



Vakgroep Geologie, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie
Vakgroep Biologie, Onderzoeksgroep Terrestrische Ecologie
Krijgslaan 281, S8, B-9000 Gent

Naar een Geïntegreerd Watervoorzienings- en Natuurontwikkelingsplan (GWEN) voor de Westkust: gaan waterwinning en natuurontwikkeling hand in hand in overdekt waddenlandschap of Lenspolder?

- SYNTHESE -

Opdrachtgever



Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Departement Leefmilieu en Infrastructuur
AMINAL, Afd. Natuur
Koning Albert II laan 20, bus 8
B-1000 Brussel

Maurice HOFFMANN & Kristine WALRAEVENS

2003



Inhoudsopgave

<i>Inhoudsopgave</i>	3
<i>1. Inleiding</i>	4
<i>2. Beschrijving van het overdekte waddenlandschap</i>	5
<i>3. Beschrijving van de Lenspolder</i>	6
<i>4. Potentiële natuurtypes en successiereksen</i>	8
<i>5. Hydrogeologische toestandsbeschrijving</i>	10
<i>6. Geïntegreerde hydrogeologische systeemanalyse</i>	11
<i>7. Concepten voor drinkwaterproductiebekkens in de detailgebieden</i>	15
<i>8. Onderzochte scenario's</i>	18
<i>9. Multicriteria-analyse</i>	23
<i>10 Conclusies met betrekking tot de mogelijkheden tot realisatie van een watervoorzieningsalternatief in het overdekte waddenlandschap of de Lenspolder</i>	29
<i>11 Referenties</i>	31



1. Inleiding

Deze studie werd uitgevoerd door de Universiteit Gent (Vakgroep Geologie, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie en de Vakgroep Biologie, Onderzoeksgroep Terrestrische Ecologie met logistieke en wetenschappelijke ondersteuning van het Instituut voor Natuurbehoud) in opdracht van AMINAL Afdeling Natuur. Ze onderzoekt de mogelijkheden voor het herstel van het ecohydrologische systeem en daarmee samenhangend het herstel van de levensgemeenschappen van de vochtige duinvallei- en duinzoommilieus in de Westkustduinen door de geleidelijke afbouw van de grondwaterwinning in de duinen gekoppeld aan het afremmen van de waterafvoer door sommige polderwaterlopen. Het is de opdracht om binnen het project lokale alternatieve drinkwatervoorzieningen uit te denken, die de geleidelijk af te bouwen grondwaterwinning in de duinen moeten compenseren. Deze alternatieven dienen daarbij geëvalueerd te worden op hun ecologische meerwaarde ten opzichte van de uitgangssituatie en dienen uitgebouwd te worden volgens principes van natuurtechnische milieubouw. Ze worden uitgewerkt in de veronderstelling dat in situ natuurontwikkeling mogelijk is, waarbij sprake kan zijn van een win-winsituatie qua watervoorziening én qua natuurwaarde. De lokale detailgebieden zijn meer bepaald het overdekte waddenlandschap tussen het Vlaamse natuurreservaat De Westhoek en de Cabourduinen te Adinkerke en de Lenspolder te Nieuwpoort (fig. 1).

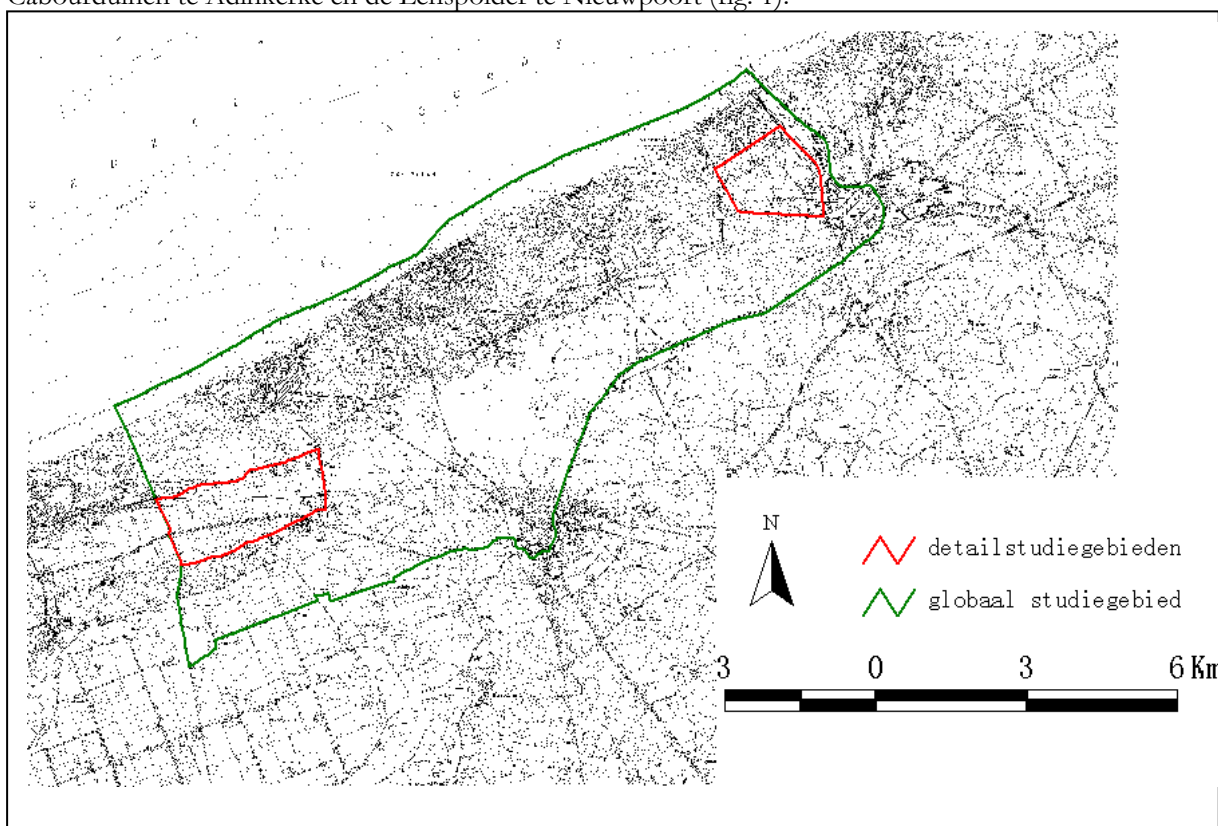


Fig. 1: Afbakening van het globale studiegebied de Westkust en van de twee detailstudiegebieden 'het overdekte waddenlandschap' (Adinkerke) in het westen en de Lenspolder (Nieuwpoort) in het oosten.

De studie omvat twee grote delen: een hydrogeologisch en een ecologisch luik. In het hydrogeologische luik worden eerste de bestaande hydrogeologische gegevens bijeengebracht en aangevuld met vrij aanzienlijke bijkomende veld- en laboratoriumobservaties. De verzamelde gegevens dienen daarna als input voor een hydrogeologische modellering, waarna een aantal waterwinningsalternatieven (zgn. scenario's) worden uitgewerkt en hun hydrogeologische impact gemodelleerd. Binnen het ecologische luik van deze studie worden eerst de in de detailgebieden aanwezige natuurwaarden en de gerealiseerde natuurtypes beschreven, waarna de potentieel mogelijke natuurtypegroepen in de vorm van successiereksen in functie van bodemtextuur en hydrologisch wijzigende omstandigheden worden

beschreven. De lokale watervoorzieningsscenario's worden dan één voor één ecologisch geëvalueerd in functie van de mogelijkheden voor ecologische meerwaarderealisatie via natuurontwikkeling. Per scenario wordt ook een ruimtelijke invulling van de potentieel voorkomende natuurtypes gemodelleerd. Tenslotte wordt in een integrerend slot de verschillende lokale watervoorzieningsscenario's geëvalueerd via een multicriteria-analyse, met zowel hydrogeologische als ecologische evaluatiecriteria.

2. Beschrijving van het overdekte waddenlandschap

Baeteman (2001) schetste een geologische ontogenese van de zogenaamde oude duinengordel van Adinkerke-Ghyvelde en zijn omgeving. Het gaat hier niet om een restant van een pre-romeinse kustduinlijn zoals vroeger werd verondersteld (de kustlijn 4300 B.P. volgens De Ceunynck (1985, 1992)), maar om een beweeglijk, zandaccumulerend en duinvorming inducerend vloedmerkfront aan de zuidrand van een uitgestrekte intertidale zandvlakte (het huidige Westhoekreservaat en het tussenliggend (zogenaamde) overdekte waddenlandschap tussen de Westhoek en de Oude duinen van Adinkerke-Ghyvelde innemend), die naar het zuiden overging in slikken, die lokaal opslibden tot begroeide schorren. Dit vloedmerkfront ontstond hoogstwaarschijnlijk tussen 5000 en 4500 B.P. in het westwaarts gelegen Franse Ghyvelde, waarna de progressieve ontwikkeling vanuit Frankrijk naar het oosten gebeurde in verschillende stappen. Hun huidige vorm kregen de Oude duinen van Adinkerke-Ghyvelde vermoedelijk pas ongeveer 1500 B.P. en dus pas in historische tijden (Baeteman 2001). Het kleidek in het overdekte waddenlandschap dat afgezet is op de voormelde zandvlakte is relatief dun en wigt uit naar beide duingordels.

In het gebied komen kreekruggronden, overdekte waddegronden, overgangsgonden, geëgaliseerde duingronden, duingronden en kunstmatige gronden voor. Qua textuur komen zandige, slibhoudend zandige en kleiige bodems voor.

De overgang van duin naar polder (binnenduinzoom) is zeer abrupt. De scherpe scheiding ontstond als gevolg van menselijke activiteiten. De zuidelijke helling van de binnenduinstrand (ten zuiden van het Westhoekreservaat) werd in het verleden met bomen beplant, om overstuiving van de achterliggende landbouwgronden tegen te gaan.

Het driehoekige poldergebied tussen het Langgeleed en de oude spoorlijn, heeft een open karakter met weinig kleine landschapselementen en bestaat hoofdzakelijk uit akkers. De perceelsgrachten en polderslootjes zijn erg verruigd en biologisch weinig interessant. De achterkant van 'Plopsaland' is vanuit het gehele gebied zichtbaar en is landschappelijk erg storend; de parking dringt diep de polder in.

De Zwarte hoek, het landbouwgebied tussen het kanaal en de spoorlijn, heeft een open karakter met weinig kleine landschapselementen; het is biologisch-ecologisch veel meer aangetast dan het vorige deelgebied. Het bestaat hoofdzakelijk uit akkers. De sporadische graslanden komen vooral voor direct ten zuiden van de spoorlijn, ze zijn sterk bemest en zeer soortenarm. In de westelijke hoek, tegen de Franse grens, ligt het voormalige zandwinningsgebied, de 'Drie Vijvers', dat nu een recreatiedomein is. Rond de vijvers zijn een camping en een manege gevestigd. Midden in het detailgebied bevindt zich een overdekte stort.

De meeste percelen van het gebied tussen het kanaal en de Cabourduinen, aangeduid als 'Veldhoek' en 'Woestijn', zijn akkers. Graslanden komen voor in het oosten van het gebied, gelegen bij de kern van Adinkerke, ze zijn soortenarm en sterk bemest. Een beperkt aantal bomenrijen en houtkanten is gelegen rond hoeves. De graslanden met enige biologische waarde zijn deze direct ten noorden van de Cabourduinen. Het zijn verarmde duingraslanden met nog enig microreliëf, ze vormen een interessant overgangsgebied tussen Cabour en het landbouwgebied.



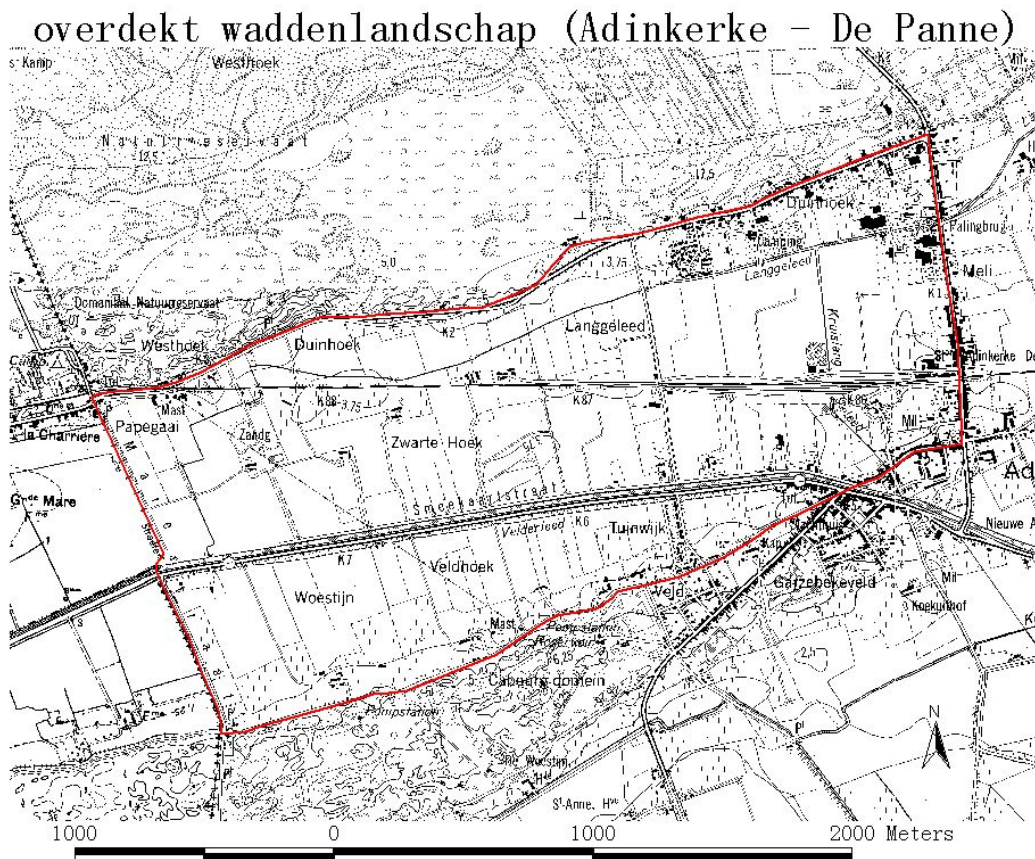


Fig. 2 – Afbakening van het detailgebied 'Overdekt waddenlandschap' tussen het VNR De Westhoek en de Cabourduinen.

