



TOPSOIL - GO-FRESH
Vlaanderen: Potenties om de
zoetwaterbeschikbaarheid te
verbeteren





VLAAMSE
MILIEUMAATSCHAPPIJ



TOPSOIL - GO-FRESH Vlaanderen

Potenties om de zoetwaterbeschikbaarheid te verbeteren

Perry de Louw (Deltares)
Esther van Baaren (Deltares)
Vince Kaandorp (Deltares)
Sandra Galvis Rodriguez (Deltares)
Elien Dupon (Inagro)
Dominique Huits (Inagro)
Marc van Camp (Universiteit Gent)
Kristine Walraevens (Universiteit Gent)
Alexander Vandenbohede (De watergroep)



Titel

TOPSOIL - GO-FRESH Vlaanderen Potenties om de zoetwaterbeschikbaarheid te verbeteren

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Vlaamse Milieu Maatschappij, BRUSSEL	11200306-007	11200306-007-BGS-0001	100

Trefwoorden

Zoetwaterbeschikbaarheid, verzilting, zoet grondwater, kreekruginfiltratie, GO-FRESH, FRESHEM, grondwater, kanskaarten, landbouw

Samenvatting

Overexploitatie, vooral in de jaren 1980 en 1990, heeft ervoor gezorgd dat de grondwaterstanden in de diepe watervoerende lagen (in Paleozoïsche sokkel, het Krijt en Landenaan) in West- en Oost-Vlaanderen sterk zijn gedaald (tot meer dan 100 m in de kern van de afpompingskegel). Na 2000 werd door de overheid een restrictief beleid inzake grondwatervergunningen doorgevoerd, wat geleid heeft tot een graduele afbouw van de opgepompte debieten. Hierdoor worden landbouwers genoodzaakt te zoeken naar alternatieve waterbronnen. Om de diepe lagen te ontlasten kan gezocht worden naar waterwinning in het ondiepe freatische grondwatersysteem.

Voor het westelijk kustgebied zijn in het kader van het TOPSOIL-project de potenties van het ondiepe freatische grondwatersysteem onderzocht om de zoetwaterbeschikbaarheid voor de landbouw te verbeteren (genaamd GO-FRESH Vlaanderen). In fase 1, 2 en 3 van dit TOPSOIL-project is het zoet/zout grensvlak gedetailleerd in beeld gebracht (FRESHEM Vlaanderen) d.m.v. helikoptermetingen met SkyTEM (Delsman et al., 2019). De FRESHEM-resultaten laten zien dat het freatische pakket buiten de duingordel slechts zeer beperkte hoeveelheden niet verzilt water bevat. In de polderstreek wordt het zoete grondwater enkel gevonden onder de hoger-gelegen kreekruigen. Deze kreekruigen zijn daardoor interessant als potentiële locaties voor het winnen van ondiep grondwater waarbij de mogelijkheden dienen onderzocht te worden om de huidige voorraad zoet water onder de kreekruigen te vergroten of te optimaliseren.

Het doel van dit project is te komen tot een advies over mogelijke pilootprojecten waar innovatieve maatregelen de zoetwatervoorziening in het freatisch grondwatersysteem van het westelijk kustgebied kunnen verbeteren ten behoeve van landbouw. Met betrekking tot de huidige zoetwatervoorziening is de potentie van een vijftal maatregelen om de zoetwaterbeschikbaarheid te vergroten, in kaart gebracht. Kreekruginfiltratie, het actief infiltreren van zoet oppervlaktewater in de ondergrond ter vergroting van de zoetwaterbel onder de kreekrug, wordt als meest kansrijk gezien. Voor twee pilootprojecten is deze kansrijke maatregel uitgewerkt tot een uitvoeringsplan. Om een goed inzicht te krijgen in de zoetwaterbehoefte in de praktijk zijn landbouwers bevroegd naar het gebruik van zoetwater. De grootste waterbehoefte betreft drinkwater voor het vee.

Uit het onderzoek blijkt dat kreekruginfiltratie de potentie heeft om op een duurzame manier in een groot deel van de waterbehoefte voor de landbouw in het westelijk kustgebied te voorzien. Kreekruginfiltratie levert een betrouwbare waterbron op en kan meerdere waterbronnen vervangen en daardoor de watervoorziening duurzamer en constanter maken. Echter, de geschatte kostprijs van kreekruginfiltratie is hoog bij een kleine watervraag, bij aanleg van een groter systeem met een hogere watervraag wordt de prijs aantrekkelijk (bij een watervraag > 3000 m³ is de kuubprijs lager dan die van leidingwater). Door te meten en monitoren op perceelniveau kan het meest efficiënte ontwerp worden gemaakt en kunnen de effecten van het systeem worden bepaald. Aandachtspunt is het wetgevend kader dat aanpassing behoeft om infiltratie via kleinere systemen praktisch mogelijk te maken.




Titel
TOPSOIL - GO-FRESH Vlaanderen Potenties om
de zoetwaterbeschikbaarheid te verbeteren

Opdrachtgever
Vlaamse Milieu
Maatschappij, BRUSSEL

Project
11200306-007

Kenmerk
11200306-007-BGS-0001

Pagina's
100

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	nov. 2019	Perry de Louw		Esther van Baaren		Otto de Keizer	
		Esther van Baaren					
		Vince Kaandorp					
		Sandra Galvis Rodriguez					
		Elien Dupon					
		Dominique Huits					
		Marc van Camp					
		Kristine Walraevens					
		Alexander Vandenbohede					

