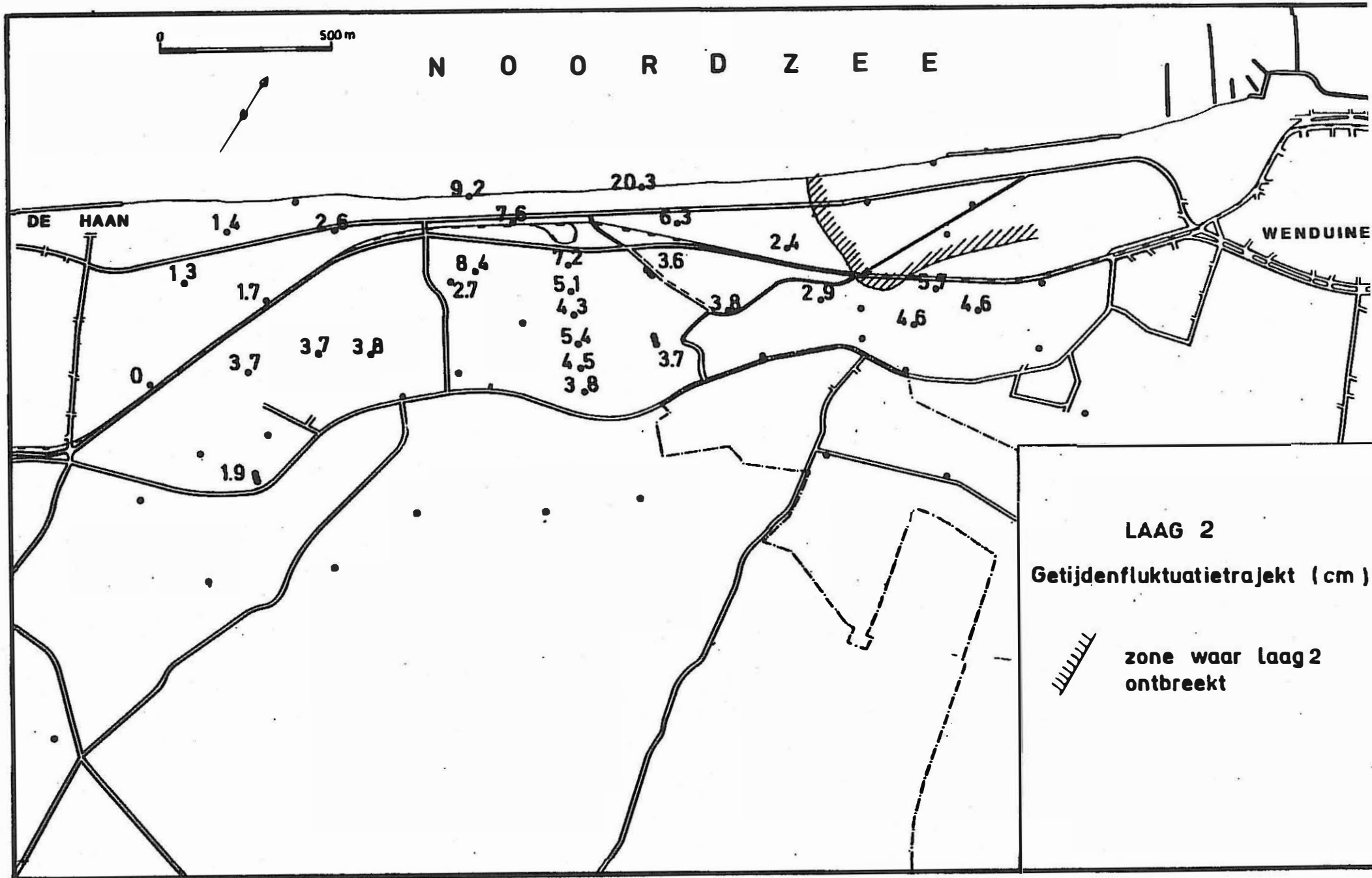
De waterscheidingskam valt grotendeels samen met die van de half artesische laag 2. In het uiterste westen van het gebied kan tijdens de droge perioden een stroming ontstaan naar een depressie in de grondwatertafel die verband houdt met het (nagenoeg) ontbreken van de halfdoorlatende laag B.

Daarentegen veroorzaken de hoge hydraulische weerstand en het relatief hoge peil van deze halfdoorlatende laag B een verheffing van de grondwatertafel in het zeewaartse gedeelte van de Zandpanne. Het verschil in stijghoogte van de watertafel in het uiterste noordoosten van het duingebied is het gevolg van de zeer hoge hydraulische weerstand van de halfdoorlatende lagen A en B, die daar verticaal op elkaar aansluiten.

Het laagste gedeelte van de Zandpanne komt overeen met een depressie in de grondwatertafel. Dit is vooral merkbaar in perioden van hoge grondwaterstand, wanneer die zone



Figuur 3.24: Waargenomen gemiddelde stijghoogteconfiguratie (1980 - 1983) in de doorlatende lagen 1, 2 en 3 in duingebied ten oosten van De Haan (DEVOS, 1984)

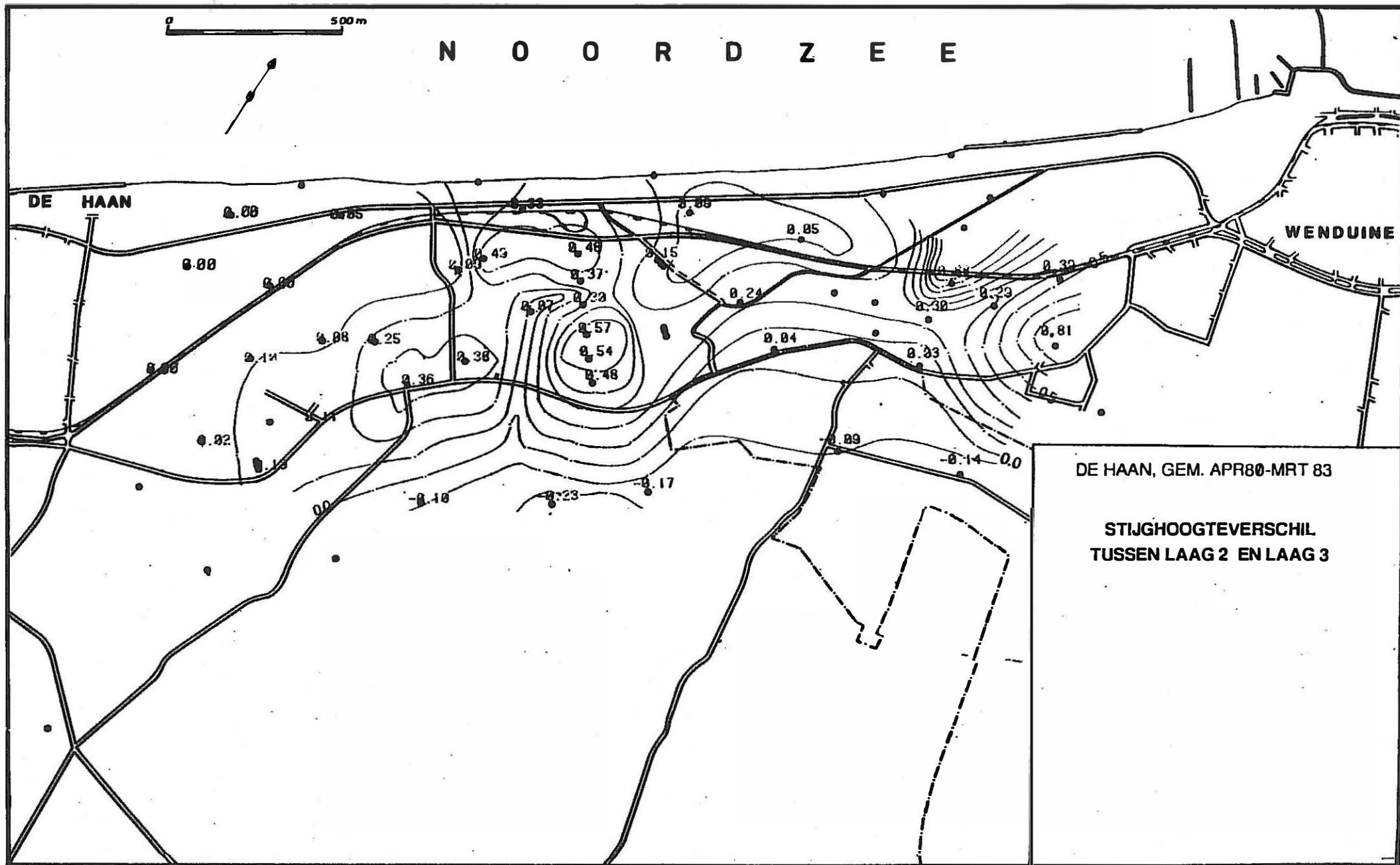


Figuur 3.25: Getijdefluctuatietraject (cm) in laag B met zone waar laag 2 ontbreekt in het duingebied ten oosten van De Haan (DEVOS, 1984)

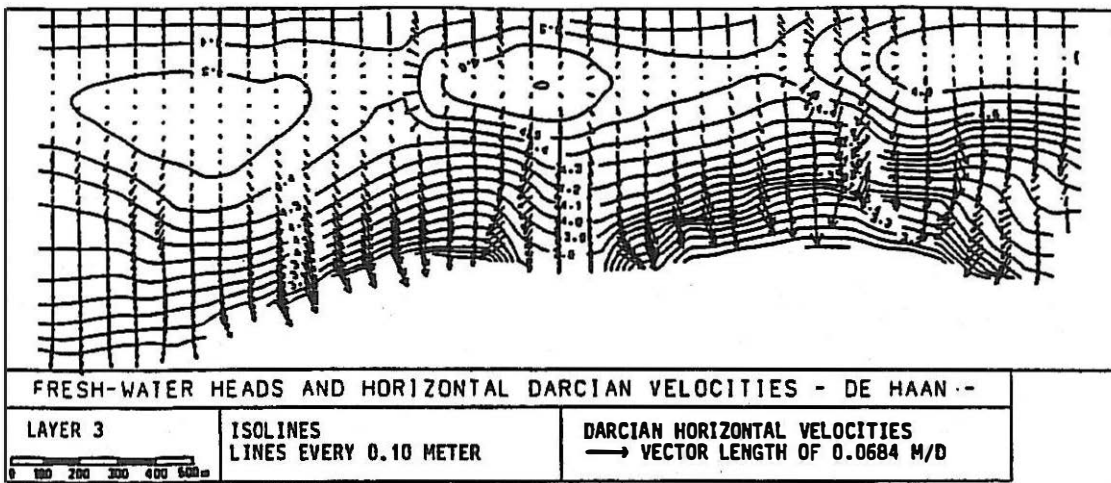
wordt gedraineerd door een gracht. Er kan dan zelfs een opwaartse grondwaterstroming ontstaan van de doorlatende laag 2 naar de freatische laag 3 (Fig. 3.26).

De fluctuaties in stijghoogteschommeling in het landwaarde gedeelte van de westelijke paraboolduinen zijn groter dan deze in het verder zeewaarts gelegen westelijke pannen-gebied. Dit is toe te schrijven aan de horizontale verandering van de hydraulische weerstand in de halfdoorlatende laag B. In de omgeving van de Zandpanne komt immers over de volledige breedte van het duingebied een zone met hoge hydraulische weerstand voor; deze vertoont een uitstulping naar het westen, tot onder de westelijke paraboolduin. Hier worden de getijdefluctuaties in de onderliggende doorlatende laag 2 minder gedempt dan in het westelijke pannen-gebied, waar de halfdoorlatende laag B nagenoeg ontbreekt.

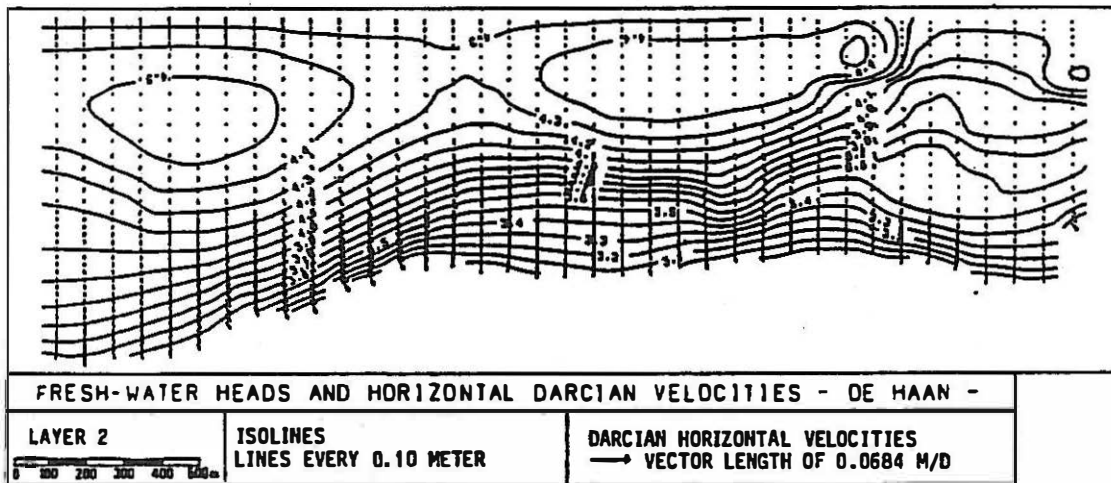
De getijdeschommelingen in laag 2 zijn het grootst in de Zandpanne. Niettemin neemt men ook hier, evenals in het meer oostelijk gelegen duingebied, op enkele honderden meters van de hoogwaterlijn een landwaartse toename van de getijdeschommelingen waar. Deze toename treedt op in de zone waar de halfdoorlatende laag A dun is tengevolge van het sterk ravinerend karakter van de Afzetting van Duinkerke (laag 2). In WALRAEVENS et al. (1990) is de grondwaterstroming in een mathematisch 3D model uitgewerkt. Het berekende grondwaterpeil voor elke laag is weergegeven in figuur 3.27.



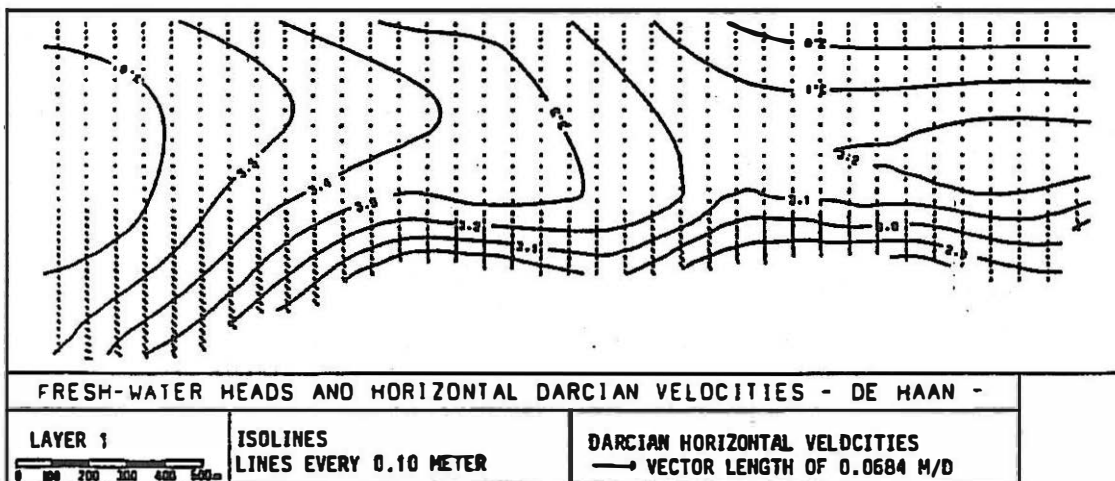
Figuur 3.26: Stijghoogteverschil tussen laag 2 en 3 in het duingebied ten oosten van De Haan (DEVOS, 1984)



Groundwater flow in phreatic layer 3



Groundwater flow in semi-confined layer 2



- Groundwater flow in semi-confined layer 1

Figuur 3.27: Mathematisch grondwaterstromingsmodel in het duingebied ten oosten van De Haan (WALRAEVENS et al., 1990)

3.3. Grondwaterkwaliteit

De kwaliteit, en meer in het bijzonder het zoutgehalte van het grondwater in de Kustvlakte, is zowel lateraal als verticaal volgens een uiterst grillig patroon verdeeld.

Volgens DEVOS (1984) is de scheikundige samenstelling van het grondwater dat op een bepaalde plaats wordt aangetroffen het resultaat van een vaak complexe wisselwerking tussen vele factoren:

- holocene mariene transgressies;
- de samenstelling van het regenwater in de zone waar de grondwatervoorraad wordt aangevuld;
- een reeks processen die optreden tijdens de infiltratie van het neerslagwater doorheen de onverzadigde zone naar de grondwatertafel;
- het contact van het grondwater met de formatie en een reeks langzame scheikundige processen tijdens het verblijf in de watervoerende laag;
- wisselwerking van het recent aangevulde grondwater met het oorspronkelijk in de formatie aanwezige grondwater;
- de verstoring van de samenstelling van het grondwater door menselijke activiteit.

In de duinen bestaat een duidelijk verband tussen de grondwaterkwaliteit en de geologische bouw van het reservoir.

ALGEMEEN (DEVOS, 1984)

Duinen

De zoetwatervoorraad in de duinen wordt in stand gehouden door het jaarlijks neerslagoverschot. Door de hoge ligging t.o.v. nabijgelegen polders en door het ontbreken van drainerende waterlopen kan de grondwatertafel er zich verheffen tot boven het zeeniveau. Het geïnfiltreerde regenwater oefent een bijkomende hydrostatische druk uit op het onderliggende zoute water. Vermits deze beide waters zich slechts moeilijk met elkaar mengen, grijpt afstroming van zoet water naar de zee en naar de polders plaats.

De verdringing van zout door zoet water blijft doorgaan tot een evenwicht is bereikt. Dit dynamisch evenwicht wordt gehandhaafd door het neerslagoverschot, dat naar de grondwatertafel infiltreert en ondergronds wegstroomt.

In de praktijk treft men vrijwel nooit een scherp grensvlak aan. Door hydrodynamische dispersie ontstaat een zone van brak water, waarin de concentratie aan opgeloste stoffen geleidelijk afneemt van deze van zeewater naar deze van infiltrerend neerslagwater.

Onder duinmassieven komen dikwijls slecht doorlatende afzettingen voor. Ze worden gevormd door jonge (holocene) waddenafzettingen. Door hun fijnkorrelige textuur, waarbij de fijnste deeltjes de poriën tussen de grovere deeltjes vaak geheel of gedeeltelijk opvullen, blijft fossiel zeewater gevangen in talrijke microscopisch kleine gedeelten van de formatie. Doorheen de grotere poriën, die nog een zekere waterbeweging toelaten, sijpelt het recent aangevulde zoetwater, dat door moleculaire diffusie ionen opneemt uit het in de capillaire holten opgesloten zeewater. Dergelijke halfdoorlatende lagen kunnen een niet te onderschatten bron van opgeloste stoffen vormen. Het duurt immers zeer lang alvorens het (verdunde) zoutwater volkomen is uitgewassen uit de formatie.

Polders

In de laaggelegen polders, met hun dicht netwerk van drainerende waterlopen, ligt op de meeste plaatsen het grondwaterpeil slechts nauwelijks boven de gemiddelde zeespiegel. Het neerslagwater kan onvoldoende hydrostatische druk uitoefenen op het zout water, om dit laatste tot op grote diepte te verdringen. In de laagstgelegen gebieden komt zout of brak water voor tot aan of nabij het oppervlak (zoute kwel).

De zoetwatervoorraad in de ondergrond van de polders wordt geleverd enerzijds door infiltrerend neerslagwater, anderzijds door ondergrondse afstroming vanuit plaatsen waar het zoet water zich onder een hoger grondwaterpeil bevindt. Dit laatste is vooral belangrijk in de randzone van de polders nabij de duinen. Infiltratie daarentegen komt bijna uitsluitend voor op de hoger gelegen kreekkruggen, waar het drainagestelsel minder dicht is en waar bovendien de hoofdzakelijk zandige opbouw van het reservoir de insijpeling van zoet water bevordert. De intensieve ontwatering van de klei-op-veengebieden en de oppervlakkige halfdoorlatende laag belemmeren bijna volledig het doordringen van het zoet water naar de ondergrond.

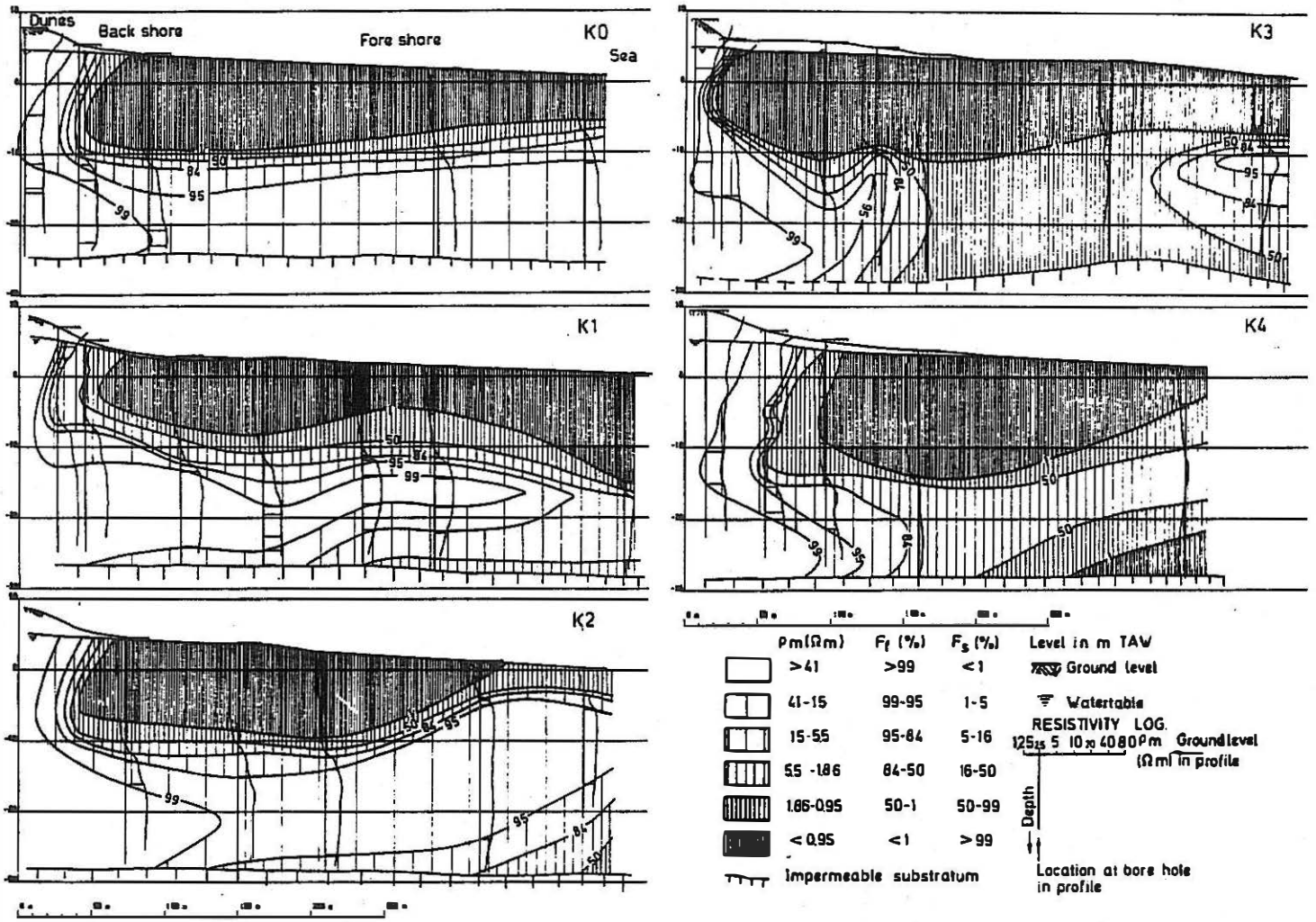
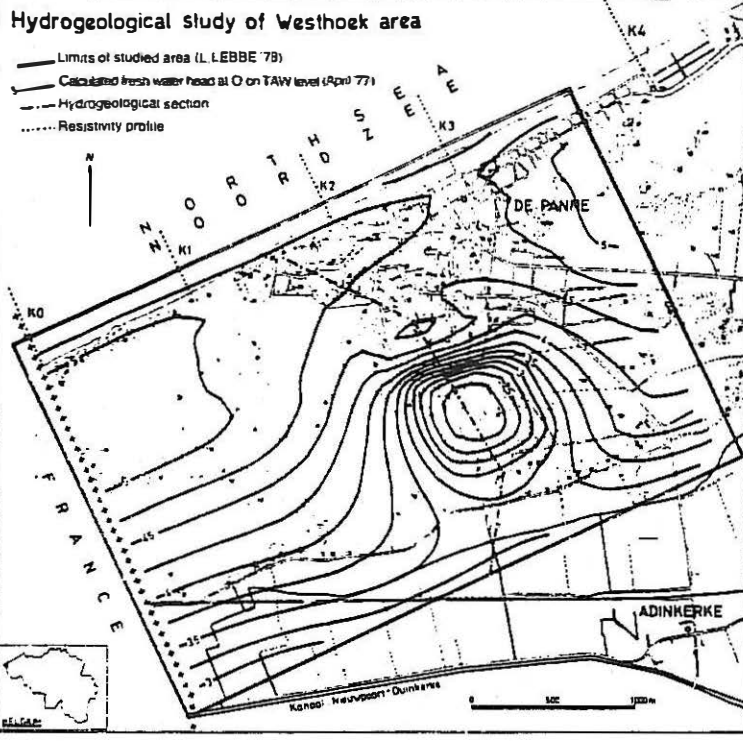
OVERZICHT VAN LOKALE STUDIES

