



TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE

ECOSYSTEEMVISIE VOOR DE VLAAMSE KUST

DEELSTUDIE: HYDROGEOLOGIE

SYNTHESE

OPDRACHTGEVER



MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAP
Departement Leefmilieu & Infrastructuur
Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer
AFDELING NATUUR



AMINAL





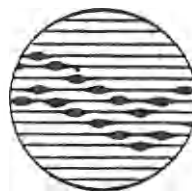
UNIVERSITEIT GENT

233667

Laboratorium
voor
Toegepaste Geologie
en
Hydrogeologie

ECOSYSTEEMVISIE VOOR DE
VLAAMSE KUST
DEELSTUDIE : HYDROGEOLOGIE

SYNTHESE



Geologisch Instituut
Krijgslaan 281, S8
B-9000 Gent

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

Opdrachtgever

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Departement Leefmilieu & Infrastructuur
Administratie Milieu-, Natuur-,
Land- en Waterbeheer
AFDELING NATUUR

leidende ambtenaar ir. J.-L. HERRIER

Leiding : Prof. Dr. W. DE BREUCK

Studie en verslag : Lic. K. MARTENS
Prof. Dr. K.
WALRAEVENS
Prof. Dr. L. LEBBE

Onderzoeksnummer : TGO 94/42

Datum : juli 1995

INHOUD

LIJST MET FIGUREN LIJST MET TABELLEN

Inleiding

1. Beschikbare gegevens	1
2. Lithologische en hydrogeologische bouw van het kwartair reservoir	2
3. Grondwater in de Kwartaire watervoerende laag	5
3.1. Grondwaterstromingspatroon en grondwaterstijghoogte	
3.2. Grondwaterkwaliteit	11
3.3. Grondwaterkwetsbaarheid	17
3.4. Evapotranspiratie en infiltratie	17
4. Menselijke ingrepen in de grondwaterhuishouding	18
4.1. Drainering polders	
4.2. Verstedelijking (verharde oppervlakken en afvoer via riolering)	
4.3. Drinkwaterwinning	20
4.3.1. Algemeen	
4.3.2. Alternatieven	22
4.4. Verzilting	
5. Duin-polder overgangszone als kwelzone	23
5.1. Huidige toestand	
5.2. Herstelmogelijkheden	
6. Leemten in de kennis	24
7. Besluit	25
Bibliografie	26

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 3.1: Natuurlijke grondwaterstroming op het strand (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.2: Verminderde grondwaterstroming van de duinen naar de zee (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.3: Invloed van overmatige waterwinning op de grondwaterstroming op het strand (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.4: De Jonge Duinen in natuurlijke omstandigheden (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.5: De Jonge Duinen met drainage in de polders (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.6: De Jonge Duinen met een waterwinning (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.7: De Jonge Duinen met een waterwinning in overexploitatie (LEBBE et al., 1993)
- Figuur 3.8: Verziltingskaart (DE BREUCK et al., 1974)
- Figuur 3.9: Grondwaterkwetsbaarheidkaart (LOY & BAETEN, 1987)
- Figuur 3.10: 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 aan de hand van gegevens van LEBBE, 1978)
- Figuur 5.1: De zoute kwel in het noorden van de Moeren, vóór 1957 (AMERYCKS & T'JONCK, 1957 in DE VOS, 1985)

TABEL

- Tabel 3.1: Grondwateranalysen

Ecosysteemvisie voor de Vlaamse Kust

Deelstudie Hydrogeologie

Synthese

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 het hydrogeologisch aspect van een ecosysteemvisie uit te werken.

Het studiegebied is 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 kwartair 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.

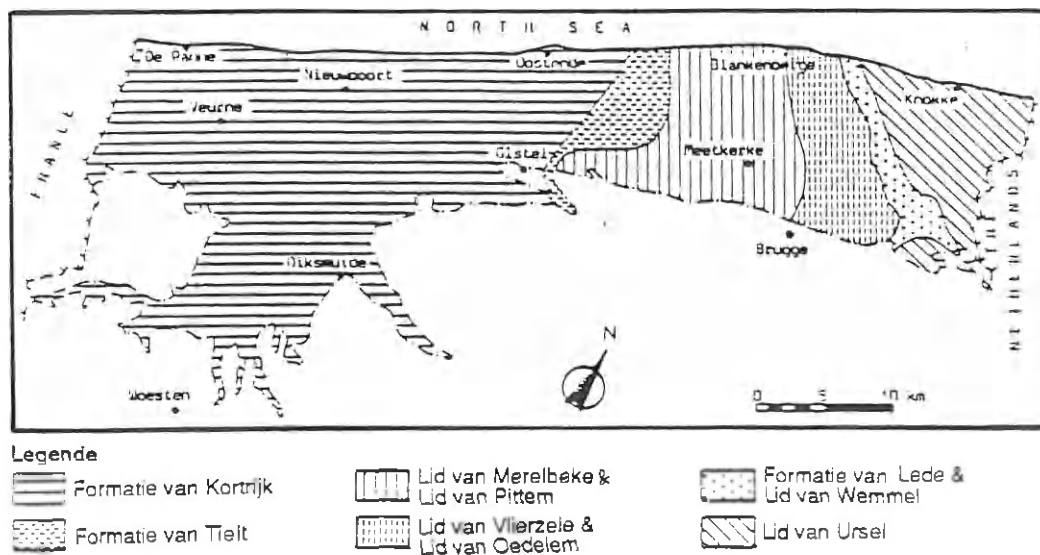
Databank voor grondwaterwinningen van AMINAL

Licentiaatsthesisen RUG

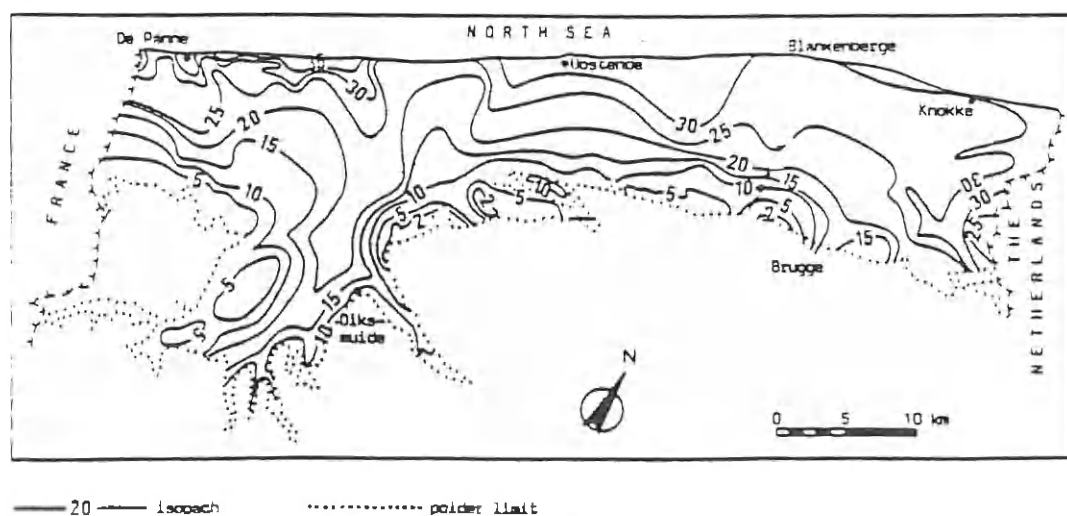
Doctoraatsthesisen RUG

2. Lithologische en hydrogeologische bouw van het kwartair reservoir

Het kwartair grondwaterreservoir aan de Belgische kust wordt onderaan begrensd door tertiaire afzettingen. De klei van het Ieperiaan (Formatie van Kortrijk) vormt het tertiair substraat aan de Westkust. In de oostelijke kustvlakte komen van west naar oost achter-eenvolgens jongere tertiaire lagen voor (Fig. 2.1. en Fig. 2.2.).