Status
definitief

Inhoud

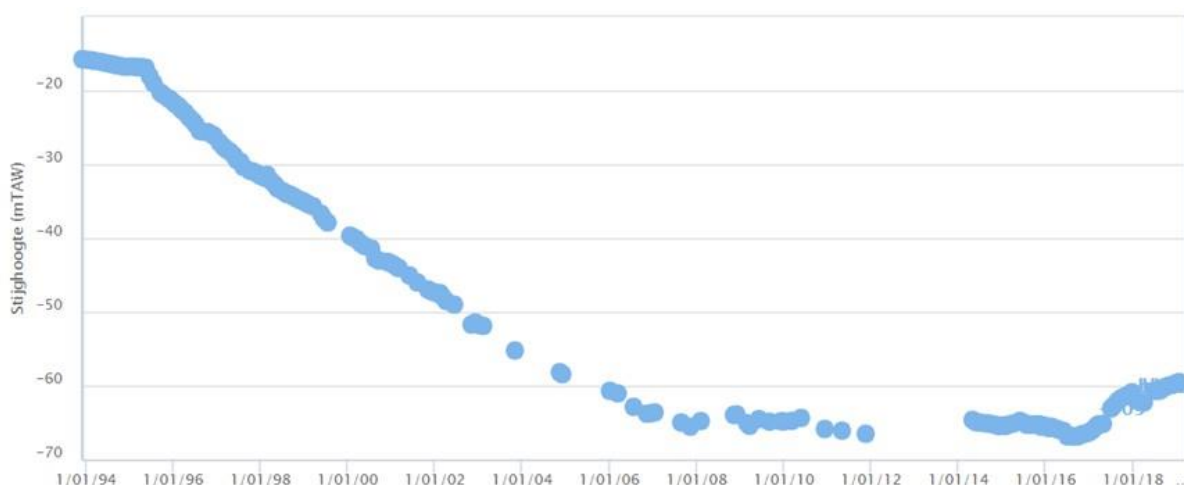
1 Inleiding	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Doelstelling	2
1.3 Leeswijzer	2
1.4 Totstandkoming	2
2 Watersysteemanalyse	3
2.1 Huidige zoet/zoutverdeling westelijk kustgebied	3
2.2 Paleogeografische ontwikkeling	5
2.3 Maaiveldhoogte	11
2.4 Geohydrologie	12
2.5 Hydrografie (ontwatering en polders)	14
2.6 Grondwaterstroming	21
2.7 Grondwateronttrekkingen	30
3 Potentiekarten	33
3.1 Lijst met potentiële zoetwater maatregelen	33
3.2 Selectie vijf GO-FRESH Vlaanderen maatregelen	37
3.3 Methodiek voor afleiden potentiekarten	39
3.4 Werkwijze en samenvatting potentiekarten	64
4 Waterbehoefte westelijke kustgebied en uitvoeringsplan pilootprojecten	67
4.1 Inleiding	67
4.2 Stakeholderparticipatie	67
4.3 Hydraulische randvoorwaarden en selectie pilootgebieden	72
4.3.1 Waterbehoefte West-Vlaanderen	72
4.3.2 Beschrijving pilootgebieden	73
4.4 Financiële analyse: kostprijsberekening ondergrondse zoetwateropslag	84
4.4.1 Kostprijsberekening actieve kreekruuginfiltratie pilootbedrijf 2	84
4.4.2 Kostprijsberekeningen andere potentiële bedrijven voor aanleg actieve kreekruuginfiltratie	90
4.5 Realisatieplan pilootproject	93
4.5.1 Beschrijving implementatie maatregel	93
4.5.2 Monitoring	94
4.5.3 Begroting	96
4.5.4 Discussie implementatie	96
4.5.5 Werkwijze en stappenplan	97
4.5.6 Conclusies en aanbevelingen	98
5 Referenties	99

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Overexploitatie, vooral in de jaren 1980 en 1990, heeft ervoor gezorgd dat de waterstanden in de diepe watervoerende lagen in West- en Oost-Vlaanderen sterk zijn gedaald (tot meer dan 100 m in de kern van de afpompingskegel). Het gaat over de watervoerende lagen in de Paleozoïsche sokkel, het Krijt en Landeniaan. Doordat deze lagen in West-Vlaanderen bedekt zijn door een dikke tertiaire kleilaag (de “leperiaanklei”, Formatie van Kortrijk) is hun voeding zeer beperkt. De lange exploitatiegeschiedenis van deze lagen gedurende de laatste 100 jaar, heeft depressietrechters op regionale schaal doen ontstaan en heeft geleid tot een systematische en continue daling van de waterpeilen. Het opgepompte water uit het Landeniaan werd vooral gebruikt voor landbouwdoeleinden, dat van de Paleozoïsche sokkel en Krijt voor industriële applicaties (grotere debieten mogelijk).

Na 2000 werd door de overheid een restrictief beleid inzake grondwatervergunningen doorgevoerd, wat geleid heeft tot een graduele afbouw van de opgepompte debieten. Dat heeft geresulteerd in een aanvankelijke stabilisatie en nadien voor bepaalde gebieden beperkt herstel van de peilen. Dit wordt geïllustreerd in een peilbuis in het Landeniaan aquifersysteem van het VMM meetnet ten zuiden van Veurne (Figuur 1.1). Na een quasi lineaire daling tijdens de jaren negentig is het peil vanaf ca 2008 ongeveer stabiel gebleven en is recent in 2016 een langzame stijging ingezet. Vermits het peil hier nog steeds zeer diep staat (ca 70 m onder maaiveld) zal het herstel van deze laag wellicht decennia vergen. Deze lange responstijd heeft te maken met de zeer beperkte voeding van de diepe lagen en staat in een scherp contrast met ondiepe, freatische lagen waar de voeding afkomstig is van een ruim deel van de neerslaghoeveelheid. Een verdere uitputting van de diepe lagen kan op termijn leiden tot onherstelbare schade aan het aquifersysteem zelf en past ook niet in het kader van duurzame ontwikkeling.



Figuur 1.1 Stijghoogteverloop in het Landeniaan aquifersysteem in peilbuis 3-0033 gelegen ten zuiden van Veurne.