De evolutie van de kwaliteit van het grondwater

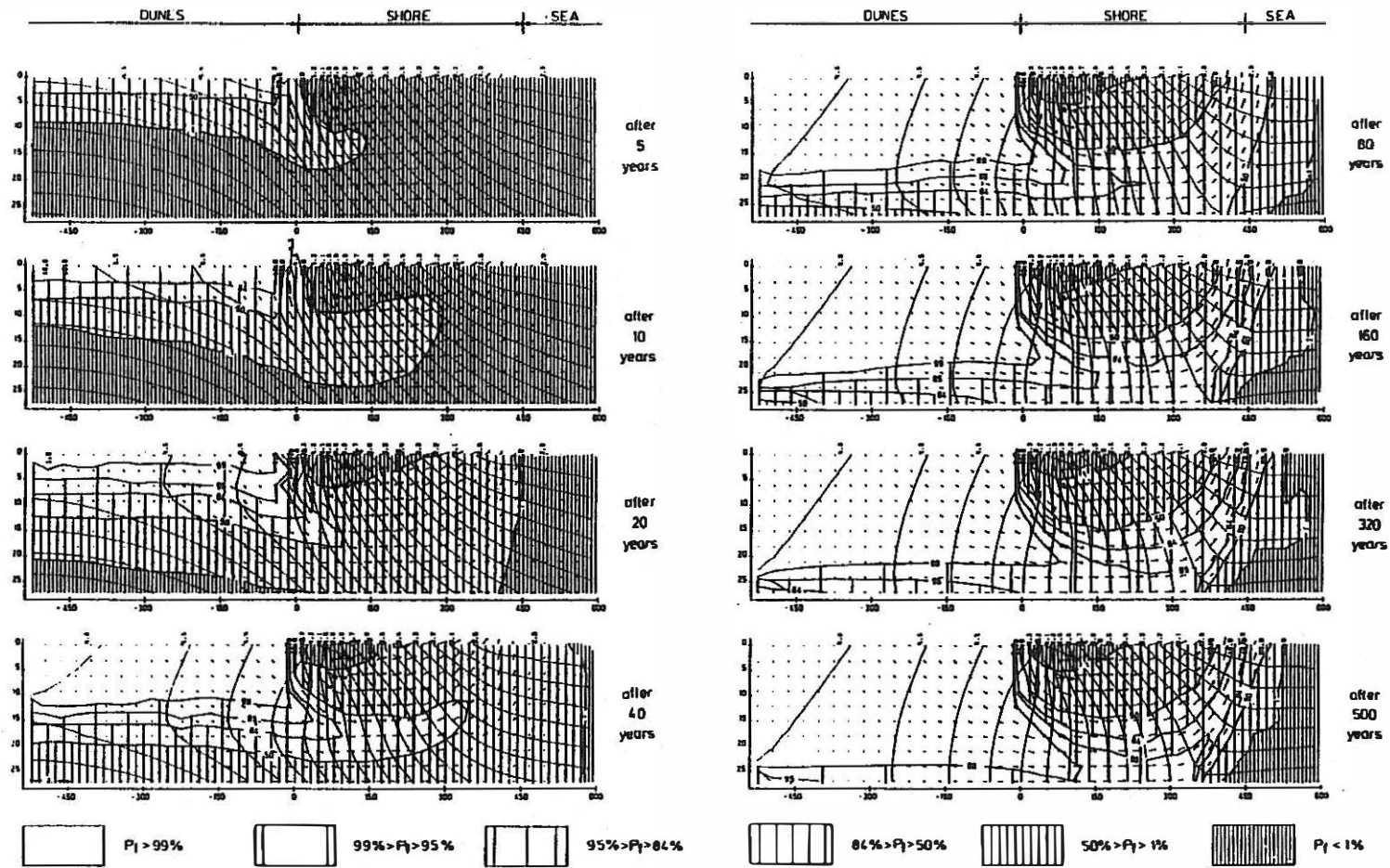
De *WESTHOEK* (LEBBE, 1984)

De 5 resistiviteitsprofielen loodrecht op de kustlijn werden omgezet tot 5 zoetwaterpercentageprofielen (Fig. 3.28). In figuur 3.29 wordt de evolutie berekend van de grondwaterkwaliteit. Bij het begin wordt er verondersteld dat de watervoerende laag volledig gevuld is met zout water. Vanaf dit moment wordt aangenomen dat de zee de pas gevormde duingordel niet meer overstroomt. Een gedeelte van het regenwater begint te infiltreren door de onverzadigde zone naar de grondwatertafel toe. Onder de duingordel wordt het zout water verdrongen. Een lens van brak water ontstaat. Reeds in de eerste jaren vormt zich in het bovenste gedeelte van de watervoerende laag een brakwatertong onder het droge strand. In de loop van de tijd groeit de lens onder de duinen. Het zoutgehalte vermindert in het bovenste gedeelte en er ontstaat een brede overgangszone tussen zoet en zout water. De brakwatertong onder het strand groeit, het zwaartepunt ervan daalt en het zoutgehalte vermindert. Nabij het ondoorlatend substraat gebeurt de verwijdering van het zout water zeer traag. Pas na lange tijd wordt een evenwichtstoestand bereikt waarbij de watervoerende laag onder de duinen volledig gevuld is met zoet water, terwijl onder het strand het onderste gedeelte van de watervoerende laag gevuld is met zoet en het bovenste met zout water.

De evolutie van de stroming en van de waterkwaliteit in de watervoerende laag onder de zee is eveneens opmerkelijk. In de eerste jaren gebeurt de zoutwaterstroming er hoofdzakelijk horizontaal en zeewaarts. Naarmate de tijd vordert, vermindert geleidelijk het zoutgehalte en de zeewaartse stroming. In het onderste gedeelte van de watervoerende laag verandert de stroming van richting en het zoutgehalte van het water wordt weer groter.



Figuur 3.28: Profielen van zoetwaterpercentage in de Westhoek (LEBBE, 1984)

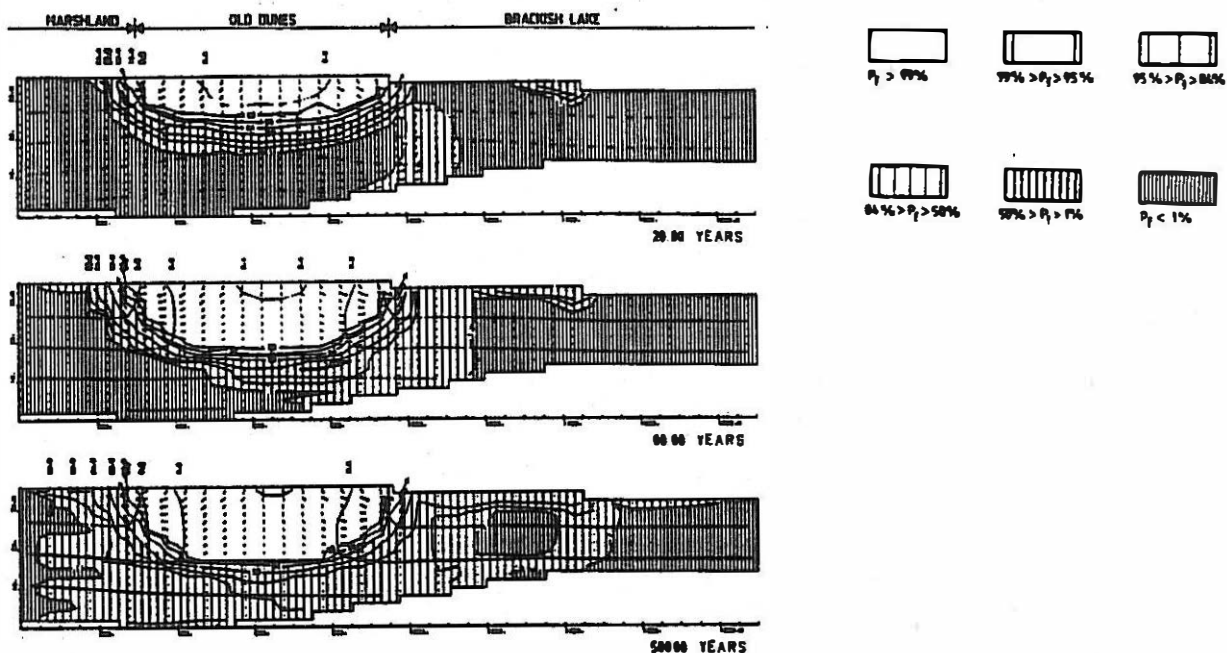


Figuur 3.29: Natuurlijke evolutie van de grondwaterstroming, zoetwaterstijghoogteconfiguratie en de kwaliteitsverspreiding onder de duinen, het strand en de zee na het ontstaan van de duingordel. Berekend met de numerische methode (tweedimensionaal, in verticaal vlak) (LEBBE, 1984)

Na simulatie van vijfhonderd jaar verandert de zoetwaterstijghoogte en de verspreiding van de grondwaterkwaliteit onder de duinen, het strand en de zee niet meer betekenisvol. Deze zoetwaterstijghoogte en de kwaliteitsverspreiding worden als initiële toestand gebruikt om de evolutie van de grondwaterkwaliteit tijdens het pompen in de duinen te simuleren. Dit wordt verder besproken.

Oude duinen van *ADINKERKE* - Ghyvelde met aangrenzende gebieden (LEBBE & PEDE, 1986).

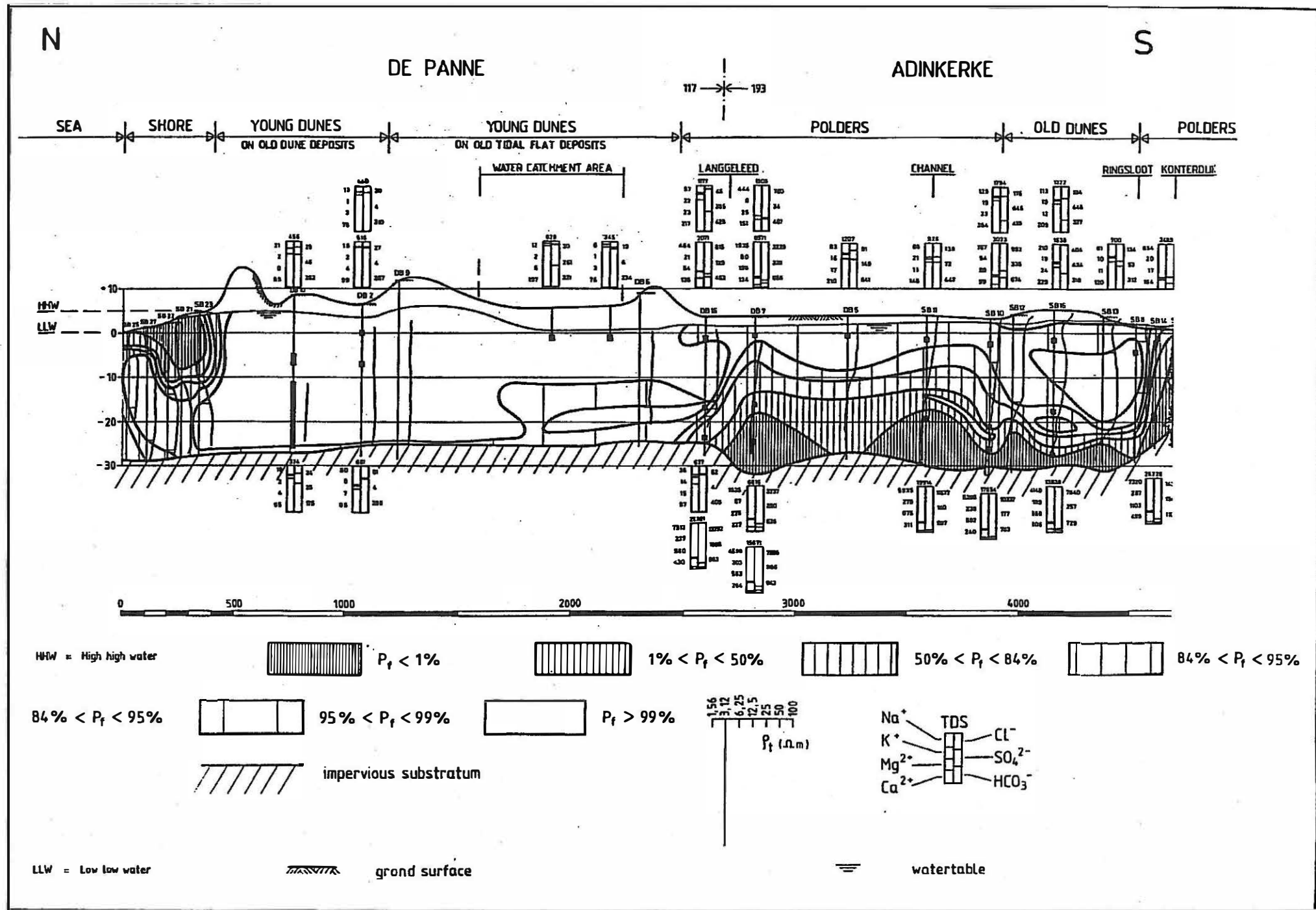
Vóór de vorming van de Oude Duinen van Adinkerke-Ghyvelde kan men veronderstellen dat het grondwaterreservoir volledig gevuld was met connaat zout water. Dit is water dat ingesloten wordt in de sedimenten gedurende de afzetting. Vanaf de vorming van de Oude Duinen was er een infiltratie van zoet water doorheen de onverzadigde zone naar de watertafel die gelijk was aan het neerslagoverschot van de onverzadigde zone. Dit zoet water verdreef langzaam het aanwezige zout water en er ontstond een symmetrische zoet waterlens die onder deze smalle duingordel vrij vlug (na ongeveer 80 jaar) zijn maximale uitbreiding bereikte (Fig. 3.30). Door de geringe breedte van deze duingordel en door de aanwezigheid van een slecht doorlatende laag, reikte de zoetwaterlens niet tot op het kleisubstraat (Yc).



Figuur 3.30: De Oude Duinen onder natuurlijke omstandigheden (LEBBE & PEDE, 1986)

Uit het chemisch onderzoek valt verder af te leiden dat het neerslagwater tijdens de infiltratie doorheen de onverzadigde zone vooral calcium en bicarbonaten opneemt. Op plaatsen waar de watertafel door bemaling sterk werd verlaagd, bevat het duinwater in de topzone van de watervoerende laag veel ijzer en sulfaten (BOLLE, 1983).

Figuur 3.31 geeft de verspreiding van de verschillende waterkwaliteiten weer. Het profiel loopt van op het strand tot in de polders. Hierop is duidelijk dat de duinen het infiltratiegebied zijn.



Figuur 3.31: Grondwaterkwaliteitsprofiel van het strand tot in de polders (LEBBE et al., 1983)

OOSTDUINKERKE

Het kwaliteitsonderzoek van grondwatermonsters afkomstig uit de eenheden A, B en C toont aan dat het ijzergehalte 0,3 mg/l is. Vooral de monsters ontnomen aan de ondiepe filters vertonen hoge waarden. Verder is vastgesteld dat in enkele gevallen het calciumgehalte hoger is dan 75 mg/l en het ammoniumgehalte hoger is dan 0,5 mg/l (MAHAU-DEN et al., 1982).

Het model is berekend voor het ogenblik dat de Jonge Duinen gevormd zijn (ca. 1000 BP). Op dat tijdstip werd verondersteld dat het grondwaterreservoir volledig gevuld is met zout water. Vanaf dan kan door infiltratie in de duinen een grondwaterstroming en desalinisatie beginnen. De polders werden toen zwak gedraineerd. Hierdoor is er geen uitstroming mogelijk naar de diepere delen van het grondwaterreservoir. Rond 250 BP werd de Langgeleed gegraven. Hierdoor verandert de grondwaterstroming.

In figuur 3.32a wordt de situatie weergegeven. Reeds na 25 jaar is de infiltratie duidelijk merkbaar. Na 100 jaar is het grondwaterreservoir onder de duinen volledig uitgewassen. Het zoet grondwater komt voor tot op het tertiair substraat. Aan de basis van het grondwaterreservoir, onder de polders, komt zoet water voor en dit over meer dan 1 km. Dit is te wijten aan de laterale stroming vanuit de duinen. Dit proces blijft doorgaan. Na 750 jaar werd de Langgeleed gegraven. De invloeden op de grondwaterstroming zijn duidelijk merkbaar.

Heden zijn de duinen gevuld met zoet water. Onder de zuidrand van de duinen is een brak waterlichaam gevormd tussenin het zoet water. Het zoet water boven deze lens is te wijten aan een ondiepe cyclus van zoet water aan de voet van de duinen. Het zoet water onder de lens is het resultaat van stroming in het onderste deel van het grondwaterreservoir. In de polders komt water voor met hoog zoutgehalte. Het onderste deel van de watervoerende laag in de polders ondergaat een verzoeting doordat zoet water vanuit de duinen toestroomt. Het valt op dat het zout water boven dit zoet water blijft bestaan in de polders (WALRAEVENS et al., 1993).

Duingebied tussen *KOKSIJDE* en *OOSTDUINKERKE* (LEBBE & DE BREUCK, 1980)

Het poriënwater is zwak tot matig zoet over de ganse dikte van de watervoerende laag met uitzondering van de bovenste schelpenbank, die een kleinere resistiviteit vertoont. Het poriënwater van deze schelpenbank is blijkbaar zouter.

Duingebied ten oosten van *DE HAAN* (DEVOS, 1984)

De grondwatervoorraad wordt continu aangevuld door infiltrerend neerslagwater. Tijdens de holocene transgressies is evenwel zeewater in het reservoir gedrongen. Dit laatste werd tevens samen met het uit die periode daterende sediment afgezet.

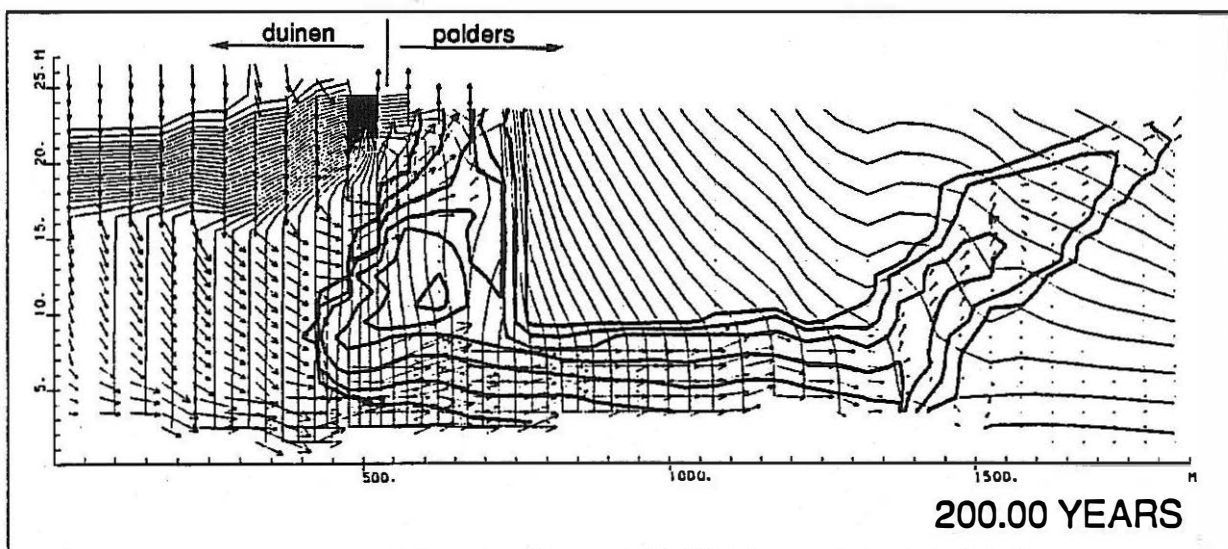
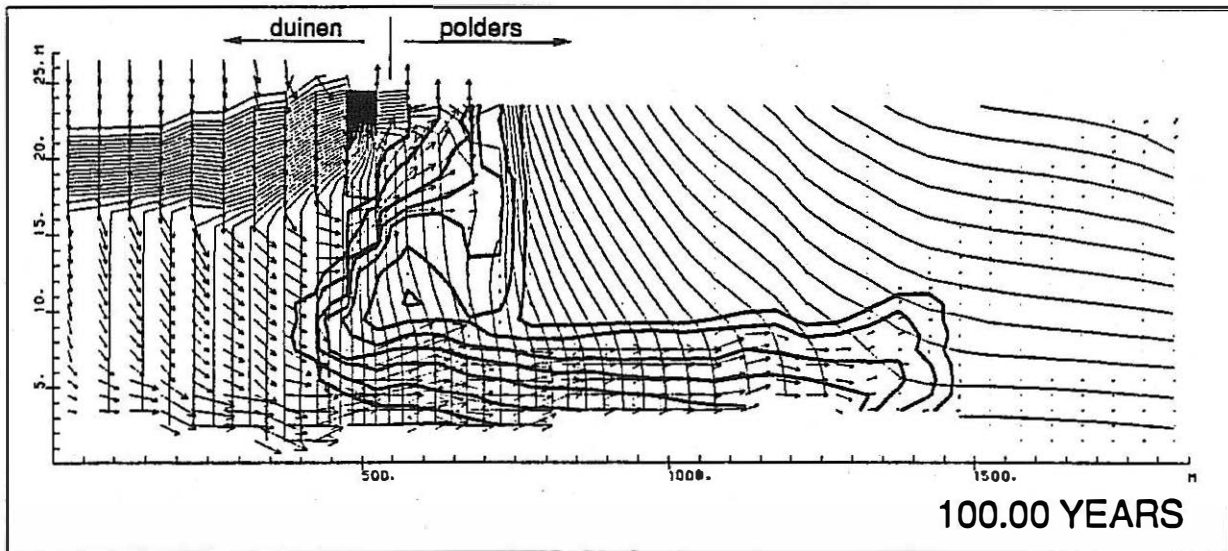
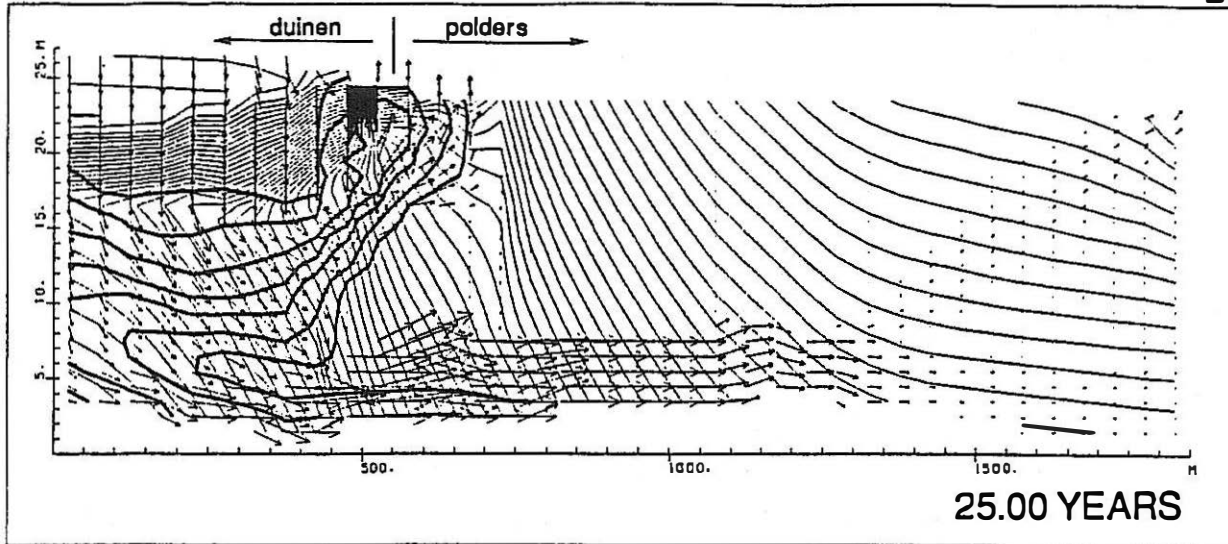
In het centrale duingebied van de Zandpanne en in het zeewaartse gedeelte van het oostelijke duingebied komen goed ontwikkelde halfdoorlatende lagen voor. Men mag er op relatief geringe diepte brak water verwachten. Niet alleen is uit deze slecht doorlatende afzettingen zelf het zeewater onvolledig uitgewassen, tevens verminderen deze de infiltratie van regenwater naar de diepere delen van het reservoir. In het uiterste westen en langs de zuidrand van de duinen daarentegen vertonen de halfdoorlatende lagen een