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)

Waar een zandig substraat voorkomt aan de top van het Tertiair uit zand is opgebouwd-omvat het freatisch reservoir naast het Kwartair, ook tertiaire zandige lagen. Deze worden van west naar oost gevormd door de Formatie van Tielt, het Lid van Vlierzele, het Lid van Oedelem, de Formatie van Lede en het Lid van Wemmel. De dikte van het Kwartair in het kustgebied wordt in figuur 2.3. weergegeven.

De opbouw van het ondiep grondwaterreservoir is plaatsafhankelijk. In hetgeen volgt wordt de toestand, voor zover bekend, van west naar oost in het kort besproken.

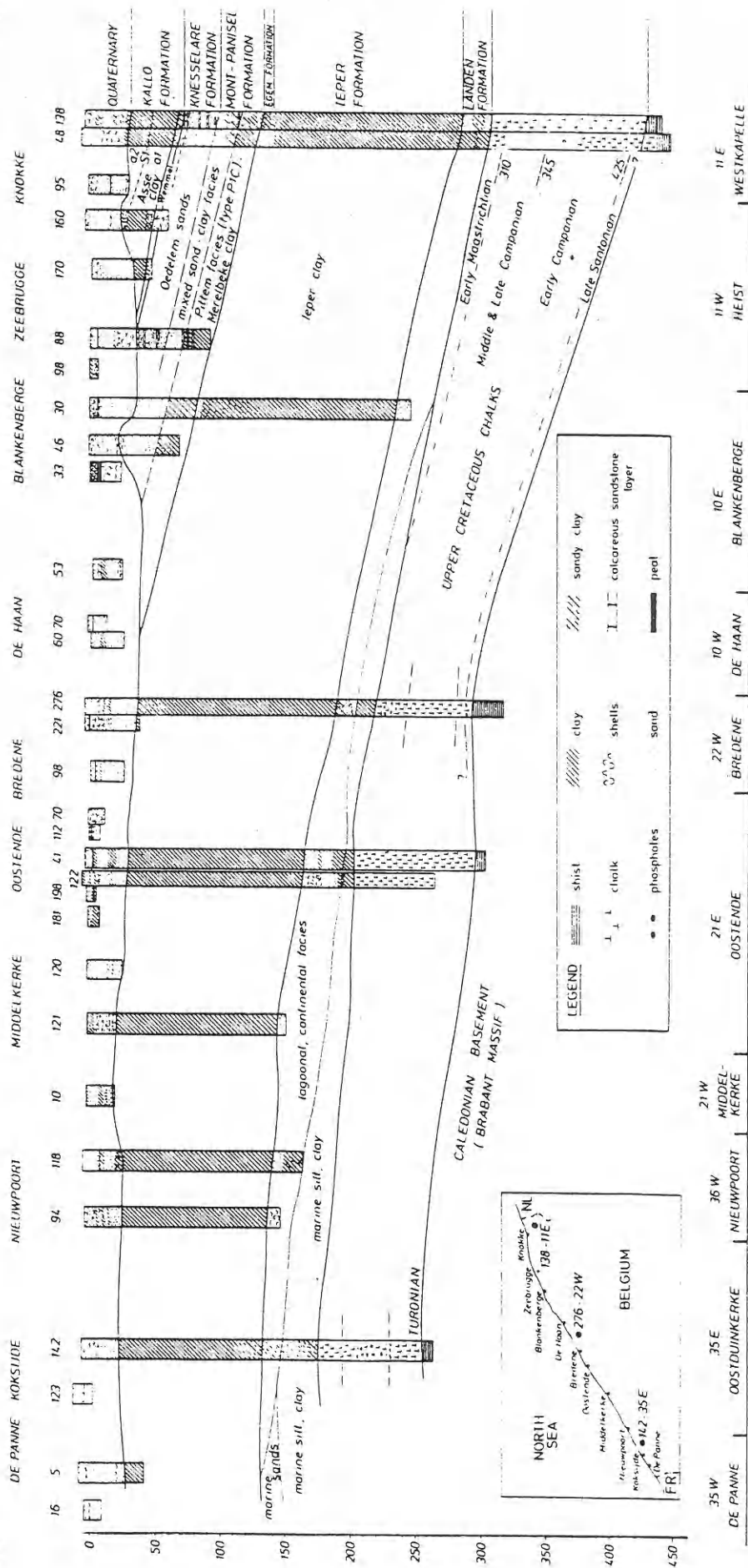
Het ondiep grondwaterreservoir bestaat uit een opeenvolging van doorlatende en slecht-doorlatende lagen. De onderste doorlatende laag, rustend op het tertiair substraat, bestaat voornamelijk uit middelmatig tot grof zand met grint en schelpfragmenten. Deze lithologische beschrijving is voor het hele kustgebied van toepassing. Voor de bovenliggende lagen kan het kustgebied in verschillende zones opgesplitst worden naargelang van de opeenvolging van de slecht-doorlatende en de doorlatende lagen.

In het gebied van De Panne tot Oostduinkerke bestaat het kwartair grondwaterreservoir uit vijf lagen: drie doorlatende lagen gescheiden door twee slecht-doorlatende lagen. De onderste doorlatende laag bestaat uit middelmatig tot grof middelmatig zand met een veranderlijke hoeveelheid schelpen en schelpgruis. Daarop rust een eerste slecht-doorlatende laag. Ze wordt gekenmerkt door een wisselend faciës. Ter hoogte van De Panne bestaat ze afwisselend uit lemig zand, zandige leem en zandige klei; ze gaat over naar leemhoudend fijn zand in het duingebied tussen Koksijde en Oostduinkerke. Plaatselijk kan deze laag afwezig zijn. Vervolgens komt een tweede doorlatende laag voor. Deze laag is bestaat uit fijn tot middelmatig zand waarin men schelpen kan aantreffen. Onder de zeereep en het hoge strand bestaat het bovenste deel van de doorlatende laag uit schelpen, die meer landwaarts overgaan in middelmatig tot fijn zand. De korrelgrootte neemt verder af met de afstand tot het strand waardoor de laag geleidelijk overgaat in een leemhoudend zand met dunne klei-leemlagen en veen. Deze vormt een slecht-doorlatende laag. Verder landinwaarts bestaat deze slecht-doorlatende laag uit klei (De Panne). De slecht-doorlatende laag ligt in de polders aan het oppervlak. In de duinen vormt die laag de basis van de derde doorlatende laag. Ter hoogte van het droge strand en de zeereep ontbreekt de slecht-doorlatende laag waardoor beide doorlatende lagen rechtstreeks in contact staan. De top van het kwartair grondwaterreservoir is opgebouwd uit strand- en duinzand.

In het gebied tussen Oostduinkerke en De Haan rust een slecht-doorlatende laag op de onderste doorlatende laag bestaande uit middelmatig zand. De slecht-doorlatende laag komt overeen met deze van het eerder besproken gebied. Ter hoogte van Nieuwpoort bestaat ze uit leem, die overgaat naar klei (met veen) van Middelkerke tot Bredene. Een tweede doorlatende laag vormt de top van het kwartair grondwaterreservoir. Ze is opgebouwd uit middelmatig tot fijn zand met bovenaan strand- en duinzand. Ter hoogte van de Lenspolder (Nieuwpoort) ontbreekt het strand- en duinzand: er komt een tweede slecht-doorlatende kleilaag nabij het oppervlak voor.

SW

NE



In het duingebied tussen De Haan en Wenduine bestaat het kwartair grondwaterreservoir uit vijf lagen, waarvan drie doorlatende en twee slecht-doorlatende. Ten oosten van het duingebied, onder de zeereep komen de twee slecht-doorlatende lagen als één pakket voor, omdat de middelste doorlatende laag daar afwezig is. Op de tweede slecht-doorlatende laag komen in de duinen en op het strand duin- en strandafzettingen voor. Deze laatste vormen een doorlatende laag. In de polders ligt de tweede slecht-doorlatende laag aan de top van het kwartair grondwaterreservoir.