Om de diepe lagen te ontlasten kan gezocht worden naar waterwinning in meer ondiepe aquifersystemen. In het westelijk kustgebied vormt de leperiaanklei (Formatie van Kortrijk) die de diepe lagen afsluit tevens de basis van het freatisch reservoir. Er komen geen tussenliggende lagen voor die waterwinningsperspectieven bieden. De freatische laag zelf bevat buiten de duingordel slechts zeer beperkte hoeveelheden niet verzilt water. Dit komt daar voor als ondiepe lenzen zoet water die ontstaan zijn door infiltratie van regenwater op

kreekruggen. Deze bestaan uit een zandig substraat dat gunstig is voor percolatie en liggen als verhevenheden in het anders vlakke polderlandschap. De kreekruggen zijn daardoor interessant als potentiële plaatsen voor het winnen van ondiep grondwater in de polderstreek waarbij de mogelijkheden dienen onderzocht te worden om de huidige voorraad zoet water onder de kreekruggen te vergroten of te optimaliseren.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit project is te komen tot een advies over mogelijke pilootprojecten waar innovatieve maatregelen de zoetwatervoorziening in het freatisch grondwatersysteem van het westelijk kustgebied kunnen verbeteren ten behoeve van landbouw.

Hiertoe dient het watersysteem met betrekking tot de huidige zoetwatervoorziening en de potentie van een vijftal maatregelen om de zoetwaterbeschikbaarheid te vergroten, in kaart te worden gebracht.

Voor twee pilootprojecten wordt één van de vijf kansrijke maatregelen uitgewerkt tot een uitvoeringsplan.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het watersysteem van het westkustgebied beschreven. Hierbij ligt de nadruk op de factoren die de huidige zoetwatervoorcomens in de ondergrond bepalen en de mogelijkheden om deze te vergroten. Op basis hiervan zijn een vijftal mogelijke maatregelen ofwel zoetwateroplossingen gekozen waarvoor zogenaamde potentiekaarten worden afgeleid. De keuze van deze maatregelen, de methodiek om te komen tot de potentiekaarten en de potentiekaarten zelf, staan beschreven in hoofdstuk 3. Om een goed inzicht te krijgen in de zoetwaterbehoefte in de praktijk zijn landbouwers bevraagd naar het gebruik van zoetwater. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van deze consultatie en het uitvoeringsplan met kostenraming voor twee pilootprojecten beschreven.

1.4 Totstandkoming

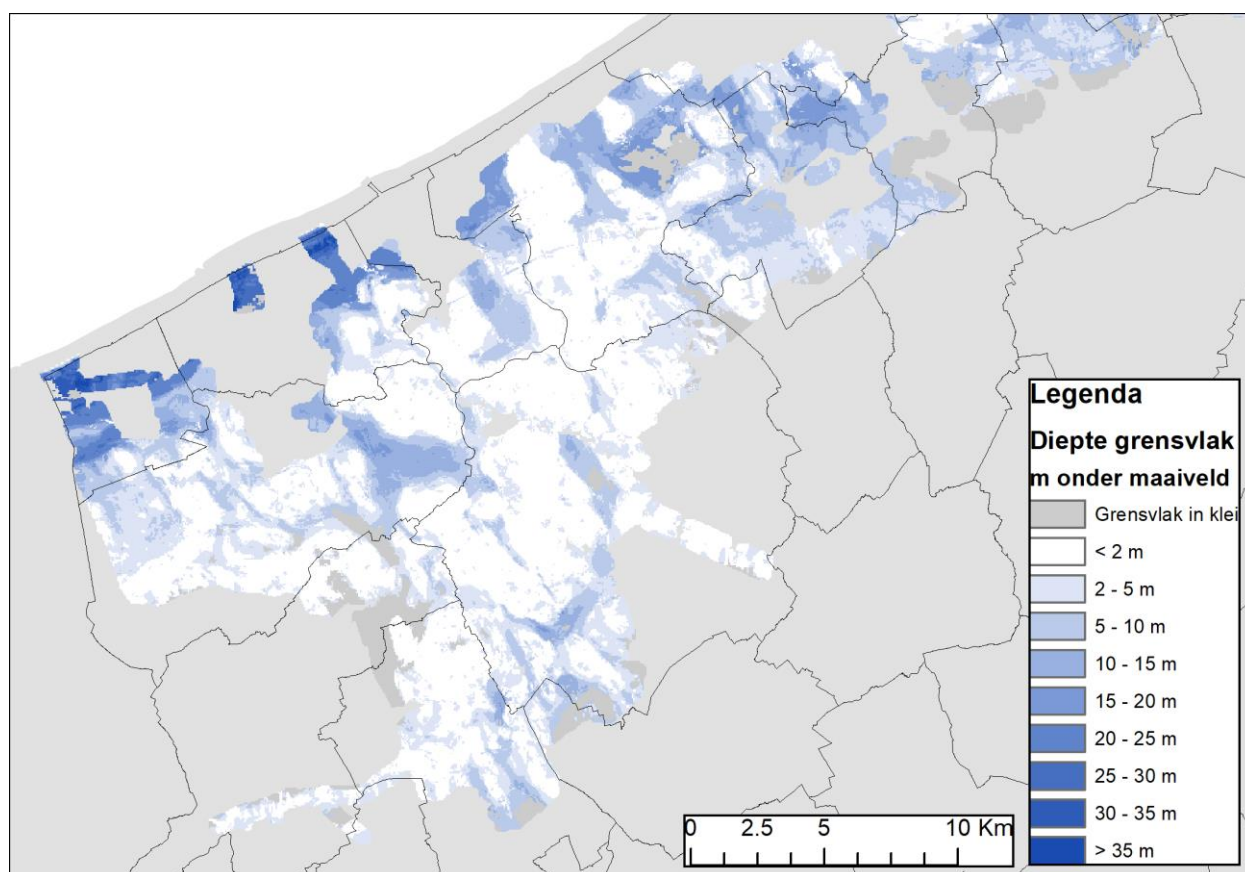
Deze studie werd uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij en is onderdeel van het Interreg North Sea Region project TOPSOIL (northsearegion.eu/topsoil/).