NNW

SSE

B

B'



- line of equal fresh-water head (every 0.05m)
- line of equal concentration (resp. 99%, 95%, 84%, 50%, 16%, 5% and 1% of salt water)
- length of velocity vector indicates distance travelled by a water particle during a period of 2 years

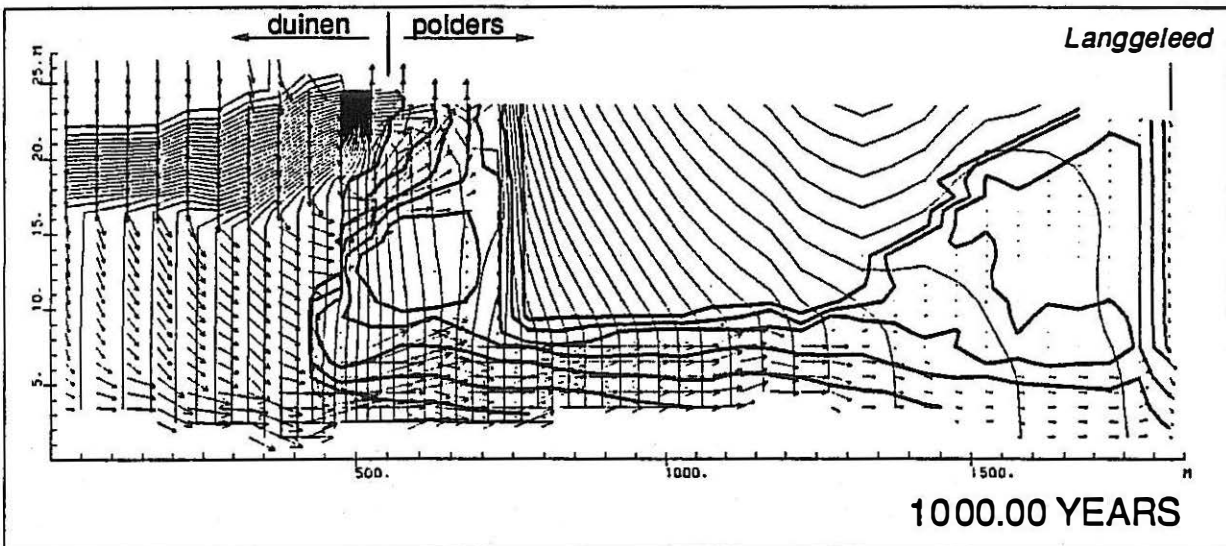
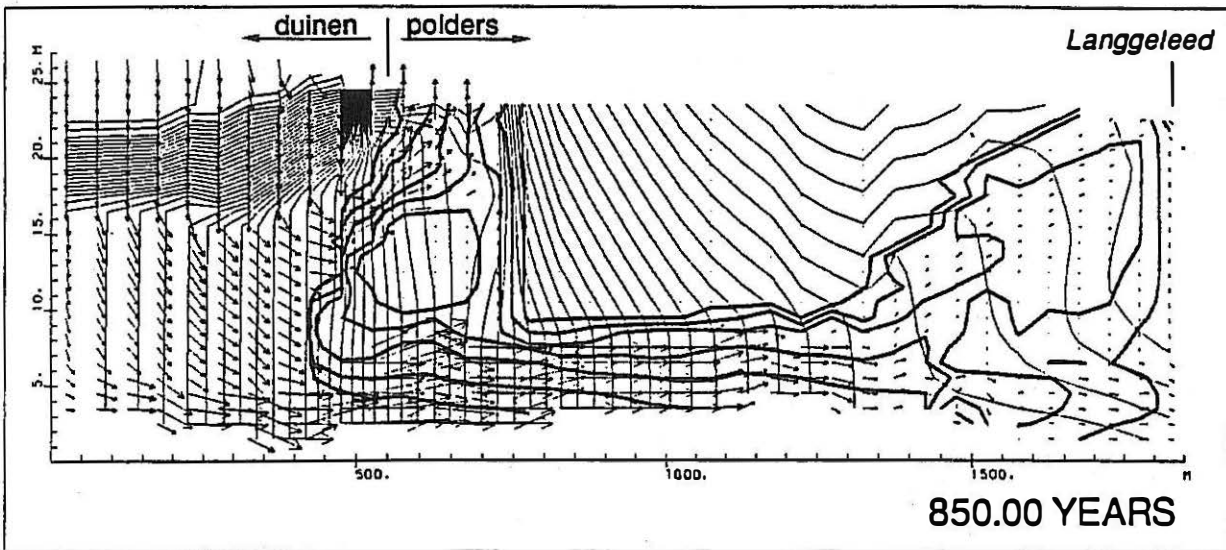
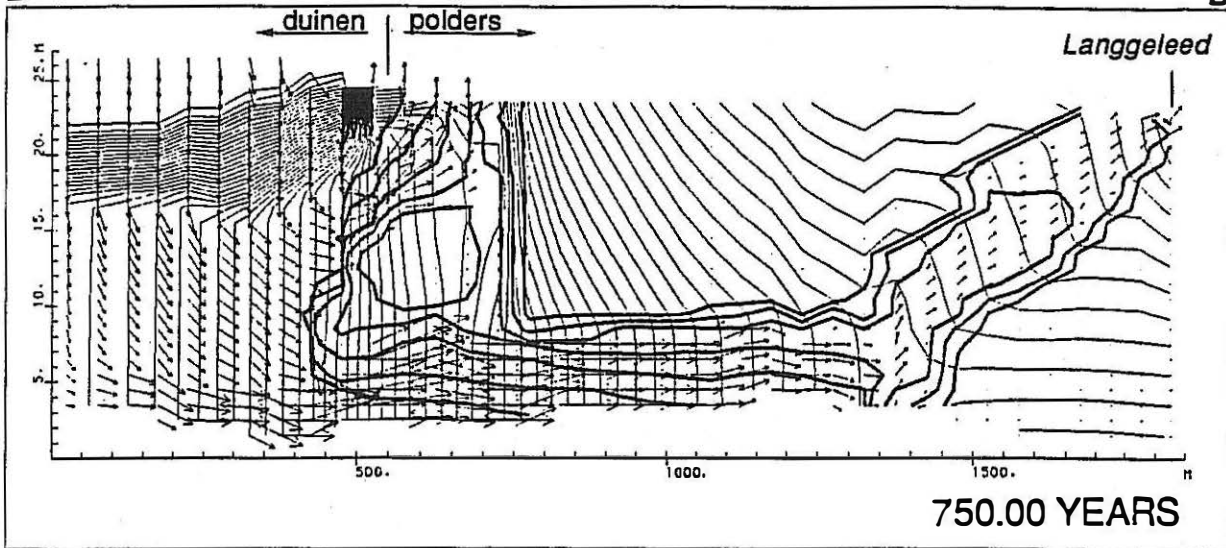
Figuur 3.32a: Simulatie van de grondwaterstroming in Oostduinkerke (WALRAEVENS et al., 1993)

NNW

SSE

B

B'



- (continued)

Simulatie van de grondwaterstroming in Oostduinkerke
(WALRAEVENS et al., 1993)

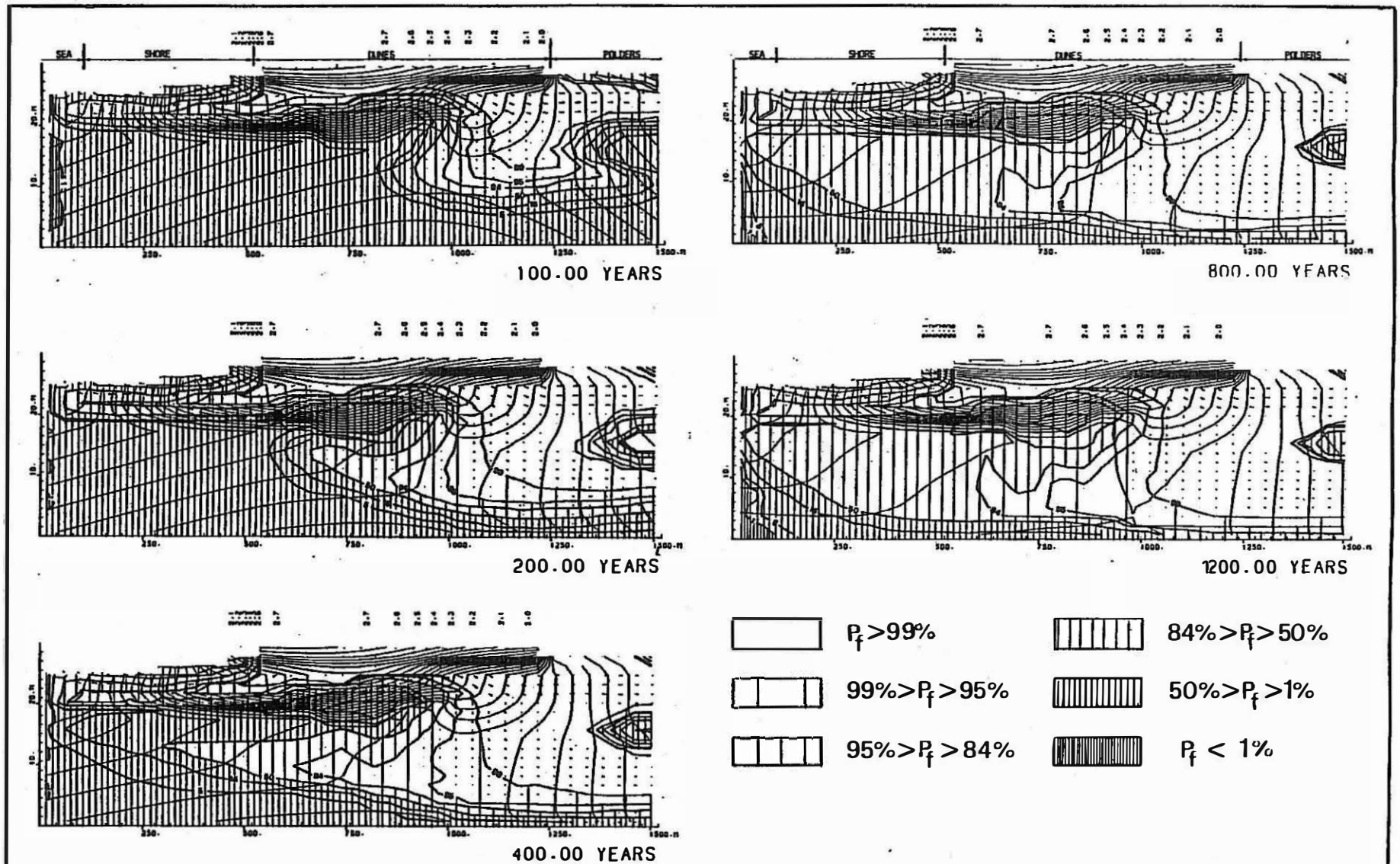
geringe hydraulische weerstand. In het kwartaire grondwaterreservoir is brak water er tot op grotere diepte verdreven, of zelfs helemaal afwezig. Het zijn de zones waar de doorlatende laag 1 in hoofdzaak wordt aangevuld.

In de polders heeft zich enkel in de hoogstgelegen gedeelten, waar regenwater gemakkelijk infiltreert, een diepe zoetwaterlens gevormd. Dit is het geval voor het zuidwestelijk deel van het gebied, de binnenduinen inbegrepen. In de lager gelegen poldergebieden wordt het regenwater snel oppervlakkig afgevoerd. Brak water wordt er op geringe diepte aangetroffen. Verder blijkt uit de chemische samenstelling dat zoet water in de polders ter plaatse is gekomen door laterale stroming vanuit de duinen. Niettemin heeft zich in het zuidwesten van het gebied een oppervlakkige zoetwaterlaag gevormd door lokale infiltratie.

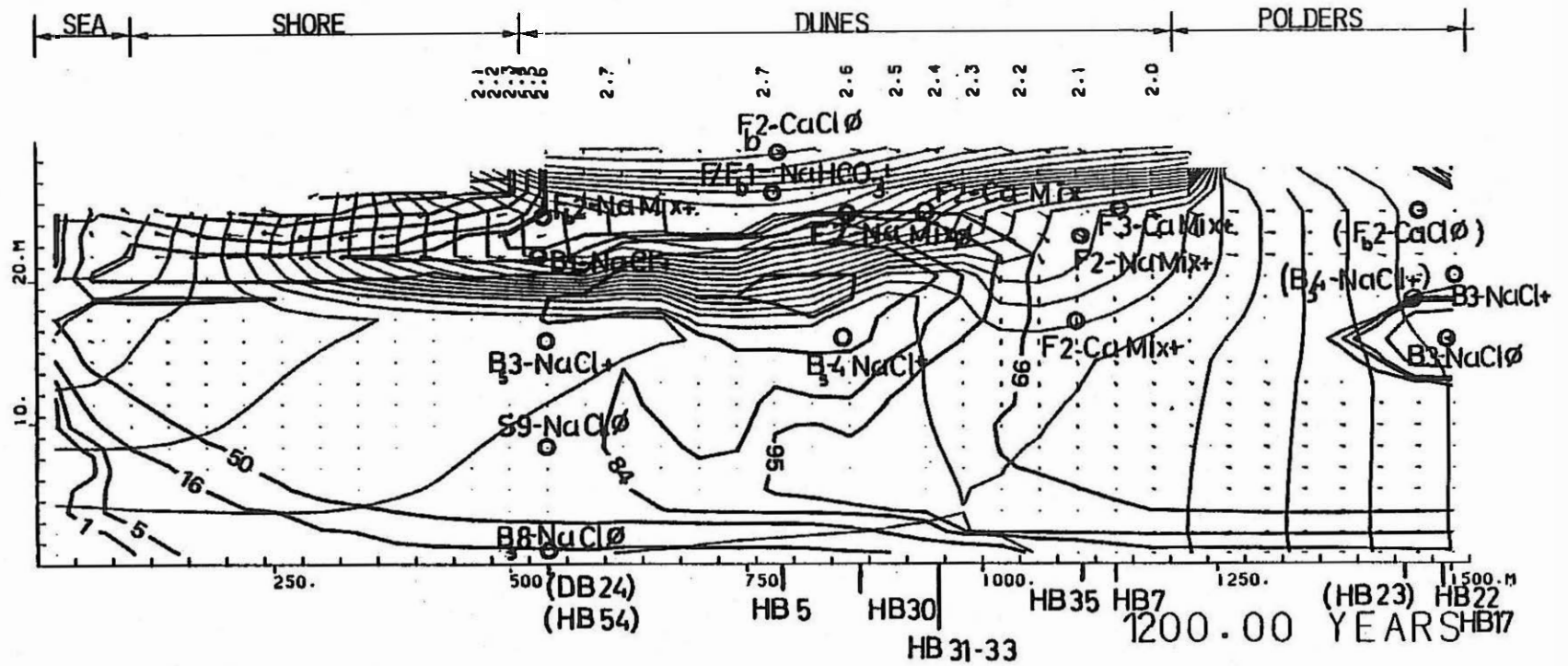
In het zoet water van de doorlatende lagen 1 en 2 is onder de voormalige bevoeiingsvelden van de Zandpanne nog duidelijk de invloed van de afvalwaterlozing gedurende de eerste helft van deze eeuw merkbaar. Het kalium-, ammonium- en fosfaatgehalte, typische indicatoren voor organische grondwaterverontreiniging, zijn er in veel hogere concentraties aanwezig dan buiten de Zandpanne. In de zeer goed doorlatende freatische duinzandlaag neemt men nog nauwelijks sporen van dergelijke verontreiniging waar (DEVOS, 1984).

In LEBBE et al. (1990) wordt een evolutie weergegeven van de verdeling van de grondwaterkwaliteit (Fig. 3.32b tot en met Fig. 3.35). Na 100 jaar infiltratie van zoet water in het duingebied vormt zich een zoetwaterlichaam. De vorm ervan is afhankelijk van de verdeling van de halfdoorlatende en de doorlatende lagen in het bovenste deel van het grondwaterreservoir. In het noordwestelijk deel van het studiegebied, waar de twee half-doorlatende lagen voorkomen als één halfdoorlatende laag en met een hoge hydraulische weerstand, is het zoetwaterlichaam dun.

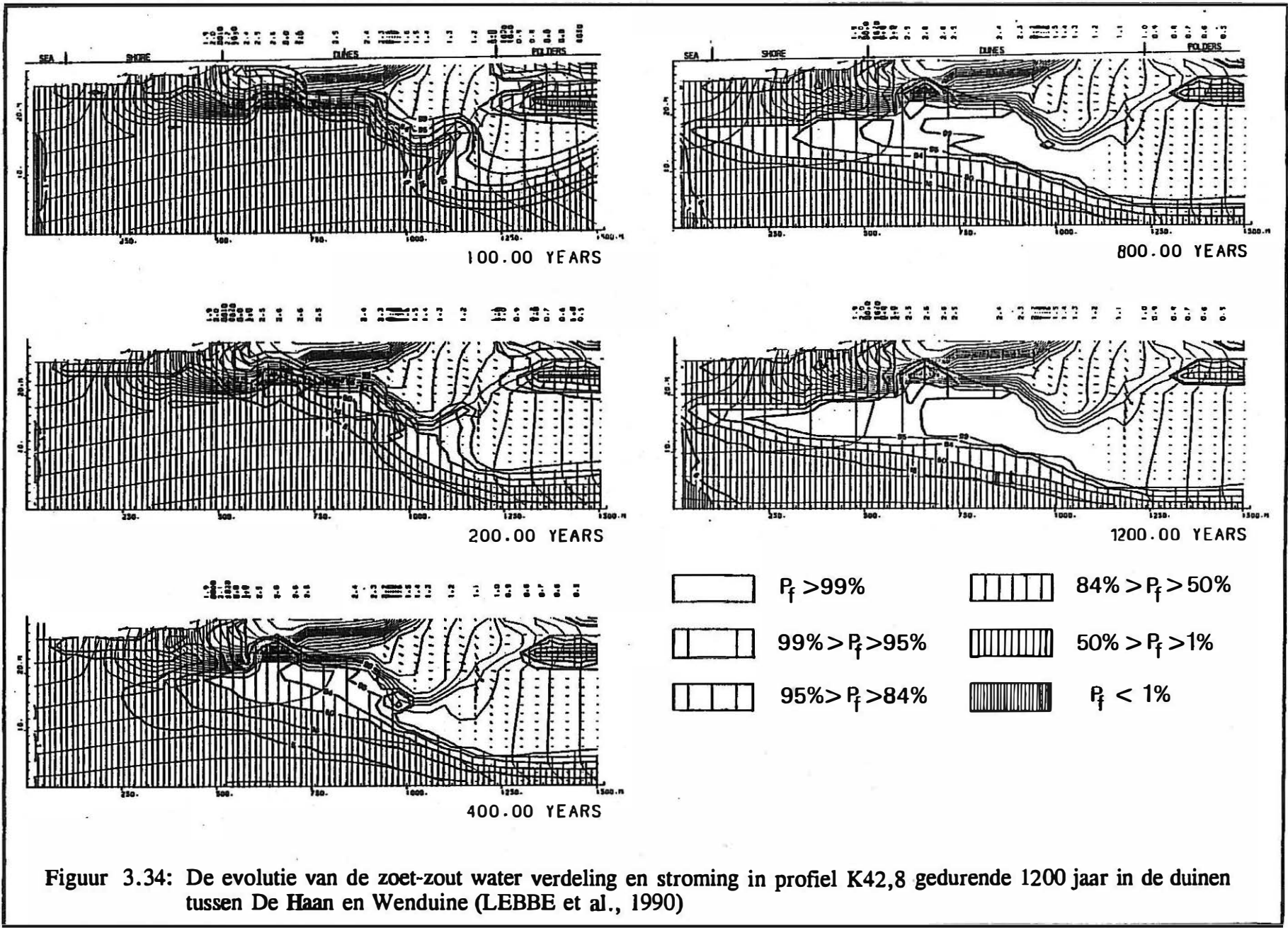
Het grootste deel van het geïnfiltreerde zoet water vloeit horizontaal in alle richtingen boven het halfdoorlatend complex. Slechts een klein deel kan langzaam in de half-doorlatende laag insijpelen. Het deel dat in de richting van de zee stroomt, vormt een zeer smalle brakwatertong onder het zout water dat tijdens de vloed infiltreert. In De Haan is de grondwatercyclus echter ondiep, omdat de halfdoorlatende lagen ondiep voorkomen. Het zoet water dat horizontaal landinwaarts stroomt, vormt samen met het zoet water onder het zuidoostelijk gedeelte van de duinen een dikke zoetwaterlens in het zuidoosten van de duinen. Dit is te wijten aan een belangrijker verticale stroming naar een grotere diepte welke op zijn beurt te wijten is aan de aanwezigheid van een dieper gelegen halfdoorlatende laag. Eveneens resulteert een kleinere hydraulische weerstand in een grotere verticale stroming door deze laag. Een belangrijke verticale stroming van zoet water werd veroorzaakt door de discontinue halfdoorlatende laag aan de zuidwestelijke grens van het duingebied. Deze belangrijke instroming van zoet water geeft een belangrijke zoetwaterlens in het bovenste gedeelte van laag 1 onder de polders. Ook de doorlatende laag 2 is na 100 jaar infiltratie volledig gevuld met zoet water, terwijl de halfdoorlatende laag nog zout water bevat. Enkel aan de randen van de halfdoorlatende lagen komt brak water voor. De dunne halfdoorlatende laag B, welke voorkomt aan het oppervlak in de polders, is met brak water gevuld door de opwaartse stroming van zoet water in de onderliggende watervoerende laag.