3. Beschrijving van de Lenspolder

De huidige Lenspolder is ontstaan als een schorvlakte rond een westelijke kreek (Vloetgat) van het IJzerestuarium (Termote, 1992: 61). In de 13^{de} eeuw werd, tijdens de inpoldering van het IJzerestuarium, o.a. de Groenendijk (nu in het landschap niet meer herkenbaar) aangelegd, waardoor waarschijnlijk de Lenspolder ontstond. Zeewaarts, ten noorden van de Groenendijk groeide een strand aan. Deze buitendijkse strandvlakte werd spoedig van de zee afgesnoerd door een nieuwe duingordel (Simli III duinen), die dan weer de strandvlakte gedeeltelijk overstoof. Dankzij de neerslag is deze strandvlakte geleidelijk aan ontzilt, waardoor er zich halweg de 19^{de} eeuw kleinschalige landbouw (aardappelen, rogge, gerst,...) kon ontwikkelen. De resterende smalle strandvlakte tussen de Lenspolder s.s. en de Simli III duinen staat nu bekend als de fossiele strandvlakte van Groenendijk.

In het gebied komen strandruggronden, schorgronden, overgangsgonden, geëgaliseerde duingronden, duingronden en kunstmatige gronden voor. Qua textuur komen zandige, slibhoudend zandige en kleiige bodems voor.

De fossiele strandvlakte, gelegen tussen de Victorlaan en de Louisweg, is van bijzondere waarde voor het natuurbehoud. Het grondwaterregime is er nog vrij ongestoord (geen naburige grootschalige waterwinningen). De zandgronden, die vanuit de in de nabijheid gelegen hogere duinen zoet kwelwater ontvangen, vormen een zeer bijzondere biotoop. Duinwater wordt permanent aangevoerd en is rijk aan kalk en ijzer. Het feit dat het waterregime van de fossiele strandvlakte niet al te veel gestoord werd, onderscheidt dit gebied van vele andere binnenduintrandgebieden. De lichte reliëfverschillen zorgen voor extra variatie (Dumortier & Hoffmann, 1997). Er komen ondermeer hooiland, kalkrijk duingrasland en kleinschalige weilanden met duingraslandrelicten voor.

De Lenspolder *sensu stricto* is vlak en heeft een vrij open karakter zonder bebouwing. Bomenrijen of haagkanten komen er niet voor. Enkel de sloten met een soortenarme en dichte rietvegetatie kunnen als smalle lijnvormige kleine landschapselementen aanzien worden. Ondanks zijn 'openheid' wordt het gebied van verschillende kanten aangetast door de uitbreiding van Nieuwpoort: langs de Dudenhoffenlaan, in het oosten ligt de Jachthavenwijk, langs de Kinderlaan ligt een landschappelijk storend Sunparkscomplex en langs de Victorlaan en de Canadalaan komt lintbebouwing voor. Door de bebouwing is er van het contrast tussen duinen en polders weinig te zien. De Lenspolder s.s. werd praktisch volledig in akker omgezet en heeft slechts een geringe actuele biologische waarde. Een potentieel zeer waardevol element binnen de Lenspolder is de Beek zonder Naam.

De kopjesduinen in het zuiden vormen een golvend landschap met talrijke kleine afgeronde toppen en zachte hellingen. Deze oude duinen zijn volledig door vegetatie gefixeerd. Het landschap is uniek, maar aangetast. In het detailstudiegebied zijn de kopjesduinen deels bebost (populieren), deels begraaasd (vrij extensief grasland) en deels bebouwd (lintbebouwing). De drukke weg en de lintbebouwing geven het gebied een chaotische indruk. In het zuidelijk deel van het gebied bevinden zich talrijke bunkers en bomkraters uit de Tweede Wereldoorlog. Er resteren aldaar nog heel wat duingraslandrelicten.

Lenspolder (Nieuwpoort)

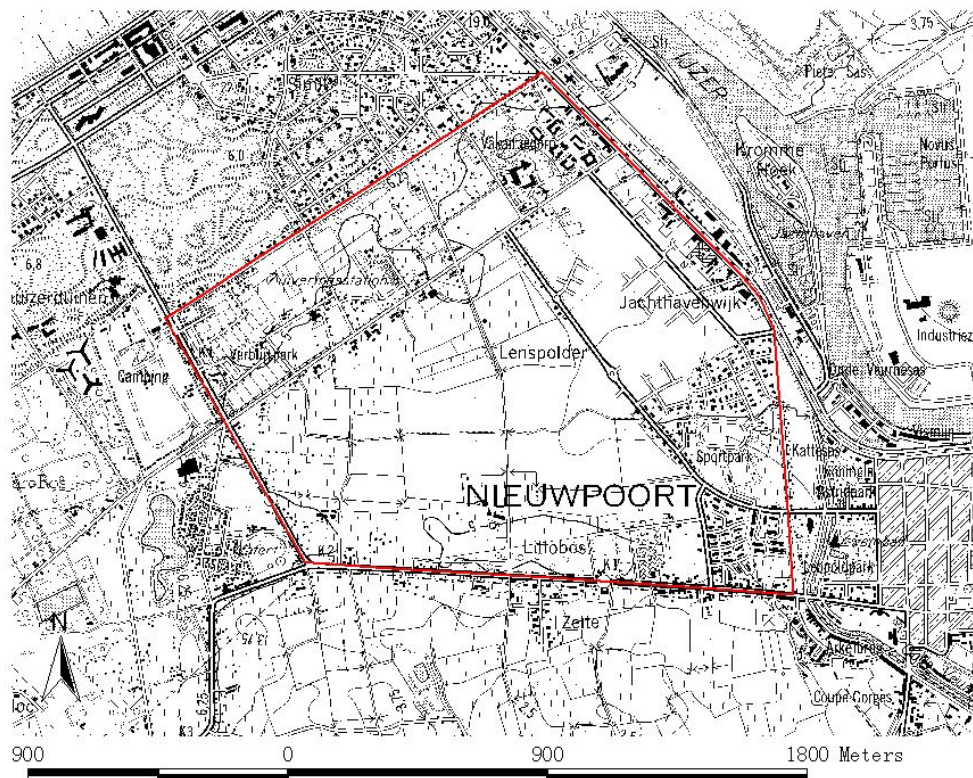


Fig. 3 – Afbakening van het detailgebied 'Lenspolder' in Nieuwpoort.

4. Potentiële natuurtypes en successiereeksen

Potentiële natuurtypes (tabel 1) voor de detailgebieden werden onderscheiden op basis van de bestaande bodemtextuurtoestand, de basenrijkdom van het substraat en op basis van de huidige en volgens de lokale watervoorzieningsscenario's te verwachten hydrologische toestand. Daarbij werd rekening gehouden met drie mogelijke beheersvormen (maaïen, extensieve begrazing en autonome ontwikkeling). We onderscheiden daarbij natuurtypes (plantengemeenschappen) van permanent water (open zoetwatervegetaties, moeras-, oever- en verlandingsvegetaties), natte standplaatsen, (tijdelijke pioniervegetaties, natte mesotrofe hooi- en graslanden, moeras-, oever- en verlandingsvegetaties, natte struwelen, natte, voedselrijke bossen), vochtige standplaatsen (vochtige, voedselrijke hooi- en graslanden, ruigtes, nitrofiële zoomvegetaties, vochtige en natte struwelen, matig voedselrijke, vochtige bossen) en droge standplaatsen (ruderaal vegetaties, droge graslanden op zandgrond, vrij droge, voedselrijke graslanden, droge heidevegetaties, droge zoomvegetaties, droge struwelen, loofbossen op voedselarme, droge gronden).

Om tot een ruimtelijke invulling van 'successiereeksen' te komen, bij een specifieke 'vochttoestand' en 'bodemtextuur', werd van elk watervoorzieningsscenario de kaart 'vochttoestand' gecombineerd met de vereenvoudigde kaart 'bodemtextuur'. De 12 potentiële successiereeksen zijn daarmee:

- successiereeks in permanent water op een zandige bodem;
- successiereeks in permanent water op een kleiige bodem;
- successiereeks in natte omstandigheden, op een zandige bodem;
- successiereeks in natte omstandigheden, op een kleiige bodem;
- successiereeks in vochtig/natte omstandigheden, op een zandige bodem;
- successiereeks in vochtig/natte omstandigheden, op een kleiige bodem;
- successiereeks in vochtige omstandigheden, op een zandige bodem;
- successiereeks in vochtige omstandigheden, op een kleiige bodem;
- successiereeks droog/vochtige omstandigheden, op een zandige bodem;
- successiereeks droog/vochtige omstandigheden, op een kleiige bodem;
- successiereeks in droge omstandigheden, op een zandige bodem;
- successiereeks in droge omstandigheden, op een kleiige bodem;

Aan de termen 'permanent water', 'nat', 'nat-vochtig', 'vochtig', 'vochtig-drog' en 'droog' werd een definitie gegeven op basis van de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld in de maanden februari (model voor de hoogste grondwaterstand), april (intermediaire grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen) en augustus (model voor laagste grondwaterstand). Per klasse werden voor elk van die drie maanden een range bepaald waartussen de grondwaterstand voor de betreffende maand varieert (tabel 2).

Dit levert de volgende potentiële natuurtypes op in functie van de toegepaste beheersvorm, de bodemtextuur en de vochtigheidstoestand (tabel 1).

Tabel 1 - Potentiële natuurtypes in de detailgebieden in functie van de toegepaste beheersvorm, de bodemtextuur en de vochtigheidstoestand.

Beheer	Maaïen (100%)	Extensieve begrazing	Niets doen	
			kalkrijke omgeving	kalkarme omgeving
Successie-reeks				
Permanent water zand	rietgemeenschap (wintermaaïen)	eendekroosgemeenschap	rietgemeenschap	rietgemeenschap
Permanent water klei	rietgemeenschap (wintermaaïen)	eendekroosgemeenschap	rietgemeenschap	rietgemeenschap
Nat zand	rietgemeenschap	mozaïek van zilverschoongrasland en	wilgenbroek-struweel +	wilgenbroek-struweel +

		wilgenbroekstruweel	<i>elzenbroekbos</i>	<i>elzenbroekbos</i>
Natte klei	rietgemeenschap	mozaïek van zilverschoongrasland en wilgenbroekstruweel	wilgenbroekstruweel + <i>ruig elzenbos</i>	wilgenbroekstruweel + <i>ruig elzenbos</i>
Vochtig/nat zand	moerasspirea-ruigte	mozaïek van zilverschoongrasland en wilgenbroekstruweel	wilgenbroekstruweel + “duinbos” / <i>elzenbroekbos</i>	wilgenbroekstruweel + <i>elzenbroekbos</i>
Vochtig/natte klei	harig wilgenroosje-ruigte	mozaïek van zilverschoongrasland en wilgenbroekstruweel	wilgenbroekstruweel + <i>ruig elzenbos</i>	wilgenbroekstruweel + <i>ruig elzenbos</i>
Vochtig zand	glanshavergrasland	mozaïek van glanshavergrasland, moerasspirea-ruigte en wilgenbroekstruweel	wilgenbroekstruweel + “duinbos” met <i>Acer</i> / <i>abelen-iepenbos</i>	wilgenbroekstruweel + <i>elzen-berkenbos</i>
Vochtige klei	glanshavergrasland	mozaïek van glanshavergrasland, harig wilgenroosje-ruigte en wilgenbroekstruweel	wilgenbroekstruweel met nitrofiële zoom + <i>ruig elzenbos</i>	wilgenbroekstruweel met nitrofiële zoom + <i>ruig elzenbos</i>
Droog/vochtig zand	glanshavergrasland	mozaïek van glanshavergrasland, moerasspirea-ruigte en sleedoornstruweel	sleedoornstruweel met nitrofiële zoom + “duinbos” met <i>Acer</i> / <i>abelen-iepenbos</i> / <i>Ruwe berk</i>	sleedoornstruweel met nitrofiële zoom + <i>eiken-berkenbos</i>
Droog/vochtige klei	glanshavergrasland	mozaïek van glanshavergrasland, braam en sleedoornstruweel	sleedoornstruweel met nitrofiële zoom + [bostype onbekend]	sleedoornstruweel met nitrofiële zoom + [bostype onbekend]
Droog zand	struisgrasgrasland	mozaïek van struisgrasgrasland, braam en sleedoornstruweel	sleedoornstruweel + <i>eiken-berkenbos</i> met <i>Acer</i>	sleedoornstruweel + <i>eiken-berkenbos</i>
Droge klei	glanshavergrasland	mozaïek van glanshavergrasland, braam en sleedoornstruweel	sleedoornstruweel + [bostype onbekend]	sleedoornstruweel + [bostype onbekend]

Tabel 2 – Indeling in vochtclassen in functie van de modellering van te verwachten plantengemeenschappen (natuurtypes) onder verschillende beheersvormen. De indeling is gebaseerd op de hoogste grondwaterstand (februari), een intermediaire grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen (april) en de laagste grondwaterstand (augustus). Waarden zijn de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld. Voor elk van de vochtclassen is een range gedefinieerd waarbinnen de gemiddelde maandelijkse grondwaterstand zich bevindt voor de betreffende maand; alle drie de criteria moeten vervuld zijn om tot de betreffende vochtklasse gerekend te worden. De grenswaarden werden bepaald op basis van literatuuronderzoek.