Ten oosten van Blankenberge tot in Zeebrugge is het kwartair grondwaterreservoir opgebouwd uit drie lagen. De twee doorlatende lagen worden gescheiden door de slecht-doorlatende laag. De onderste doorlatende laag bestaat uit grof zand met schelpfragmenten en grint dat naar boven toe overgaat naar fijn tot zeer fijn zand. In Zeebrugge bestaat de basis hoofdzakelijk uit grofkorrelig zand dat bovenaan een afwisseling is van middelmatig tot fijn en grof zand. Hierop rust een slecht-doorlatende laag. In Blankenberge neemt de dikte van deze laag toe met de afstand tot het strand. Het is een veen-leem-zandcomplex. Onder het strand is ze opgebouwd uit een afwisseling van dunne veen-, leem- en zandlaagjes met bovenaan een veenlaag. Meer landinwaarts bestaat ze uit zware klei en leem waarop een veenlaag en tenslotte een kleilaag rust. In Zeebrugge bestaat het veen-leem-zandcomplex uit dikke lagen zeer fijn zand die van elkaar gescheiden worden door veenlagen. Het bovenste deel is een veenlaag. In de polders volgt hierop een klei- of een zandafzetting. Deze zandafzettingen zijn kreekopvullingen, die doorlatend zijn. In Blankenberge vormt de polderklei de top van het grondwaterreservoir. In de duinen en op het strand komt nog een derde doorlatende laag voor. Ze bestaat uit duin- en strandzanden.

Verder naar het oosten zijn geen gegevens bekend.

3. Grondwater in de kwartaire watervoerende laag

3.1. Grondwaterstromingspatroon en grondwaterstijghoogte

BAKKER (1981) noteerde als natuurlijke situaties in duinvalleien in Nederland seizoen-fluctuatietrajecten (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 stijghoogte doen fluctueren. Door de getijdewerking in het meest zeewaartse gedeelte van de duinen kan de grondwaterstand onregelmatigheden vertonen.

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. Grondwater vloeit 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 de zomer 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 ligt de grondwatertafel dieper en grijpt veel minder evapotranspiratie plaats.

Infiltrerend neerslagwater bereikt 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 laag gelegen 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.

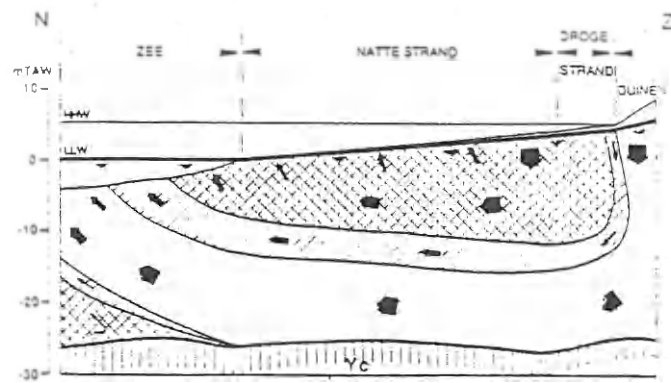
De grootste seizoenfluctuaties treft men dan ook aan in de duinpannen op een afstand van de hoogwaterlijn van ongeveer twee derden van de breedte van het duinmassief.

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

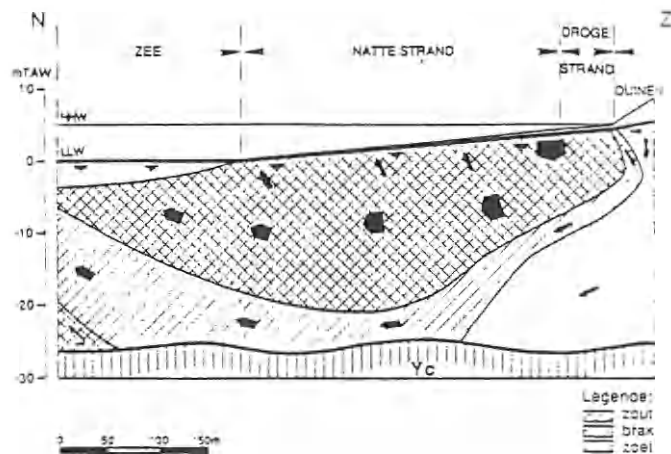
In de polders, waar de watertafel zeer ondiep ligt, reageert de stijghoogte onmiddellijk en zeer duidelijk op plotse meteorologische veranderingen zoals een hevige regenval.

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

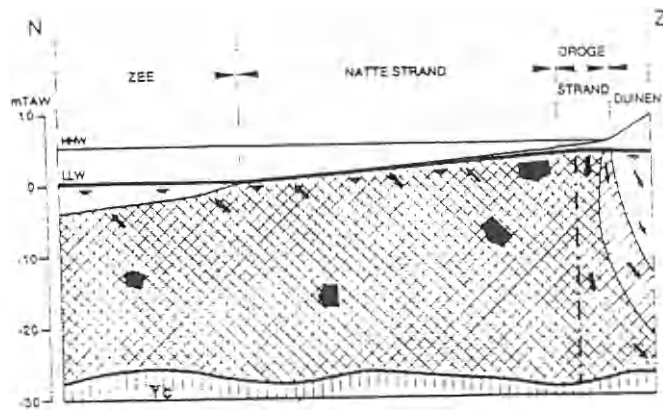
De eerste doorsnede (Fig. 3.1) beschouwt de toestand onder volkomen natuurlijke omstandigheden, d.w.z. zonder enige vorm van antropogene beïnvloeding van het grondwaterreservoir. In de duinen infiltreert zoet water, dat ondergronds gedeeltelijk afstroomt in de richting van de zee. Op het droge strand en op het hoogste gedeelte van het natte strand infiltreert zout water tijdens de vloed. Dit geïnfiltreerde 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 het 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.



Figuur 3.1: Natuurlijke grondwaterstroming op het strand (LEBBE et al., 1993)

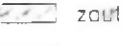
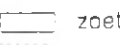


Figuur 3.2: Verminderde grondwaterstroming van de duinen naar de zee (LEBBE et al., 1993)



Figuur 3.3: Invloed van overmatige waterwinning op de grondwaterstroming op het strand (LEBBE et al., 1993)

Legende:

- | | | | |
|---|--------------------------|---|---------|
|  | stromingsrichting |  | zout |
|  | grondwaterscheidingslijn |  | brak |
|  | watertafel |  | zoet |
|  | kleisubstraat |  | filters |

De tweede doorsnede (Fig. 3.2) 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 strand (+ 4,5) infiltreert, 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 zich ook voordoen als een overgangstoestand met name als de zoetwaterstroming in de richting van de zee plots wegvalt of omkeert tengevolge van overdreven wateronttrekkingen in de duinen.

De derde doorsnede (Fig. 3.3) geeft de stroming en de verspreiding van zoet en zout water onder het strand weer als er gedurende een geruime tijd zeer grote hoeveelheden aan de zoetwatervoorraad worden onttrokken. Daardoor stroomt het grondwater 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 duinen stromen. Tussen het zoet duinwater en het zout water bestaat een brakke overgangszone die hoofdzakelijk door transversale hydrodynamische dispersie bepaald wordt. Het grootste gedeelte van het zoute water dat op 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.

De PANNE (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 gelegen 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 met zoet water doorstroomd werden. Bij dynamisch evenwicht is de totale hoeveelheid water afkomstig van het neerslagoverschot, gelijk aan de hoeveelheid die stroomt in de richting van de zee en in de richting van de polders.

In figuur 3.4 worden de grondwaterstroming en -verdeling in de Jonge Duinen weergegeven zoals deze bestonden 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. Ter hoogte van de poldergrens ligt de gemiddelde waterstand op ca. + 2,8. Daar de gemiddelde stijghoogte op de hoogwaterlijn hoger is dan aan de poldergrens stroomt het grondwater onder het grootste gedeelte van de duinen in de richting van de polders en in het kleinste gedeelte 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 (Fig. 3.5). De daling van de watertafel in de duinen,

tengevolge van een waterstandsdeling in de polders, hangt af 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.