2 Watersysteemanalyse

2.1 Huidige zoet/zoutverdeling westelijk kustgebied

Diepte verziltingsvlak (Figuur 2.1)

De diepte werd bepaald door het grid met aangeleverd peil (in m TAW) van het zoet/zout grensvlak af te trekken van de topografische hoogte (DTM). Het zoet/zout grensvlak is het resultaat van FRESHEM (de helikoptermetingen met SkyTEM en de verwerking van deze meetresultaten tot een grensvlakkenkaart), uitgevoerd in fase 1, 2 en 3 van dit project (Delsman et al., 2019). Hierbij is de optimistische variant¹ gebruikt die verder als standaard zal worden toegepast bij dit onderzoek naar de potentie om de zoetwaterbeschikbaarheid te verbeteren. Het DTM gebruikt de data van het DHM (Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen) waarbij het puntenbestand gebruikt werd om een grid te produceren conform de geometrie van het grensvlak grid. Daarbij worden alle DHM punten die binnen eenzelfde gridcel vallen uitgemiddeld tot een gemiddelde hoogteligging voor dat gridpunt. De resulterende kaart is voorgesteld op Figuur 2.1.



Figuur 2.1 Diepte (in m) van het verziltingsvlak in het studiegebied. Grijs betekent grensvlak tot in de Tertiaire klei en dus volledig verzoet tot op de klei.

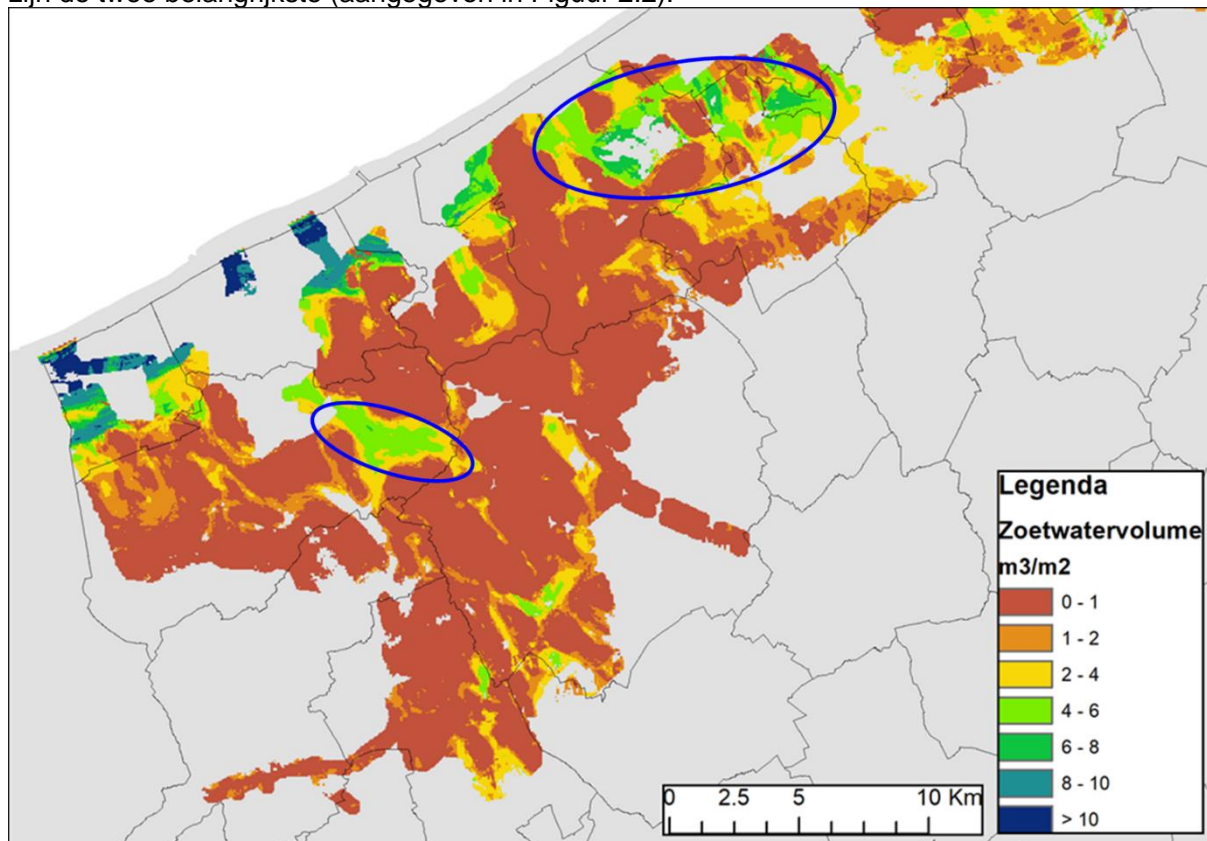
¹ "zoet grondwater boven het grensvlak in 89% van de puntmetingen"

Zoetwatervolume (Figuur 2.2)

Het zoetwatervolume werd berekend door de diepte van het verziltingsvlak af te trekken van de watertafel en te vermenigvuldigen met een gemiddelde porositeit. Voor de porositeit werd 40% genomen dat als een representatieve waarde voor zand wordt gezien. Het meeste zoet water zit immers in de zandafzettingen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat dit zoetwatervolume niet het winbare volume betreft. Hoeveel grondwater op een duurzame wijze gewonnen kan worden, is zeer locatie specifiek en hangt sterk af van de hoeveelheid grondwateraanvulling, diepte van de winning, diepte van het verziltingsvlak en de periode van winnen.

De stijghoogtekaart van de watertafel werd opgesteld aan de hand van de DTM door de watertafel op een vaste diepte onder maaiveld te veronderstellen. Dit is een benadering die de jaargemiddelde situatie weergeeft. Het aantal peilbuizen binnen het studiegebied is onvoldoende om het complexe patroon van lokale grondwaterstroming accuraat te kunnen bekomen door interpolatie tussen deze meetpunten. Omdat er sporadisch blanco zones zijn in het verziltingsvlak, ontbreken deze stroken ook in het grid van het zoetwatervolume.