	permanent water	nat	nat/vochtig	vochtig	vochtig/droog	droog
februari	+ ∞ / -0,05	+0,55 / -0,35	+0,05 / -0,35	-0,25 / -0,45	-0,45 / - ∞	-0,45 / - ∞
april	+ ∞ / -0,05	+0,25 / -0,55	-0,05 / -0,55	-0,55 / -0,75	-0,55 / - ∞	-0,55 / - ∞
augustus	+ ∞ / -0,15	-0,15 / -0,75	-0,75 / -1,15	-0,75 / -1,15	-0,75 / -0,95	-0,95 / - ∞

5. Hydrogeologische toestandsbeschrijving

Op basis van bestaande hydrogeologische gegevens en uitgebreide eigen waarnemingen in het veld werd een hydrogeologische toestandbeschrijving opgemaakt. Hierin worden eerst de verschillende landschappen van het globale studiegebied besproken (het strand, de duinstreek, de Lenspolder, de polderstreek van het Middelland, het inbraakgebied van het inversielandschap, het overdekte waddenlandschap, de binnenduinen van Adinkerke en de Moeren). Daarna komt de grondwaterkwaliteit van het quartaire grondwaterreservoir aan bod., wordt de verziltingskaart voor het globale studiegebied en de detailgebieden besproken en wordt een overzicht gegeven van de werkelijk aan het duingebied ten behoeve van waterwinning onttrokken grondwater. Belangrijk voor de detailgebieden zijn daarbij de werkelijk onttrokken debieten in het Calmeynbos (1.243.290 m³ in 2000), de Cabourduinen (60.881 m³ in 2000) en Sint-André (Doornpanne; 1.658.098 m³ in 2000), debieten die worden doorgerekend in het hydrogeologische model. Door een uitgebreide veldcampagne konden verder de geologische en hydrogeologische bouw van het grondwaterreservoir (in het kader van deze studie worden enkel de quartaire afzettingen, m.a.w. deze voorkomend boven de Formatie van Kortrijk, in detail onderzocht) worden beschreven, werden er resistiviteitsprofielen opgemaakt, werden de horizontale en verticale grondwaterstromingen in het Quartair gereconstrueerd aan de hand van de stijghoogtes in de in het terrein ingebrachte peilbuizen. De eigen metingen lieten bovendien toe om de grondwaterkwaliteit in de peilbuizen te beschrijven. De analyseresultaten tonen aan dat het grondwaterreservoir een verzoetingsproces ondergaat, in de eerste fase treedt een ionenuitwisseling op. De mariene kationen worden uitgewisseld voor Ca²⁺-ionen. Dit proces kan overal waargenomen worden. Afhankelijk van de ligging en het sediment is de verzoeting al dan niet tot de basis van het grondwaterreservoir opgetreden. Vooral in de duinen is het grondwaterreservoir volledig verzoet. In de polders daarentegen, kan aan de basis van het grondwaterreservoir brak tot zout water aangetroffen worden. De verdeling van tot aan de basis van het grondwaterreservoir volledig (ver)zoete en aan de basis brakke tot zoute grondwaterreservoirs wordt in detail per peilbuis besproken voor de twee detailgebieden..

Ten behoeve van de hydrogeologische modellering werden bovendien debietmetingen uitgevoerd in het Langeleed (overdekt waddenlandschap) en de Beek zonder Naam (Lenspolder). De berekende debieten in mei 2001 en september 2001 bedroegen voor het Langeleed respectievelijk 92,5 en 82,8 l/s, voor de Beek zonder Naam was dit respectievelijk 23,6 en 10,0 l/s. Voor zowel de Beek zonder Naam als het Langeleed blijkt het debiet seizoensafhankelijk te zijn. De relatieve invloed van de seizoensfluctuaties is echter veel sterker voor de Beek zonder Naam.



6. Geïntegreerde hydrogeologische systeemanalyse

Met geïntegreerde hydrogeologische systeemanalyse wordt hier bedoeld het opstellen van een conceptueel model van alle relevante hydrogeologische processen, mechanismen en randvoorwaarden die de stroming en de kwaliteit in het quartaire grondwaterreservoir determineren. Dit leidt tot een samenhangend en logisch beeld van de voor de grondwatercycli bepalende fysische en chemische factoren. De ligging van de nieuwe peilbuizen wordt gegeven in fig. 4.

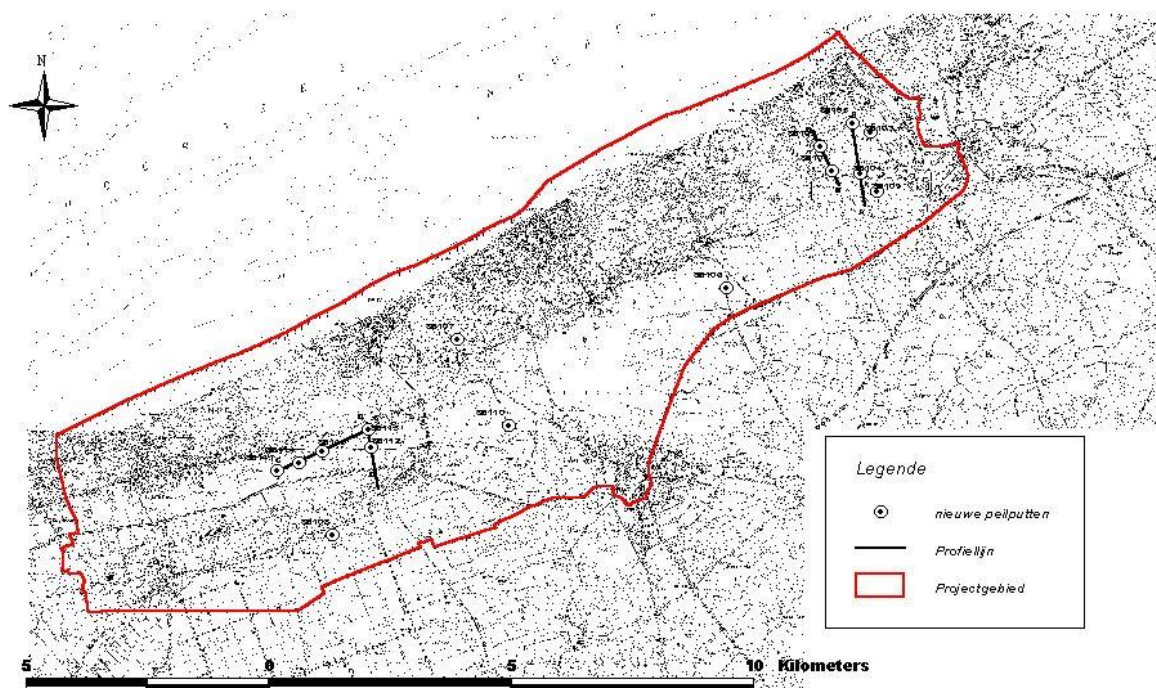


Fig. 4 – Ligging van de nieuwe peilbuizen met aanduiding van de profiellijnen.

Het overdekte waddenlandschap

Tijdens perioden met hoge grondwaterstanden (in de aanvulperiode tijdens de wintermaanden of na zeer natte perioden) stelt zich tussen het Langgeleed en het kanaal een waterscheidingskam in. Hogere infiltratie ten gevolge van neerslag zorgt voor het ontstaan van een lokale stromingscyclus naar het Langgeleed in het noorden en het kanaal in het zuiden. Deze waterscheiding is tot in het diepere deel van het reservoir waarneembaar.

Tijdens perioden met lage grondwaterstanden (de afvloeiperiode in de zomer of perioden van uitzonderlijke droogte) komt een algemene stroming van noord naar zuid voor, onder het Langgeleed door, in de richting van het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort.

De stromingssituatie blijkt hier dus sterk seizoensgebonden te zijn. Het is echter niet geweten of dit fenomeen zich in heel het overdekte waddenlandschap manifesteert. Deze cyclus kan immers slechts vastgesteld worden wanneer minstens twee peilbuizen in een noord-zuid profiel gelegen zijn. Dit is hier enkel het geval voor SB115 en SB112.

De seizoensgebonden stromingscyclus die zich voordoet tussen SB115 en SB112 heeft volgende consequenties voor de kwel/infiltratie spreiding:

- In de wintermaanden staat de watertafel hoog en is het gebied dus nat, maar treedt er infiltratie op. Het voorkomen van vochtige percelen is dus niet te wijten aan het optreden van kwel, maar aan de hogere infiltratie;

- In de zomermaanden staat de watertafel laag en is het gebied dus droog, maar treedt er wel kwel op. Het opkwellend water wordt lateraal weggedraineerd naar het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort toe en komt niet tot aan het maaiveld.

Peilbuis SB114 vertoont slechts kleine verschillen tussen hoge en lage standen. Er komt hier steeds opwaartse stroming voor. Deze peilbuis wordt beïnvloed door de zandwinningsput waardoor de seizoenfluctuatie van de watertafel beperkt is. Aangezien de put vrij diep is zullen ook de stijghoogten dieper in het reservoir weinig variëren.

De stijghoogte-evolutie in peilbuis SB111 verschilt fundamenteel van die in de andere peilbuizen: de opgemeten peilen op het einde van de afvloeiperiode (augustus) zijn hoger dan op het einde van de aanvulperiode (maart). De reden hiervoor is onduidelijk, maar antropogene invloedsfactoren kunnen hier meespelen.

Hydrochemisch gezien is het belangrijkste kenmerk van het overdekte waddenlandschap de duidelijke verticale hydrochemische stratificatie van het grondwater. Grosso modo kan het reservoir worden opgedeeld in twee hydrochemische lagen:

- Een bovenste laag met weinig gemineraliseerd (dus vrij zoet) water dat meestal van het CaHCO_3 -type is.
- Een onderste laag met sterk gemineraliseerde waters ($> 20 \text{ g/l}$) van het NaCl -type met een duidelijk saliene oorsprong.

De overgang tussen beide lagen gebeurt geleidelijk waarbij vooral NaHCO_3 -waters worden aangetroffen.

De waterkwaliteit in de peilbuizen SB115 (langs het Langgeleed) en SB112 (centraal tussen het Langgeleed en het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort) reflecteren de stromingscyclus die hier tijdens hoge waterstanden wordt aangetroffen. In SB112 is het reservoir bovenaan sterker verzoet dan in SB115. Tijdens natte perioden percoleert hier neerslagwater dat zowel naar het noorden als naar het zuiden wegstroomt. Deze cyclus was echter (nog) niet in staat om al het diepe zoute water te verdringen, vandaar dat in de diepste filter in SB112 nog sterk salien NaCl -water wordt aangetroffen. In SB115 wordt bovenaan geen CaHCO_3 -water gevonden, wel tamelijk zoet water van het CaMix en NaHCO_3 -type. In de filters F1, maar ook in F2, wordt hier NaCl -water gevonden. Hieruit blijkt dat het zoete water dat vanuit de duinen komt toegestroomd hier via een ondiepe cyclus door het Langgeleed weggedraineerd wordt. Tegelijkertijd kan de upconing van het diep salien water door de drainerende werking van het Langgeleed ervoor zorgen dat hier tamelijk ondiep verzilting wordt vastgesteld.

De peilbuis SB113, iets ten zuiden van het Langgeleed, beantwoordt niet aan de bovengeschetste situatie. In deze peilbuis wordt op alle diepten vrij zoet water aangetroffen. Bovenaan en onderaan in het reservoir vindt men CaHCO_3 -water, gescheiden door NaHCO_3 - en CaMix -water. De aanwezigheid van het NaHCO_3 -type betekent dat de verzoeting in dit deel van het reservoir minder ver gevorderd is dan in de onderliggende laag. Dit is wellicht te wijten aan een verschil in horizontale doorlatendheid waardoor de laterale toestroming van zoet water vanonder de duinen groter is in de onderste laag. Het bovenste CaHCO_3 water kan eveneens afkomstig zijn van een laterale toevloei of van een kleine lokale stromingscyclus.

Ter plaatse van SB113 is het drainerende vermogen van het Langgeleed blijkbaar te klein om het vanuit het noorden toevloeiend duinwater grotendeels op te vangen. Dit heeft hier lokaal voor een grotere verzoeting van het reservoir gezorgd.

Het water dat in peilbuis SB114 wordt gevonden wijkt totaal af van het water in de andere peilbuizen: het is namelijk zeer sterk verdund zeewater. De genese ervan is wellicht gekoppeld aan de zandwinningsput. Hierin vindt mogelijk een menging plaats van diep salien opkwellend water met zeer weinig gemineraliseerd regenwater. Het mengsel is in de omgeving van de put in het reservoir geïnfilteerd, maar is waarschijnlijk niet representatief voor het overdekte waddenlandschap.

Peilbuis SB111, tegen de Franse grens, vertoont dezelfde stratificatie als in SB112 en SB115 (bovenaan zoet, onderaan zout), maar de overgangszone is hier vrij scherp.

Door de overwegend verticale hydrochemische stratificatie zal de kwaliteit van het opgepompte water direct gecorreleerd zijn met de diepte waarop gepompt wordt:

- Bij ondiepe pumping zal aanvankelijk tamelijk goed water (van het CaHCO_3 -type) worden opgepompt. Na verloop van tijd zal door upconing van diep zout water een saliene bijdrage te verwachten zijn, en zal het water zouter worden.



- Bij diep pompen zal aanvankelijk sterk verzilt water worden opgepompt, maar door een geleidelijke verzoeting van het reservoir zal de kwaliteit langzaam verbeteren.
- Een combinatie van diep en ondiep pompen kan misschien een compromis bieden tussen voor- en nadelen van ondiep en diep pompen.

De Lenspolder

Boven het tertiaire kleisubstraat blijkt het reservoir in de Lenspolder hoofdzakelijk uit zandige afzettingen te bestaan die onderbroken worden door een belangrijke ondiepe slecht doorlatende laag die op drie plaatsen werd aangetroffen. De slecht doorlatende leemhoudende laag is van groot belang voor de lokale stromingscycli en heeft zijn impact op zowel de hydrodynamica (grondwaterstroming) als hydrochemie (grondwaterkwaliteiten).