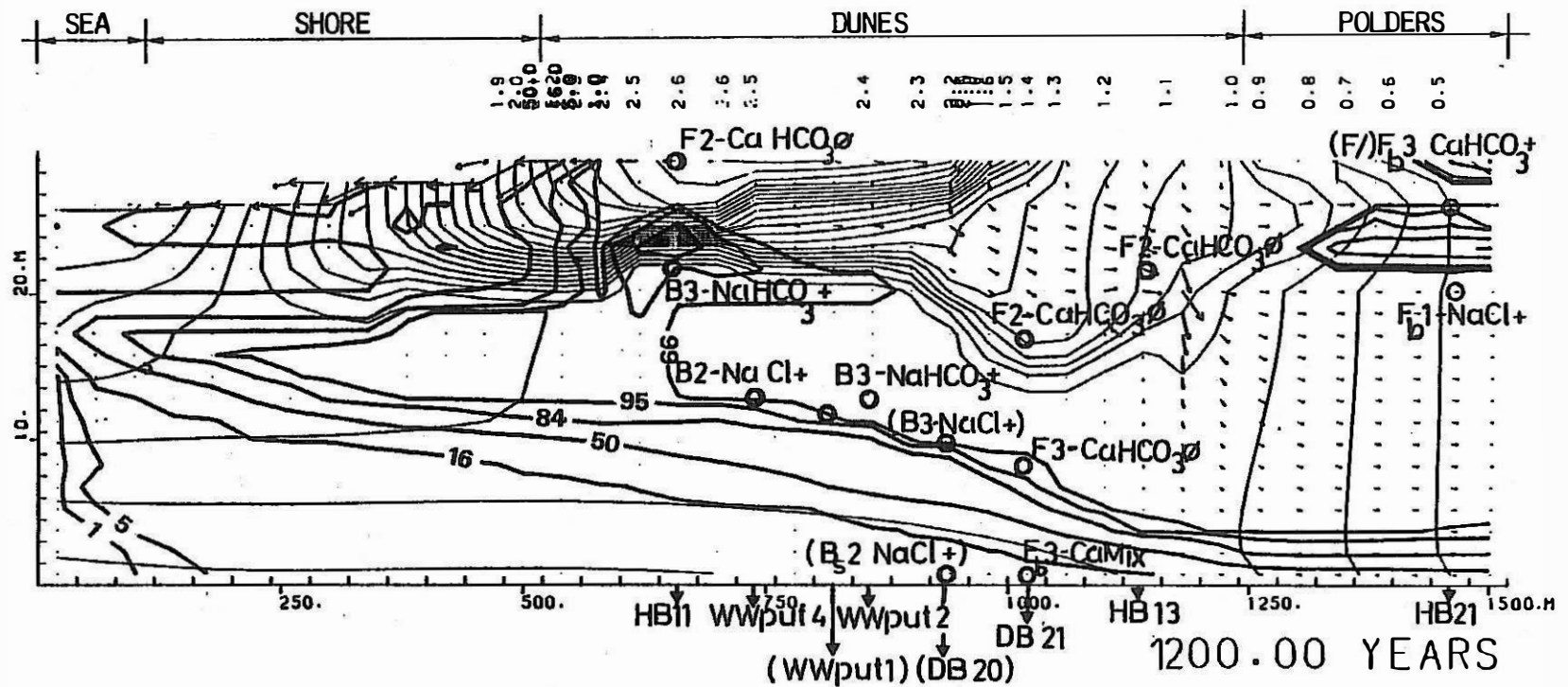
Figuur 3.32b: De evolutie van de zoet-zout water verdeling en stroming in profiel K41,8 gedurende 1200 jaar in de duinen tussen De Haan en Wenduine (LEBBE et al., 1990)



Figuur 3.33: Berekende verspreiding van de grondwaterkwaliteit in profiel K41,8 voor de actuele toestand in de duinen tussen De Haan en Wenduine. De resultaten van de grondwateranalyses worden weergegeven met de code van de classificatie van Stuyfzand (LEBBE et al., 1990)



Figuur 3.34: De evolutie van de zoet-zout water verdeling en stroming in profiel K42,8 gedurende 1200 jaar in de duinen tussen De Haan en Wenduine (LEBBE et al., 1990)



74

Figuur 3.35: Berekende verspreiding van de grondwaterkwaliteit in profiel K42,8 voor de actuele toestand in de duinen tussen De Haan en Wenduine. De resultaten van de grondwateranalyses worden weergegeven met de code van de classificatie van Stuyfzand(LEBBE et al., 1990)

In de loop der eeuwen, bij een continue infiltratie, zal onder het zuidoostelijk gedeelte van de duinen en onder de polders zich de volgende evolutie voor. De zoetwaterlens in de doorlatende laag 1 neemt toe in grootte en het brak water beweegt zich in de richting van de zee en verplaatst zich naar het bovenste gedeelte van de onderste doorlatende laag. Na 800 jaar zal laag 1 (in het noordwestelijk deel van het duingebied) volledig gevuld zijn met zoet water. Daar waar de halfdoorlatende laag nog zout water bevat, is de hydraulische weerstand zeer hoog.

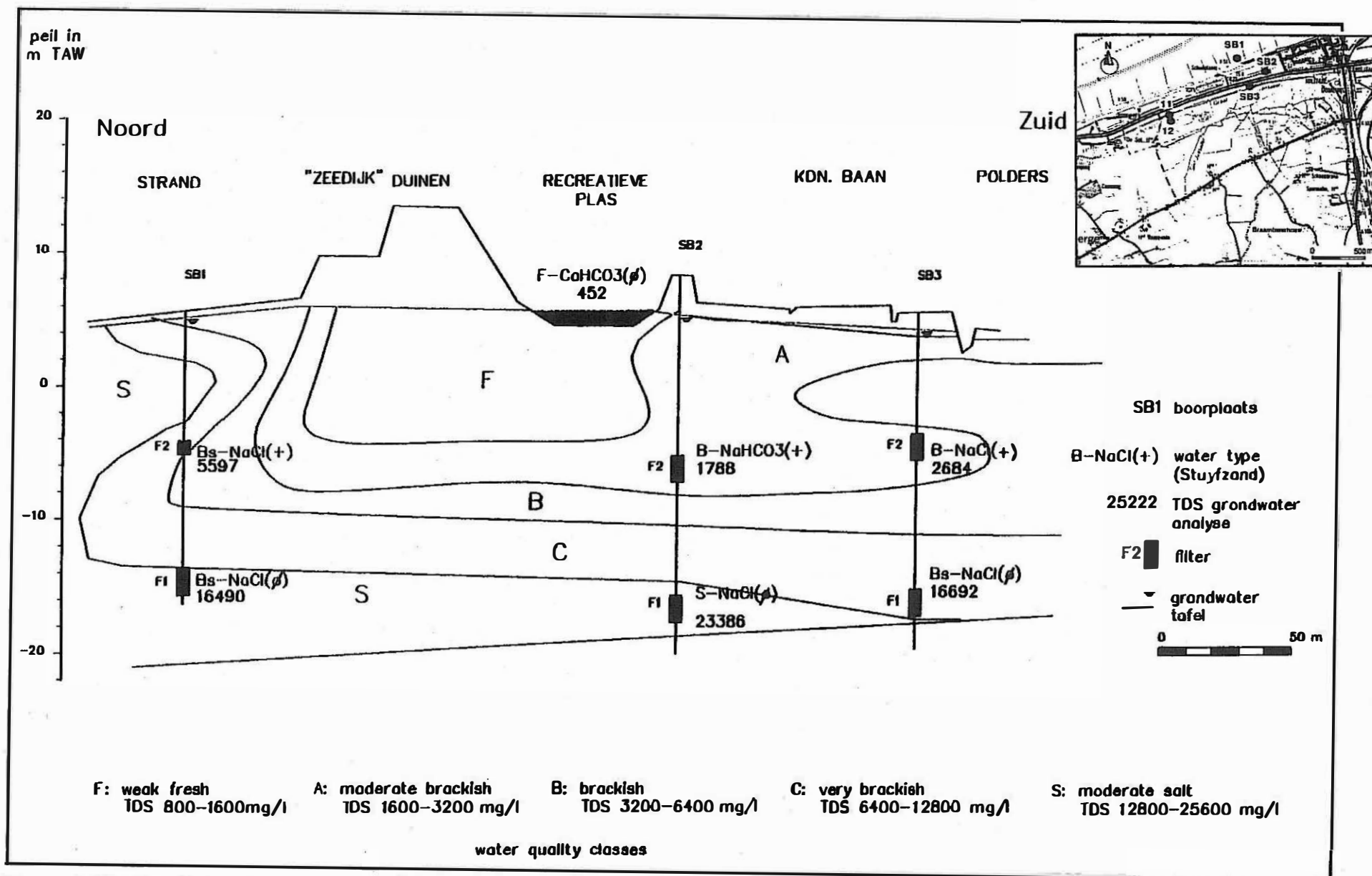
De zoet-zoutwaterverdeling bekomen na infiltratie over een periode van 1200 jaar kan beschouwd worden als de huidige situatie.

In WALRAEVENS et al. (1990) is de algemene conclusie dat de ouderdom van het grondwater toeneemt met de diepte. De ouderdomsverdeling is hier zeer complex door de laterale variaties in hydraulische weerstand van de halfdoorlatende lagen.

Grote saliniteitscontrasten kunnen ontstaan tussen de halfdoorlatende en de goed doorlatende lagen. Dit doet zich voor in het noordwestelijk deel van de Zandpanne.

BLANKENBERGE (VERMOORTELT & DE BREUCK, 1994b)

Aan de hand van resistiviteitsmetingen en grondwateranalyses werd een grondwater- en resistiviteitsprofiel opgesteld. In dit profiel (Fig. 3.36) is het duidelijk dat onder de recreatievijver en in het duingebied een beperkte zoetwaterlens met zoet tot matig zoet grondwater voorkomt. Onder het peil -10 m, is het grondwater steeds zeer brak of zout. Deze zone stemt overeen met de zandlaag onder het veen-leem-klei-zandcomplex. Onder het strand komt het zoute grondwater zeer ondiep voor (praktisch vanaf het maaiveld); tussen de peilen -2 en -10 is het grondwater matig brak tot brak. Nabij de poldergrens (ter hoogte van de Graaf Jansdijk) komt het brak water zeer ondiep voor.



Figuur 3.36: Resultaten grond- en oppervlakteanalyse voor het natuurgebied "de Fontejntjes" in Blankenberge (VERMOORTELT & DE BREUCK, 1994)

Verziltingskaart

Het freatisch grondwaterreservoir wordt onderaan vrij ondiep begrensd door een dikke kleilaag die als een ondoorlatend substraat beschouwd kan worden. Deze omstandigheid, aangevuld met de relatief geringe breedte van het duingebied in België, laat ondermeer ook zijn invloed gelden op de ondergrondse verspreiding van zoet en zout water. Onder de bredere duinstroken (de Westkust, de Haan-Klemskerke en Knokke-Heist) is het zoutwater volledig uit de watervoerende laag verdwenen (DE BREUCK et al., 1974). Alleen onder de overige smallere stroken komt onder de zoetwaterlens zout water voor (VAN DER VEKEN et al., 1984).

In de periode 1963-1973 werd door het Geologisch Instituut een systematische hydrogeologische en hydrochemische studie uitgevoerd in de Kustvlakte. Aan de hand van ruim 1700 resistiviteitsonderingen werden de isopachen van de zoetwatervoorraad in het kwartaire reservoir gekarteerd (Fig. 3.37). Een grondwater wordt als zout omschreven wanneer het zoutgehalte (TDS) ervan hoger is dan 1500 mg/l (DE BREUCK et al., 1974).

De WESTHOEK

De duinen worden weergegeven als een brede band zonder zout grondwater. Naar de IJzer toe, wordt er een lens met zout grondwater weergegeven. Deze lens komt voor ter hoogte van De Groenendijk, en de Lenspolder (Nieuwpoort). Ten zuiden van deze lens komt er nog een smalle strook zoet water voor.

Ter hoogte van de N39 komt het verziltingsvlak voor op een diepte van 5 m. Naar het zuiden toe, daalt het verziltingsvlak tot 25 m.

Aan de grens met Frankrijk en de overgang van de Oude Duinen met de Moeren komt een kleine lens van zoet water voor. Het verziltingsvlak stijgt vervolgens snel bij de overgang naar de Moeren.

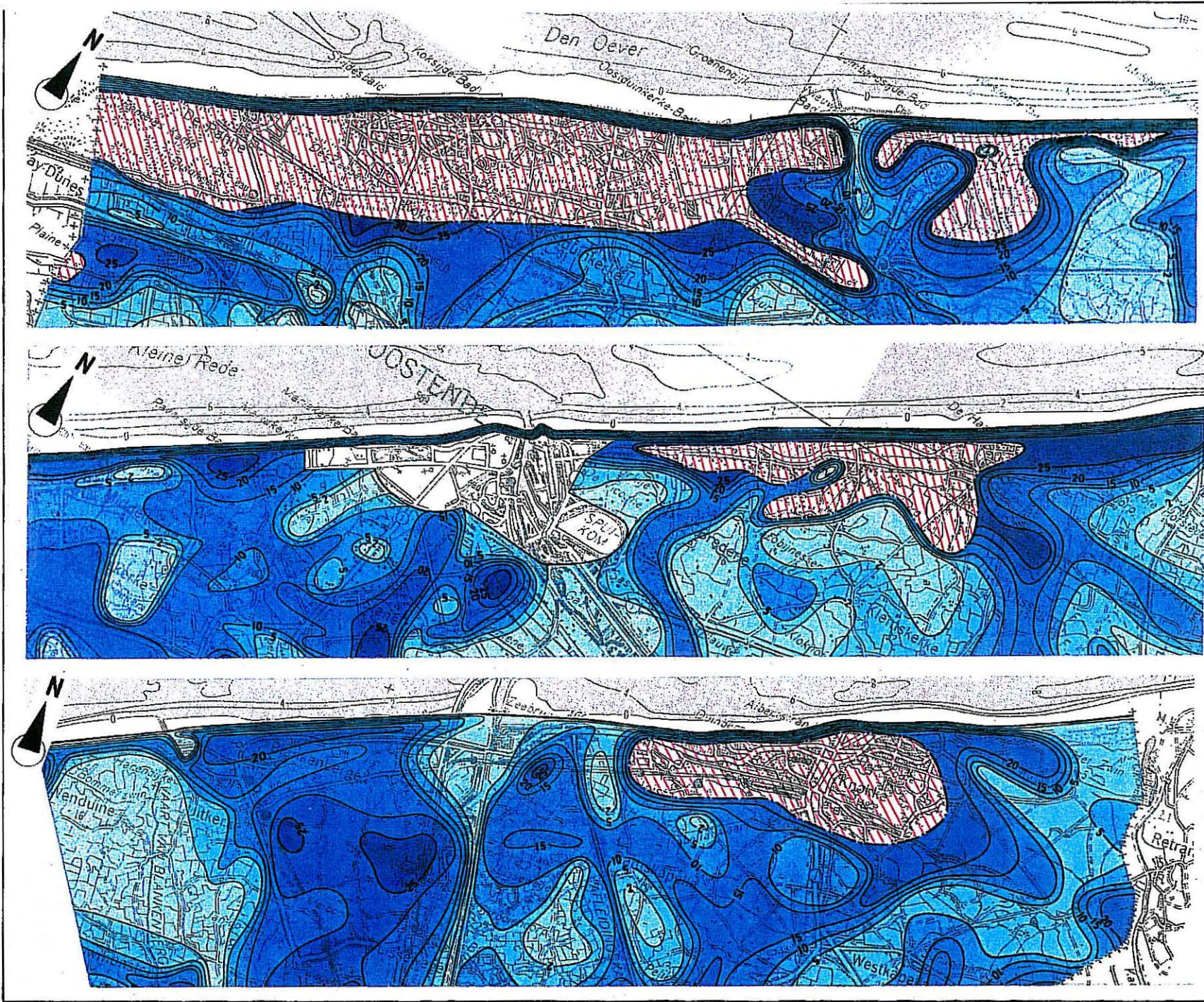
WESTENDE

De duinen in Westende hebben duidelijk de functie van infiltratiegebied. Hier komt er geen zout grondwater voor. De invloed van de IJzer is duidelijk waar te nemen door de instulping van zout water ten oosten van de duinen van de IJzermonding. Ter hoogte van de Miami-wijk is de overgang van zoet grondwater naar een ondiep (<2m) verziltingsvlak zeer snel.

Vanaf Middelkerke-Bad tot Broedene-aan-Zee komt er geen zoet water meer voor. Dit is te wijten aan de dunne strook duinen of de afwezigheid ervan. Het verziltingsvlak komt voor op een diepte van minder dan 2 m (tussen Middelkerke-Bad en Raversijde-Bad), terwijl meer naar het noordoosten het verziltingsvlak op een diepte van 25 m voorkomt, ter hoogte van de duinen van Raversijde.

Duingebied ten westen van DE HAAN

Het freatisch grondwaterreservoir bevat voornamelijk zoet water. Plaatselijk komt het verziltingsvlak zeer ondiep (op minder dan 2 m) voor. Dit is het geval ten zuiden van de Heuveltjes. Ook de polders ter hoogte van Vosseslag geeft een verhoging van het verziltingsvlak.



Figuur 3.37: Verziltingskaart (DE BREUCK et al., 1974)

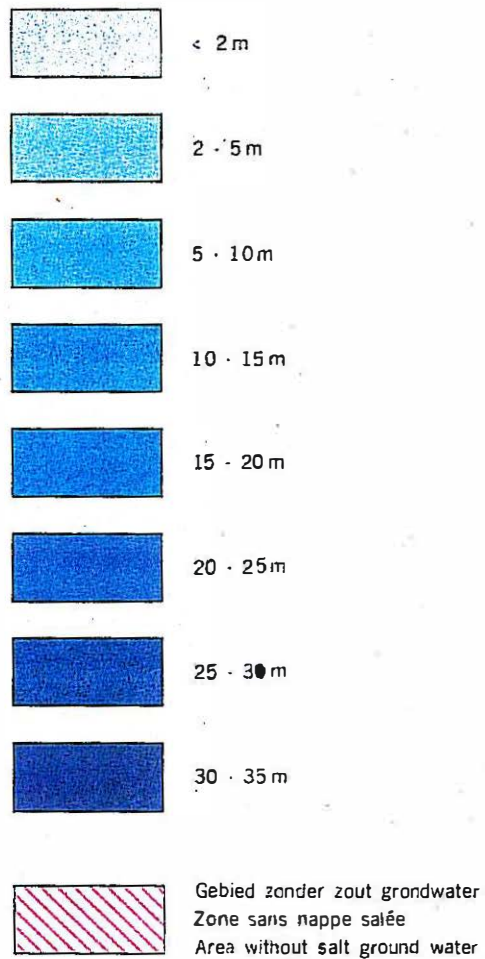
0 2km

VERKLARING - LÉGENDE - LEGEND

Zout water (> 1500 ppm) op een diepte van :

Eau salée (> 1500 ppm) à une profondeur de :

Salt water (> 1500 ppm) at a depth of :



Uitgegeven met de steun van het Fonds voor Kollektief Fundamenteel Onderzoek

Gedrukt door het Militair Geografisch Instituut - Brussel 1974

Duingebied ten oosten van *DE HAAN* (DEVOS, 1984)

Op de verziltingskaart is af te leiden dat het verziltingsvlak zich op meer dan 25 m diepte bevindt. In het uiterste westen zou zelfs geen grondwater met hoge mineralisatie voorkomen in het kwartaire reservoir.

Vanaf de zuidelijke duinrand rijst het verziltingsvlak snel op in zuidelijke richting om in het poldergebied ten zuiden van Wenduine zeer dicht bij het oppervlak te komen (minder dan 5 m diepte). In het zuidwesten van het gebied ziet men evenwel het verziltingsvlak opnieuw dalen naar de Vlissegemse Binnenduinen toe, waar het opnieuw een diepte van 25 m bereikt.

WENDUINE

Het verziltingsvlak komt in de smalle kuststrook zeer ondiep voor.

BLANKENBERGE (VERMOORTEL & DE BREUCK, 1994b)

Volgens de verziltingskaart komt het grensvlak voor op een diepte van meer dan 20 m (peil -6,0 m) in het duingebied en tussen 15 en 20 m diepte (peil -8,0 tot -13,0 m) nabij de recreatievijver.

ZEEBRUGGE

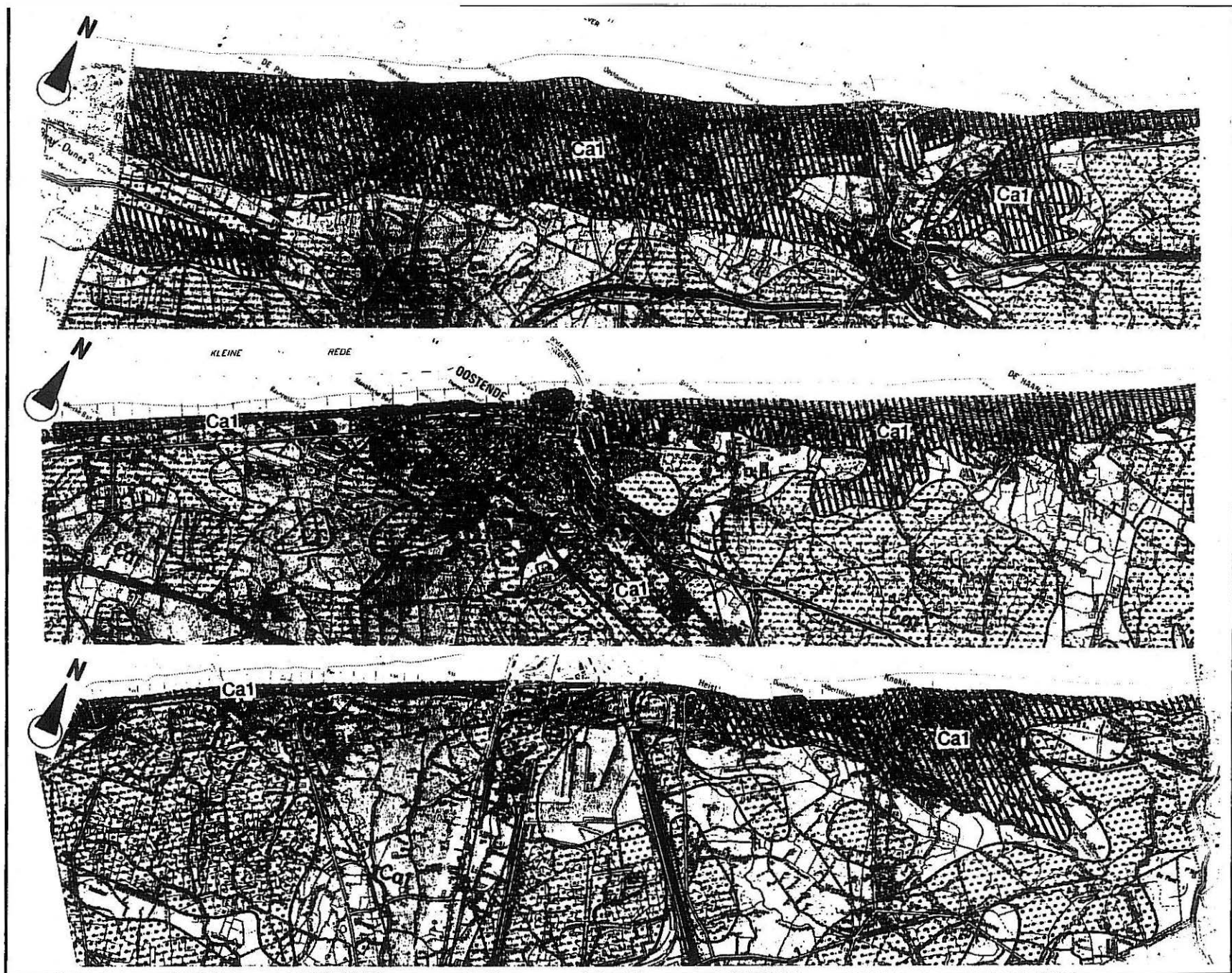
Daar waar het Boudewijnkanaal in de zee uitmondt, ligt het verziltingsvlak op een diepte van minder dan 2 m. Het Leopoldkanaal heeft een minder uitgesproken effect op de diepte van het verziltingsvlak.

KNOKKE

Over het gehele studiegebied komt zoet grondwater voor. Naar het Zwin toe is er een geleidelijke overgang naar ondiepe verzilting.