Het zoetwatervolume wordt uitgedrukt als de hoeveelheid zoet water (m^3) die per oppervlakte-eenheid (m^2) in het reservoir aanwezig is. Het resultaat is voorgesteld op Figuur 2.2. Daarbij is een kleurschakering gebruikt. De kustduinmassieven, waar de grootste zoetwatervoorraden voorkomen, zijn niet in het actief studiegebied opgenomen. Buiten de duinmassieven en de aangrenzende strook in de polders zijn er slechts een zeer beperkt aantal zones waar zich zoetwaterlenzen hebben ontwikkeld : de kreekrug rond Avekapelle en de polders van Oostende zijn de twee belangrijkste (aangegeven in Figuur 2.2).

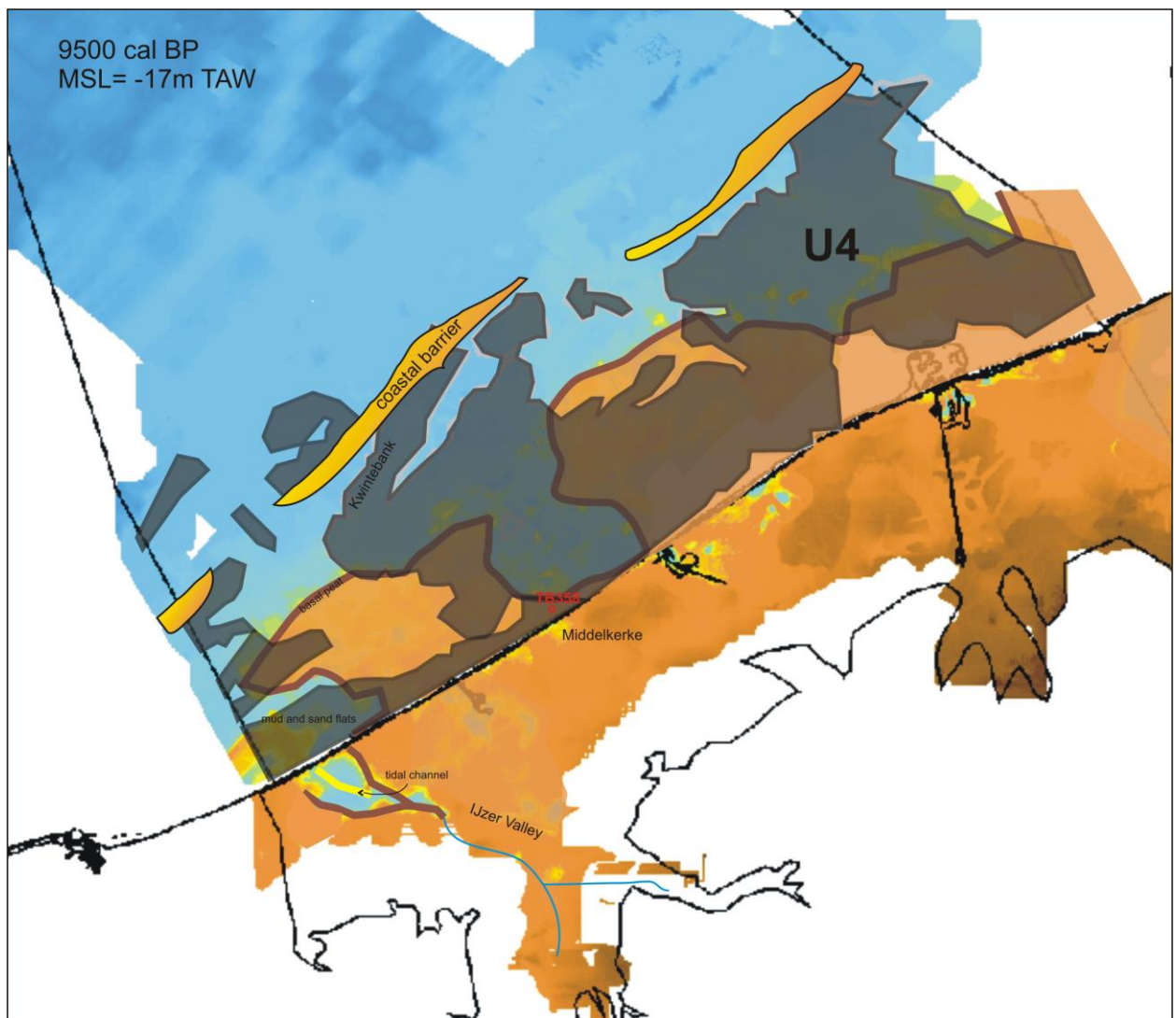


Figuur 2.2 Het zoetwatervolume – niet gelijk aan winbaar volume - in het ondiepe freatische reservoir van het Westkust-gebied (uitgedrukt in m^3/m^2).

2.2 Paleogeografische ontwikkeling

Inleiding

De Belgische kustvlakte heeft op korte termijn een ingrijpende evolutie doorgemaakt. Na de laatste IJstijd was de zeespiegelstijging de drijvende kracht die het gebied vorm gaf en een reeks kustmilieus creëerde zoals slikken en schorren en veenmoerassen. De inpoldering door de mens transformeerde het gebied tot het huidige polderlandschap en dit legde de verdeling van zoet en zout water, wat nu wordt gemeten, vast. Hieronder volgt een summier overzicht van deze evolutie, hoofdzakelijk gebaseerd op Baeteman (2008) tenzij anders vermeld.



Figuur 2.3. Paleogeografische reconstructie van de kustvlakte, ongeveer 9500 jaar geleden (Mathys (2009) in combinatie met Baeteman (2005)). Achter een kustbarrière heeft er zich een slikken- en schorregebied (grijze zones) gevormd. De zee heeft toegang tot de huidige kustvlakte via de paleovallei van de IJzer. De zeespiegel bevond zich toen op ongeveer -17 m TAW.