Deze laag werd opgemerkt ten zuiden van de Lenspolder waar ze meer ondiep voorkomt (tussen ca. 5 en 10 m diepte) en in het noorden van de Lenspolder waar ze dieper voorkomt tussen ca. 10 en 15 m diepte, wat op een helling naar het noorden wijst. De intensiteit van de opgemeten natuurlijke gammastraling wijst er op dat de laag meer zandig wordt naar het noorden toe. Het voorkomen van deze laag onder de Lenspolder kan grote implicaties hebben voor het toepassen van een grondwaterwinning gecombineerd met ondiepe kunstmatige infiltratie.

Uitgevoerde stijghoogtemetingen tijdens een hoge (einde aanvulperiode) en lage (einde afvoerperiode) waterstand wijzen op eenzelfde stromingspatroon: het grondwater stroomt onder de Lenspolder voornamelijk van west naar oost, van de duinen naar de IJzer toe. Er is geen indicatie dat er een belangrijke stroming naar de centraal gelegen Beek zonder Naam zou gebeuren.

Vanuit de duinen in het noordwesten vindt een stroming plaats naar de Lenspolder toe. Onder de zuidelijke duinrand treedt er bovenaan in het reservoir een neerwaartse stroming op, onderaan is de stroming vooral horizontaal. Dit water stroomt onder de Lenspolder door, waarbij een opwaartse flux optreedt. Door de aanwezigheid van een ondiepe leemlaag is deze wellicht vrij beperkt (ondanks de opwaartse gradiënt). In het zuiden van de Lenspolder vindt er stroming plaats vanuit de duinen in het westen naar het oosten toe. Dit west-oost stromende water wordt aangevuld met infiltratiewater dat in het Littobos percoleert. Door de aanwezigheid van de ondiepe leemlaag hier is deze verticale doorstroming echter vrij beperkt. Dieper in het reservoir komt onder het Littobos opwaartse stroming voor, mogelijk omdat water lateraal wordt weggedraineerd, bvb naar de in het zuiden gelegen polder of ten gevolge van de pompings bij het bedrijf Litto. Onder de zuidelijke polder treedt een duidelijke opwaartse stroming op.

Met uitzondering van één meetpunt (SB103) komen in het deel van het reservoir onder de slecht doorlatende laag, slechts geringe stijghoogteverschillen voor (enkele cm). Waar de slecht doorlatende laag prominent aanwezig is, staat de watertafel wel één tot anderhalve meter hoger dan de stijghoogte onder de leemlaag. Dit wijst erop dat deze leemlaag een (zeer) geringe doorlatendheid heeft onder het Littobos. Ook aan de zuidrand van de duinen is het stijghoogteverschil tussen de watertafel en het diepe reservoir groter. Dit wijst erop dat hier ondiep een belangrijke verticale stroming plaatsvindt.

De waterpeilen stonden in de natte periode ongeveer een halve meter hoger dan in de droge periode, met uitzondering van de watertafel in twee peilbuizen (SB101 en SB104) waarvan de fluctuaties vooral bepaald worden door de meteorologische variaties en de opbrengstcoëfficiënt nabij de watertafel. De fluctuaties zijn er groter.

De hierboven beschreven reservoiropbouw en het stromingspatroon zijn determinerend geweest voor de waterkwaliteiten en hun distributie die in het reservoir worden aangetroffen. Er wordt in de Lenspolder een stratificatie en zonering in grondwatertypes waargenomen:

- bovenaan bevindt zich zoet water van het CaHCO_3 -type;
- midden in het reservoir wordt brak water aangetroffen van het NaHCO_3 -type (plaatselijk in een peilbuis (SB103) het NaCl -type) (met uitzondering van de noordrand van de Lenspolder);
- onderaan in het reservoir wordt zoet water van het NaHCO_3 -type aangetroffen in het noorden, terwijl in het zuidelijke deel onderaan brak NaCl -water voorkomt;
- onder de overgang van de Lenspolder en de duinen (in SB105) is het reservoir volledig verzoet en bevat overwegend MgHCO_3 -type water.

Het bovenste deel van het reservoir is gevuld met geïnfiltreerd neerslagwater. Dit CaHCO_3 -water heeft kalk opgelost, en heeft chloridegehalten van meestal minder dan 50 ppm en een totale opgeloste



stoffengehalte van minder dan 1000 ppm. Opmerkelijk is dat dit ook wordt gevonden in peilbuis SB103F2 waar er nochtans een duidelijke kwelsituatie voorkomt. Dit kan erop wijzen dat de stroming hier boven de leemlaag eerder vanuit de duinen afkomstig is en er weinig bijmenging van dieper opkwellend water gebeurt. Dit bevestigt de geringe doorlatendheid van de leemlaag. Anderzijds kunnen (tijdelijk) kleine lokale stromingscycli (bvb. gedurende hoge waterstanden) ook neerslagwater doen infiltreren (eventueel vanuit de drainagegrachten).

Ook SB109, gelegen in de polder van de Zelte, toont bovenaan zoet CaHCO_3 -water. Hier kan ondiepe stroming vanuit het Littobos een rol spelen tijdens het optreden van een lokale kleine stromingscyclus.

Onder de zuidrand van de duinen (in SB105) wordt middenin het reservoir MgHCO_3 -water aangetroffen. Dit eerder zeldzame watertype (Mg^{2+} is het overwegende kation) ontstaat tijdens de verdringing van zout door zoet water, in de laatste fase van de kationenuitwisseling. Dit wijst erop dat zich verschuivingen in de zoet/zoutwaterverdeling onder de duinrand hebben voorgedaan. Dit MgHCO_3 -water heeft lage chloridegehalten en is vrij zoet (TDS is kleiner dan 1000 ppm). Dieper komt het NaHCO_3 -water voor dat ook in SB103 wordt gevonden. Het NaHCO_3 -water is ontstaan door verdringing van zout door zoet CaHCO_3 -water waarbij door ionenuitwisselingen het Ca-gehalte vervangen werd door Na^+ . Dit water ontstaat tijdens het verdringingsproces eerder dan het MgHCO_3 -water, wat erop wijst dat de verzoeting ter hoogte van SB103 nog niet zo ver gevorderd is als onder de zuidelijke duinrand.

In SB103, gelegen in de Lenspolder, wordt halverwege het reservoir NaCl -water aangetroffen. Dit wijst op een grotere saline component, maar met een TDS van iets meer dan 2 g/l is een sterke verdunning opgetreden. Het is mogelijk ontstaan door het uitspoelen van zout water door NaHCO_3 -water dat vanuit de duinen komt toegestroomd. Het feit dat het water nog steeds van het NaCl -type is, wijst erop dat de opwaartse flux ten gevolge van de kwel hier eerder beperkt is door de geringe doorlatendheid van de bovenste leemlaag. Hetzelfde soort NaCl -water werd ook gevonden in het onderste deel van het reservoir onder het Littobos (SB104) en in de Zelte polder (SB109). Ook hier is het wellicht gevormd door verdunning van zout water met het NaHCO_3 -water, op zijn beurt ontstaan door verdringing van zout water door geïnfiltreerd CaHCO_3 -water in de duinen. Dit geldt wellicht ook voor het NaMix -water dat onderaan in SB102 en SB101 werd gevonden. Het voorkomen van NaHCO_3 -water midden in het reservoir op deze plaatsen kan wijzen op een invloed van het ondiepe CaHCO_3 -water. Het feit dat dit NaHCO_3 -water meer gemineraliseerd is dan het dieper NaCl - of het NaMix -water sluit uit dat het dieper water zou ontstaan zijn door verdunning van oud zeewater met van bovenaf percolerend NaHCO_3 -water. Dit laatste gegeven kan erop wijzen dat de bovenste leemlaag een belangrijke percolatie van ondiep water verhindert.

Uit de analyseresultaten blijkt dat in de diepe waters de sulfaatgehalten zeer laag zijn. Het voorkomen van sulfaatreductie blijkt in de diepere delen van het reservoir een belangrijk proces te zijn.

Uit de bovenbeschreven systeemanalyse kunnen de volgende vaststellingen als essentieel aangeduid worden:

- het reservoir onder de Lenspolder is tamelijk sterk verzoet, en het verzoetingsproces is nog steeds bezig. Het water bevat meestal slechts maximaal 2 g/l opgeloste stoffen,
- onder de Lenspolder komt een ondiepe (5 tot 10 m diep) slecht doorlatende leemlaag voor die zowel de grondwaterstroming als de grondwaterkwaliteit heeft beïnvloed: ze limiteert namelijk sterk het optreden van verticale stromingen in het reservoir.

Voor de geschiktheid van de Lenspolder als implementatieplaats van kunstmatige infiltratie gecombineerd met pomputten kan het volgende gesteld worden:

- de grondwaterkwaliteit onder de Lenspolder is vrij gunstig (m.a.w. zoet),
 - de hydrolithologische opbouw van het reservoir is ongunstig voor het toepassen van ondiepe kunstmatige voeding vanuit een kanaal of ondiepe vijver (minder dan 10 m diep);
 - kunstmatige voeding vanuit een bekken kan een oplossing bieden indien het bekken tot onder de slecht doorlatende leemlaag wordt ingegraven. Dit betekent een diepte van 10 tot 15 m;
 - kunstmatige voeding door middel van injectieputten (onder de leemlaag) is een ander alternatief; het operationeel houden van de injectieputten kan hier talloze praktische problemen met zich meebrengen (zoals toeslibben van de putten en hun omstorting);
 - bij diep pompen (onder de leemlaag) zonder kunstmatige voeding te voorzien zal mogelijk de invloed op de Lenspolder zelf tamelijk beperkt blijven door de afscherpende werking van de leemlaag.
- Verwacht kan worden dat een significante hoeveelheid water dan vanonder de duinen wordt



aangetrokken, waardoor er eerder in de duinen verlagingen van de watertafel verwacht kunnen worden. Ook vanuit de zuidelijk gelegen polder is een toevloei mogelijk. Aangezien de waterkwaliteit diep in het reservoir onder de Lenspolder vrij goed is, zal de kwaliteit van het opgepompte water initieel met deze kwaliteit overeenkomen. De verdere evolutie van de waterkwaliteit zal dan afhangen van de mate waarin water vanuit de duinen en de omringende polders wordt aangetroffen en hoe deze hoeveelheden zich verhouden. Het is dan niet uitgesloten dat op lange tijd een toename van het zoutgehalte zou optreden onder invloed van een toenemende component van diep salien polderwater.

7. Concepten voor drinkwaterproductiebekkens in de detailgebieden

Om antwoord te geven op de vraag om binnen de twee detailgebieden te zoeken naar mogelijke drinkwaterwinningalternatieven werden een aantal mogelijke concepten (tabel 3 en 4) onderzocht op hun mogelijke bijdrage. Hieruit werden in overleg met de opdrachtgever en de leden van de stuurgroep uiteindelijk scenario's geselecteerd die werden uitgetest en vergeleken op hydrogeologische en ecologische waarde.

Tabel 3 - Voor- en nadelen van verschillende drinkwaterproductieconcepten voor het overdekte waddenlandschap (zonder beoordeling van de ecologische impact).

CONCEPT	VOORDELEN	NADELEN
1° Injectieputten + pompputten	- weinig visuele impact - geen oppervlakteverlies - beschermd tegen calamiteiten	- moeilijk voor onderhoud - moeilijk te combineren met ecologische maatregelen
2° Vijverinfiltratie vanuit bestaande zandwinninsput, pompbatterij plaatsen ten zuiden ervan	- minimale infrastructuurwerken - goede afscherming naar het noorden toe (weinig verlaging) en wellicht weinig gevolgen voor spoorwegberm (stabiliteit) - grote buffercapaciteit in vijver tijdens droge perioden - vrij goede waterkwaliteit	- Slechts 400 m lang (vijver en pompbatterij), dus winningsdebiet tamelijk beperkt - waterverlies door verdamping
3° Kanaalinfiltratie (geen omleiding Langgeleed)	- lang tracé → groot winningsdebiet mogelijk - bijdrage diep zout water - misschien afscherming naar zuiden door waterscheidingskam (vooral in winter)	- uitdiepen en verbreden van Langgeleed - stabiliteit van de spoorwegberm - mogelijke contaminatie van water in Langgeleed t.g.v. landbouwactiviteiten - mogelijke contaminatie door aanwezigheid van het oud stort - geen buffercapaciteit - natuurreservaat zal verdwijnen door verbreding Langgeleed - waterverlies door verdamping
4° Kanaalinfiltratie (omleiding ten zuiden van spoorwegberm via Kruislanggeleed)	- hydrologische afscherming van spoorwegberm (betere garanties voor stabiliteit) - lang tracé, dus grote winningscapaciteit - behoud natuurreservaat	- hoge kosten in infrastructuur - mogelijke contaminatie door aanwezigheid van het oud stort - geen buffercapaciteit - mogelijke contaminatie van water in Langgeleed t.g.v. landbouwactiviteiten - waterverlies door verdamping
5° Vijver + kanaalinfiltratie (geen)	- grote buffercapaciteit in vijver - lang tracé voor mogelijk groot w	- uitdiepen en verbreden van Langgeleed noodzakelijk

omleiding Langgeleed)	winningsdebiet -intermediaire waterkwaliteit	- mogelijke invloed op de stabiliteit van de spoorwegberm - natuurreservaat zal verdwijnen door verbreding Langgeleed - mogelijke contaminatie door aanwezigheid van oud stort - mogelijke contaminatie van water in Langgeleed t.g.v. landbouwactiviteiten - waterverlies door verdamping
6° Vijver + kanaalinfiltratie (omleiding Langgeleed ten zuiden van spoorwegberm)	- grote buffercapaciteit in vijver - lang tracé → grote winningscapaciteit - beperkte invloed naar het noorden toe (stabiliteit spoorwegberm) - intermediaire waterkwaliteit - behoud natuurreservaat	- grote infrastructuurwerken en kosten - mogelijke contaminatie door aanwezigheid van oud stort - waterverlies door verdamping - mogelijke contaminatie van water in Langgeleed t.g.v. landbouwactiviteiten
7° Kanaalinfiltratie (kanaal ten zuiden van het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort)	- lang tracé → groot winningsdebiet mogelijk	- waterverlies door verdamping - mogelijke contaminatie van water t.g.v. landbouwactiviteiten - mogelijke aantrekken van zout water vanuit de Moeren

Tabel 4 - Voor- en nadelen van verschillende drinkwaterproductieconcepten voor de Lenspolder (zonder beoordeling van de ecologische impact).