3.4. Grondwaterkwetsbaarheid

De kwetsbaarheidskaart van het grondwater in West-Vlaanderen geeft de freatisch watervoerende laag als zeer kwetsbaar aan (Fig. 3.38). De reden hiervoor is het ontbreken van een slechtdoorlatende deklaag (duinen, strand en kreekruigen) of de geringe dikte van de deklaag. Hierdoor kan elke verontreiniging aan het maaiveld ongehinderd in het grondwaterreservoir terecht komen. Op de kwetsbaarheidskaart is in de duinen de kwetsbaarheidsindex C_{a1} weergegeven. Dit duidt op een watervoerende laag bestaande uit zand waarbij de deklaag dunner is dan 5 m en/of zandig, en de dikte van de onverzadigde zone dunner of gelijk aan 10 m.



duinen
Ca1 zeer kwetsbaar

zone met natuurlijk verzilt grondwater
in de bovenste watervoerende laag

0 5km

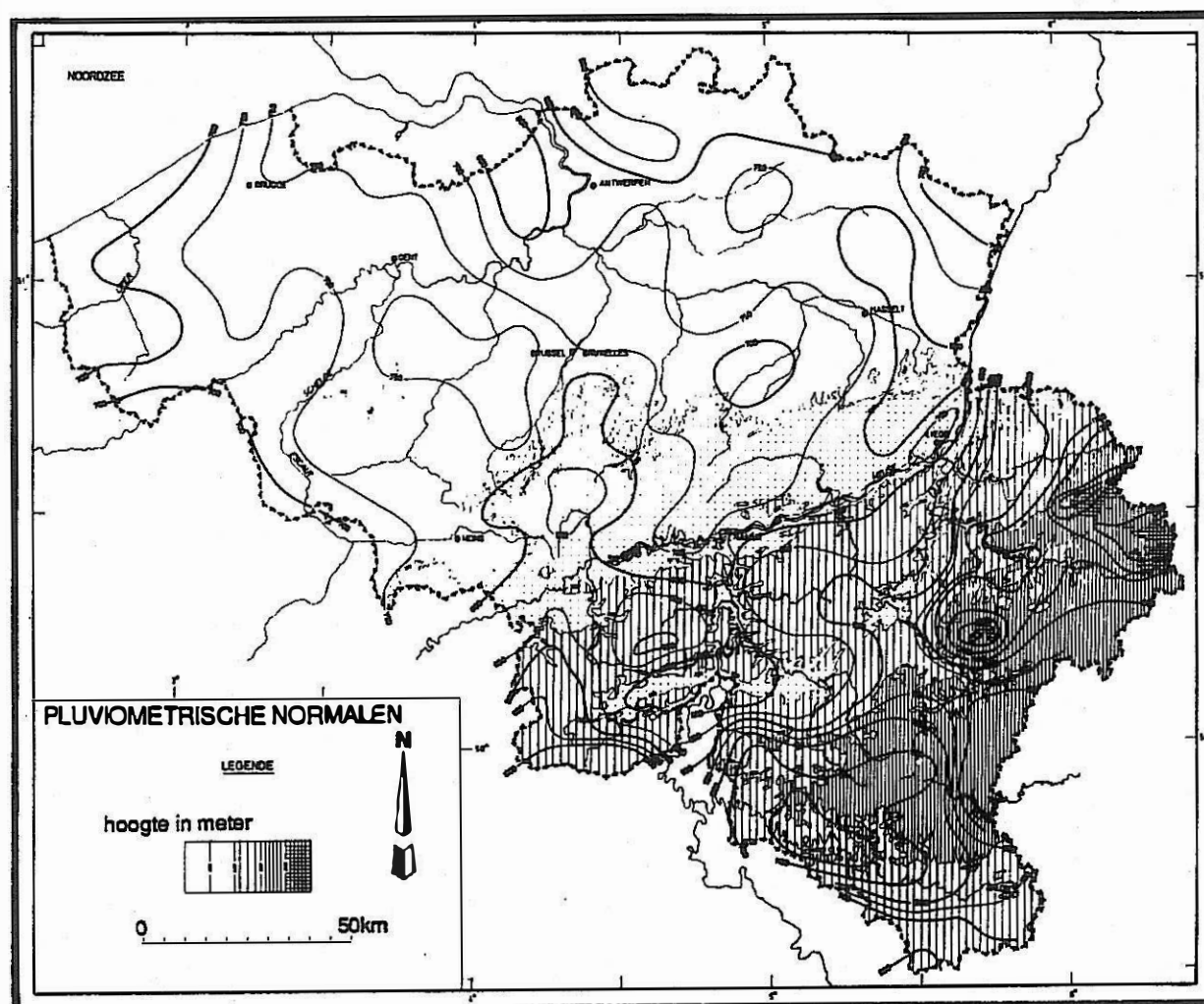
Figuur 3.38: Grondwaterkwetsbaarheidkaart (LOY & BAETEN, 1987)

3.5. Evapotranspiratie en infiltratie

A. Evapotranspiratie

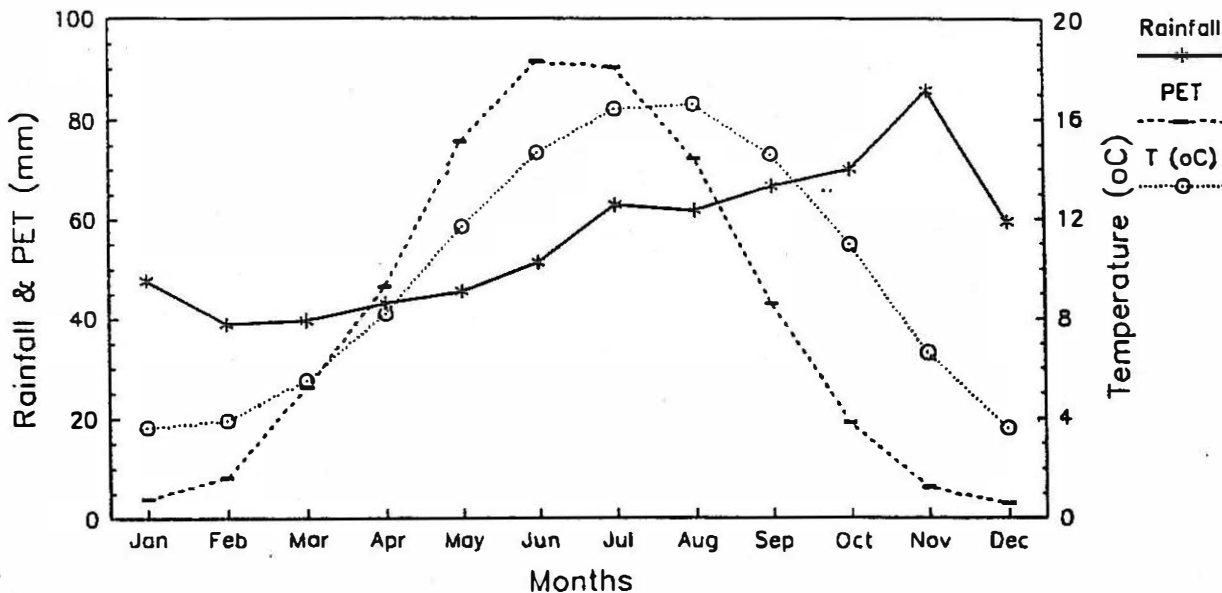
Met de toenemende watertekorten in bepaalde regio's van het Vlaamse Gewest, wordt thans systematisch uitgekeken naar nieuwe waterwinningsgebieden. Een steeds terugkerende onbekende in het selectieproces van dergelijke gebieden is wellicht de nadelige invloed van de evapotranspiratie op de totale drinkwaterproductie van het bekken.

De jaarlijkse neerslag in de kuststreek bedraagt minder dan 700 mm per jaar. In Koksijde is tijdens de zomermaanden (juli, augustus en september) het aandeel van de neerslag gevallen tijdens een regenbui, of tijdens dagen met onweer, gemiddeld 56% van de maandsom. Voor de wintermaanden (januari, februari en maart) is dit percentage slechts 12%. Figuur 3.39 geeft de jaarlijkse neerslag voor België weer (LEMEUR et al., 1984).



Figuur 3.39: Jaarlijkse iso-hyetenkaart van België (LEMEUR et al., 1984 naar DUPRIEZ & SNEYERS, 1979)

Op basis van zuiver klimatologische gegevens, voornamelijk neerslag en temperatuur en zonder dat rekening wordt gehouden met begroeiingstype, kan de potentiële evapotranspiratie (PET) worden berekend die hoger is of gelijk aan de werkelijke evapotranspiratie. Een voorbeeld van de PET-fluctuatie over het jaar, voor gegevens van Koksijde over de periode 1957-1976, en berekend met de methode van Penman is weergegeven in figuur 3.40 (KHEDER, 1993).



Figuur 3.40: Neerslag en temperatuur en het potentiële evapotranspiratie patroon voor de periode 1957-1976 voor Koksijde. PET werd berekend aan de hand van de Penman methode (KHEDR, 1993)

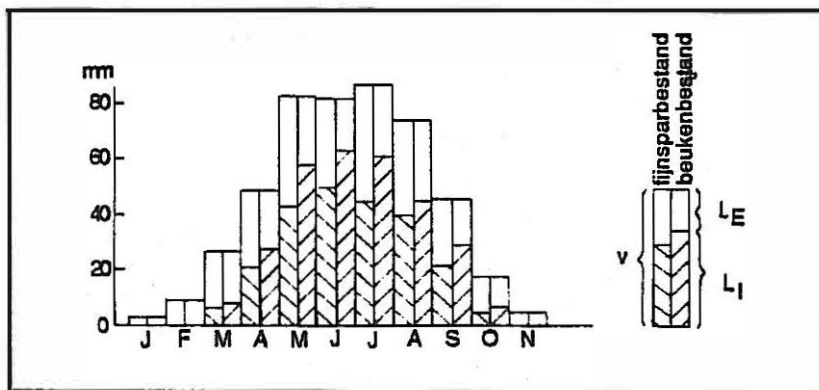
Transport van waterdamp afkomstig van water- en landoppervlakten naar de atmosfeer, wordt aangeduid met de algemene term evapotranspiratie, ontstaan door een samentrekking van evaporatie en transpiratie. Evaporatie is een fysisch proces dat plaatsgrijpt vanaf elk waterhoudend oppervlak, blootgesteld aan de atmosfeer. Transpiratie anderzijds slaat op waterverlies via de huidmondjes, en in mindere mate, via de cuticula en is dus een fysiologisch proces (LUST et al., 1984).

Transpiratie verloopt evenredig met de totale bladoppervlakte van het bestand en de dampspanningsgradiënt tussen de lucht en de inwendige bladoppervlakte die met de externe atmosfeer verbonden is door de huidmondjes. Anderzijds is transpiratie omgekeerd evenredig met de weerstand tegen verdamping die het globaal effect van de stomatale, de cuticulaire en de grenslaagweerstand uitdrukt (LUST et al., 1984).

Transpiratie is sterk afhankelijk van de boomsoort. Zo kan een wilgenbestand bijvoorbeeld tot 1000 mm in een enkel groeiseizoen verdampen. Wilg groeit meestal waar de wortels zich in de nabijheid van de grondwatertafel bevinden of op rivieroeveren.

Vergeleken met andere ecosystemen verbruiken bossen meer water dan grasland, open terrein en onbegroeide bodem, maar minder dan open water en natte weiden (LUST et al., 1984).

Een vergelijkende proef in de Hoge Kempen (BODEUX, 1954 in LUST et al., 1984) bewijst dat het verzadigingsdeficiet gedurende de dag groter is en dus de verdamping intenser verloopt in de heide dan in een Pinusbestand en in een eikenbos. Gedurende de nacht is de volgorde omgekeerd: in een "open" associatie, als heide, is er sterke afkoeling en dus condensatie in de vorm van dauw. Het bosklimaat laat minder gemakkelijk dauwvorming toe, waardoor verdamping blijft doorgaan. Waterverbruik door bosbestanden varieert verder ook sterk naargelang van het tijdstip in het jaar. Deze veranderingen worden veroorzaakt door de wisselende hoeveelheid bladbiomassa, de ontwikkelingstoestand van de bladeren en groeiprocessen in scheuten en wortels. Het water stijgt vlug in de lente wanneer de bladeren ontluiken en bereikt een maximale waarde tegen het einde van de groeiperiode. Vanaf het midden van de zomer daalt de transpiratie en wordt minimaal wanneer bij naaldbomen de huidmondjes sluiten of de bladeren afvallen bij loofbomen (LEMEUR et al., 1984). Transpiratie is dus minimaal in herfst en winter, ten gevolge van het kleinere verdampingsdeficiet en ook ten gevolge van de bladerloze toestand bij loofbomen of het sluiten van de stomata bij naaldbomen (Fig. 3.41) (LUST et al., 1984). In naaldbossen kent de evaporatie van interceptiewater een vlak verloop gedurende het jaar omdat de hoeveelheid bovengrondse biomassa weinig varieert (LEMEUR et al., 1984).



Figuur 3.41: Variatie van de evapotranspiratie in fijnspar- en beukenbestand te Odeigne (juli 1966-december 1970) (BULTOT et al., 1972 in LUST et al., 1984)

Evapotranspiratiemetingen in Vlaamse bossen zijn zeer schaars. Daarom werd getracht resultaten van metingen in Europese bossen te geven waarvan de structuur gelijksoortig is aan deze van een aantal Vlaamse bossen. Toch hebben deze gegevens niet steeds betrekking op de frequent voorkomende autochtone boomsoorten (LEMEUR et al., 1984).

De transpiratiesnelheden variëren sterk naargelang van het individu. De belangrijkste oorzaak voor die individuele verschillen is de kroonvorm (LADEFOGED, 1963 in LEMEUR et al., 1984).

De Corsicaanse den (*Pinus nigra 'Calabrica'*) verbruikt 28% meer water dan de gewone den (*Pinus sylvestris*), en heeft een gemiddelde dagelijkse transpiratie van 2,31 mm, terwijl een gewone den 1,67 mm nodig heeft. Deze hoge transpiratie van de Corsicaanse den moet dan toegeschreven worden aan de hoge concentratie van naalden in het bovenste gedeelte van het kronendak, waar de gunstige stralingsvoorwaarden een hoge stomata geleidbaarheid (huidmondjes zijn vaak open en zijn talrijk), gekoppeld met een groot waterverbruik, voor gevolg hebben. Een analoog fenomeen doet zich voor bij domineren-

de bomen: dominante boomkruinen hebben een hogere transpiratie dan codominerende en onderdrukte kruinen. Het grootste deel van de bladmassa van gedomineerde bomen is immers van directe zonbestraling afgeschermd, wat minder gunstige transpiratiecondities voor gevolg heeft (LEMEUR et al., 1984).

Ook verschillen in de lichtbehoefte van boomsoorten uit zich in verschillen van de transpiratiehoeveelheden. Lichtboomsoorten zoals wintereik (*Quercus petaea*), es (*Fraxinus excelsior*) en berk (*Betula pendula*) transpireren meer dan uitgesproken schaduwbomen zoals beuk (*Fagus sylvatica*) en esdoorn (*Acer pseudoplatanus*) (LEMEUR et al., 1984).

De potentiële evapotranspiratie neemt af volgens de reeks naaldbos, loofbos en grasland. De variatie van het waterverbruik in de loop van het jaar wordt zowel bepaald door meteorologische omstandigheden als door fysiologische parameters. Waterverbruik stijgt vlug in de lente wanneer de bladeren en scheuten zich ontwikkelen.

De totale neerslag gedurende een groeiseizoen bedraagt 320 mm. Slechts een gedeelte daarvan, nl. 45% dringt doorheen de kroon bij een kroonprojectie tussen de 85 en de 130 m² (VYNCKE et al., 1984). Niet al het water dat op de bosbodem terechtkomt is voor het evapotranspiratieproces beschikbaar. Een gedeelte loopt oppervlakkig weg, een ander deel infiltreert in de bodem, percoleert en vervoegt het grondwater. Percolatie is waterbeweging doorheen strooisel, bodem en andere poreuze materialen onder invloed van de zwaartekracht. In vochtige streken betekent het grondwater een vorm van drainage. Via bronnen komt het soms aan de oppervlakte, het onderhoudt verbindingen met waterlopen en bereikt in enkele gevallen het zeeniveau. De strooisellaag vervult een belangrijke rol als buffer tegen verdamping van water uit de bodem (LUST et al., 1984).

Voor de duingebieden aan onze kuststreek zijn geen verdampingscijfers beschikbaar. In 1981 werden cijfers gepubliceerd in een studie over de Nederlandse kustduinen (BAKKER, 1981).

Tabel 3.1. Overzicht van de jaarlijkse verdamping van zeven begroeiingstypen in het Nederlandse duingebied onder normale klimaatomstandigheden (LEMEUR et al., 1984 naar BAKKER, 1981).

Begroeiingstype	Verdamping (mm per jaar)
onbegroeid duinterrein	180
vochtige valleivegetatie	550
droge duinvegetatie	360
vochtig loofbos	550
droog loofbos	400
vochtig naaldbos	700
droog naaldbos	550

De invloed van het bos op de grondwaterstand is een omstrede fenomeen, waarover heel wat tegenstrijdige standpunten worden ingenomen. Zo zijn sommige auteurs van mening dat het bos wel degelijk de grondwaterstand beïnvloedt. Anderen verwerpen dit en zoeken andere verklaringen voor de al of niet gewijzigde grondwaterstand onder bos.

Veelal is de reden voor deze tegenstrijdige opvattingen dat de betreffende onderzoeken plaatsvonden op sterk verschillende standplaatsen: vlakke- of gebergtegebied, moerassige of goed gedraineerde ondergrond, rijke of arme bodem e.d.

Voor de verlaging van de grondwaterstand onder bos geldt als veel voorkomende verklaring de hogere transpiratie van de bosvegetatie (SPURR & BARNES, 1980 in LUST et al., 1984). Weinig recent onderzoek werd op dit vlak verricht. VAN SLYCKEN & STEVENS (1983) (in LUST et al., 1984) melden voor een gelijktijdige meting van zomerwaterstanden in de Dendervallei onder bos (populier) en in nabij gelegen open veld een verschil van 30 cm, terwijl de winterwaterstanden zich op ongeveer hetzelfde niveau bevinden. Bij een geringe groei en een niet geschikte boomsoort zal dit verschil niet zo duidelijk zijn. Nochtans kan het fenomeen vanuit een meer hydraulisch standpunt bekeken worden. Een bos bevindt zich in sommige gevallen immers in riviervalleien en op hellingen, waardoor wegens de beweeglijkheid van het grondwater de grondwatertafel lager ligt. Ook omdat bos soms voorkomt op zandige en grof gekorrelde bodems, wordt hierdoor de verdere infiltratie van water in de hand gewerkt. Onder bos is de doorlatendheid van de bodem veel hoger dan in open veld wegens de poreuze humuslaag, alsook door de talloze kanaaltjes gevormd door wortels, wormen en bosknaagdieren. Het regelmatig schudden van de bomen door de wind, voorziet de bodem van scheurtjes (RACKHAMANOV, 1962 in LUST et al., 1984).

Waar de grondwaterstand onder bos hoger is, moet dit veelal toegeschreven worden aan geomorfologische factoren, zoals ondoordringbare lagen. Om te besluiten kan worden gesteld dat de betekenis van het bos in vlakke gebieden voor de grondwaterhuishouding zeer verschillend is en de aard van de invloed bepaald wordt door een complexe wisselwerking van geologische, hydrologische, bodemkundige, klimatologische en vegetatieve verhoudingen (LUST et al., 1984).

Volgens BAKKER (1981) is het denkbaar dat door een kleinere verdamping een onbegroeid duingebied een hogere grondwaterstand heeft dan een begroeid duingebied. Een duinterrein dat voorzien is van een naaldbos zal om dezelfde reden een lagere grondwaterstand hebben dan een vergelijkbaar gebied met een natuurlijke vegetatie.

B. Infiltratie

Er is een gedeelte dat verdampt, er is een gedeelte dat in de grond dringt. Dit is functie van de oppervlakte toestand - geologie - klimaat - topografie, enz. (VAN DEN BOSSCHE, 1994).

De infiltratiesnelheid is de snelheid waarmee water doorheen het oppervlak dringt. Indien de neerslagsnelheid hoger is dan de infiltratiesnelheid zal het overtollige water afvloeien. In ons geval vloeit het af naar de riolering. Naarmate de waterverzadiging van de grond toeneemt, zal de infiltratiesnelheid dalen. De infiltratiesnelheid zal verder dalen doordat bodemcolloïden zwellen, poriën verstopt geraken door ingespoeld materiaal en de structuur van de bodemaggregaten wordt verstoord (VYNCKE et al., 1984).

In LEBBE (1984) werd een infiltratiesnelheid van $7,4 \times 10^{-4}$ m/d beschouwd in het duingebied van De Panne.

OOSTDUINKERKE (MAHAUDEN et al., 1982)

Voor de periode 1960-1980 was de gemiddelde neerslag 677 mm/jaar. Het totale overschot in dezelfde periode gedraagt 248 mm/jaar. De jaarlijkse gemiddelde voedingscoëfficiënt bedraagt dus 37%. Deze factor kan echter sterk variëren (min. 20% en max. 53%).

4. Menselijke ingrepen in de grondwaterhuishouding

4.1. Drainering polders

Het polderpeil nabij het duingebied is bepalend voor de grondwaterstroming uit de duinen. Voor het studiegebied zijn er noch oppervlaktewaterpeilen, noch debieten gekend.

In Vlaanderen en België zijn peilbesluiten onbestaande (WALRAEVENS et al., 1992). In tegenstelling tot de toestand in Nederland, hoeven er geen streefpeilen ingediend te worden bij het voogdijhoofd. De polderbesturen hebben volledige autonomie betreffende het kwantiteitsbeleid (waterpeil).

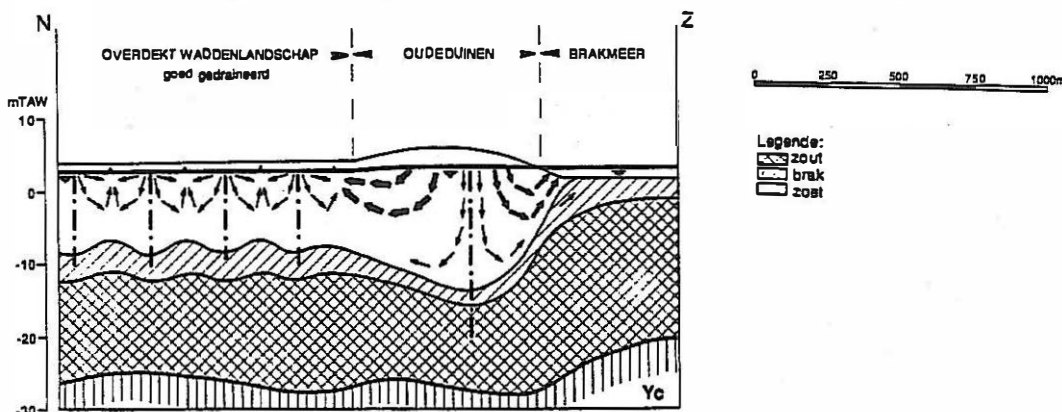
In perioden van relatieve droogte infiltreert er geen neerslagwater in de drainagebuizen, een gedeelte van het water in de drainagebuis zal deze zelfs verlaten door de capillaire opstijging.

Een drainagesysteem in gebieden met zoute kwel verwijdert slechts een gering deel van het zoute water en belet bovendien dat (zoet) neerslagwater voldoende diep infiltreert, daar het relatief snel afgevoerd wordt. Indien dit neerslagwater de tijd krijgt om te infiltreren, kan de zoute kwel verminderen of zelfs verdwijnen.

De WESTHOEK (LEBBE et al., 1993)

Door een betere drainage in het Overdekte Waddenlandschap (polders in de Westhoek, De Panne) daalde de gemiddelde watertafelstand in dit gebied (Fig. 4.1). De gemiddelde waterstand van het brakke meer ten zuiden van de Oude Duinen daalde eveneens een weinig door de betere drainage van de omliggende poldergebieden. Vermoedelijk was de gemiddelde watertafelstand echter iets lager in het Overdekte Waddenlandschap dan de gemiddelde waterstand in het brakke meer. Hierdoor verkreeg de zoetwaterlens een licht asymmetrische vorm. De grondwaterscheidingslijn verplaatste zich een weinig naar het brakke meer waardoor de hoeveelheid zoet water die in noordelijke richting stroomde groter was dan degene die in zuidelijke richting stroomde.

Door de drainage van het Overdekte Waddenlandschap vertoonde de brakke overgangszone een golvend verloop. Het is een weerspiegeling van de ondiepe watercycli die zich voordoen tussen de drainagekanalen (en later de drainagebuizen) in het studiegebied. Op de plaatsen waar water gedraineerd wordt komen het brakke en het zoute water ondieper voor. Daar is de brakke overgangszone dikker. Tussen de drainagekanalen (of buizen) liggen het brakke en het zoute water dieper. Ter hoogte van het waterscheidingsvlak is de overgangszone het smalst. Daar de drainage slechts ondiepe grondwatercycli teweegbrengt zal het waterscheidingsvlak dan ook slechts een beperkte uitbreiding hebben in de diepte. Het grootste gedeelte van het zout water dat in het onderste gedeelte van het grondwaterreservoir aanwezig is, beweegt niet. Het vormt een stilstaande zoutwaterlens.



Figuur 4.1: De Oude Duinen met drainage in het Overdekt Waddenlandschap (LEBBE et al., 1993)

4.2. Verstedelijking (verharde oppervlakken en afvoer via riolering)

Door de bebouwing van het duingebied neemt de infiltratie af. Een gedeelte van het regenwater wordt rechtstreeks opgevangen. Het regenwater wordt ofwel opgeslagen in regenputten ofwel uit het gebied weggevoerd door de riolering. Ook deze riolering heeft een invloed op de waterhuishouding. Door afvoer van het afvalwater uit het gebied kan de grondwaterkwaliteit van het gebied zich niet wijzigen (VAN DER VEKEN et al., 1984).

A. Verharde oppervlakken

Er kan gesteld worden dat de infiltratiesnelheid van een wegdek met betonklinkers, dallen of kasseien stijgt naarmate het oppervlakte-aandeel van de voegen in het wegdek toeneemt. De infiltratiesnelheid via de voegen is dezelfde als deze in gelijkaardige grondsoort. De voegen op het hoogste punt van het wegprofiel zijn het minst vervuild. Kasseien worden in de Vlaamse steden veel gebruikt. Metingen verricht in verschillende straten geven een gemiddeld voegoppervlak van 18,3% van het totaal oppervlak. Aangenomen dat voor kasseien de infiltratie nul is, dan wordt de infiltratiesnelheid van het wegdek bepaald door de infiltratie van de voegen (VYNCKE et al., 1984).

Tabel 4.1. Infiltratiesnelheden doorheen verschillende wegdekken (VYNCKE et al., 1984).