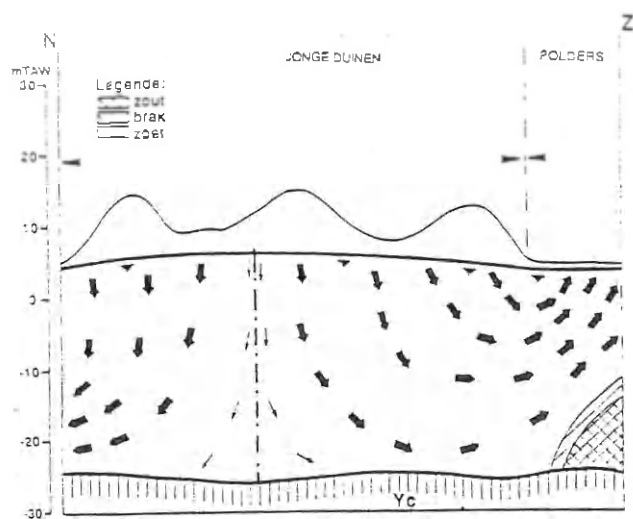
In figuur 3.6 is de situatie geschetst in het duingebied en de aangrenzende polders waarbij water in de duinen wordt onttrokken. Bij deze situatie vloeit een klein gedeelte van het water dat infiltreert in de duinen, in de richting van de zee. Het grootste gedeelte van het infiltrerende water stroomt in de richting van de waterwinning. De invloed van de waterwinning reikt tot aan de poldergrens. In dat geval bereikt men de grens van exploitatiemogelijkheid van de zoetwatervoorraad van het duingebied. Er is geen gevaar voor verzilting van de winning. Door de winning van zoet water in de duinen ontstaat echter een daling van de watertafel. Deze is het grootst in de omgeving van de winning en neemt geleidelijk af met de afstand tot de waterwinning.

In figuur 3.7 wordt een grondwaterstroming in een duingebied geschetst waarbij overexploitatie in het duingebied plaatsheeft. 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 in de waterwinningsputten terechtkomen. Hierdoor zal het zoutgehalte van het opgepompte water voortdurend stijgen tot boven de normen voor drinkwater. Vanaf dat ogenblik zal men genoodzaakt zijn de waterwinning te stoppen voor een zeer lange periode (ca. 250 jaar) met name totdat de verzilting teruggedrongen is door het natuurlijk infiltrerende duinwater.

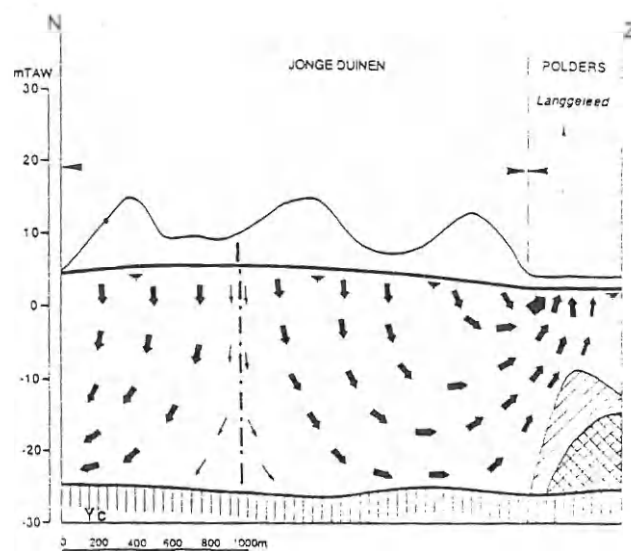
Figuur 3.7 is een weergave van een stroming in een doorsnede loodrecht op de as van de duinen die loopt doorheen het zwaartepunt van de waterwinning van De Panne. In parallelle doorsneden gaat deze situatie, naarmate men zich verwijdt van het zwaartepunt van de waterwinning, geleidelijk over in de vorige situatie (Fig. 3.6). Figuur 3.5 doet zich voor in doorsneden die buiten de invloed van de waterwinning gelegen zijn (LEBBE, 1993).

Voor De Panne, Adinkerke, Oostduinkerke, Nieuwpoort en De Haan is de gedetailleerde bespreking van de grondwaterstroming met stijghoogtekaarten terug te vinden in de uitgebreide deelstudie hydrogeologie (DE BREUCK et al., 1995)

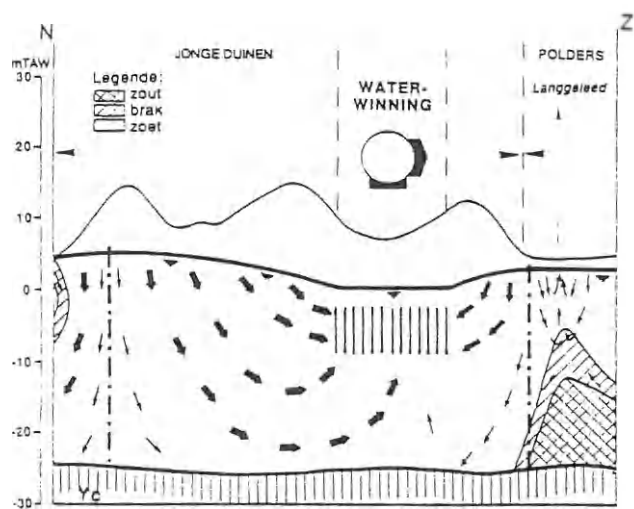
Zeer plaatselijk vindt men soms een zeer hoger grondwatertafel. Deze wordt veroorzaakt door een ondiepe slecht-doorlatende laag. Deze kan uit leem-, klei- en veenhoudende sedimenten bestaan. Het stijghoogteverschil tussen de basis en de top van deze slecht-doorlatende laag is groot. Alleen door gedetailleerde hydrogeologische studies kan men dergelijke stuwwatertafels localiseren.



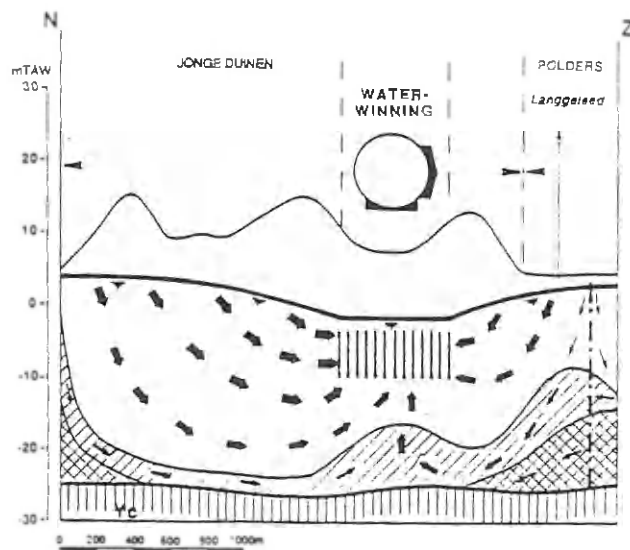
Figuur 3.4: De Jonge Duinen in natuurlijke omstandigheden (LEBBE et al., 1993)



Figuur 3.5: De Jonge Duinen met drainage in de polders (LEBBE et al., 1993)



Figuur 3.6: De Jonge Duinen met een waterwinning (LEBBE et al., 1993)



Figuur 3.7: De Jonge Duinen met een waterwinning in overexploitatie (LEBBE et al., 1993)

In De Panne is er een stuwwatertafel waargenomen ten noorden van de huidige grondwaterwinning (LEBBE, 1978). De invloed van de waterwinning op deze stuwwatertafel is zeer beperkt. De stuwwatertafel reageren veel later op de waterwinning.

In De Haan is eveneens een stuwwatertafel vastgesteld. Dit werd afgeleid uit een gedetailleerde hydrogeologische studie door DEVOS (1984).