CONCEPT	VOORDELEN	NADELEN
1° Injectieputten + pompputten	- weinig visuele impact - geen oppervlakteverlies - beschermd tegen calamiteiten	- moeilijk voor onderhoud - moeilijk te combineren met ecologische maatregelen
2° Vijverinfiltratie	- grote buffercapaciteit in vijver tijdens droge perioden	- nog aan te leggen (10 tot 15 m diepte), dus grote kost - extern water nodig voor voeding - groot oppervlakteverlies - waterverlies door verdamping
3° kanaalinfiltratie vanuit Beek zonder Naam	- klein oppervlakteverlies	- verbreding en verdieping van Beek zonder Naam nodig - extern water nodig voor voeding - hydrogeologisch niet interessant wegens ondiepe slecht doorlatende laag - waterverlies door verdamping
4° Combinatie vijver + kanaalinfiltratie	- grote buffercapaciteit	- grote kosten infrastructuur - Lenspolder te klein - waterverlies door verdamping - extern water nodig voor voeding

Hierna werd de mogelijkheid van grondwaterwinning gecombineerd met artificiële voeding vanuit een infiltratiekanaal onderzocht aan de hand van een eenvoudig model. Het berekent voor verschillende configuraties (geometrie en parameterisatie) het stijghoogteverloop tussen het infiltratiekanaal en de pompputten en kan gebruikt worden om een ruwe schatting te verkrijgen van de peilverlagingen die als gevolg van de pumping zullen optreden. Het model is gesteund op analytische formules die elk een subsysteem van de optredende stromingscyclus beschrijven. Het kan toegepast worden op een configuratie waarbij een reeks pompputten evenwijdig met een infiltratiekanaal gealigneerd is, maar houdt



geen rekening met individuele pompputten. Hierbij wordt het pompdebiet per lengte-eenheid (langsheen de as van de pompputten) uitgedrukt.

Wegens de algemeen voorkomende technische problemen en onderhoud te wijten aan het dichtslibben van filterelementen en putomstoringen, blijkt de combinatie van pomp- en injectieputten geen interessant concept om toe te passen. Gezien een dergelijke combinatie ook niet rechtstreeks gekoppeld kan worden aan een opwaardering van de ecologie is deze toepassing weinig zinvol binnen het kader van onderhavig studie.

In de **Lenspolder** is in de Beek zonder Naam weinig water beschikbaar zodat kunstmatige infiltratie steeds zal moeten gebruik maken van een externe waterbron.

Ondiepe infiltratie vanuit de Beek zonder Naam (na heraanleg met een breder en dieper profiel) is wegens het voorkomen van een ondiepe slecht doorlatende laag niet efficiënt: de percolatie van het water naar het onderliggende reservoir zal beperkt zijn.

Infiltratie vanuit een bekken kan hydrogeologisch gezien interessant zijn indien de vijver tot onder de slecht doorlatende laag wordt ingegraven. Ze zal daartoe 10 tot 15 m diep moeten zijn. Gezien de eerder geringe afmetingen van de Lenspolder zal ook het infiltratiebekken klein moeten gedimensioneerd worden. Bij het concept van een infiltratiepand met periferische pompputten is er geen hydrologische afscherming naar de omgeving toe. Verwacht kan worden dat er in dit geval een invloed op de duinen (ten noorden) en in de Zelte-polder (in het zuiden) zal optreden. Het op termijn aantrekken van salien water uit de zuidelijke polder kan de kwaliteit van het opgepompte water doen dalen (toenemend zoutgehalte).

Combinatie van vijver en kanaalinfiltratie lijkt niet realistisch gezien de kleine afmetingen van de Lenspolder. De Lenspolder lijkt daarom niet erg geschikt om waterwinning gecombineerd met kunstmatige infiltratie te implementeren.

In het **overdekte waddenlandschap** kan een kunstmatig infiltratiesysteem opgebouwd worden rond het Langgeleed en de reeds aanwezige zandwinningsputten in de Duinhoek. De putten zijn 12 m diep. Het stroomdebiet in het Langgeleed is voldoende om een continue infiltratie toe te laten.

De zandwinningsputten zijn enkele hectaren groot en bevatten daardoor een grote waterstockeringscapaciteit, waardoor pompputten in de nabijheid zelfs in droge perioden (wanneer het stroomdebiet van het Langgeleed gereduceerd is) toch over een aan te spreken watervoorraad beschikken. Een puttenbatterij moet preferentieel ten zuiden van de zandwinningsputten geïnstalleerd worden, waardoor de invloed naar het noorden toe (op de duinen) beperkt blijft. Deze puttenbatterij kan echter maximaal 500 m lang zijn.

Infiltratie vanuit het Langgeleed kan worden uitgevoerd na verbreding en uitdieping tot onder de waddenafzettingen. De pompputten dienen langs de zuidzijde ingeplant te worden om de invloed op de duinen te minimaliseren. Het Langgeleed dient dan tegelijkertijd als infiltratiekanaal en als hydrologische barrière.

Naar het zuiden toe zullen wel sterke verlagingen van de watertafel optreden. Deze kunnen eventueel een invloed hebben op de stabiliteit van de spoorwegberm. Een oud huisvuilstort nabij de Zwarte Hoek zou in een aantal pompputten contaminatie kunnen veroorzaken. Een nader onderzoek van de grondwaterkwaliteit met inbegrip van indicatoren van contaminatie, lijkt daarom aangewezen.

De invloed op de spoorwegberm kan misschien verminderd worden door een alternatief infiltratiekanaal aan te leggen ten zuiden van de spoorweg. Het kan bevoorradat worden met water uit het Langgeleed via het Kruislanggeleed. Ook in dit geval is een contaminatie vanuit het oude stort mogelijk. Een ander voordeel van dit alternatief is dat het natuurreservaat gespaard kan blijven van hydrologische impact.

Combinatie van vijverinfiltratie met kanaalinfiltratie (vanuit het bestaande Langgeleed of vanuit een nieuw infiltratiekanaal) biedt door de stockeringscapaciteit van de zandwinningsvijvers een continuïteit in de beschikbaarheid van het water.

De diepte van de filterelementen in de pompputten is zeer belangrijk voor de evolutie van de waterkwaliteit op (middel)lange termijn:

- diepe pumping zal aanvankelijk zouter water opleveren waarvan de kwaliteit zal verbeteren in de loop van de tijd
- ondiepe pumping zal eerder zoeter water opleveren. Nadien kan onder de pompputten upconing van het diepe zoutere water plaatsvinden waardoor de waterkwaliteit zal verslechteren.
- een combinatie van diep en ondiep pompen kan misschien een compromis opleveren tussen voor- en nadelen van diep en ondiep pompen



Opgemerkt wordt dat het diepe water toch vrij zout is (20 g/l) waardoor zelfs een kleine component aan diep grondwater de opgepompte waterkwaliteit sterk kan beïnvloeden. Hoe de kwaliteiten precies zullen evolueren in de tijd moet uit het modelonderzoek blijken.

8. Onderzochte scenario's

Hydrogeologie

Om vergelijkingen mogelijk te maken werden zowel scenario's onderzocht waarbij geen drinkwaterwinning gebeurt in de respectievelijke detailgebieden als scenario's waarbij in de detailgebieden een of ander drinkwaterwinningsconcept wordt toegepast ter compensatie van het gesimuleerde wegvallen van waterwinning in het Calmeynbos. De keuze van de verder uit te werken scenario's werd gemaakt in overleg met de opdrachtgever en de leden van de stuurgroep. Deze gevolgen werden daarna geëvalueerd in een multicriteria-analyse.

De volgende scenario's werden nader onderzocht.

Het overdekte waddenlandschap

Scenario 1: simulatie van het natuurlijke grondwaterstromingsregime van het reservoir zonder waterwinning in het detailgebied.

Scenario 2: simulatie van de toestand met de huidige grondwaterwinningen. Hiervoor werden de meest recente gekende winningsdebieten gebruikt (anno 2000).

Scenario 3: simulatie van de toestand met infiltratie in de Doornpanne (Sint-André) en de ermee gepaard gaande aanpassing van de andere winningsdebieten (winning in Calmeynbos beperkt tot 1.000.000 m³ per jaar). In de toekomst zal maar 500.000 m³ gewonnen worden.

Scenario 4-8 zijn alternatieven voor waterwinning in het Calmeynbos; er wordt daarbij vanuit gegaan dat geen water meer wordt gewonnen in het Calmeynbos, waarbij in elk scenario in principe 1.000.000 m³ moet gewonnen worden om te compenseren voor het wegvallen van de duinwaterwinning. Voor de resterende 243.290 m³ die in 2000 en surplus werden gewonnen in het Calmeynbos, wordt verondersteld dat de infiltratie in de Doornpanne kan instaan.

Scenario 4: simulatie van winning van ondiep grondwater ten zuiden van het Langgeleed. Het Langgeleed wordt geherprofileerd als infiltratiekanaal om kunstmatige infiltratie mogelijk te maken.

Scenario 5: simulatie van winning van diep en ondiep grondwater ten zuiden van het Langgeleed. Het Langgeleed wordt geherprofileerd als infiltratiekanaal en er wordt water bijgevoed om kunstmatige infiltratie mogelijk te maken. Enkel het ondiep opgepompte water wordt gebruikt, het diepe water wordt afgevoerd. Het winningsdebiet verdubbelt tot 2 miljoen m³ per jaar waarvan de helft kan gebruikt worden.

Scenario 6: simulatie van ondiepe waterwinning ten zuiden en ten oosten van de vijvers die dicht bij de Belgisch-Franse grens liggen. De vijvers worden op constant peil gehouden door bijvoeding vanuit het Langgeleed, dat dient omgeleid te worden doorheen de vijvers.

Scenario 7: simulatie van winning van grondwater tussen het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort en de Cabourduinen, gecombineerd met kunstmatige voeding vanuit een infiltratiekanaal. Er wordt zowel ondiep als diep grondwater gewonnen. Enkel het ondiepe water kan gebruikt worden. Er wordt 500000 m³/jaar ondiep gewonnen en 500.000 m³/jaar diep. Dit laatste is verzilt en kan dus niet gebruikt worden, waardoor slechts 500000 m³/jaar beschikbaar is voor watervoorziening. In combinatie met de waterwinning in de Westhoek, die wordt afgebouwd tot 500.000 m³/jaar, wordt samen 1 miljoen m³/jaar gewonnen.

Scenario 8: simulatie van waterwinning tussen het Langgeleed en het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort. Het Langgeleed wordt omgeleid via een tracé langs de zuidzijde van de spoorwegberm en wordt als infiltratiekanaal gebruikt. Er wordt ondiep gepompt ten zuiden van het infiltratiekanaal.



De Lenspolder

Scenario 1-3 voor het overdekte waddenlandschap worden ook hier gesimuleerd.

Scenario 9: simulatie van waterwinning in de Lenspolder wordt gecombineerd met infiltratie vanuit de Beek zonder Naam die als infiltratiekanaal geherprofileerd wordt. De pompputten worden ingeplant zowel ten noorden als ten zuiden van de beek. Het totale winningsdebiet bedraagt 1 miljoen m³ per jaar.

Scenario 10: simulatie van grondwaterwinning in de Lenspolder gecombineerd met infiltratie vanuit een bekken. In de Lenspolder wordt een diep infiltratiebekken aangelegd (min 15 m diep) met een diameter van 400 m. Rondom het bekken worden pompputten ingeplant. Het waterpeil in het bekken wordt constant gehouden. Hiervoor is een bijvoeding met extern water nodig. Het totale winningsdebiet bedraagt 1 miljoen m³ per jaar.