Na de laatste IJstijd

Tijdens de laatste IJstijd daalde het zeeniveau tot 110 à 130 m onder het huidig peil waardoor de Noordzee droog kwam te liggen. De huidige westelijke kustvlakte bestond toen uit een fluviaal landschap, gekenmerkt door de paleovallei van de IJzer en haar bijrivieren. De huidige oostelijke kustvlakte was gekenmerkt door het voorkomen van hoger gelegen dekzandruggen.

De IJstijd eindigde ongeveer 12 500 jaar geleden waarna het zeeniveau uiteraard steeg en de zee terug bezit nam van het Noordzeegebied. Rond 12 000 jaar geleden was het zeeniveau al 80 m gestegen ten opzichte van laagste zeespiegelstand tijdens de IJstijd. In het zuidelijk deel van de Noordzee ontstond een microtidaal (getijdenamplitude minder dan 2 m) slikken- en schorregebied doorsneden door krekens, vergelijkbaar met het huidige Duitse Noordzeegebied. Dit gebied werd zeewaarts beschermd door een kustbarrière. De zee bereikte het gebied van de huidige westelijke kustvlakte rond 9500 jaar geleden (Figuur 2.3). Aanvankelijk was dit via het Nauw van Calais maar rond 9000 jaar geleden ook via de Noordzee. Getuige hiervan is het zogenaamde basisveen. Dit veen werd gevormd in zoetwatermoerassen als gevolg van een stijgende grondwatertafel. Rond 8700 jaar geleden bereikte de zee de huidige middenkust, met name nabij Middelkerke zijn hier aanwijzingen voor.

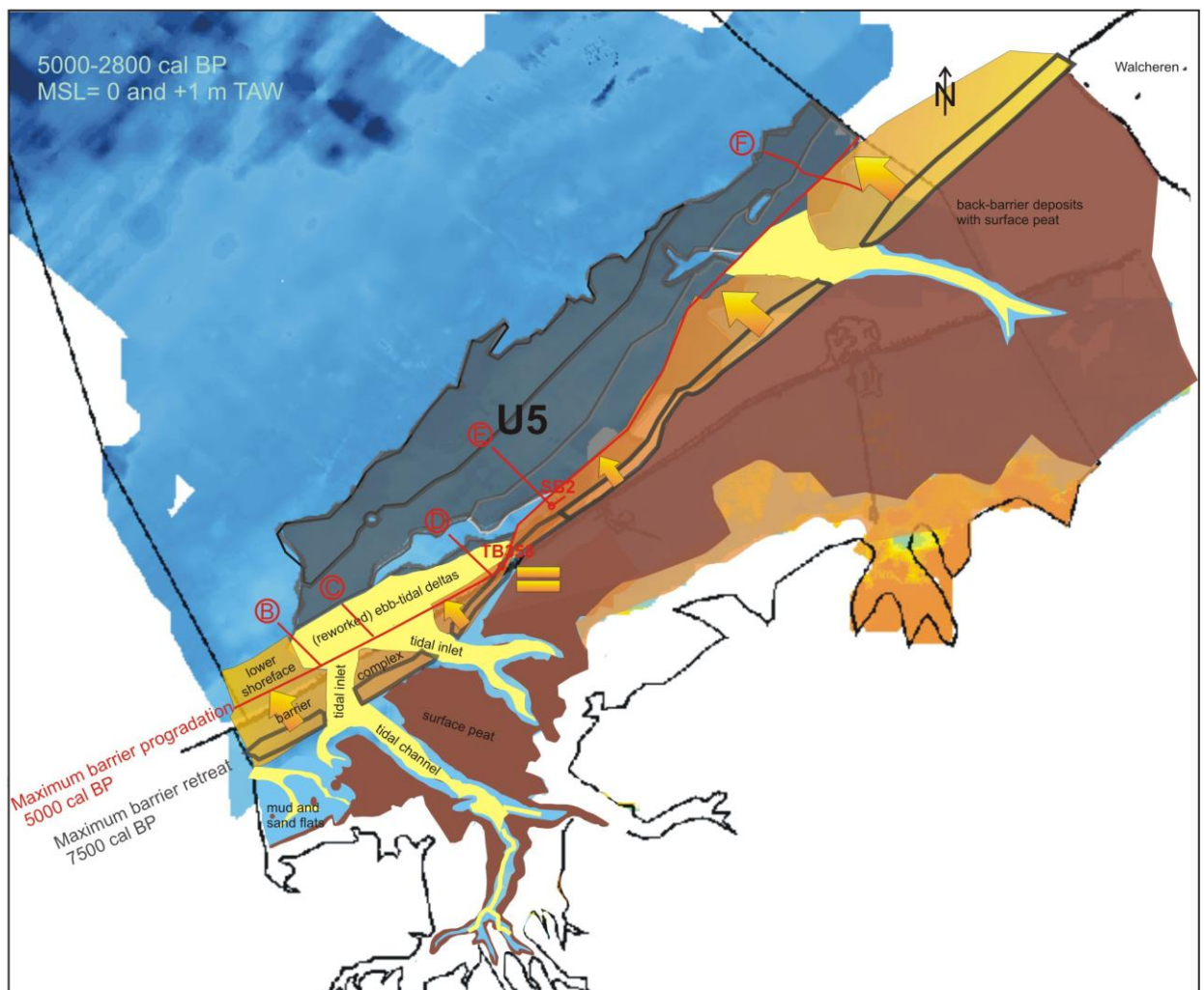
Initieel steeg de zeespiegel vrij snel, i.e. 0.7 cm per jaar, wat leidde tot een relatief snelle verdere landwaartse opschuiving van het getijdengebied. Het leidde ook tot de afzetting van een relatief dik pakket (ongeveer 10 m) sediment. Circa 7500 à 7000 jaar geleden trad er een vermindering op van de snelheid waarmee de zeespiegel steeg. De zeespiegelstijging bedroeg vanaf dan 0.25 tot 0.4 cm per jaar. Dit zorgde voor een stabilisatie van de kustbarrière en het opslippen van het slikken- en schorregebied. Er ontstond een kustveenmoeras. En waar zout water het slikken- en schorregebied domineerde, werd de rol overgenomen door zoet water in het veenmoeras waardoor er lokaal dunne zoetwaterlenzen konden worden gevormd.