Wegdek	Infiltratiesnelheid (mm/h)
Tegels	> 1
Klinkers	> 6
Kasseien	> 9
Grasbetondallen	> 20
Asfalt	0

Deze tabel werd berekend aan de hand van de formule:

$\text{Infiltratiesnelheid-kassei} = \text{infiltratiesnelheid-grond in de voeg} \times \text{voegoppervlakte-aandeel}$

Daar waar het wegdek bestaat uit een gesloten asfalt is de infiltratiesnelheid uiteraard onbestaande.

B. Afvoer via riolering

Indien de riolen onder de grondwaterspiegel liggen, bestaat de mogelijkheid dat grondwater door lekke buisverbindingen of breuken in de riool dringt. Dit is zeker het geval wanneer de verbindingen tengevolge van verzakking van de riolen open staan. Dit lekwater verhoogt de hoeveelheid door het riool af te voeren water en zand. Lekke riolen leveren door hun drainerende werking gevaar op voor de in de funderingen; ze kunnen ook wegen doen verzakken.

Rioleringen die boven de grondwaterspiegel liggen, moeten waterdicht zijn om vervuiling van het grondwater te vermijden. Inzonderheid in waterwingebieden worden strenge eisen gesteld.

Aangezien een goed riool waterdicht is, zijn er geen standaardcijfers te geven voor de te verwachten hoeveelheden lekwater. Soms wordt echter wel gerekend met een waarde van 0,5 l/s.km rioolleiding (VAN DEN BOSSCHE, 1994).

Om de hoeveelheid regen die in die riolering terecht komt te berekenen, wordt het begrip afvloeingscoëfficiënt ingevoerd (VAN DEN BOSSCHE, 1994).

Tabel 4.2. Afvloeingscoëfficiënt in functie van het oppervlak (VAN DEN BOSSCHE, 1994).

Aard van het oppervlak	Afstromingscoëfficiënt	
Grasperken		
Zanderige bodem	2 % helling	0.05 - 0.10
	2 - 7 %	0.10 - 0.15
	7 %	0.15 - 0.20
Zware bodem	2 %	0.13 - 0.17
	2 - 7 %	0.18 - 0.22
	7 %	0.25 - 0.35
Straten		
Geasfalteerd	0.70 - 0.95	
Beton	0.80 - 0.95	
Stenen	0.70 - 0.85	
Daken	0.75 - 0.95	

In de praktijk wordt gewerkt met aan alle verharde oppervlakten een coëfficiënt 1 toe te kennen en alle andere oppervlakten een coëfficiënt 0.

Uiteindelijk worden de volgende afvoercoëfficiënten bekomen in functie van de bebouwendichtheid.

Tabel 4.3. Neerslag afvloeiingscoëfficiënt in functie van bebouwing (VAN DEN BOSSCHE, 1994).

Bebouwingsdichtheid	Afvloeiingscoëfficiënt
Oude stads-dorpskernen	0.7 - 0.9
Nieuwe stadsdelen (gesloten bebouwing)	0.5 - 0.7
Nieuwe stadsdelen (half-open bebouwing)	0.3 - 0.5
Verkavelingen (half-open bebouwing)	0.2 - 0.3
Lintbebouwing (open bebouwing)	0.1 - 0.2
Parking - sportpleinen	0 - 0.1

In de steden wordt de regen-neerslag zo vlug mogelijk afgevoerd langs berekende riolen. Gemiddeld 60% van de neerslag, tot zelfs 85% in het stadscentrum, worden op deze wijze onttrokken aan de bodem (MEYER, 1978 in VYNCKE et al., 1984). Omdat in de stad zo weinig water effectief in de bodem kan dringen en omdat dit gedeelte overeenkomt met neerslaghoeveelheden onder de 200 mm - de neerslaggrens voor woestijngebieden - wordt de stad al eens vergeleken met een steenwoestijn (VYNCKE et al., 1984).

Tenslotte kunnen grote hoeveelheden grondwater verwijderd worden tijdens de aanleg van de riolen (VAN DER VEKEN et al., 1984).

4.3. Drinkwaterwinning

Vooraf in het westelijk duingebied waar de zoete grondwatervoorraad het grootst is, wordt water gewonnen. Dit gebeurt ten behoeve van het sterk ontwikkelde kusttoerisme in het duingebied en voor de landbouwbedrijven, huishoudelijk gebruik en een weinig industrieel gebruik in het zoetwaterarme poldergebied (VAN DER VEKEN et al., 1984).

Wanneer er water onttrokken wordt uit de ondergrondse formaties, dan zal er zich een nieuw evenwicht instellen in de grondwaterbalans. Het oppompen van grondwater gaat gepaard met een lokale verlaging van de grondwaterstand, die resulteert in een vermindering van de grondwaterkwel of de grondwateraanvulling, en in mindere mate van de evapotranspiratie. Echter, wanneer de grondwateronttrekking te groot wordt, is er geen evenwicht meer mogelijk en wordt het grondwaterreservoir geleidelijk uitgeput. De veilige maximaal mogelijke onttrekking is dus eerder functie van de netto-neerslag en de vereiste minimum debieten in de rivieren dan van de totale hoeveelheid grondwater. Normaal wordt, zeer algemeen gesteld, aanvaard dat gemiddeld 1/4 van de netto-neerslag kan ontgonnen worden (DE SMEDT et al., 1984).

De mate en de uitgestrektheid van de grondwaterstands-daling is afhankelijk van twee factoren: de hoeveelheid en de bouw van de ondergrond. Naarmate de gewonnen hoeveelheid toeneemt, neemt de omvang van de daling toe.

De hydrogeologische bouw van de ondergrond en de wijze van winning hebben eveneens een invloed op de daling van de watertafel.

Bij winning boven een halfdoorlatende laag in het freatisch reservoir wordt de watertafel rechtstreeks beïnvloed. In de omgeving van de winning daalt het grondwater het meest. Wanneer de winning onder een halfdoorlatende laag plaatsvindt, zijn de dalingen van de watertafel, onder overigens gelijke omstandigheden, in de directe omgeving van de winning kleiner. Naarmate de verticale waterbeweging kleiner is, daalt de watertafel minder en is het gebied, waarin de dalingen zich voordoen, groter (BAKKER, 1981).

Pompingen of injecties in het midden van het duingebied veroorzaken de grootste watertafelstandsveranderingen. Pompingen dicht bij de vaste stijghoogtegrenzen doen belangrijke stromingen ontstaan aan deze grenzen. Aangezien zowel onder de hoogwaterlijn als onder de duin-poldergrens zout water aanwezig is, houdt dit mee de kans op verzilting in (VAN DER VEKEN et al., 1984).

4.3.1. Huidige situatie

Tabel 4.4. Grondwaterwinning door de openbare drinkwatermaatschappijen, debiet in 1982 (DE SMEDT et al., 1984)

Gemeente	Eigenaar	Debiet (m ³)	Waterlaag
Knokke	Stad	926 385	kwartair
Bredene	VMW	113 997	kwartair
De Panne	IWVA	1 735 662	kwartair
Koksijde/Oostd.	IWVA	2 057 378	kwartair

De ligging van de waterwinningen is niet aangegeven. De waterwinningen bevinden zich in de kwartaire laag van de kustvlakte en de duinen.

Tabel 4.5. Grondwaterwinning te Nieuwpoort in 1991. (AMINAL, 1991 in MAHAUDEN et al., 1991)

Letter	Aard van het bedrijf	Hoogte maaiveld (m)	Aantal putten	Diepte (m)	Debiet (m ³ /dag)
A	Scheepsmachines	6,0	1	11	85
B	Nat. Hulpfonds Home invaliden	5,0	1	15	50
C	W.Z.K. Waterzuivering	5,0	1	15	24
D	Carwash De Noordzee	4,5	1	15	4
E	Vakantiepark	4,5	5	8	76 ge-
F	Vakantiepark	4,5		8	stopt 1987

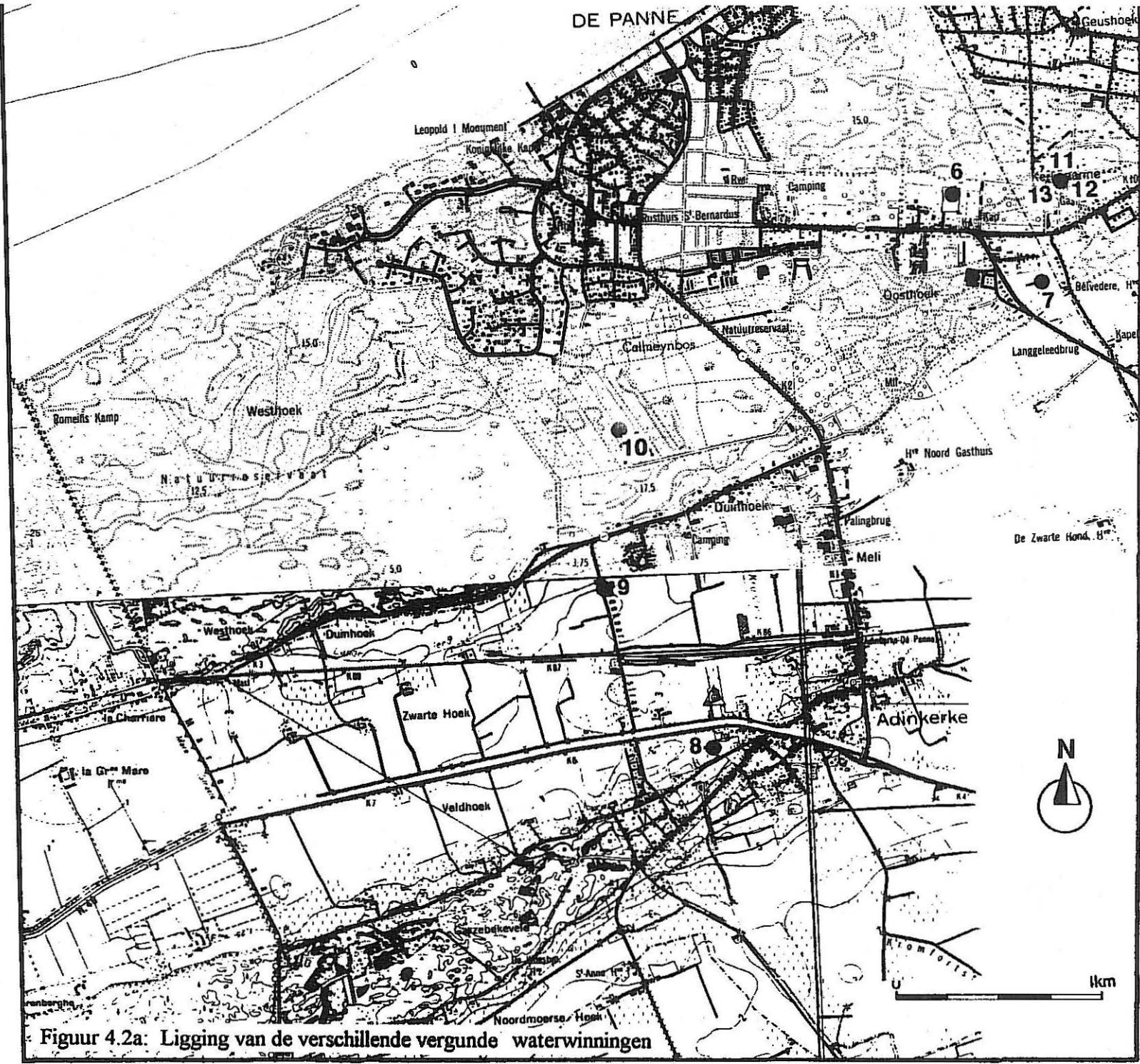
Alle winningen onttrekken grondwater uit de kwartaire zanden. De plaats hiervan is aangegeven in figuur 4.2.

De volgende lijst van de vergunde waterwinningen is afkomstig van AMINAL (1995).

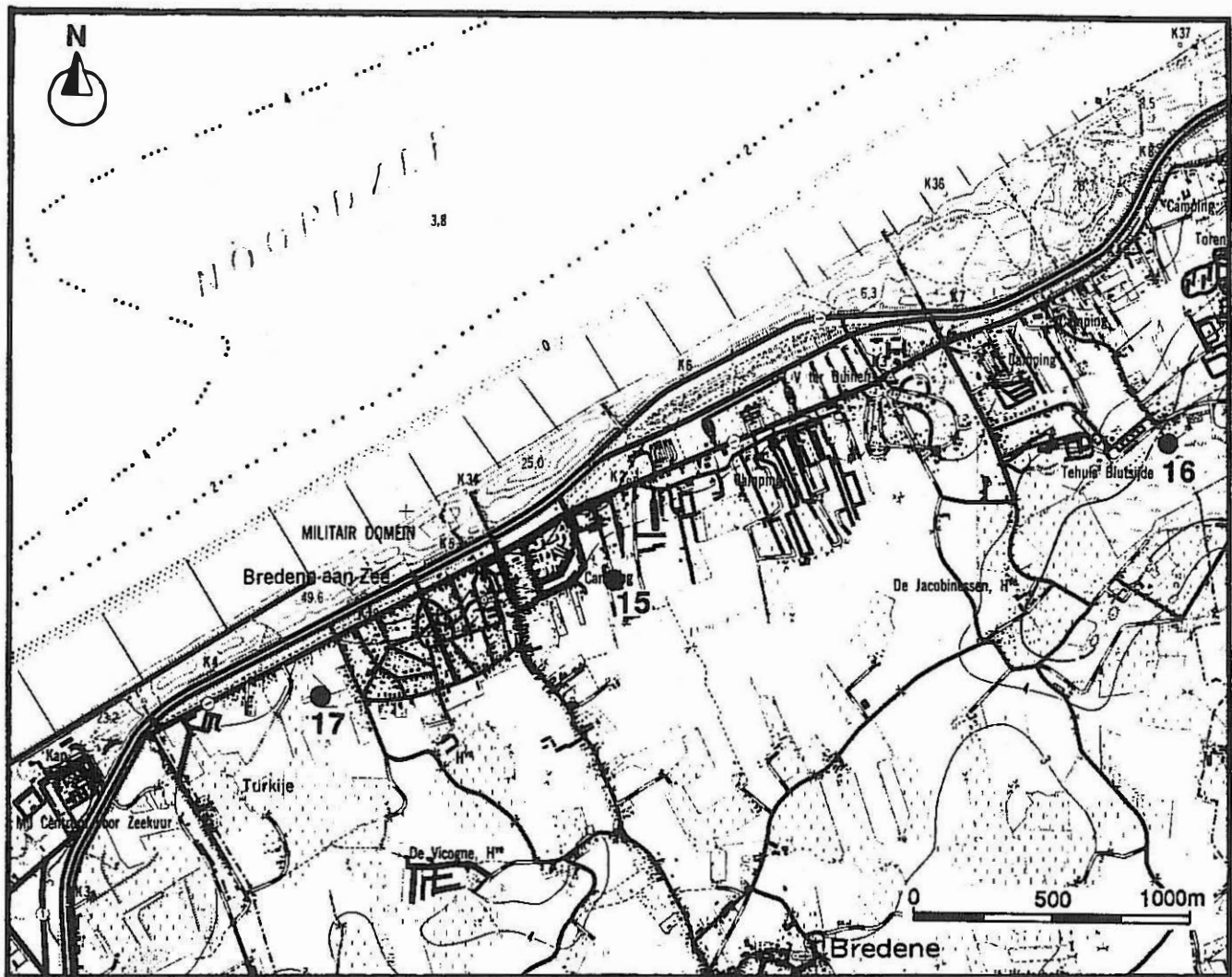
Tabel 4.6. Vergunde grondwaterwinningen (AMINAL, 1995)

nr.	Eigenaar	Gemeente installatie	Hoogte maaiveld (m)	Aantal putten	Diepte (m)	Debiet (m ³ /jaar)
1	Krijgsmacht, Nieuwpoort	Westende	5,00	1	21	91 250
2	Roelens	Westende	4,50	1	26	5 000
3	Vandaele	Knokke-Heist	4,00	1	30	1 000
4	Waterbedrijf Knokke-Heist	Knokke-Heist	?	22	23	1 050 000
5*	Saelens en Zoon	Knokke-Heist	3,75	2	5	144 000

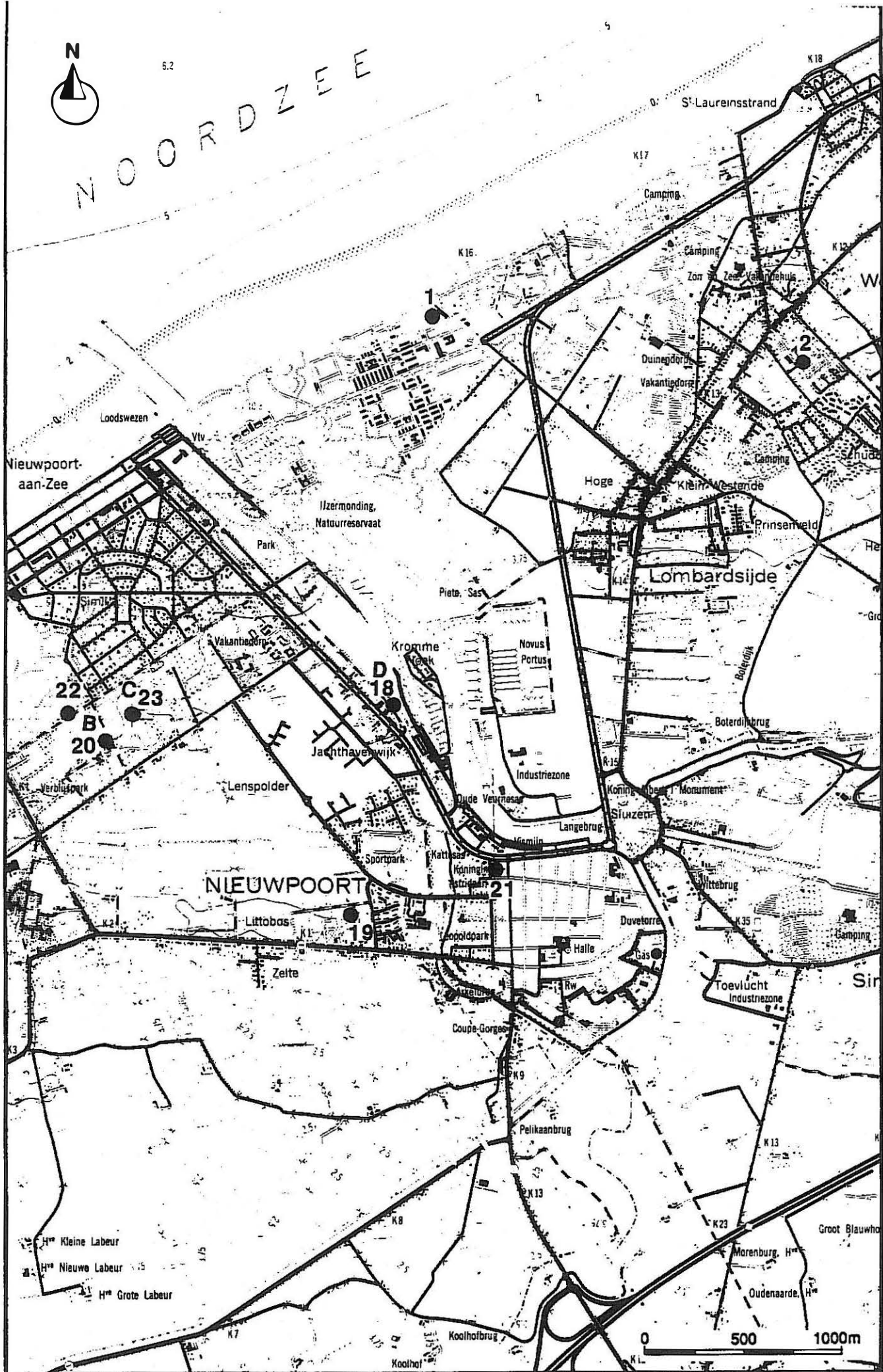
6	Gemeentebestuur De Panne	De Panne	?	1	15	2 400
7	Gemeentebestuur De Panne	De Panne	18,00	1	?	2 400
8	Gemeentebestuur De Panne	De Panne	3,00	1	10	2 400
9	IWVA, Koksijde	De Panne	?	35	15	500 000
10	IWVA, Koksijde	De Panne	?	100	12	1 200 000
11	Koksijde	Koksijde	15,00	29	4	803 000
12	Koksijde	Koksijde	21,80	26	6	3 360
13	Koksijde	Koksijde	18,80	82	7	182 500
14	Vanfleteren	Koksijde	19,00	1	20	650
15	De Coster G.	Bredene	4,00	1	32	6 600
16	V.M.W., Brussel	Bredene	?	34	18	250 000
17a	Hallynck G.	Bredene	?	?	?	2 200
17b	Hallynck G.	Bredene	3,50	1	2	2 200
18	Carwash De Noordzee	Nieuwpoort	4,00	1	15	1 160
19*	Litto N.V.	Nieuwpoort	5,00	1	11	230 000
20*	Nat. Hulpfonds Home Invaliden	Nieuwpoort	4,00	1	15	18 250
21*	Nieuwpoort	Nieuwpoort	3,50	60	10	525 600
22*	Ter Duinen Nat. Hulpfonds	Nieuwpoort	?	1	28	3 000
23	W.Z.K., Waterzuivering	Nieuwpoort	4,50	1	15	5 000



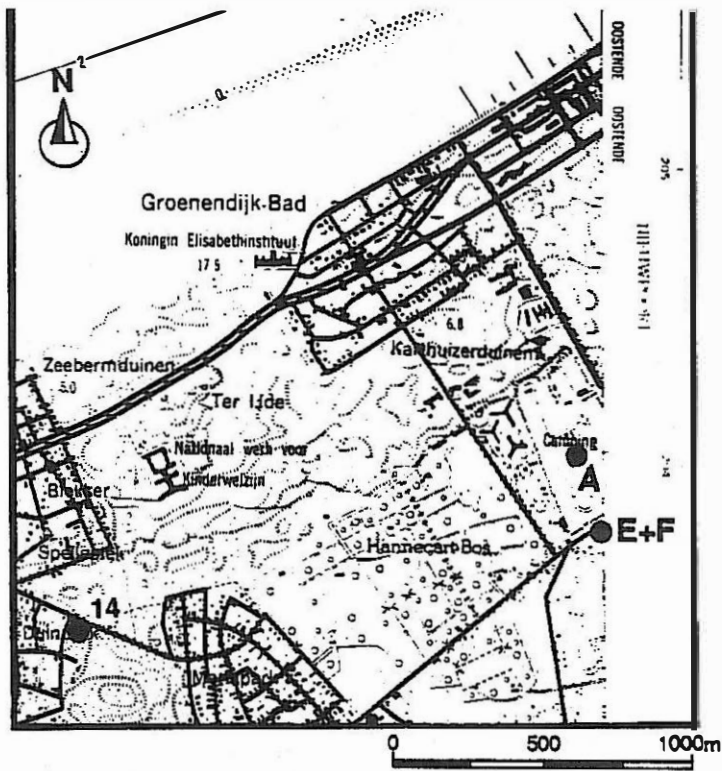
Figuur 4.2a: Ligging van de verschillende vergunde waterwinningen



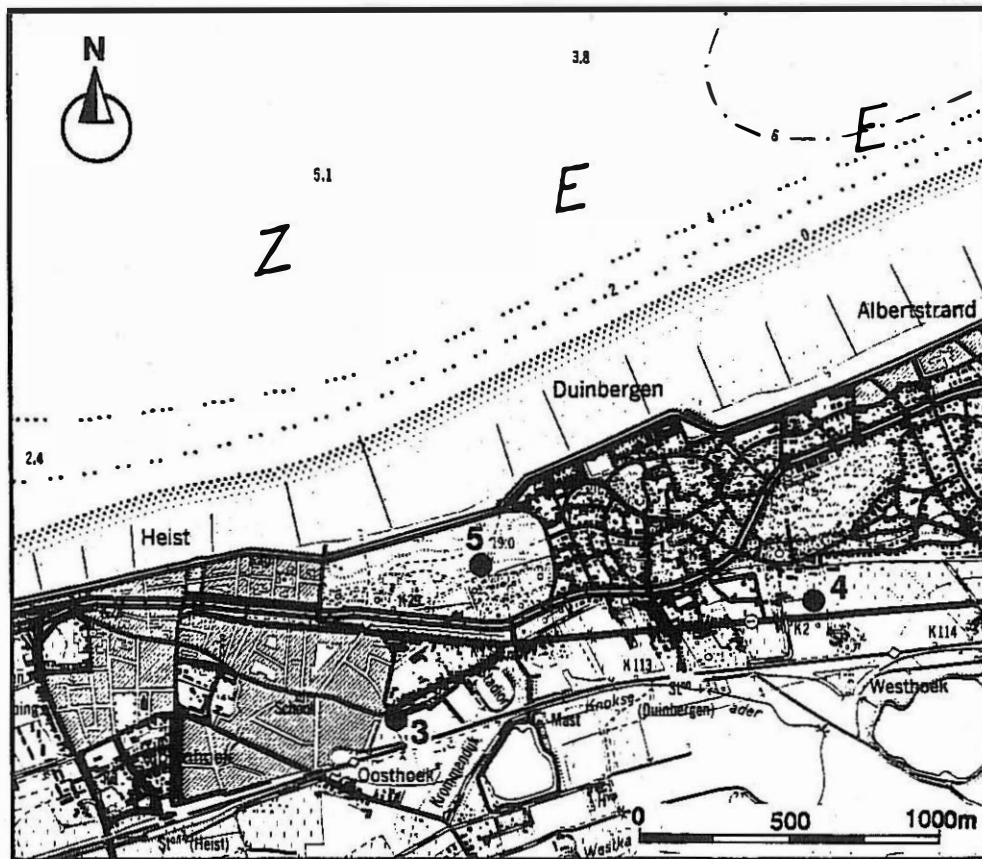
Figuur 4.2b: Ligging van de verschillende vergunde waterwinningen



Figuur 4.2c: Ligging van de verschillende vergunde waterwinningen



Figuur 4.2d: Ligging van de verschillende vergunde waterwinningen



Figuur 4.2e: Ligging van de verschillende vergunde waterwinningen

Alle waterwinningen bevinden zich in de kwartaire laag van de kustvlakte en de duinen. De waterwinningen aangeduid met * wijzen op waterwinning in een kwartaire of ongedifferentieerde laag. De plaats van de grondwaterwinningen is op figuur 4.2 aangegeven.