Voor elk van de scenario's werd nauwkeurig gemodelleerd wat de hydrogeologische en ecologische gevolgen zouden zijn; de modelleringsmethoden worden in deze synthesenota niet in detail besproken (zie hiervoor Degezelle et al. 2004), de modeluitkomsten geven volgende resultaten voor wat hydrologische waterwinningsmogelijkheden:

Overdekt waddenlandschap:

- Herprofilen van het Langgeleed tot infiltratiekanaal en ondiepe waterwinning van een miljoen m³ per jaar langs de zuidzijde, zal de watertafel ten zuiden van het Langgeleed aanzienlijk verlagen. Het stilleggen van de winning in de Westhoek zal de watertafel aldaar met meer dan twee meter doen stijgen. Langs de zuidelijke duin-polder overgang kunnen de verlagingen echter toenemen doordat deze dicht bij de pompputten ligt (tot driekwart meter). T.g.v. het pompen zal de kwel langsheen het Langgeleed grotendeels verdwijnen. Het Langgeleed zal dan vooral irrigierend werken. In deze configuratie wordt het door het Langgeleed aangevoerde water als infiltratiewater gebruikt.
- Kwalitatief kan verwacht worden dat op lange termijn diep brak water zal opgepompt worden zodat de saliniteit van het opgepompte water zal toenemen tot een niveau waarop het voor normale consumptie niet meer geschikt is. Vanuit het Langgeleed zal water infiltreren. Hiervoor kan het huidige stroomdebiet voldoen, maar de kwaliteit van dit water zal ook die van het opgepompte water mee bepalen. Door diverse influx in het Langgeleed (o.a. gezuiverd afvalwater) komt de huidige kwaliteit wellicht niet overeen met die van het natuurlijke grondwater waarmee het gevoed wordt (nl. water dat vanuit de duinen naar het zuiden stroomt). Hierdoor kan de grondwaterkwaliteit in het overdekte waddenlandschap op termijn veranderen.
- De verzilting op lange termijn kan tegengegaan worden door zowel diep als ondiep te pompen. Hiervoor moet dan wel het opgepompte debiet verdubbeld worden tot 2 miljoen m³ per jaar, waarvan slechts de helft (het ondiep gewonnen water) kan gebruikt worden. Door het hogere pompdebiet zullen ook de verlagingen vergroten en de kwel volledig wegvallen. Het stroomdebiet van het Langgeleed zal onvoldoende zijn en er zal een bijvoeding van het Langgeleed moeten gebeuren.
- Een alternatief is de bestaande vijvers te gebruiken als infiltratiebekken(s). Hierbij kunnen de pompputten langs de zuid- en oostzijde worden ingeplant. Gezien de diepte van de putten zal bij ondiep pompen vooral water uit de vijver worden aangetrokken. Bij een winningsdebiet van 1 miljoen m³ per jaar, zijn de verlagingen in de omgeving kleiner dan bij pompen langsheen het Langgeleed en is de impact op de duin-polder overgang kleiner.
- Wordt het Langgeleed via een tracé ten zuiden van de spoorweg omgeleid, dan zal de impact op de duin-polder overgangszone verminderen, maar blijven tamelijk grote verlagingen optreden nabij de spoorwegberm. Er zal ook meer water vanuit het kanaal Veurne-Duinkerke worden aangetrokken. Ook kunnen kleinere verlagingen optreden ten zuiden van het kanaal. Wordt enkel ondiep gepompt dan kan op termijn diep brak water worden aangetrokken.
- Ten zuiden van het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort kan waterwinning gebeuren indien ze gecombineerd wordt met de aanleg van een infiltratiekanaal langs de zuidzijde van de kanaal. Het infiltratiekanaal dient zowel voor kunstmatige voeding van het reservoir als voor het instellen van een hydraulische barrière om instroming van water vanuit het kanaal tegen te gaan. Om het oppompen van diep brak en zout water te voorkomen, moeten zowel diepe als ondiepe pompputten geïnstalleerd worden. Enkel het ondiep opgepompte water zal een lage saliniteit hebben. Maximaal kan op deze



wijze 1 miljoen m³ per jaar gewonnen worden, waarvan dus slechts de helft (500000 m³ per jaar) kan gebruikt worden. Bij grotere winningsdebieten zal op lange termijn zout en brak water vanuit de Moeren aangetrokken worden. Onder de Cabourduinen zullen aanzienlijke verlagingen voorkomen, maar de impact op het gebied ten noorden van het Kanaal Duinkerke-Nieuwpoort is gering.

Lenspolder:

- Het herprofilen van de Beek zonder Naam tot infiltratiekanaal en het plaatsen van pompputten langsheen de beek is niet efficiënt wegens het voorkomen van een slechtdoorlatende laag op enkele meters diepte (onder de polderklei). Daardoor zal vooral grondwater uit de omgeving worden aangetrokken, eventueel zelfs zout water vanuit de zuidelijker gelegen polders. Ook de verlagingen onder de duingordel zijn daardoor vrij belangrijk.

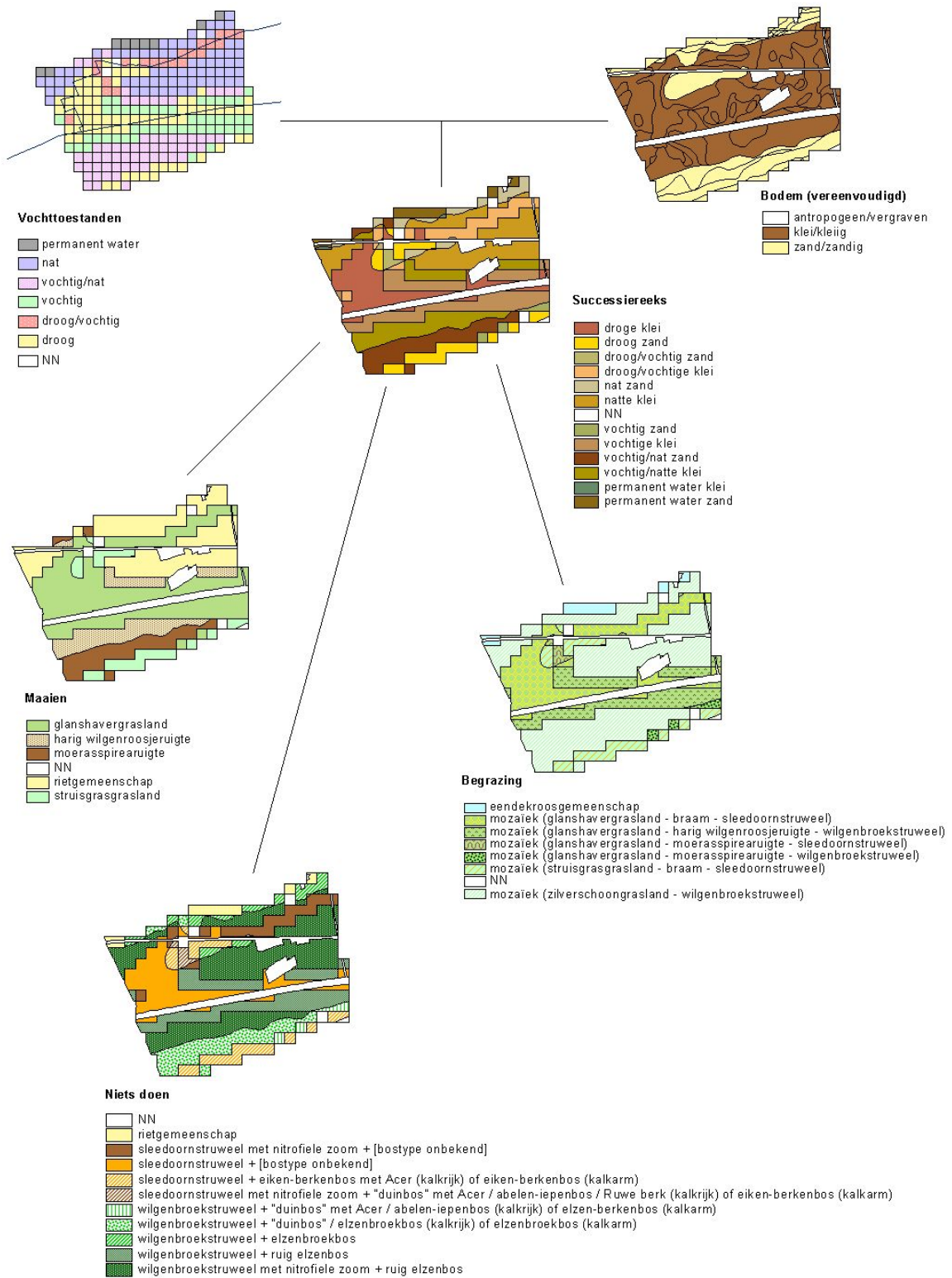
Ecologie

Na de hydrogeologische modellering werd voor elk scenario gemodelleerd welk natuurtype te verwachten zou zijn. Modeluitkomsten werden cartografisch weergegeven in een raster met resolutie 100 x 100 m. Modeluitkomsten betreffen de successiereeks die te verwachten is binnen de beide detailgebieden en welk natuurtype binnen elke successiereeks in functie van het gevoerde natuurbeheer. Deze voorspelling gebeurde met een resolutie van 100x100 m. Per rastercel werd nagegaan welke bodemtextuur er domineert, wat de hoogteligging is (afgeleid uit eenvoudige interpretatie van de topografische kaarten), wat daarbij de grondwaterstand zou zijn volgens het hydrogeologische model, rekening houdend met de hoogteligging in m TAW en de gemodelleerde stijghoogtes en rekening houdend met de gemodelleerde seizoenale grondwaterfluctuaties, omgerekend naar grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld. Er werden daarbij steeds drie beheersvormen met elkaar vergeleken: het hele gebied maaïen, het hele gebied extensief laten begrazen en nul-beheer (niets doen) met autonome vegetatieontwikkeling tot gevolg. In fig. 5 wordt bij wijze van voorbeeld de voorspelde successiereeks en het voorspelde vegetatiepatroon weergegeven voor het overdekte waddenlandschap voor scenario 1 (geen grondwaterwinning) en scenario 6 (vijverinfiltratie ter hoogte van de Drie Vijvers) in functie van de voormelde drie beheersvormen.

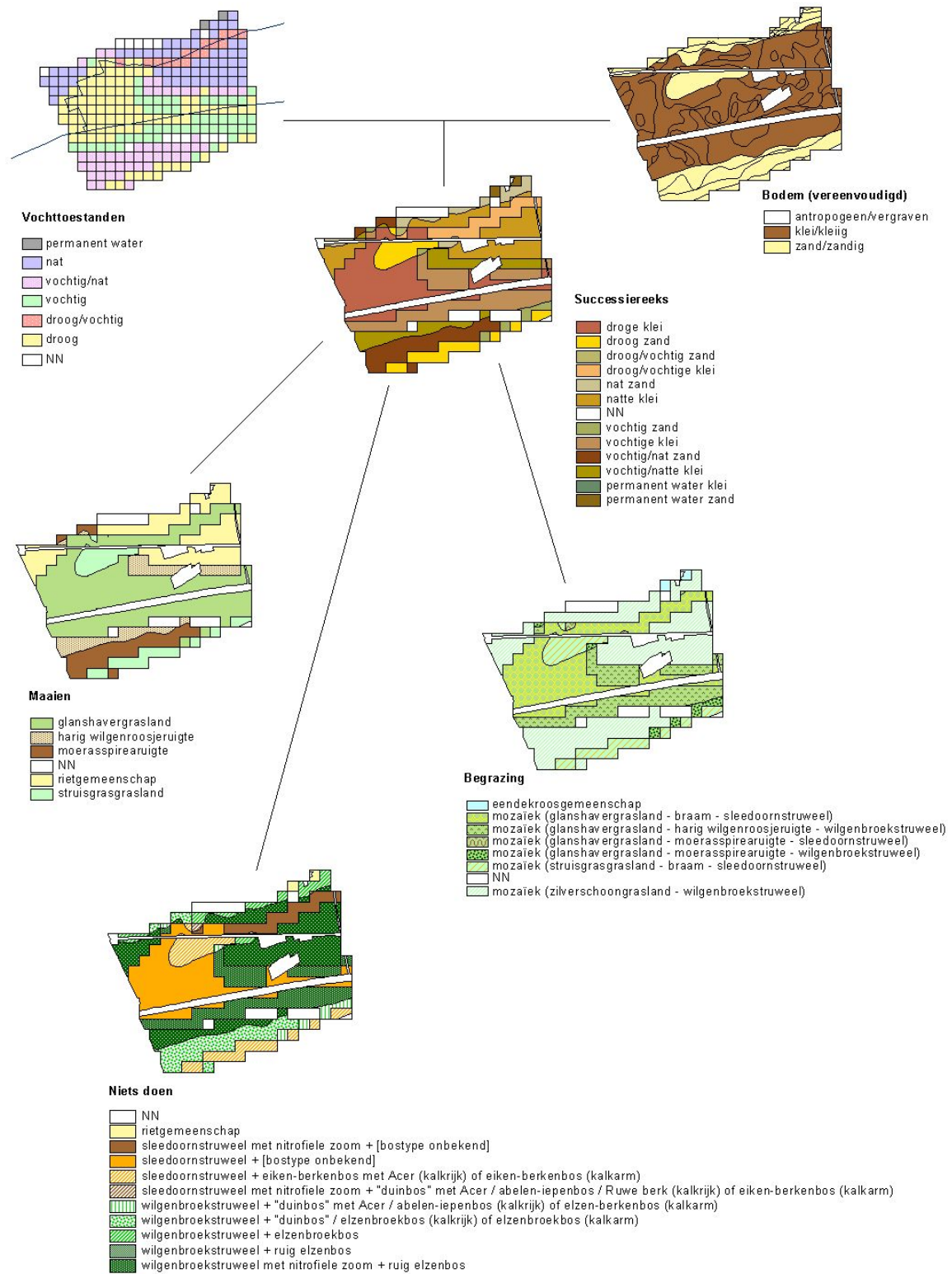
Fig. 5. – Modelmatig verkregen vochtclassen, bodemtextuur, successiereeks en modelmatig voorspeld natuurtype per rastercel (100x100m) bij drie verschillende beheersvormen (maaïen, extensief begrazen, niets doen) voor twee scenario's, berekend voor het overdekte waddenlandschap (volgende twee pagina's).



Scenario 1 (geen winningen - Overdekt waddenlandschap)



Scenario 6 (vijverinfiltratie - Overdekt waddenlandschap)



9. Multicriteria-analyse

Om de voor- en nadelen van de verschillende gesimuleerde scenario's tegen elkaar af te wegen werd een multicriteria-analyse (hierna MCA genoemd) uitgevoerd. Daarbij wordt aan elk scenario een 'beoordelingswaarde' gegeven tussen 0,0 en 1,0 op basis van de hydrogeologische objectieven, die dienen te worden nagestreefd en de ecologische objectieven, uitgedrukt in de realiseerbare meerwaarde ten opzichte van de huidige toestand. Aan elk van deze objectieven worden een of meerdere criteria toegekend, die bepalen in hoeverre het objectief gerealiseerd wordt of niet. Elk van deze criteria kan op zijn beurt gewogen worden in functie van het relatieve belang dat eraan gehecht wordt. Zo kan men bvb. meer belang hechten aan het feit dat het gewonnen drinkwater een voldoende hoge kwaliteit heeft dan aan de impact van de ingrepen op de natuurlijke hydrodynamiek of kan men meer gewicht geven aan de impact van toenemende grondwaterfluctuaties op het biologische milieu in het gebied dan aan de ecohydrologische impact op de omringende (duin)gebieden of vice versa. Zowel 'interne' (binnen de detailgebieden) als 'externe' (op de omgevende duingebieden en terreinen met utilitair gebruik) invloeden worden in de analyse betrokken.