3.2. 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 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 overgangszone 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 een zekere waterbeweging toelaten, sijpelt het recent aangevulde zoetwater. Door moleculaire diffusie neemt het ionen op uit het in de holten opgesloten zeewater. Dergelijke slecht-doorlatende 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 de watertafel nauwelijks boven de gemiddelde zeespiegel. Het neerslagwater kan onvoldoende hydrostatische druk uitoefenen op het zout water, om het tot op grote diepte te verdringen. In de laagstgelegen gebieden komt zout of brak water voor tot aan of nabij het oppervlak.

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 kreekruggen, 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 slecht-doorlatende laag belemmeren bijna volledig het doordringen van het zoet water naar de ondergrond.

De ouderdom van het grondwater neemt toe met de diepte. De ouderdomsverdeling kan zeer complex zijn door de laterale variaties in hydraulische weerstand van de slecht-doorlatende lagen. Slecht-doorlatende en goed doorlatende lagen kunnen veel in zoutgehalte verschillen.

GRONDWATERKWALITEIT

Uit onderzoek is gebleken dat regen en zeewind zorgen voor de afzetting van zouten in kustgebieden. De zouten, opgelost in de verstoven druppeltjes zeewater, die met de wind landwaarts worden gevoerd, kunnen ook zonder tussenkomst van de regen op de duingrond terecht komen. Deze droge depositie zou zich minder ver landwaarts laten gevoelen, dan de aanbreng van zouten via het regenwater. De hoeveelheid zout die door de wind in de duinen wordt aangevoerd, hangt af van de windsnelheid en -richting, de topografie en de begroeiing. Vooral (naaldhout)bossen vangen veel met de wind aangevoerde zouten op (Wind, 1952; Visser, 1973 in DEVOS, 1984). Deze worden van de vegetatie door de neerslag afgespoeld en komen op de bodem terecht. Op die wijze nemen natrium, magnesium, chloride en sulfaat in het zeer ondiepe grondwater toe.

De grondwaterkwaliteit van het infiltrerend duinwater in het ondiepe reservoir kan sterk variëren tussen de verschillende dungebieden en binnen hetzelfde dungebied. Er kan in het studiegebied geen algemene trend opgemerkt worden. In onderstaande tabel worden minima, maxima en gemiddelde waarden weergegeven van gebiedsgerichte studies.

Tabel 3.1. Grondwateranalysen

Parameter	Duingebied ten westen van De Panne (LEBBE, 1978) 23 monsters			Oostduinkerke (MAHAUDEN et al., 1982) 2 monster			Duingebied ten oosten van De Haan (DEVOS, 1984) 4 monsters		
	minimum	maximum	gemiddelde	minimum	maximum	gemiddelde	minimum	maximum	gemiddelde
Na ⁺ (mg/l)	2,75	169,00	23,84	11,34	56,70	34,02	50,10	142,77	81,55
K ⁺ (mg/l)	0,07	4,70	1,96	1,33	25,98	13,66	2,18	5,21	3,26
Ca ²⁺ (mg/l)	11,80	197,40	100,78	29,94	89,82	59,88	94,30	157,10	127,83
Mg ²⁺ (mg/l)	1,00	6,35	4,19	3,29	35,10	19,20	8,05	13,07	11,37
Totaal Fe (mg/l)	0,05	24,78	3,67	0,97	5,65	3,31	0,23	4,12	1,43
Cl ⁻ (mg/l)	16,93	146,60	37,56	22,81	92,32	57,57	107,80	229,14	142,12
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	3,50	261,00	67,30	2,47	17,08	9,78	27,64	260,35	101,41
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,01	0,62	0,11	0,19	0,47	0,33	0,06	0,30	0,16
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	117,12	423,34	264,05	276,94	298,90	287,92	202,52	394,60	301,34
CO ₃ ²⁻ (mg/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	-	-	-	0,005	0,025	0,015	0,21	3,95	1,39
pH	7,00	8,20	7,40	7,35	7,95	7,65	-	-	-
TAC	9,60	34,70	21,69	22,70	24,50	23,60	-	-	-
SiO ₂ (mg/l)	1,07	35,75	15,88	13,34	23,90	18,62	8,00	15,80	11,20
Tot. hardh. (°F)	12,22	51,71	27,41	17,95	20,78	19,37	29,61	51,60	39,39
Bl. hardh. (°F)	3,32	27,81	9,29	4,98	6,79	5,89	8,00	42,05	19,54
geleideb.h. (°F)	230,00	1646,00	576,00	466,00	670,00	568,00	768,00	1513,00	1122,00

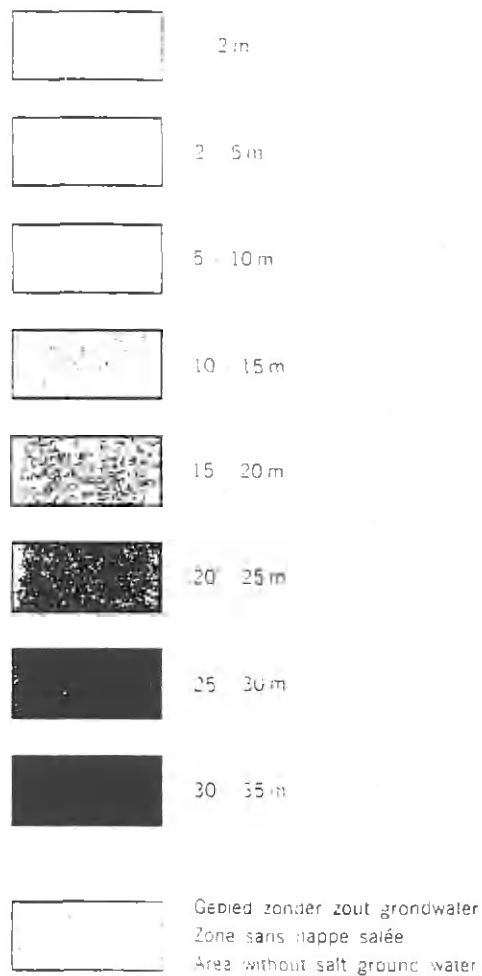
VERZILTINGSKAART

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 resistiviteitssonderingen werden de isopachen van de zoetwatervoorraad in het kwartaire reservoir gekarteerd (Fig. 3.8). Een grondwater wordt als zout omschreven wanneer het zoutgehalte ervan hoger is dan 1500 mg/l (DE BREUCK et al., 1974).