De vergunde dagdebieten voor de waterwinningen in Nieuwpoort van Carwash, W.Z.K. en het Nationaal Hulpfonds (invaliden) zijn in 1991 en 1995 hetzelfde gebleven.

De bemalingen in Koksijde (nummers 11, 12 en 13) zijn bronbemalingen en hadden een vergunning voor één jaar. De vergunning voor nummer 11 verliep van 22 maart 1993 tot en met 22 maart 1994. Nummer 12 had een vergunning van 17 mei 1993 tot en met 17 mei 1994. De laatste (13) had een vergunning van 3 mei 1993 tot 3 mei 1994.

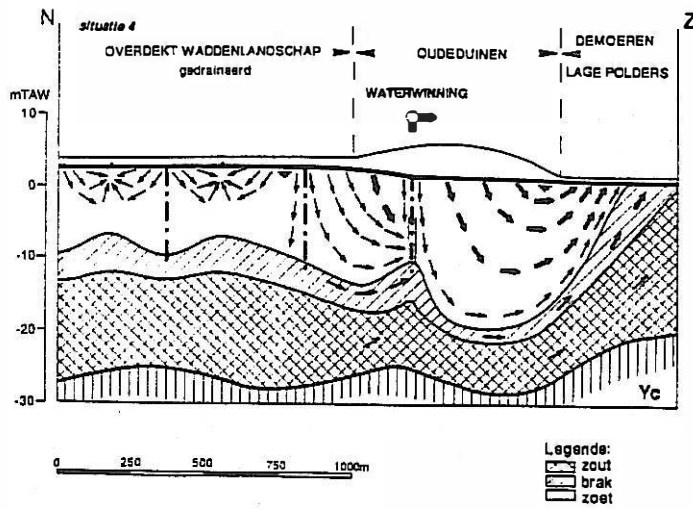
DE PANNE

De waterwinnig van De Panne (nummer 9) heeft een tweeledige vergunning. Van 15 juni tot 15 september is de vergunning 3 000 m³/dag en gedurende de rest van het jaar 1 500 m³/dag, met een maximaal debiet van 500 000 m³/jaar. De vergunning voor de waterwinning van De Panne (nummer 10) heeft een gelijkaardige vergunning. In de periode van 15 juni tot 15 september mag 8 000 m³/dag onttrokken worden en tijdens de overige periode 4 500 m³/dag. Het debiet van 1 200 000 m³/jaar mag niet overschreden worden.

Door de grondwaterwinningen in het duingebied zijn er twee grote ontwateringstrechters ontstaan; hierdoor is ook in de omliggende gebieden de watertafel sterk gedaald. Tengevolge van deze winningen bestaat er een grote onverzadigde zone. Ter hoogte van de waterwinning heeft het grensvlak zoet/zoetwater wat verplaatst zowel van aan de zeezijde als in de polders. Verandert men niets aan het beheer van de waterwinning dan zal het zoutgehalte binnen een afzienbare tijd boven de drinkwaternormen uitstijgen (LEBBE et al., 1993).

De waterwinning Cabour in de OUDE DUINEN (LEBBE et al., 1993)

Deze waterwinning werd aanvankelijk aangelegd door de Engelse troepen tijdens de eerste Wereldoorlog. Deze putten werden in de jaren twintig overgenomen door de pas gestichte Intercommunale Waterleidingsmaatschappij van Veurne Ambacht (IWVA). De putten liggen meestal in het noordelijk gedeelte van de Oude Duinen (Fig. 4.3). Gedurende de laatste decennia is het debiet vrij beperkt; de winning gebeurt er bijna uitsluitend tijdens de zomermaanden. Na een relatief korte periode van pompen stijgt het zout- en Cl-gehalte vlug, niettegenstaande de aanwezigheid van een slecht doorlatende laag tussen de filters en de zoutwaterlaag. Door de sterke natuurlijke stroming ligt het voedingsgebied (Fig. 4.4) van deze waterwinning volledig ten noorden van de puttenbatterij. Het water dat ten zuiden van de puttenbatterij infiltreert, stroomt af in de richting van De Moeren. Door de aanleg van de waterwinning in de Oude Duinen zal de drainage van het aangrenzende Overdekte Waddenlandschap nog verder afnemen. Door de waterwinning zal de zoetwaterstroming van onder de Oude Duinen naar De Moeren afnemen en zal de brakke kwel onder het zuidelijk gedeelte van De Moeren een weinig verschuiven naar de Oude Duinen toe.



Figuur 4.3: De Oude Duinen met een waterwinning (LEBBE et al., 1993)

Waterwinning in het duingebied tussen *KOKSIJDE en OOSTDUINKERKE - De DOORN-PANNE* (LEBBE & DE BREUCK, 1980)

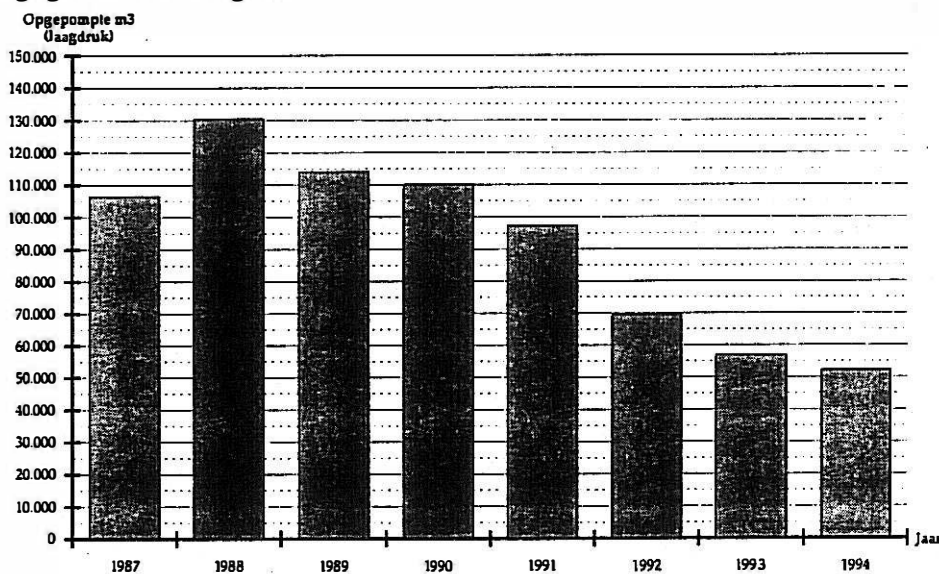
Sinds 1947 wordt in het duingebied door IWVA water gewonnen. Vanaf 1973 wordt jaarlijks 1.500.000 m³ water opgepompt. Dat gebeurde door middel van filterputten aangesloten op een hevelleiding. Op heden bedraagt het debiet 12 000m³/dag.

Deze waterwinning wordt bedreigd door zoutwaterstromen van onder het strand. De gebieden waaruit zout water stroomt naar de waterwinning zijn beperkt. Ze zijn echter voldoende om na een bepaalde tijd de waterwinningen te verzilten (LEBBE et al., 1993).

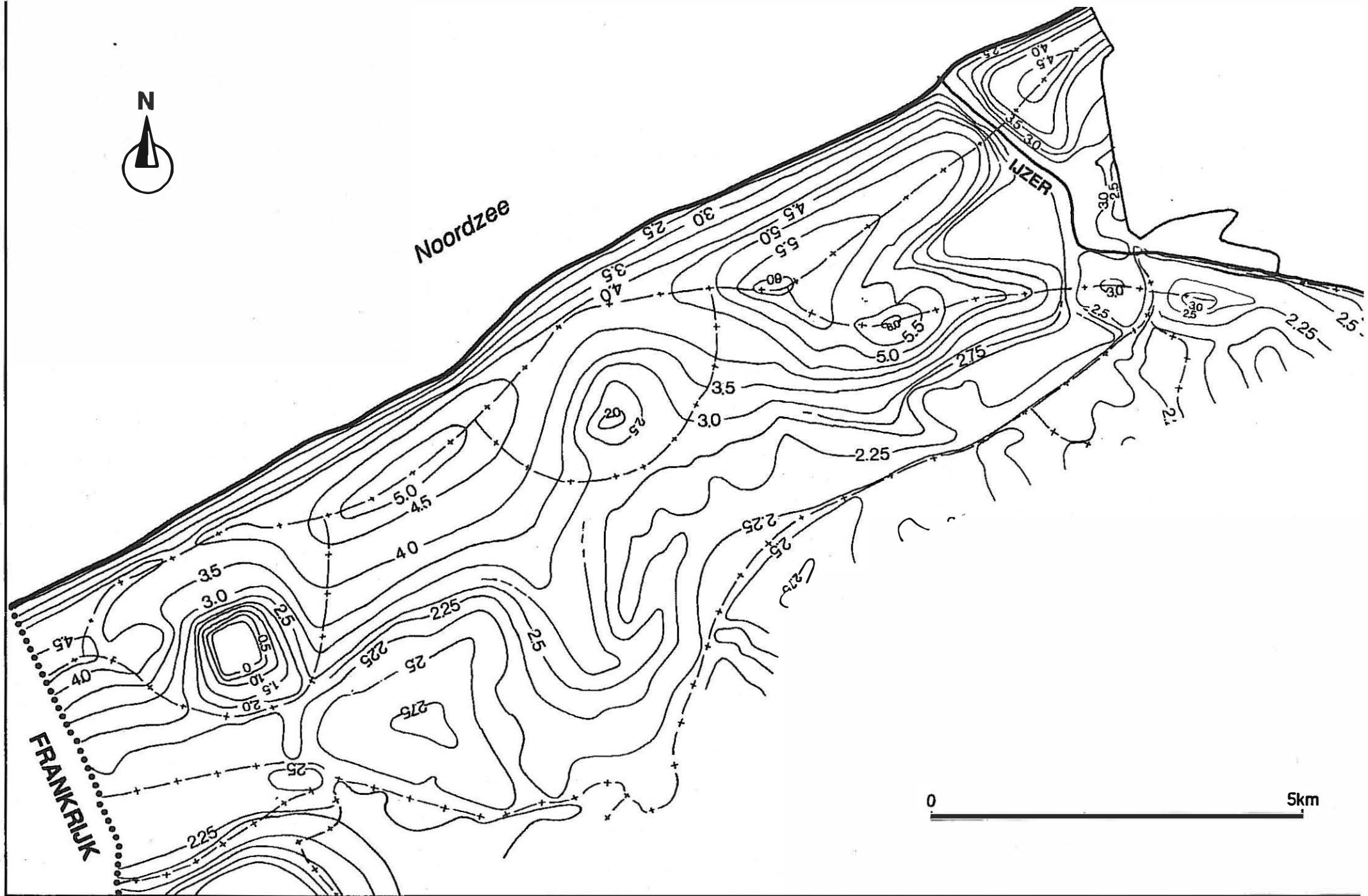
Waterwinning van *BREDENE*

Te Bredene wordt water gewonnen sinds 1948 (Fig. 4.6). In onderstaande figuur 4.5 worden de jaardebieten van 1987-1994 weergegeven.

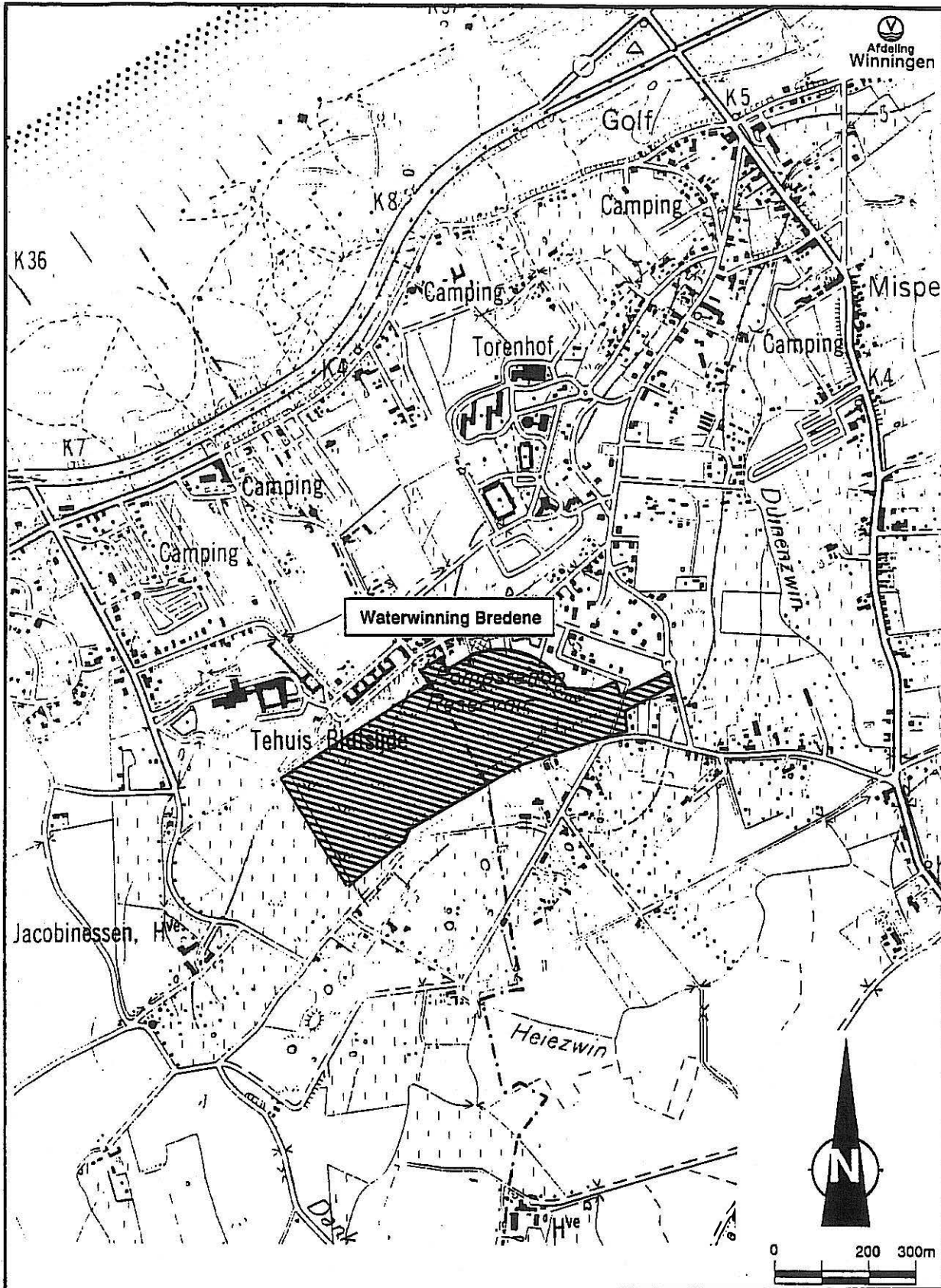
De historiek van de winningen kon niet achterhaald worden. Na schriftelijke aanvraag bij de verschillende waterleidingsmaatschappijen werden enkel voor de waterwinning van Bredene gegevens verkregen.



Figuur 4.5: Bredene: jaardebieten 1987-1994 (VMW, 1995)



Figuur 4.4: Voedingsgebied voor de waterwinning (LEBBE et al., 1993)



Figuur 4.6: Localisatie van de waterwinning te Bredene (VMW, 1995)

4.3.2. Alternatieven

Men kan een onderscheid maken tussen oppervlakkige infiltratie en diepte-infiltratie of injectie.

Bij oppervlakkige infiltratie worden aan het oppervlak bekkens aangelegd van waaruit het water in de grond sijpelt. Bij diepte-infiltratie wordt het water door middel van infiltratiekanalen of injectieputten op de gewenste diepte gebracht.

In het verleden zijn enkele studies gedaan in verband met de kunstmatige infiltratie (VAN HOUTTE et al., 1992; KUIJKEN et al., 1993 en PROVOOST et al., 1993).

De omvangrijke onverzadigde zone, die ontstaat door een winning, kan dienen als ondergronds reservoir voor het opslaan van het tijdens de winter beschikbare water. Hierdoor kan een ondergrondse reserve zoet water aangelegd worden, wat de constructie van spaarbekken overbodig zou maken. Door kunstmatige voeding zal de watertafel niet alleen stijgen in de waterwinningszone maar ook in de omliggende gebieden. Deze stijging betekent echter niet dat het geïnfilterde water daar ook terechtkomt.

Hoge eisen dienen aan de kwaliteit van het geïnjecteerde water gesteld te worden. Door de injectie en infiltratie ontstaat er ondergronds een lens van water waarvan de kwaliteit verschilt van die van duinwater. De volumetrische uitbreiding van de lens gebeurt traag, in tegenstelling met de voortplanting van de drukstijging. Door deze drukstijging in het grondwaterreservoir zal de watertafel stijgen. Tijdens en op het einde van de winter zullen de pannen in de omliggende gebieden opnieuw onder water komen te staan met natuurlijk duinwater. De watertafelschommelingen in de gebieden nabij het infiltratie- en waterwinningsgebied zullen een meer natuurlijk verloop hebben dan wanneer alléén grondwater zou winnen. De ruimtelijke uitbreiding van de het in kwaliteit verschillend infiltratiewater kan door een gepaste opstelling van winnings- en infiltratieputten binnen het waterwingebied gehouden worden (LEBBE et al., 1993).

Bij de doorstroming van de freatisch watervoerende laag in het waterwingebied zullen aanvankelijk talrijke chemische reacties plaatshebben tussen het geïnfilterde water en het reservoirgesteente, o.m. een reductie van de nitraten. Naarmate de infiltratie voortduurt zal het grondwaterreservoir meer in evenwicht komen met het geïnfilterde water zodat de chemische reactiviteit zal verminderen. Doordat de winningsputten water oppompen dat op verschillende tijdstippen infiltreert, is er een menging van water waardoor de kwaliteits- en de temperatuurschommelingen afgevlakt worden. Hierdoor wordt de behandeling van het geïnfilterde water goedkoper dan dat van water opgeslagen in een spaarbekken. Door de kunstmatige voeding doet zich tijdelijk sterke grondwaterstroming voor zowel naar de zee als naar de polders toe. Ondergrondse opslag maakt water beschikbaar in perioden met een grote vraag naar drinkwater (de zomer). De gebieden die thans voorzien zijn voor de waterwinning zouden aldus optimaal benut worden en het dreigende verziltingsgevaar zou aldus worden gekeerd. Ondergronds opgeslagen water is beter beschermd tegen een mogelijke luchtverontreiniging. Bij een calamiteit kan de winning van oppervlaktewater onmiddellijk stop gezet worden en kan een beroep gedaan worden op de ondergronds opgeslagen voorraden (LEBBE et al., 1993).

Volgens BAKKER (1981) kan men een onderscheid maken tussen twee diepte-infiltratie. De ene zijn nauw omsloten door een vorm van ring van putten die freatisch water winnen. Het geïnfiltreerde water wordt praktisch in z'n geheel en direct teruggewonnen, samen met een kleine hoeveelheid natuurlijk duinwater uit de omgeving. Op deze manier ontsnapt er geen infiltratiewater naar het aangrenzend freatisch reservoir. In het eigenlijke infiltratiegebied treedt een verstoring op van kwaliteit van bodem en grondwater. Daarbuiten behouden bodem en grondwater hun natuurlijke kwaliteit.

In de andere kan het infiltratiewater betrekkelijk ongestoord afstromen in het bovenste watervoerende pakket. De winningsinstallatie bevindt zich op aanzienlijke afstand van de infiltratiekanalen of betreft het water van onder een slecht doorlatende laag. Dit heeft tot gevolg dat in grote gebieden in de omgeving van het eigenlijke infiltratiegebied menging van natuurlijk duinwater met infiltratiewater plaatsvindt, waardoor bodem en grondwater ook in de omgeving van een onnatuurlijke kwaliteit zijn.

Een variant op de kunstmatige infiltratie is de aanleg van grintlichamen onder hoge duingebieden. Deze grintlichamen bevinden zich boven de oorspronkelijke grondwatertafel en worden gevoed door voorbehandeld oppervlaktewater. Het is duidelijk dat men hier hoge eisen moet stellen aan de kwaliteit van het te infiltreren water. Alhoewel deze methode wellicht beter in het duinmilieu geïntegreerd kan worden, bestaat geen ervaring hiermee (VAN DER VEKEN et al., 1984).

4.4. Verzilting

Het is duidelijk dat omwille van de natuurlijke verzilting van het grondwater in de kustvlakte in sterke mate slechts in beperkte mate kan worden gewonnen (LOY & BAETEN, 1987).

Verzilting, dit is de toeneming van het zoutgehalte in water, wordt zowel door natuurlijke als door menselijke invloed veroorzaakt. Het zoute grondwater is nooit helemaal uit de freatische kustlaag verdrongen. De ontwikkeling van de zoetwaterlens in de duinen heeft op sommige plaatsen een zeewaartse terugdringing van het zoute grondwater belemmerd. De aanleg van belangrijke zoekkanalen, zoals het Boudewijnkanaal, heeft plaatselijk het grondwaterreservoir verzilt. De kunstmatige ontwatering van de polders draagt eveneens bij tot het behoud van het zoute grondwater. Door de intensieve drainage is de ontwikkeling van de bovenliggende zoete grondwaterlaag beperkt gebleven. Daardoor beweegt ook het zoute en brakke grondwater opwaarts wat aanleiding geeft tot zoute kwel en verzilting van de teeltlagen (DE BREUCK et al., 1984).

Als de gewonnen hoeveelheid grondwater groter is dan het neerslagoverschot zal de waterstand sterk dalen en zal verzilting van de zoetwaterlens optreden. Deze vorm van verzilting doet zich voor in de richting van de waterwinning van De Panne, Cabour, St.-André, ...

5. Duin-polder overgangszone als kwelzone

5.1. Huidige toestand

Van de neerslag die in de grond sijpelt en zijdelings afstroomt, beweegt ongeveer de helft zich in de richting van de zee, de andere naar het achterliggende polderland. Dit laatste gedeelte kan daar als kwelwater te voorschijn komen (BAKKER, 1981). Bepalende factoren bij de verdeling van de afstroming over beide richtingen, zijn de stijghoogten aan beide zijden van het duingebied en de structuur van het grondwaterreservoir.

De WESTHOEK (LEBBE et al., 1993)

Door de drooglegging en het Moereengebied heeft de grondwaterverdeling en -stroming een grondige wijziging ondergaan (Fig. 5.1 en 5.2). De gemiddelde watertafel in de drooggelegde Moeren varieert er tussen 0,0 en +0,5 m. Deze lage watertafelstand veroorzaakt een continue stroming van het Overdekte Waddenlandschap onder de Oude Duinen heen naar De Moeren. Alle geïnfiltreerde neerslagoverschot van de Oude Duinen en zelfs van een gedeelte van het Overdekte Waddenlandschap stroomt ondergronds in de richting van De Moeren. In dit gedeelte van het Overdekte Waddenlandschap neemt hierdoor de drainage af. Onder de Oude Duinen zakt de watertafel tengevolge van de ontwatering van De Moeren (Fig. 5.2). Aan de noordrand van de Oude Duinen is deze peilverlaging minimaal (ongeveer 0,3 m), aan de zuidrand maximaal (ongeveer 2,3 m). Deze verlaging neemt toe en verloopt lineair met de afstand tot de noordgrens van de Oude Duinen. De geschatte verlaging in het midden van de Oude Duingordel bedraagt ongeveer 1,3 m.