In deze benadering wordt eerst een analyse gemaakt op basis van hydrogeologische objectieven, waarna de potentiële realisatie van ecologische objectieven wordt geëvalueerd. Daarna worden beide evaluaties gecombineerd in een eindbeoordeling.

Er dient te worden opgemerkt dat de hier uitgevoerde MCA's enkel met ecologische en hydrogeologische objectieven rekening houden, terwijl er uiteraard nog andere aspecten een rol spelen bij de eventuele realisatie van een waterwinning binnen de behandelde detailgebieden. Deze hebben eerder te maken met praktisch-technische, economisch-financiële en sociale motieven en vallen daarom buiten het wetenschappelijke onderzoekskader van het project.

Hydrogeologische objectieven

De hydrogeologische objectieven hebben enkel betrekking op de mogelijkheden voor het uitbouwen van een waterwinning en niet op de (mogelijke) ecologische implicaties ervan. Het belangrijkste kwalitatieve objectief bestaat er in een alternatief te vinden voor waterwinning in de duinen van de Westkust. Een nadere omschrijving van de hydrogeologische objectieven wordt gegeven in tabel 5.

Tabel 5 - Hydrogeologische objectieven op basis waarvan een hydrogeologische MCA werd uitgevoerd.

objectief	omschrijving
1	Winning van 1 miljoen m ³ water per jaar met een voldoende lage saliniteit
2	Het afbouwen van waterwinning in de duinen
3	Minimaliseren van de verlagingen De natuurlijke grondwaterstromingstoestand laten behouden of benaderen
4	Terugdringen van de verzilting (m.a.w. het reservoir verzoeten)
5	Geen hydrochemisch vreemd water in het reservoir introduceren

Ecologische objectieven

De ecologische objectieven (tabel 6) worden gelimiteerd door de hydrogeologische impact van de verschillende scenario's, aangezien dit binnen deze studie de enige veranderende factor is in het gebied. Eventuele meerwaarden die te bereiken zijn via het invoeren van welbepaalde beheersvormen worden niet in rekening gebracht, aangezien die in alle hydrogeologische scenario's in principe toegepast kunnen worden. In die context kan in algemene zin wel gesteld worden dat extensieve begrazing tot een sterker gedifferentieerd half-open landschap zal leiden, dat op zich qua precieze ruimtelijke invulling moeilijk



voorspelbaar is (afhankelijk van kuddesamenstelling(en), herbivoordichtheden, gedragsbepalende factoren als drinkwatervoorzieningen, schuilgelegenheden, interacties met de mens, enz.), maar waar mozaïeken van pioniersgemeenschappen, graslandgemeenschappen, sturweel en bos naast elkaar zullen voorkomen. In het overdekte waaddenlandschap zijn er echter een aantal belangrijke fysische problemen, vooral de verschillende oost-west verlopende barrières: twee belangrijke verkeersaders, de spoorweg en vooral het kanaal Veurne-Duinkerke. Ecologische differentiatie bij maaïen (leidend tot een open landschap) of niets doen (→ gesloten landschap) moeten geleverd worden door de bodemgesteldheid (kleibodems, via duin-polderovergangsgonden tot en met zandige bodems) en de grondwaterkarakteristieken. Gegeven het erg vlakke karakter van beide detailgebieden zal de ecologische differentiatie sowieso beperkt blijven. De gradiërende factor begrazing kan hieraan een belangrijke meerwaarde toevoegen, anderzijds bestaat de mogelijkheid dat bij te intense begrazing de abiotische gradiërende factoren onderdrukt worden.

Basisprincipes die gehanteerd worden bij de ecologische beoordeling zijn

- een maximalisatie van gradiënten in de detailgebieden is ecologisch waardevol en
- een minimalisatie van de hydrogeologische toestandsverandering ten opzichte van een natuurlijke hydrogeologische toestand wordt ecologisch waardevol geacht.

Tabel 6 – Ecologische objectieven op basis waarvan een ecologische MCA werd uitgevoerd.

objectief	Omschrijving
1	maximale diversiteit aan vochtgradiënten in de detailgebieden
2	maximaal optreden van tot aan het maaiveld rakende kwel in de zomer (augustus)
3	minimale verdrogingseffecten in de detailgebieden
4	maximalisatie van de meest gunstige grondwatersituatie in de aangrenzende natuurgebieden
5	minimalisatie van de impact op andere gebruiksvormen in en in de onmiddellijke nabijheid van de detailgebieden

Hydrogeologische en ecologische criteria

Elk van de objectieven kan beoordeeld worden op basis van een of meerdere criteria (tabel 7 en 8). Ze worden gebruikt om te toetsen in hoeverre de scenario's aan de gestelde objectieven beantwoorden.

Tabel 7 - Lijst van de gebruikte hydrogeologische criteria per objectief waartoe ze bijdragen in de hydrogeologische MCA.

criterium	objectief	Omschrijving
1	1	kwantiteit van het opgepompte water
2	1	saliniteit van het opgepompte water
3	2	kwantiteit van het water dat (nog) in de duinen wordt opgepompt
4	3	verlagingen van de watertafel
5	3	kwel/infiltratiecyclus
6	4	evolutie zoet/zoutwaterverdeling in het reservoir
7	5	bijvoeding met extern water

Tabel 8 - Lijst van de gebruikte ecologische criteria per objectief waartoe ze bijdragen in de ecologische MCA; criterium 6 (impact op de grondwaterstanden in het westelijk deel van het VNR de Westhoek) werd in de finale analyse weggelaten omdat onvoldoende nauwkeurige gegevens beschikbaar waren om het criterium te beoordelen.

criterium	objectief	Omschrijving
1	1	diversiteit aan vochtgradiënten verdeeld over de cellen van het detailgebied (Shannon-Weaver index)
2	2	relatief aantal detailgebiedcellen waar kwel tot aan het maaiveld optreedt in de zomer (augustus)
3	2	mate waarin de totale hoeveelheid kwel K in de zomer (augustus) in het detailgebied de totale hoeveelheid infiltratie I overstijgt voor het hele detailgebied
4	3	minimalisatie van het percentage 'droge' detailgebiedcellen
5	3	maximalisatie van het percentage 'natte' detailgebiedcellen
7	4	maximalisatie van grondwaterstandstijging in het oostelijk deel van het VNR de Westhoek (voor het detailgebied overdekte waddenlandschap)
8	4	maximalisatie van grondwaterstandstijging in de Cabourduinen (voor het detailgebied overdekte waddenlandschap)
9	4	maximalisatie van grondwaterstandstijging in het natuurdomein Groenendijk (voor het detailgebied Lenspolder)
10	5	minimalisatie van grondwaterstandsverandering in de gebieden in en in de onmiddellijke omgeving liggende gebieden met een utilitair grondgebruik (bewoning, detailhandel, recreatie)

Wegingsfactoren per criterium voor de hydrogeologische en ecologische MCA.

Voor het berekenen van een totaalscore wordt aan elk van de criteria een wegingsfactor toegekend. De wegingsfactoren zijn zodanig gekozen dat de som van de factoren gelijk is aan 1, zodat de uiteindelijke score per scenario ook steeds varieert tussen 0 en 1.

Hydrogeologie

Om het effect van de verschillende wegingen na te gaan en dus van de verschillen in appreciatie van de impact van het scenario op de hydrogeologische toestand, werden drie verschillende sets van wegingsfactoren gebruikt en de overeenkomstige totaalscores berekend. De waarde van de wegingsfactoren is opgenomen in tabel 9.

In de eerste set wegingsfactoren krijgt elk criterium een gelijk aandeel. De tweede set legt de nadruk op de kwaliteit van het opgepompte water. De redenering is hier dat het interessanter is om minder water met een goede (zoete) kwaliteit op te pompen dan meer water van mindere (zoutere) kwaliteit. Bij de derde set ligt de nadruk op het minimaliseren van de impact op de hydrodynamica van het gebied en daarmee op het beperken van de verlagingen en behoud van de kwelcyclus.

Tabel 9 - Verdeling van de wegingsfactoren gebruikt bij het berekenen van de totaalscores

set	wegingsfactor van criterium						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0,1428 (1/7)	0,1428 (1/7)	0,1428 (1/7)	0,1428 (1/7)	0,1428 (1/7)	0,1428 (1/7)	0,1428 (1/7)
2	0,0833 (1/12)	0,50 (6/12)	0,0833 (1/12)	0,0833 (1/12)	0,0833 (1/12)	0,0833 (1/12)	0,0833 (1/12)
3	0,10 (1/10)	0,10 (1/10)	0,10 (1/10)	0,25 (1/4)	0,25 (1/4)	0,10 (1/10)	0,10 (1/10)

Ecologie

Er werden vier sets opgemaakt (tabel 10 en 11). Aangezien voor de twee detailgebieden verschillende externe duingebieden worden beoordeeld zijn de criteria voor beide niet volledig dezelfde (scenario 7 en 8 zijn specifiek voor het overdekte waddenlandschap, criterium 9 is specifiek voor de Lenspolder). Set 1 geeft aan alle criteria een gelijk gewicht. Set 2 legt vooral de nadruk op de diversiteit aan milieus binnen het detailgebied en aan de invloed op in de onmiddellijke nabijheid gelegen duingebieden. Set 3 benadrukt vooral de interne invloeden en hecht minder belang aan de beïnvloeding van de omgevende duingebieden. Set 4 tenslotte legt vooral de nadruk op de invloed op de omgevende duingebieden. In alle vier de sets wordt de impact op utilitair grondgebruik minst gewogen, aangezien dit geen strict ecologische beoordelingscriterium is.

Tabel 10 - Verdeling van de wegingsfactoren gebruikt bij het berekenen van de totaalscores voor de ecologische MCA voor het overdekte waddenlandschap.

set	wegingsfactor van criterium								
	1	2	3	4	5		7	8	10
1	0,125 (1/8)	0,125 (1/8)	0,125 (1/8)	0,125 (1/8)	0,125 (1/8)		0,125 (1/8)	0,125 (1/8)	0,125 (1/8)
2	0,154 (1/6)	0,077 (1/12)	0,077 (1/12)	0,077 (1/12)	0,077 (1/12)		0,154 (1/6)	0,154 (1/6)	0,077 (1/12)
3	0,240 (6/23)	0,120 (3/23)	0,120 (3/23)	0,120 (3/23)	0,120 (3/23)		0,080 (2/23)	0,080 (2/23)	0,040 (1/23)
4	0,083 (1/10)	0,083 (1/10)	0,083 (1/10)	0,083 (1/10)	0,083 (1/10)		0,167 (1/5)	0,167 (1/5)	0,083 (1/10)

Tabel 11 - Verdeling van de wegingsfactoren gebruikt bij het berekenen van de totaalscores voor de ecologische MCA voor de Lenspolder.

set	wegingsfactor van criterium						
	1	2	3	4	5	9	10
1	0,143 (1/7)	0,143 (1/7)	0,143 (1/7)	0,143 (1/7)	0,143 (1/7)	0,143 (1/7)	0,143 (1/7)
2	0,222 (2/9)	0,111 (1/9)	0,111 (1/9)	0,111 (1/9)	0,111 (1/9)	0,222 (2/9)	0,111 (1/9)
3	0,286 (6/21)	0,143 (3/21)	0,143 (3/21)	0,143 (3/21)	0,143 (3/21)	0,095 (2/21)	0,048 (1/21)
4	0,125 (1/8)	0,125 (1/8)	0,125 (1/8)	0,125 (1/8)	0,125 (1/8)	0,250 (2/8)	0,125 (1/8)

Totaalscores voor hydrogeologie en ecologie

Voor de overzichtelijkheid herhalen we hier de gemodelleerde scenario's:

Scenario's overdekte waddenlandschap

Scenario 1: toestand zonder winningen;

Scenario 2: huidige toestand;

Scenario 3: infiltratie in Doornpanne met terugbrengen van de Calmeynboswinning tot $0,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$;

Scenario 4: 15 pompputten langs Langgeleed;

Scenario 5: 15x2 pompputten langs Langgeleed;

Scenario 6: vijverinfiltratie;

Scenario 7: infiltratiekanaal en pompputten tussen Cabour en het Kanaal;

Scenario 8: vijverinfiltratie + infiltratie uit Langeleed.



Scenario's Lenspolder

Scenario 1: toestand zonder winningen;

Scenario 2: huidige toestand;

Scenario 3: infiltratie in Doornpanne met terugbrengen van de Calmeynboswinning tot $1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$;

Scenario 9: infiltratie vanuit Beek zonder Naam en pompputten ten N en ten Z van de beek;

Scenario 10: vijverinfiltratie en pompputten er rond.

De totaalscores voor de vier gekozen sets wegingsfactoren zijn weergegeven in tabel 12 en 13 voor hydrogeologie en tabel 14 en 15 voor ecologie.