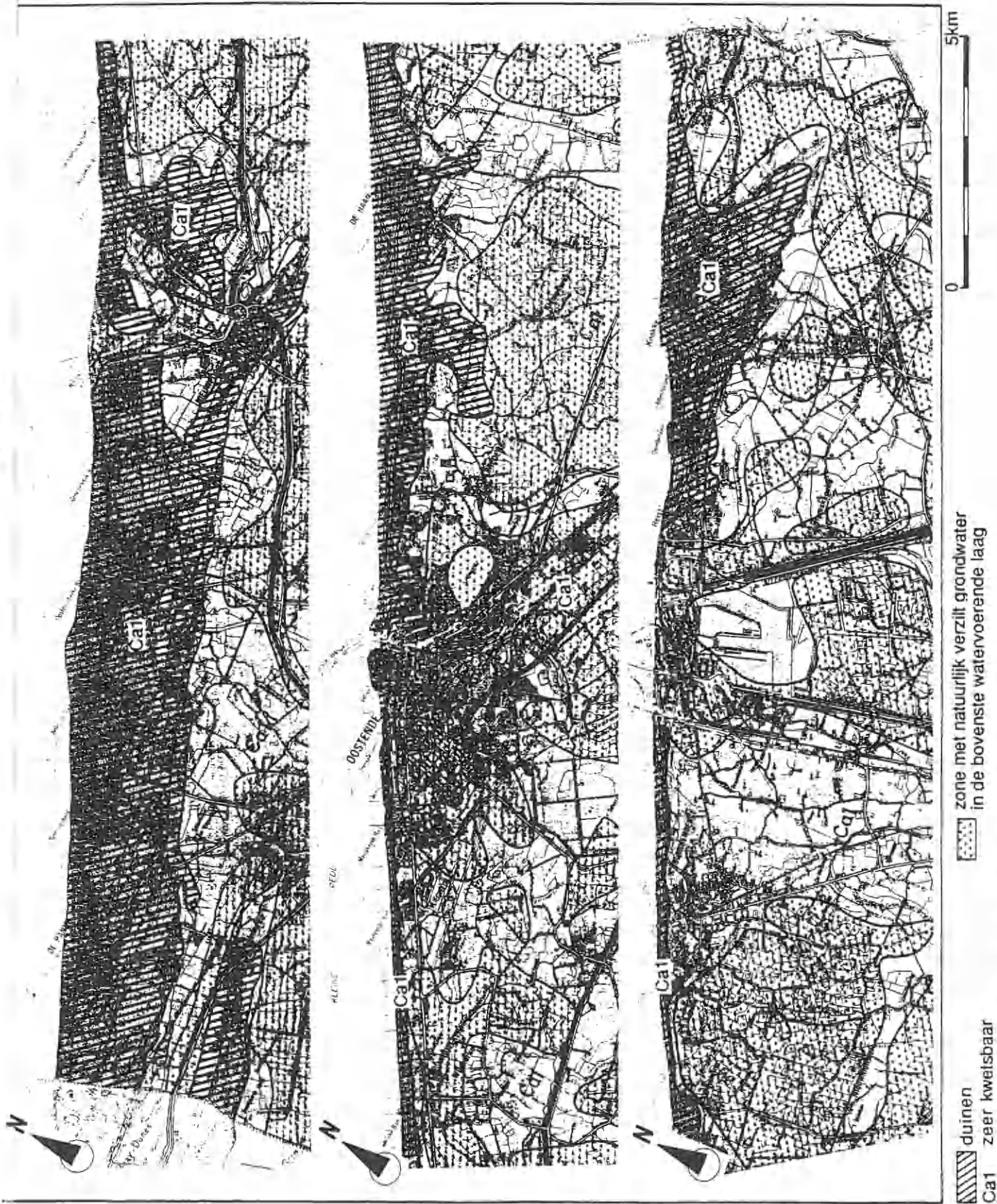
VERKLARING - LÉGENDE - LEGEND

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



Figuur 3.9: Grondwaterkwetsbaarheidkaart (LOY & BAETEN, 1987)

3.3. Grondwaterkwetsbaarheid

Om de grondwaterkwetsbaarsheidskaart op te stellen werden verschillende factoren in rekening gebracht: de lithologie van de doorlatende laag, de lithologie en de dikte van de bedekkende laag, de dikte van de onverzadigde zone. De kwetsbaarsheidskaart van het grondwater in West-Vlaanderen geeft de freatisch watervoerende laag als zeer kwetsbaar aan (Fig. 3.9). De reden hiervoor is het ontbreken van een slechtdoorlatende deklaag (duinen, strand en kreekruggen) of de geringe dikte van de deklaag (poldergronden). Hierdoor kan elke verontreiniging aan het maaiveld ongehinderd in het grondwaterreservoir terecht komen. Op de kwetsbaarsheidskaart is in de duinen de kwetsbaarsheidsindex Ca1 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.

3.4. Evapotranspiratie en infiltratie

Van de totale hoeveelheid neerslag is er een gedeelte dat verdampt, een gedeelte dat oppervlakkig afvloeit en een gedeelte dat in de grond dringt. Dit is functie van de toestand van het oppervlak, de geologische gesteldheid, het klimaat, de topografie, enz.

Formule van de grondwaterbalans:

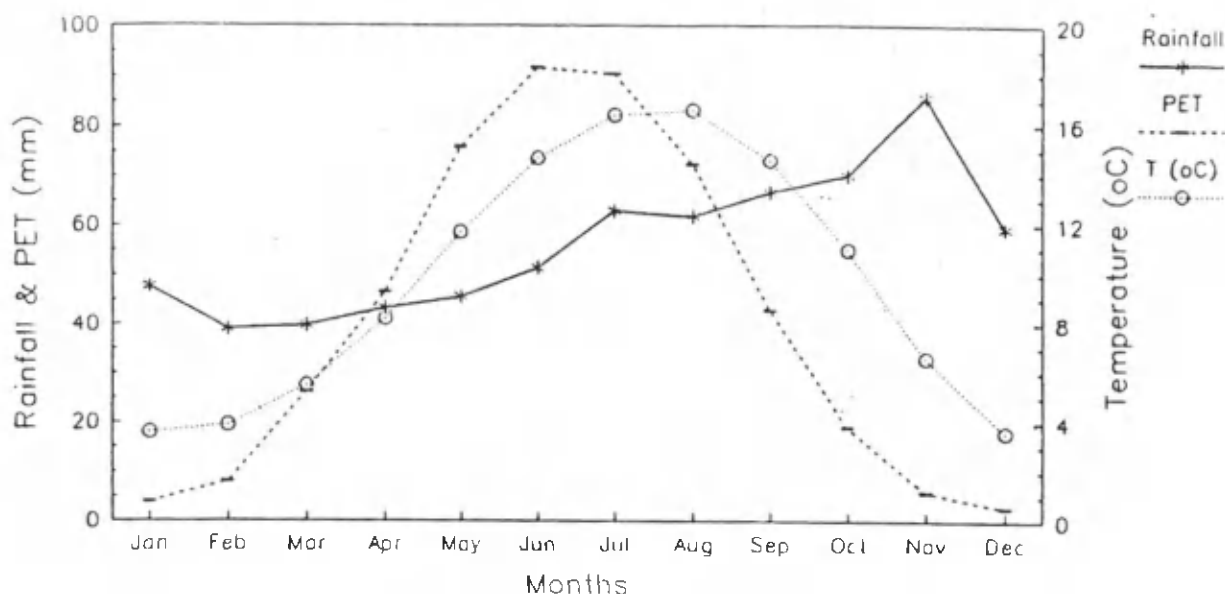
$$\text{invoer} = \text{uitvoer}$$

$$P = E + \text{berging} + \text{oppervlakte afvloeit}$$

waarin: P = hoeveelheid neerslag
 E = evapotranspiratie
 berging = aanvulling van het grondwaterreservoir

De evapotranspiratie kan berekend worden aan de hand van de methode van Penman en is afhankelijk van klimatologische factoren. De oppervlakkige afvloeit in de duinen waarbij water naar de rivieren of beken wordt afgevoerd, is nihil. Voor de hydrogeologie is de aanvulling van het grondwaterreservoir van belang.

Er zijn weinig gegevens voor het studiegebied bekend. In het duingebied van De Panne werd in het kader van een hydrogeologisch onderzoek door LEBBE (1978), de grondwaterbalans berekend voor de periode 1957-1976 door middel van de methode van Penman. Dit 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. Hieruit werd afgeleid dat het jaarlijks gemiddelde neerslagoverschot voor het duingebied van de Panne voor de betrokken periode gelijk is aan 280 mm.



Figuur 3.10: 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 aan de hand van gegevens van LEBBE, 1978)

Voor een meer gedetailleerde behandeling van de evapotranspiratie wordt verwezen naar de deelstudie pedologie.

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 de voogdijoverheid. 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 capillaire opstijging.

Een drainagesysteem in gebieden met zoute kwel verwijdert slechts een gering gedeelte van het zoute water en belet bovendien dat (zoet) neerslagwater voldoende infiltreert, daar het relatief snel afgevoerd wordt.

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 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, toeneemt met het oppervlakte-aandeel van de voegen in het wegdek. 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 gemiddelde voegoppervlakte van 18,3% van de totale oppervlakte. 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).

Er bestaan berekende infiltratiesnelheden doorheen verschillende wegdekken. Deze waarden zijn in de uitgebreide deelstudie hydrogeologie (DE BREUCK et al., 1995) opgenomen.