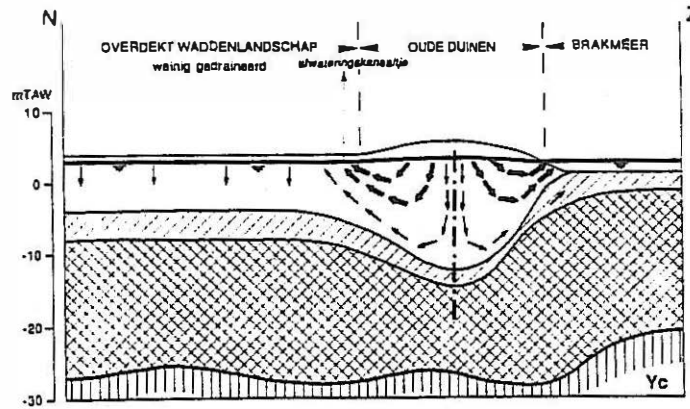
De grote watertafelstandsverlaging onder het zuidelijke gedeelte van de Oude Duinen en het noordelijk gedeelte van De Moeren veroorzaakt een sterke opwaartse stroming. Onder de zuidelijke rand van de Oude Duinen is dit een sterke opwaartse stroming van zoet water. Onder de noordelijke rand van De Moeren betreft het een sterke opwaartse stroming van zout water. Het zout water bevindt er zich onmiddellijk onder de watertafel. Op het einde van een relatief droge zomer kan dit zout water opstijgen tot in de wortelzone met nadelige gevolgen voor de landbouwgewassen in dit gebied. Onder de Oude Duinen doet zich een zwakke zuidwaartse stroming van het zoute water in het onderste gedeelte van het grondwaterreservoir voor. Door de aanleg van de waterwinning Cabour in de Oude Duinen is de drainage van het aangrenzende Overdekte Waddenlandschap verder afgenomen. Door de afname van de zoetwaterstroming van onder de Oude Duinen naar De Moeren (Fig. 5.3) is de brakke kwel onder het zuidelijk gedeelte van De Moeren een weinig verschoven naar de Oude Duinen toe.

Figuur 5.4 geeft de plaats aan waar in 1957 zoute kwel optrad in het noorden van De Moeren (DE VOS, 1985). De uitbreiding van de zoute kwel hangt nauw samen met de waterwinning in de Binnenduinen en de manier van draineren in de polders.

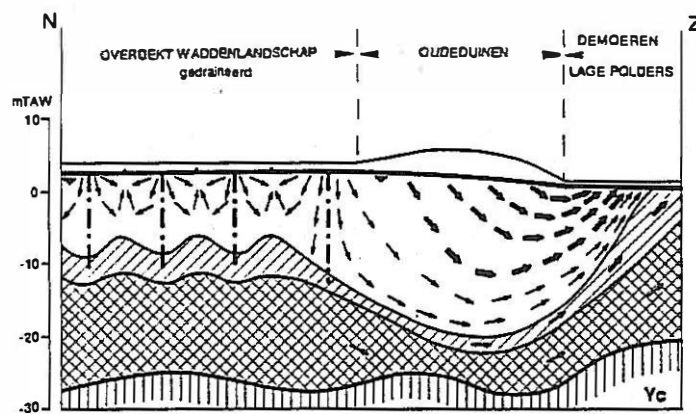
De overgang van duinen naar polders in Oostduinkerke, Nieuwpoort en De Haan werden reeds in paragraaf 3.2 besproken.

5.2. Herstelmogelijkheden

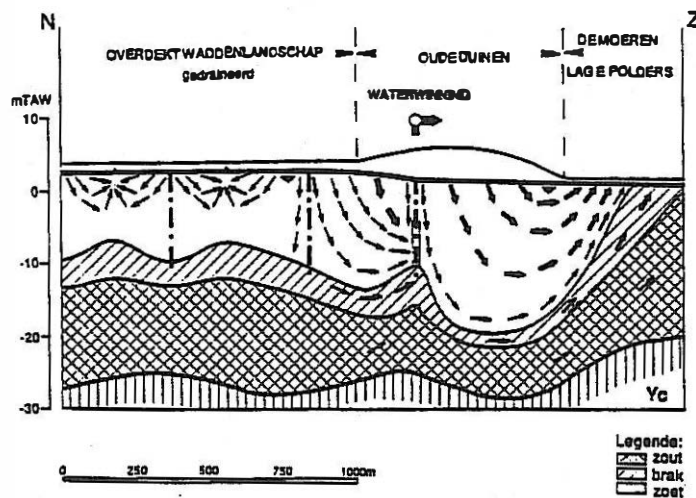
Door de stopzetting van de grondwaterwinning in Cabour zal de opwaartse kwel zich geleidelijk herstellen.



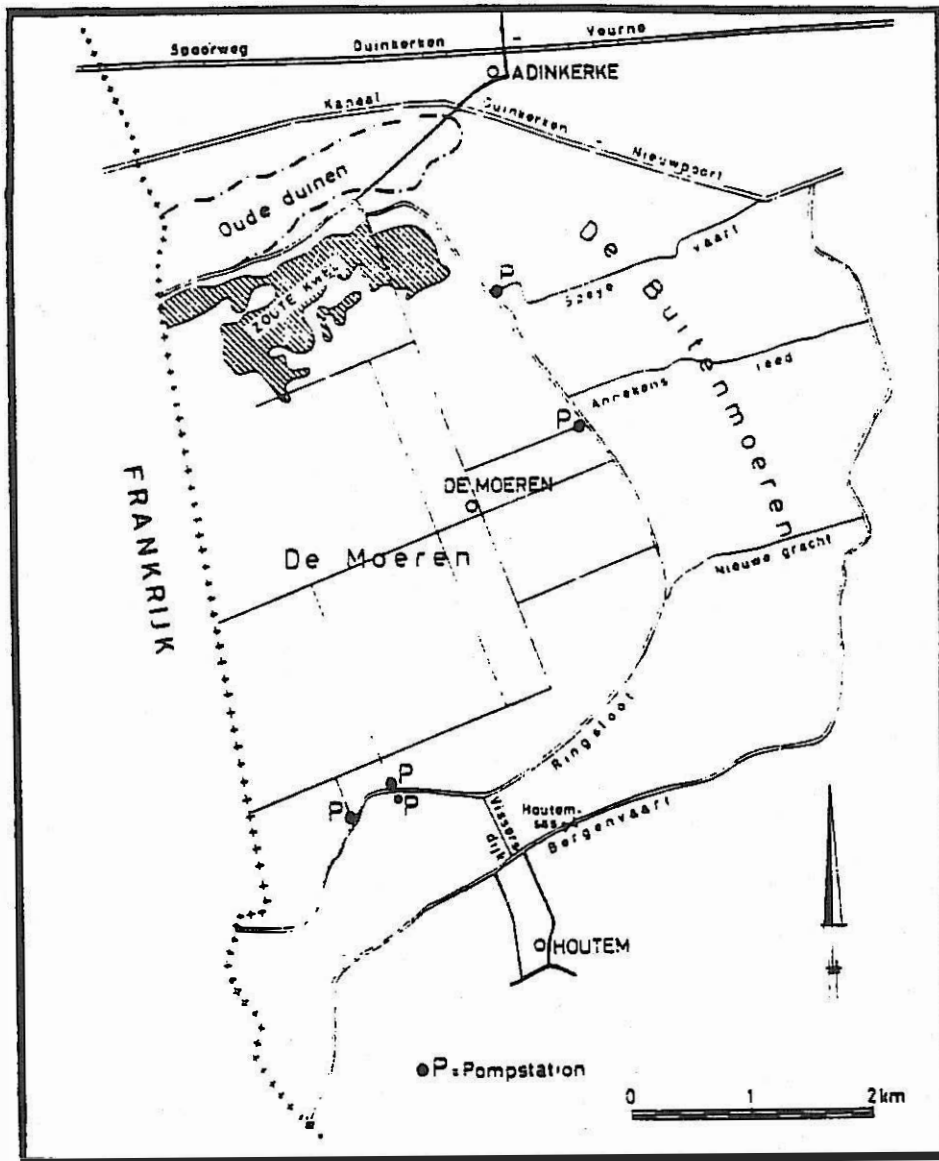
Figuur 5.1: De Oude Duinen onder natuurlijke omstandigheden (LEBBE et al., 1993)



Figuur 5.2: De Oude Duinen met drooggelegde lage polders (LEBBE et al., 1993)



Figuur 5.3: De Oude Duinen met een waterwinning (LEBBE et al., 1993)



Figuur 5.4: De zoute kwel in het noorden van de Moeren, voor 1957 (AMERYCKS & T'JONCK, 1957 in DE VOS, 1985)

6. Leemten in de kennis

Over de lithologische en hydrogeologische bouw van het grondwaterreservoir over het gehele studiegebied ontbreken veel gegevens vooral tussen Westende en Bredene, in het duingebied ten westen van De Haan, tussen Wenduine en Blankenberge, vanaf Heist tot aan de Nederlandse grens.

Over het Zwingebied zijn geen lithologische, noch hydrogeologische gegevens zijn beschikbaar.

Over de grondwaterstroming en de grondwaterpeilen zijn slechts fragmentarische gegevens bekend, uit locale studies, die meestal daarenboven een beperkte tijdsduur hadden. Er zijn gegevens over de seizoenschommelingen. Een studie naar de invloed op de natuurlijke waterafelschommelingen van opeenvolgende droge of natte jaren, dringt zich op, gezien de belangrijke invloed die hiervan kan uitgaan op natuurlijke ecosystemen. De hydraulische parameters zijn weinig gekend. In verband met de grondwaterkwaliteit, biedt de verziltingskaart een bruikbaar algemeen beeld. Wil men evenwel conclusies afleiden voor het beheer op lokaal vlak, dan blijft aanvullend grondwaterkwaliteitsonderzoek op basis van boorgatmetingen en staalname uit peilbuizen, een noodzaak.

In 1984 kwamen DE SMEDT et al. (1984) tot het besluit dat er nog veel fundamenteel wetenschappelijk onderzoek dient te worden verricht in de duinen in verband met de bodem- en grondwaterhuishouding, daar er veel basisgegevens ontbreken, zoals de relaties tussen hydraulische geleidbaarheid, vochtspanning, vochtgehalte en veel processen onvoldoende gekend zijn, zoals wateropname door planten, capillaire opstijging, enz.

Polderpeilen en debieten afgevoerd door polderwaterlopen zijn niet gekend. Deze gegevens zijn nochtans belangrijk gezien hun invloed op de grondwaterstroming in het aangrenzende duingebied.

Wat de rioleringen betreft, zijn weinig gegevens voorhanden: het debiet, de ligging, data van aanleg, het soort rioleringen in de duinen (indien aanwezig) en steden zijn onbekend.

Omtrent de historiek van de waterwinning door de verschillende openbare drinkwatermaatschappijen is momenteel weinig informatie beschikbaar.

De bevindingen omtrent de menselijke ingrepen in de grondwaterhuishouding berusten, afgezien van onderzoek in verband met de grondwaterwinning, enkel op algemeenheden en zijn niet getoetst aan de werkelijkheid.

7. Besluit

De lithologie van het kwartair grondwaterreservoir is zeer verscheiden en zeer plaatsafhankelijk. Het kwartair grondwaterreservoir wordt onderaan begrensd door Tertiaire afzettingen. Vanaf De Panne tot in Oostende wordt het tertiaire substraat gevormd door de Klei van Ieper. Verder oostwaarts komen opeenvolgend jongere afzettingen voor. Meestal kan het kwartair grondwaterreservoir worden ingedeeld in twee doorlatende lagen, gescheiden voor een slecht doorlatende laag. Soms geeft een bijkomende slecht doorlatende laag aanleiding tot een verdere opdeling, in totaal drie doorlatende lagen.

De hydrogeologische bouw heeft een grote invloed op de grondwaterstroming. In de doorlatende lagen gebeurt deze grotendeels horizontaal; in de slechtdoorlatende lagen doet zich overwegend een verticale grondwaterstroming voor. De duinen vormen meestal een belangrijk grondwateraanvullingsgebied.

Het grondwater geïnfiltreerd in de duinen vloeit ondergronds naar de zee en naar de polders.

Een algemeen beeld van de tweedimensionele zoet/zoutwaterverdeling, kan afgeleid worden uit de verziltingskaart. De derde dimensie is plaatselijk beschikbaar in de vorm van grondwaterkwaliteitsprofielen. De grondwaterkwetsbaarheid is weergegeven op de grondwaterkwetsbaarheidskaart.

De evapotranspiratie en infiltratie zijn afhankelijk van de bodembedekking. Er bestaan nog te weinig gegevens om een conclusies te kunnen formuleren.

De drainage verhindert de infiltratie van het neerslagwater. Hierdoor wordt de verdringing van zout door zoet water belemmerd. Eveneens vermindert de urbanisatie voor de infiltratie van het neerslagwater. De riolering voert het regenwater onmiddellijk weg.

Grondwaterwinning en afvoer door riolering en kanalen kunnen de verzilting in de hand werken.

De vergunde grondwaterwinningen werden in dit verslag opgenomen.

Bibliografie

Archief van de Administratie voor Milieu, Natuur en Landinrichting.

Archief van de Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening.

Archief van de Belgische Geologische Dienst.

ANGIUS, G. (1991). Salt/fresh-water flow and distribution in a cross-section at Oostduinkerke (Belgium). Gent: Universiteit Gent (licentiaatsverhandeling), 44 p. + bijlage.

BAKKER, T.W.M. (1981). Nederlandse kustduinen; Geohydrologie. Wageningen, PU DOC, 189 p.

BOLLE, I. (1983). Hydrogeologie van de binnenduinen van Adinkerke en aangrenzende gebieden. Gent: Universiteit Gent (licentiaatsverhandeling), 112 p + bijlage.

BOLLE, I., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1983). Salt water encroachment in the western Belgian coastal plain. *Proceedings of the Salt Water Intrusion Meeting, Bari. Special issue of "Geologia Applicata e Idrogeologia"*, 57.

DE BREUCK, W. (1974). Hydrogeological Swim-excursion to the coastal region of Belgium. *Proceedings of the 4th Salt Water Intrusion Meeting, Ghent*, 202-215.

DE BREUCK, W., DE MOOR, G., MARECHAL, R. & TAVERNIER, R. (1974). Diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water in de freatische laag van het Belgische Kustgebied (1963-1973).

DE BREUCK, W., PEDE, K., DEVOS, J., LAGA, P., LEBBE, L., TEMMERMAN, I. & VANHECKE, L. (1984). Polders en verzilting. *Water voor Groen, Vierde Vlaams Wetenschappelijk van groenvoorziening, Brussel*, 243-252.

DE MOOR, G. & DE BREUCK, W. (1969). De freatische waters in het Oostelijk Kustgebied en in de Vlaamse Vallei. *Natuurwet. Tijdschr., Gent*, 51, 3-68.

DEPRET, M. (1983). Studie van de lithostratigrafie van het Kwartair en van het tertiaire substraat te Zeebrugge onder meer met diepsonderingen. *Professional Paper Belg. Geol. Dienst 1983/6. 201, Brussel*, Ministerie van Economische Zaken, 235 p.

DE SMEDT, F., MEES, G., VERHEYE, W., BRONDERS, J., DE SMEDT, P., FAUCONNIER, A., HARTMANN, R., LAGA, P., RAMON, H., VAN DAMME, J., VAN LUIJN, C.A. & VANSTEELANDT, P. (1984). Bodem- en grondwater. *Water voor Groen, Vierde Vlaams Wetenschappelijk Congres van groenvoorziening, Brussel*, 83-104.

DE VOS, M. (1985). Bijdrage tot de hydrogeologie van De Moeren (Veurne) en omliggende gebieden. Gent: Universiteit Gent (licentiaatsverhandeling), 137 p.

- DEVOS, J. (1984). Hydrogeologie van het duingebied ten oosten van De Haan. Gent: Universiteit Gent (doctoraatsverhandeling), 219 p. + figuren en bijlage.
- DEVOS, J., LEBBE, L. & RAMAN, B. (1984). Een mathematisch model van de grondwaterstromingen in het kwartaire reservoir ten oosten van De Haan. *Tijdschr. Becewa*, **77**, 119 - 125.
- KHEDR, M.M.K.M. (1993). Study of waterrepellency along a soil chronosequence in the coastal dunes af the Westhoek Nature Reserve (Province of West-Flanders, Belgium). Ghent: Universiteit Gent (Licentiaatsverhandeling), 98 p. + bijlagen.
- KUIJKEN, E., PROVOOST, S. & LETEN, M. (1993). Oppervlakte-infiltratie in de Doornpanne. Een verkennend onderzoek naar de ecologische implicaties. Hasselt, Instituut voor Natuurbehoud, 87 p. + bijlagen.
- LAGA, P. & VANDENBERGHE, N. (1990). The Knokke Well (11E/138) with a description of the Den Haan (22W/276) and Oostduinkerke (35E/142). Brussel: Toelicht. Verh. Geologische en Mijnkaarten van België, **29**, 118 p.
- LEBBE, L. (1973). Hydrogeologisch onderzoek van het duingebied te Oostduinkerke. Gent: Universiteit Gent (licentiaatsverhandeling), 105 p. + bijlage.
- LEBBE, L. (1978). Hydrogeologie van het duingebied ten westen van De Panne. Gent: Universiteit Gent (doctoraatsverhandeling), 164 p. + figuren en bijlage.
- LEBBE, L. (1984). Numerische simulatie van grondwaterkwaliteitsproblemen als hulp bij het beheer van de watervoorraden in het Vlaamse Kustgebied. *Tijdschr. Becewa*, **76**, 67-88.
- LEBBE, L., DAMIEN, B., MAHAUDEN, M. & DE BREUCK, W. (1993). Hydrologische en hydrogeologische studie in het bestek van het landinrichtingsproject "De Westhoek". Gent, Vlaamse Landmaatschappij, 96 p.
- LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1980). Hydrogeologie van het duingebied tussen Koksijde en Oostduinkerke. *Tijdschr. BECEWA*, **55**, 33-45.
- LEBBE, L., DE BREUCK, W., HARTMANN,R. & VERPLANCKE, H. (1983). De dynamiek van de zoute kwel in kustgebieden als gevolg van potetiaalgradienten in de verzadigde en onverzadigde zones (proefgebied de Moeren van de Westhoek). FKFO-project. Hydrogeologische deelstudie. Gent: Universiteit Gent, 23 p.
- 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*, 199-220.

LEBBE, L., VAN CAMP, M. & DE BREUCK, W. (1985). Aanvullend onderzoek voor de hydrogeologische studie van de geplande waterwinning "Ter Yde" te Koksijde: winning van oppervlaktewater door middel van oeverinfiltratie in een wachtvijver. Gent: Universiteit Gent, 22 p. + bijlage.

LEBBE, L., WALRAEVENS, K. & DE BREUCK, W. (1990). The evolution of the fresh and salt water flow and distribution in two cross-sections through the dune area of De Haan. *Proceedings of the 11th Salt Water Intrusion Meeting, Gdansk*, 72-97.

LEMEUR, R., BEECKMAN, H., CLAEYS, A., DEMAREE, G., VAN HOVE, J. & VERDEGEM, L. (1984). Neerslag en verdamping. *Water voor Groen, Vierde Vlaams Wetenschappelijk Congres van groenvoorziening, Brussel*, 45-82.

LOY, W. & BAETEN, Y. (1987). Kwetsbaarheidskaart van het grondwater in West-Vlaanderen. Studie in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Dienst Water- en Bodembeleid, 32 p.

LUST, N., BEECKMAN, H., MALLANTS, J., MEIRESONNE, L., MOERDIJK, W., ROGISTER, J., VANHAEREN, R., VAN SLYCKEN, J. & VIANE, H. (1984). Waterhuishouding in bossen. *Water voor Groen, Vierde Vlaams Wetenschappelijk Congres van groenvoorziening, Brussel*, 359-384.

MAHAUDEN, M., DE CEUKELAIRE, M. & DE BREUCK, W. (1991). MER Vakantiedorp Ysermonde te Nieuwpoort. Aspecten Water en Bodem. Gent: Universiteit Gent, 36 p.

MAHAUDEN, M., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1982). Hydrogeologische studie van en rondom het gebied van de geplande waterwinning Ter Yde te Koksijde (Oostduinkerke). Gent: Universiteit Gent, 52 p. + figuren en bijlage.

MAHAUDEN, M., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1993a). Bepaling van de invloed op de grondwaterstand veroorzaakt door de bemalingen voor de rioleringswerken in de Westhoek. Projectnummer 92.541 Albert I-laan - Oostlaan te Oostduinkerke. Gent: Universiteit Gent, 21 p.

MAHAUDEN, M., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1993b). Bepaling van de invloed op de grondwaterstand veroorzaakt door de bemalingen voor de rioleringswerken in de Westhoek. Projectnummer 92.520 Groenendijk - Nieuwpoort Kattesas. Gent: Universiteit Gent, 31 p.

MAHAUDEN, M., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1993c). Bepaling van de invloed op de grondwaterstand veroorzaakt door de bemalingen voor de rioleringswerken in de Westhoek. Projectnummer 92.540 Groenendijk - RWZI Wulpen. Gent: Universiteit Gent, 30 p.

PROVOOST, S., KUIJKEN, E. & LETEN, M. (1993). Inrichtings- en beheersvoorstellen voor de Doornpanne. Eindverslag bij het oppervlakte-infiltratieproject in het waterwinningsgebied St.-André, Koksijde. Hasselt: Instituut voor Natuurbehoud, 57 p.

VAN DEN BOSSCHE, J. (1994). Riolering. Basiscursus waterzuivering. Antwerpen, technologisch Instituut KVIV, Genootschap Milieutechnologie, 28 p.

VAN DE WALLE, L. (1986). Modelstudie gesteund op waarnemingen van stijghoogten en kwaliteit van het grondwater in De Moeren en de Binnenduinen (De Panne-Veurne). Gent: Universiteit Gent (Licentiaatsverhandeling), 154 p. + bijlage.

VAN DER VEKEN, P., DE RAEVE, F., DE CEUNINCK, R., HOFFMANN, M., LEBBE, L. & LETEN, M. (1984). Duinen. *Water voor Groen, Vierde Vlaams Wetenschappelijk Congres van groenvoorziening, Brussel*, 409-431.

VAN HOUTTE, E., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1992). Studie van de huidige en toekomstige waterwinningsmogelijkheden in de Westhoek. Gent: Universiteit Gent, 368 p. + bijlage.

VERMOORTEEL, Y., MAHAUDEN, M., BOLLE, I. & DE BREUCK, W. (1992). Inventarisatie van de grondwatervoorraden ter hoogte van de geplande centrale te Zeebrugge. Gent: Universiteit Gent, 47 p. + bijlagen.

VERMOORTEEL, Y. & DE BREUCK, W. (1994a). Groundwater Investigation Landfall Interconnector Pipeline Bacton - Zeebrugge. Phase II. Gent: Universiteit Gent, 29 p. + bijlage.

VERMOORTEEL, Y. & DE BREUCK, W. (1994b). MER. UK- Continent Gas Interconnector Leiding Bacton (GB) - Brugge ND 1000 Aanlanding Transportzone Zeebrugge. Gent: Universiteit Gent, 113 p.

VERMOORTEEL, Y. & DE BREUCK, W. (1994c). Groundwater Investigation Landfall Interconnector Pipeline Bacton - Zeebrugge. Gent: Universiteit Gent, 4 p. + bijlage.

VYNCKE, G., VANDEN BIL, V., BRACKE, V., HARTMANN, R., JACOBS, I., NAGELS, J. & VANDERWAEREN, G. (1984). Water als standplaatsfactor voor straatbomen in urbaan gebied. *Water voor Groen, Vierde Vlaams Wetenschappelijk Congres van groenvoorziening, Brussel*, 293-306.

WALRAEVENS, K., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1990). Q3D-mathematical modeling of the groundwater flow in and around the dune area of De Haan. *Proceedings of the 11th Salt Water Intrusion Meeting, Gdansk*, 110-127.

WALRAEVENS, K., LEBBE, L., VAN CAMP, M., ANGIUS, G., SERRA, M.A., VACCA, A., MASSIDDA, R. & DE BREUCK, W. (1993). Salt/fresh-water flow and distribution in a cross-section at Oostduinkerke (Western coastal plain of Belgium). *Proceedings of the 12th Salt Water Intrusion Meeting, Barcelona*, 407-420.

WALRAEVENS, K., VERMOORTEEL, Y. & DE BREUCK, W. (1992). Studieproject grensoverschrijdend krekengebied. Oriëntatiefase. Gent: Universiteit Gent, 235 p.