Het bleef echter een dynamisch landschap. De zeespiegel bleef immers stijgen en in de nabijheid van geulen werd er zand of klei afgezet. Ook konden geulen zich blijven verplaatsen waardoor een veengebied kon evolueren in een slikken- en schorregebied of vice versa. Sedimenten daterend van 7500 – 5500 jaar geleden bestaan zodoende uit een afwisseling van slikken- en schorrensedimenten en veen.

Naar een kustveenmoeras

Een tweede afname van de zeespiegelsnelheid deed zich voor rond 5500 à 5000 jaar geleden. De zeespiegelstijging bedroeg vanaf toen 0.07 tot 0.1 cm per jaar. Dit zorgde ervoor dat veenmoerassen zich gevoelig konden uitbreiden. Rond 4800 jaar geleden was zo goed als de volledige kustvlakte omgevormd tot een moeras (figuur 2.4). Getuige hiervan is een relatief dikke veenlaag (tot maximaal enkele meters) die nu nog wordt aangetroffen en die het oppervlakteveen wordt genoemd. Er waren echter enkele gebieden waar geen veen werd gevormd, zoals in de Moeren en in de toenmalige zeegaten waar verder zand of klei werd afgezet. De kustlijn bevond zich een stuk meer zeewaarts dan de huidige positie, zeker voor wat het oostelijk deel betrof.

Na 2000 tot 3000 jaar veengroei kwam het kustgebied in een nieuwe fase terecht waarbij het terug evolueerde naar een slikken- en schorregebied. De reden hiervoor blijft onduidelijk maar mogelijks zorgde een verhoogde waterafvoer vanuit het hinterland voor reactivatie van geulen. Klimatologische veranderingen met misschien de eerste gevolgen van een menselijke aanwezigheid in het gebied zouden hiervan aan de basis kunnen liggen. De geulen zorgden voor het ontwateren van de veenlagen met inklinking als gevolg. Terzelfdertijd bleef de zeespiegel stijgen maar de veengroei volgde uiteraard niet. Het gevolg is dat er opnieuw ruimte ontstond voor sedimentatie. Dit sediment was afkomstig van het uitschuren van de oudere Holocene sedimenten en, vooral, van het eroderen van de kustlijn. De kustlijn schreed daardoor terug landwaarts. Tijdens deze periode kon het zeewater gemakkelijk de ondergrond indringen. Pas zo'n 1400 à 1200 jaar geleden (i.e. 600 tot 800 AD) was er een dynamisch evenwicht bereikt waardoor het grootste deel van de kustvlakte kon evolueren naar een slikken- en schorregebied. Op dat moment begon de mens ingrijpend z'n stempel op het gebied te drukken door bedijking en inpoldering.



Figuur 2.4. Paleogeografische reconstructie van de kustvlakte, ongeveer 5000 tot 2800 jaar geleden (Mathys (2009) in combinatie met Baeteman (2005)). De zeespiegel evolueerde in die tijdspanne van 0 tot +1 m TAW. In het westelijk kustgebied zijn er twee grote zeegaten, één bij de monding van de paleovallei van de IJzer en één ter hoogte van de huidige monding van de IJzer. Het paleo-zeegat in het oostelijk kustgebied is gelegen voor het huidige Zeebrugge.

Inpoldering

Hoewel er zonder enige twijfel al vroegere menselijke aanwezigheid was in de kustvlakte (denk maar aan de Romeinen), begint het verhaal van de inpoldering in de vroege Middeleeuwen. In die periode ontstonden er kleine nederzettingen, logischerwijze op de hoger gelegen gebieden. Er werden zelfs vestigingen voorzien waar bewoners in tijd van nood konden schuilen. In het westelijk kustgebied is Veurne hier een voorbeeld van. Het werd gesticht in 890-891 AD door de Boudewijn II, graaf van Vlaanderen, en toont aan dat er op het eind van de 9^{de} eeuw toch al een belangrijke bewoning moet zijn geweest.

In de loop van de tijden werden die nederzettingen groter en werden er actief maatregelen getroffen om ze te beschermen tegen de zee. Dit ontstond zeer lokaal maar evolueerde naar een grotere schaal. Mogelijks vanaf de 10^e eeuw AD maar zeker vanaf de 11^e eeuw AD werd begonnen met het aanleggen van dijken waardoor getracht werd land af te scheiden van de belangrijke getijdengeulen.