B. Afvoer via riolering

Indien de riolen onder de grondwaterspiegel liggen, bestaat de mogelijkheid dat grondwater door lekkende huisverbindingen 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 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 de riolering terechtkomt te berekenen, wordt het begrip afvloeiingscoëfficiënt ingevoerd. Er werden waarden berekend voor de afvloeiingscoëfficiënt in functie van de bebouwingsdichtheid. Deze coëfficiënten zijn in de uitgebreide deelstudie hydrogeologie (DE BREUCK et al., 1995) opgenomen.

In de steden wordt de regenneerslag zo vlug mogelijk afgevoerd langs riolen. Gemiddeld 60% van de neerslag, tot zelfs 85% in het stadscentrum, worden op deze wijze aan de bodem onttrokken (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

4.3.1. Algemeen

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, het 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 grondwatertafel, die resulteert in een vermindering van de grondwaterkwel of de grondwateraanvulling, en in mindere mate van de evapotranspiratie. Wanneer men teveel grondwater onttrekt wordt het evenwicht verbroken en wordt het grondwaterreservoir uitgeput. De grootst mogelijke onttrekking is functie van de netto-neerslag. Men neemt aan dat gemiddeld één kwart van de netto-neerslag kan ontgonnen worden (DE SMEDT et al., 1984).

De mate en de uitgestrektheid van de grondwaterstands daling is afhankelijk van de gewonnen hoeveelheid en van de bouw van de ondergrond. Naarmate men meer water onttrekt, neemt de omvang van de daling toe. Ook de wijze van winning heeft 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 waterstanden 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).

4.3.2. 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 in de duinen 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 door een winning ontstaat, 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 spaarbekkens 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 het duinwater. De volumetrische uitbreiding van de lens gebeurt traag, in tegenstelling met de voortplanting van de druktoename. Door de druktoename in het grondwaterreservoir stijgt de watertafel. 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 men alleen 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 er zich tussen het grondwaterreservoir en het geïnfilterde water een evenwicht stellen en 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 een 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 voor waterwinning voorzien zijn, zouden aldus optimaal benut worden en het dreigende verziltingsgevaar zou 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). Dit is schijnbaar in tegenstrijd met de grondwaterkwetsbaarheidskaart die de freatische watervoerende laag in de duinen aangeeft als zeer kwetsbaar. De informatie op die kaart heeft betrekking op lange termijnen. Daartegenover is de invloed van calamiteiten meestal korststondig. De vervangende watervoorraad wordt gedurende korte termijn aangesproken. In dit opzicht is de ondergrondse grondwatervoorraad minder kwetsbaar dan het oppervlaktewater.

Volgens BAKKER (1981) kan men een onderscheid maken tussen twee vormen van diepte-infiltratie. In het ene geval is de infiltratie-put nauw omsloten door een ring van putten die freatisch water winnen. Het geïnfilterde water wordt nagenoeg volledig en onmiddellijk teruggewonnen, samen met een kleine hoeveelheid duinwater. 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 het andere geval kan het infiltratiewater betrekkelijk ongestoord afstromen in het bovenste watervoerend 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 een wijde omgeving van het infiltratiegebied menging van duinwater met infiltratiewater plaatsvindt, waardoor bodem en grondwater een onnatuurlijke kwaliteit krijgen.

Men kan ook grintlichamen onder hoge duingebieden aanbrengen. 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).

Het water gewonnen uit de kwartaire afzettingen kan gemengd worden met water afkomstig van diepere lagen, zoals het Landeniaan. Het is onmogelijk om enkel water afkomstig uit het Landeniaan te gebruiken als leidingwater, omdat de kwaliteit niet voldoet aan de drinkwaternormen (F^- boven 1,50 mg/l). Door het gebruik van grondwater van het Landeniaan kan men de winning van duinwater verminderen. Hierdoor zal de grondwatertafel minder sterk fluctueren (mondelinge mededeling LEBBE).

Bij het stopzetten van de grondwaterwinning in de duinen stopzetten zal de grondwatertafel geleidelijk stijgen. De zoetwaterlens onder de duinen zal toenemen. Het brakke en/of zoute grondwater, zal verdrongen worden in de richting van de zee en de polders. De oorspronkelijke grondwaterstroming zal zich geleidelijk herstellen.

4.4. Verzilting

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

Verzilting, d.w.z. toename van het zoutgehalte in het water, wordt zowel door natuurlijke als door menselijke invloed veroorzaakt. Het zoute grondwater is nooit helemaal uit de freatisch watervoerende laag 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 zeekanalen, zoals het Boudewijnkanaal, heeft plaatselijk het grondwaterreservoir verzilt. De 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.

5. Duin-polder overgangszone als kwelzone

5.1. Huidige toestand

Van de neerslag die in de grond sijpelt beweegt ongeveer de helft zich in de richting van de zee, de andere helft naar het achterliggende polderland. Dit laatste gedeelte kan daar als zoet 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 bouw van het grondwaterreservoir.

Figuur 5.1 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 grondwatertoestand, zowel wat de stroming als de kwaliteit betreft, is in het kustgebied overal door de mens beïnvloed. De waterbeheersing van de polders, een door de mens geschapen landschap, heeft ook zijn weerslag op het grondwater in de duinen. Door zijn lage ligging t.o.v. de gemiddelde zeespiegel zou het poldergebied zonder menselijke tussenkomst regelmatig door de zee worden overstroomd, waardoor een brak moerasgebied zich zou vormen.

De poelen die in de polders voorkomen kunnen zoet water bevatten. Het neerslagwater sijpelt niet of slechts langzaam in de grond omdat de bovenlaag uit polderklei bestaat. Tijdens droge zomers kunnen deze poelen droog staan, of kan er door kwel, zout water in voorkomen. De krekens die in de polders voorkomen, kunnen tijdens droge zomers een zoutere waterkwaliteit hebben dan in de winter, door het optreden van zoute kwel.