Tabel 12 - Totaalscores voor de scenario's in het overdekte waddenlandschap

scenario	totaalscore voor set wegingsfactoren			gemiddelde totaalscore
	1	2	3	
1	0,643	0,375	0,750	0,589
2	0,584	0,757	0,572	0,638
3	0,601	0,767	0,603	0,657
4	0,657	0,383	0,550	0,530
5	0,647	0,794	0,533	0,658
6	0,844	0,701	0,803	0,782
7	0,615	0,776	0,628	0,673
8	0,694	0,405	0,615	0,571
<i>spreiding</i>	<i>0,260</i>	<i>0,419</i>	<i>0,253</i>	<i>0,252</i>

Tabel 13 - Totaalscores voor de scenario's in de Lenspolder

scenario	Totaalscore voor set wegingsfactoren			gemiddelde totaalscore
	1	2	3	
1	0,428	0,250	0,600	0,426
2	0,798	0,882	0,798	0,826
3	0,850	0,912	0,888	0,883
9	0,598	0,557	0,522	0,559
10	0,765	0,863	0,740	0,790
<i>spreiding</i>	<i>0,252</i>	<i>0,662</i>	<i>0,366</i>	<i>0,457</i>



Tabel 14 - Totaalscores voor de scenario's in het overdekte waddenlandschap in de ecologische MCA.

scenario	totaalscore voor set wegingsfactoren				gemiddelde totaalscore
	1	2	3	4	
1	0,618	0,589	0,598	0,578	0,596
2	0,470	0,396	0,418	0,375	0,415
3	0,497	0,451	0,461	0,433	0,461
4	0,330	0,340	0,297	0,326	0,323
5	0,254	0,269	0,236	0,256	0,254
6	0,445	0,460	0,436	0,442	0,446
7	0,387	0,326	0,395	0,309	0,354
8	0,345	0,361	0,330	0,344	0,345
<i>spreiding</i>	<i>0,364</i>	<i>0,320</i>	<i>0,362</i>	<i>0,322</i>	<i>0,342</i>

Tabel 15 - Totaalscores voor de scenario's in de Lenspolder in de ecologische MCA.

scenario	totaalscore voor set wegingsfactoren				gemiddelde totaalscore
	1	2	3	4	
1	0,451	0,489	0,439	0,475	0,475
2	0,475	0,455	0,396	0,451	0,451
3	0,509	0,538	0,467	0,521	0,521
9	0,188	0,154	0,104	0,153	0,153
10	0,428	0,406	0,356	0,403	0,403
<i>spreiding</i>	<i>0,321</i>	<i>0,384</i>	<i>0,363</i>	<i>0,368</i>	<i>0,368</i>

10 Conclusies met betrekking tot de mogelijkheden tot realisatie van een watervoorzieningsalternatief in het overdekte waddenlandschap of de Lenspolder

De resultaten van de hydrogeologische en ecologische multicriteria-analyses zijn uiteindelijk gecombineerd om tot een eindrangschikking te komen van te prefereren en minder te prefereren alternatieven. Hiervoor werden de gemiddelde totaalscore voor de verschillende scenario's berekend. De gemiddelde totaalscore is het gemiddelde van de scores van de verschillende wegen die werden toegepast. Het combineren van de beide beoordelingen gebeurt na een standaardisatie. Op een grafische voorstelling van de scores, waarbij gestandaardiseerd wordt met minimum waarde 0,0 voor het laagst scorende scenario en maximum waarde 1,0 voor het hoogst scorende scenario, zullen deze alternatieven dicht bij de diagonaal $x=y$ liggen (fig. 6 en 7). Het meest te prefereren scenario ligt dan zo hoog mogelijk op deze diagonaal. Bij de alternatieven die evenwichtige scores (hebben ratio hydrogeologie:ecologie ligt dicht bij de waarde 1) zijn degene met de hoogste gemiddelde score (of som der scores) het interessantste.

Tabel 16 - Integratie van de hydrogeologische en ecologische MCA scores voor **het overdekte waddenlandschap**

scenario	hydrogeol. score	gestand. hydrogeol. score	ecologische score	gestand. ecol. score	verhouding hydro/ecol	som hydro+ecol
1	0,589	0.234	0,596	1,000	0,988	1,185
2	0,638	0,429	0,415	0,470	1,537	1,053
3	0,657	0,504	0,461	0,604	1,425	1,118
4	0,530	0,000	0,323	0,204	1,641	0,853
5	0,658	0.508	0,254	0,000	2,591	0,912
6	0,782	1,000	0,446	0,562	1,753	1,228
7	0,673	0,567	0,354	0,292	1,901	1,027
8	0,574	0.162	0,345	0,267	1,664	0,919

Tabel 17 - Integratie van de hydrogeologische en ecologische MCA scores voor **de Lenspolder**

scenario	hydrogeol. score	gestand. hydrogeol. score	ecologische score	gestand. ecol. score	verhouding hydro/ecol	som hydro+ecol
1	0,426	0,000	0,475	0,875	0,897	0,901
2	0,826	0,875	0,451	0,810	1,831	1,277
3	0,883	1,000	0,521	1,000	1,695	1,404
9	0,559	0,291	0,153	0,000	3,654	0,712
10	0,790	0,796	0,403	0,679	1,960	1,193

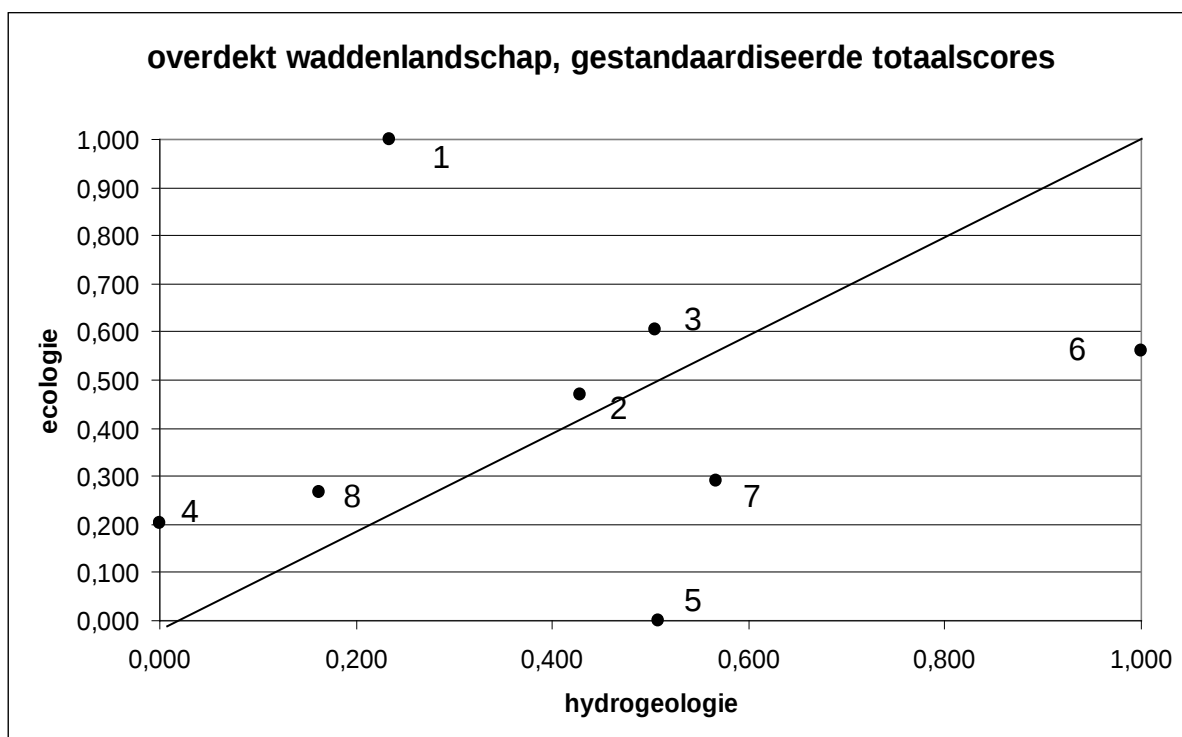


Fig. 6 – Gestandaardiseerde totaalscore (gemiddelde van de gewogen scores) voor de verschillende scenario's voor het overdekte waddenlandschap in de MCA-hydrogeologie versus de MCA-ecologie.

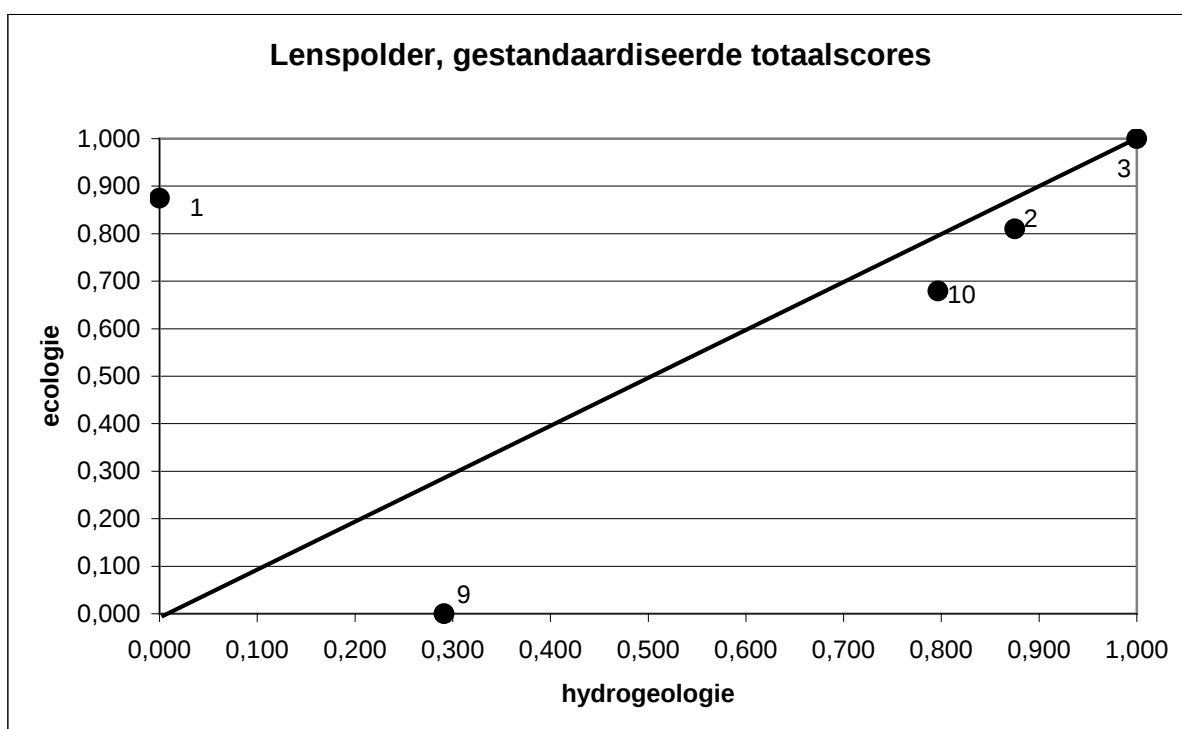


Fig. 7 – Gestandaardiseerde totaalscore (gemiddelde van de gewogen scores) voor de verschillende scenario's voor de Lenspolder in de MCA-hydrogeologie versus de MCA-ecologie.

Dit leidt tot de volgende globale conclusies met betrekking tot de mogelijkheid om drinkwaterwinning te realiseren binnen de grenzen van de twee bestudeerde detailgebieden.

Het overdekte waddenlandschap

- In het overdekte waddenlandschap is scenario 6 het meest interessante lokale waterwinningsalternatief, waarbij water gewonnen wordt ten zuiden en oosten van de bestaande zandwinningsvijver. Scenario 6 scoort daarbij zowel ecologisch als hydrogeologisch beter dan de huidige toestand met waterwinning in de aangrenzende Westhoekduinen (scenario 2 met 1.243.290 m³/j winning in het Calmeynbos, regelmatig gespreid over het jaar).
- Ecologisch is de situatie zonder winning de beste, maar dit biedt geen antwoord op het objectief om *binnen het overdekte waddenlandschap* te komen tot een alternatief voor waterwinning in de aangrenzende duinen. We herhalen daarom dat scenario 1 slechts valabel is indien watervoorzieningsalternatieven worden gezocht buiten het bestudeerde detailgebied, bvb. door wateraanvoer vanuit het binnenland.
- Scenario 3 waarbij werd gesimuleerd dat dankzij waterwinning via infiltratie in de Doornpanne de waterwinning in het Calmeynbos zou worden teruggeschroefd tot 1.000.000 m³ per jaar, wordt ecologisch als wenselijker geëvalueerd dan de lokale waterwinningsalternatieven, terwijl het scenario ook redelijk scoort voor de hydrogeologische criteria.
- Waterwinningsalternatieven binnen het overdekte waddenlandschap, waarbij gewerkt wordt met infiltratie en pompputten rond het Langgeleed (scenario 4, 5 en 8) of in het gebied tussen kanaal en Cabourduinen (scenario 7) scoren geen van alle hoger dan de huidige toestand met waterwinning in de duinen en komen dus in feite niet in aanmerking als alternatief.

De Lenspolder

- In de Lenspolder zijn de scenario's met lokale drinkwaterwinning minder gunstig dan de huidige situatie of dan de toestand met infiltratie in de Doornpanne. Hier lijkt het lokaal implementeren van waterwinning niet interessant. Sowieso heeft het scenario met een te creëren groot infiltratiebekken een dusdanige ruimtelijke impact dat het als nauwelijks haalbaar moet bestempeld worden.

11 Referenties

- Baeteman, C. (2001). The Holocene development of De Moeren and the Inland Dunes (western coastal plain of Belgium). Excursion guide Field Meeting 2nd June 2001 to the Western Coastal Plain, De Moeren and Inland Dunes. Belgian Geological Survey.
- De Ceunynck, R. (1985). The evolution of the coastal dunes in the western Belgian coastal plain. *Eiszeitalter und Gegenwart* 35: 33-41.
- De Ceunynck, R. (1992). Het duinlandschap, ontstaan en evolutie. In: Termote, J. (red.), Tussen land en zee: het duingebied van Nieuwpoort tot De Panne. Lannoo, Tielt: 18 – 45p.
- Dumortier, M. & Hoffmann, M. (1997). Structuurplan Bos- en natuurgebied: Lenspolder - Zelte - Nieuwpoort – Koksijde: eindrapport. IN rapport IN 97.28. Instituut voor Natuurbehoud, Brussel, 35p + kaarten.
- Termote, J. (1992). Tussen land en zee: het duingebied van Nieuwpoort tot De Panne. Lannoo, Tielt, 264p. + ill.