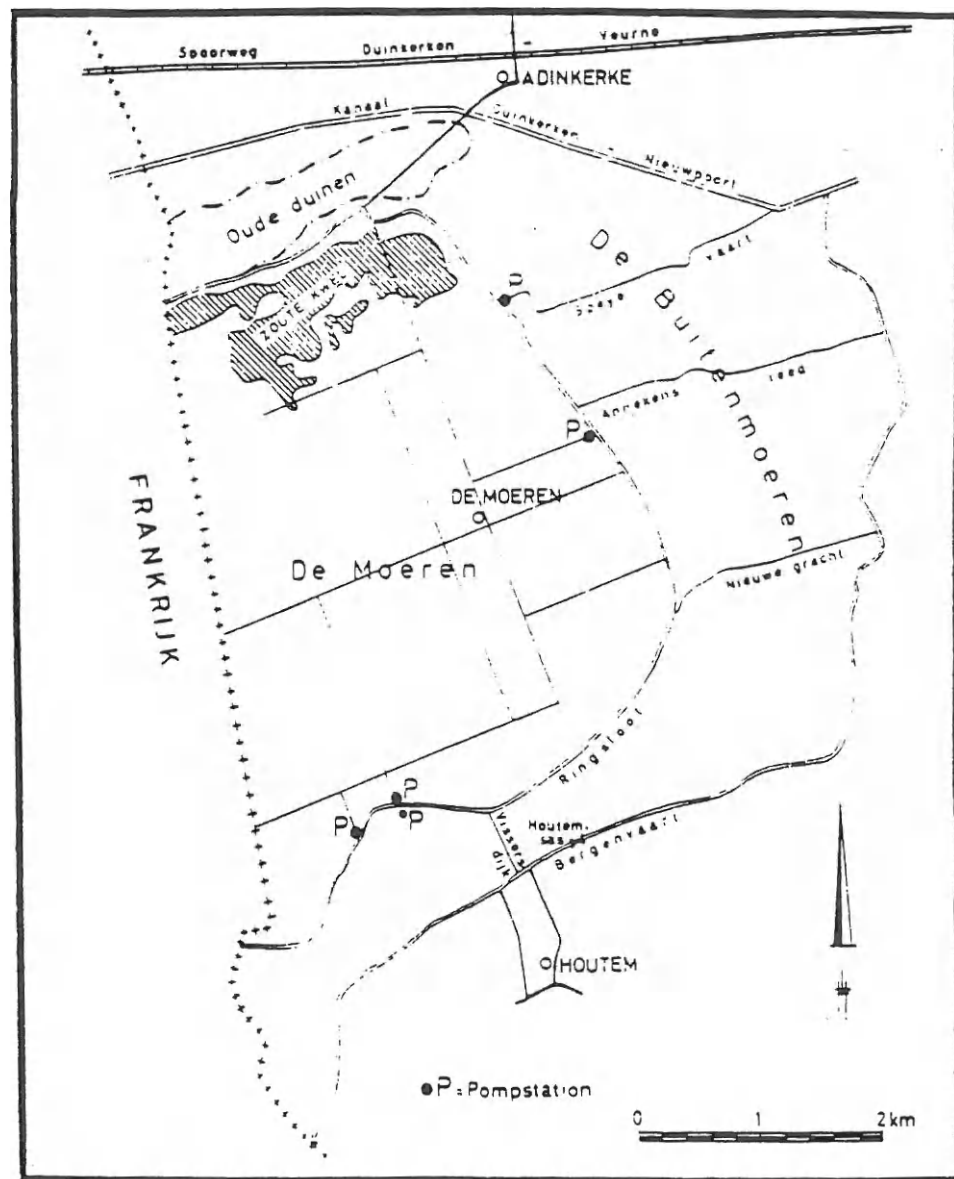
De aanleg van moerassen door verlaging van het maaiveld door uitgraving in de duin-polderovergangszone, kan leiden tot een kleine daling van de grondwatertafel, omdat er meer water beschikbaar is voor verdamping. De grondwaterscheidingskam verplaatst zich dan verder van de polders. Voor een evolutie van een dergelijke ingreep op de grondwatertoestand moet een gebiedsgerichte hydrogeologische studie worden uitgevoerd.

5.2. Herstelmogelijkheden

Er kunnen verschillende scenario's beschreven worden om een vernatting van de binnenduinrand te veroorzaken.

Het is theoretisch mogelijk om het waterpeil van beken en de kanalen te verhogen. Hierdoor zal de grondwatertafel verhogen. Naarmate men zich van de beek, het kanaal verwijdt, neemt de verhoging af. Omdat de ondergrond in de kuststreek zeer heterogeen is dient iedere ingreep vooraf grondig onderzocht te worden.

Als ingrepen in het westelijk kustgebied zou men de volgende voorbeelden kunnen beschrijven. Men kan het peil van het Langgeleed zodanig verhogen dat het gebied tussen de Zeepanneduinen (Koksijde) en halfweg de Oosthoekduinen (De Panne) vernat. Daardoor verplaatst de kwel zich landwaarts en vergroot het natuurlijke infiltratiegebied



Figuur 5.1. De zoute kwel in het noorden van de Moeren, voor 1957 (AMERYCKS & T'JONCK, 1957 in DE VOS, 1985)

van de duinen. Het Langgeleed draineert niet langer, maar irrigeert. De grens tussen zoet en zout water zal hierdoor op lange termijn verdiepen. Tijdens de winterperiode kan men het peil in het Langgeleed handhaven met het wateroverschot uit de omliggende gebieden. Hierbij moet men wel rekening houden met de slechte kwaliteit van dat water. Gedurende de afvloeiperiode is er geen wateroverschot en kan dit problemen opleveren om het peil constant te houden.

Een andere mogelijkheid is het afbouwen van de waterwinning in de duinen van De Panne (Calmeyn-Westhoek complex). Daardoor zal de grondwatertafel geleidelijk stijgen. In de duin-polder overgangszone zal hij overal op ongeveer hetzelfde peil komen. Door minder water te onttrekken zal de zone met verlaagde grondwatertafel kleiner worden en het gedeelte waar het Langgeleed nu infiltreert t.g.v. de waterwinning, zal verkleinen.

Er bestaat een mogelijkheid om de grondwatertafel te doen stijgen door injectie van water (zie ook 4.3.2.). Hiervoor kan men water uit de polders gebruiken waarbij men vooral in de zomer rekening moet houden met de slechte kwaliteit van het water. Door het opslaan van 1 000 000 m³ water in de onverzadigde zone (TARHOUNI & LEBBE, in druk) zal de watertafel in een relatief groot gebied stijgen waardoor voornamelijk in de polders een sterke kwelwerking zal optreden. Door injectie in de duinen kan men de winning van het natuurlijke duinwater verminderen en gebruikt men een klein gedeelte van het polderwater, dat normaal naar zee vloeit, als drinkwater.

Door de combinatie van de peilverhoging in het Langgeleed en de afbouw van de grondwaterwinning worden de effecten gecumuleerd.

Het peil van het grondwater in het gebied tussen de Oude Duinen en de toekomstige autosnelweg (Veurne-Duinkerken) zal slechts in geringe mate verhogen door de drainage in dit poldergebied te verminderen. De zoute kwel zal zich hierdoor meer landwaarts verplaatsen, d.w.z. dat de kwelzone ten zuiden van de autosnelweg zal voorkomen. De zandige ophoging, de bedding voor de toekomstige autosnelweg, is een infiltratiegebied. Aan de hand van een mathematisch model kan de invloed op de omliggende gebieden ingeschat worden indien men een gedeelte van de autosnelweg en het gebied tussen de autosnelweg en de Oude Duinen als nieuw infiltratiegebied beschouwt.

Door de stopzetting van de grondwaterwinning in Cabour zal de natuurlijke toestand zich geleidelijk herstellen (situatie van vóór de waterwinning).

Voor de evaluatie van de gevolgen van elke ingreep moet een gebiedsgerichte hydrogeologische studie worden uitgevoerd.

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 beschikbaar.

Over de grondwaterstroming en de -peilen zijn slechts fragmentarische gegevens bekend, uit locale studies, die daarenboven meestal een beperkte tijdsduur hadden. Er zijn gegevens over de seizoenschommelingen. Een studie van de invloed op de natuurlijke watertafelschommelingen van opeenvolgende droge of natte jaren, dringt zich op, gezien de belangrijke invloed 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 afvoerdebieten door polderwaterlopen zijn onbekend. Deze gegevens zijn nochtans van essentieel belang 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 drie doorlatende lagen.

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 zoet-zoutwaterverdeling in het kustgebied, kan afgeleid worden uit de verziltingskaart. Ook de grondwaterkwetsbaarheid is weergegeven op de kaart.

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

De peilbeheersing in de polders 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.

Door grondwaterwinning in de duinen zal er zich een nieuw evenwicht instellen in de grondwaterstand. Overmatige grondwaterwinning kan een grote daling van de grondwater-tafel veroorzaken. Grondwaterwinning en afvoer door riolering en kanalen kunnen de verzilting in de hand werken.

De invloed van ingrepen op de grondwatertoestand in de duin-polderovergangszone moet vooraf grondig bestudeerd worden vooraleer er conclusies kunnen genomen worden.

Door het kleine aantal aan getedailleerde studies bestaan lacunes omtrent de grondwaterstroming en grondwaterpeilen, de polderpeilen en afvoerdebieten, ligging van de riolering en hun debieten, historiek van de waterwinning, ingrepen in de grondwaterhuishouding.

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, PUDOC, 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 enroachment 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 potetiaalgradiënten 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, B. & 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.

TARHOUNI, J. & LEBBE, L. (in druk, 1995). Optimization of recharge and pumping rates in the dune area of De Panne by means of an invers 3D model. *Water Ressources Management*.

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.

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

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

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

VERMOORTELT, 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.

WALRAEVEN, 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.

WALRAEVEN, 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.

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