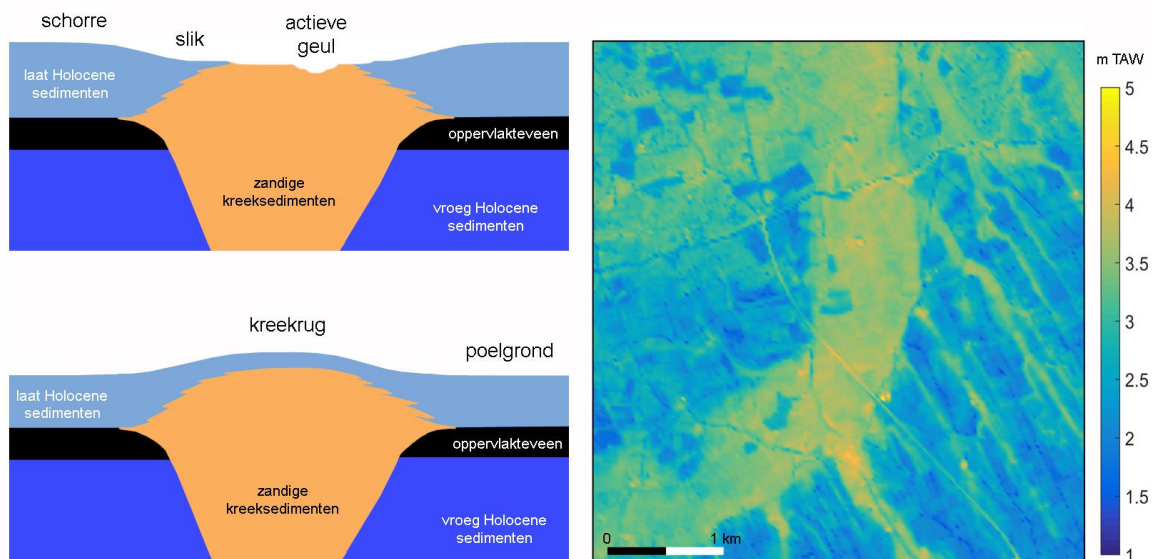
Dit betekende echter niet dat de getijdengeulen niet meer actief bleven. Het gebied rond de IJzer bijvoorbeeld was pas rond 650 AD naar een schorre geëvalueerd. De finale verlanding van het zeegat van de IJzer kwam er pas rond 1450 AD. Dus tijdens de Middeleeuwen werd er nog altijd sediment afgezet. Bij Oostende is geweten dat er rond 860-750 AD nog altijd een geul actief was.

De bedijking alleen was en is geen garantie dat het ingepolderde land zomaar ter beschikking kwam. Het is laag gelegen en de afkoppeling van het geulsysteem zorgde ervoor dat er van nature geen afwatering meer gebeurde. Dit moest nu artificieel tot stand gebracht worden. Er was dus met andere woorden nood aan een netwerk van afwateringskanalen in combinatie met de nodige hydraulische infrastructuur om alles in goede banen te leiden. Er ontstond een netwerk van sloten dat op enkele uitwateringspunten van keersluizen was voorzien.

De zoet-zoutwaterverdeling

De drainage van het ingepolderde land zorgde voor ontwatering van de bovenste sedimenten waardoor ze konden inklinken. Het gaat daarbij over de sedimenten die ruwweg na 2000 jaar geleden zijn afgezet, dus niet het oppervlakteveen aangezien dit tijdens de inpoldering niet tot maar zeer beperkt werd ontwaterd. Zand dat in de getijdengeulen was afgezet gaat echter zeer weinig compacteren door ontwatering. Klei, die in de gebieden tussen de geulen was afgezet, kan tot 10 maal meer compacteren dan zand. Er ontstond dus een verschillende inklinking van de sedimenten afhankelijk van het gebied, zijnde de oude geulen versus de tussenliggende gebieden. De oude opgevulde geulen kwamen daardoor in reliëf te liggen waardoor er een microreliëf ontstond (Figuur 2.5). Het resultaat van deze reliëfsinversie zorgt voor de opdeling die nu gekend staat als kreekkruggen (oude geulen) die hoger liggen dan de tussenliggende poelgronden.

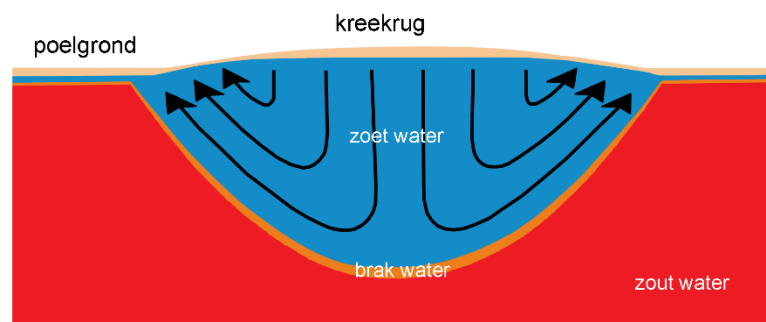
Het zijn echter niet enkel de met zand gevulde geulen die zorgden voor het huidige microreliëf. Ook de samenstelling van diepere Holocene sedimenten compacteren door de druk van bovenliggende sedimenten en variaties in dikte bepalen mede het microreliëf. Een ander aspect dat meespeelt is het tijdstip van inpoldering. Gebieden die pas laat zijn ingepolderd konden langer sediment accumuleren dan polders die eerder zijn ingepolderd. Daardoor komen die ook iets hoger te liggen. Deze reliëf inversie is niet overal even sterk opgetreden of zelfs niet (afhankelijk van bodemopbouw en historie) en is in bepaalde gebieden beter zichtbaar dan in andere.



Figuur 2.5. Ontstaan van de reliëfinversie (links) en het uiteindelijke resultaat zoals te zien is in de topografie, vervaardigd o.b.v. gegevens <http://www.geopunt.be> (rechts).

Hoe leidt dit nu tot de complexe verdeling tussen zoet en zout water zoals vandaag de dag wordt vastgesteld (bv Vandenbohede, 2014)? Voor de inpoldering stond het kustgebied zo goed als continu onder invloed van de zee wat betekent dat de aquifer voornamelijk zout water bevatte. Na de inpoldering veranderde dit; vanaf dan kon er enkel nog zoet regenwater infiltreren. Maar gans het gebied werd intens gedraineerd waardoor de hoeveelheid regenwater die effectief de aquifer kan voeden, beperkt was en is. Die drainage gebeurt aan de hand van greppels en buisdrainage die uitmonden in sloten die het water via een ingewikkeld netwerk (zie verder) naar zee leiden. Door de zandige ondergrond en de hogere ligging van de kreekruigen, kan er meer water infiltreren en ligt de grondwatertafel hoger. Deze hogere grondwatertafel in de kreekrug zorgt voor een stijghoogteverschil tussen kreekrug en poelgrond waardoor water dat op de kreekrug infiltreert richting poelgrond stroomt. Dit zoet infiltratiewater verdrong het oudere zoute water en vormde een zoetwaterlens (Figuur 2.6).

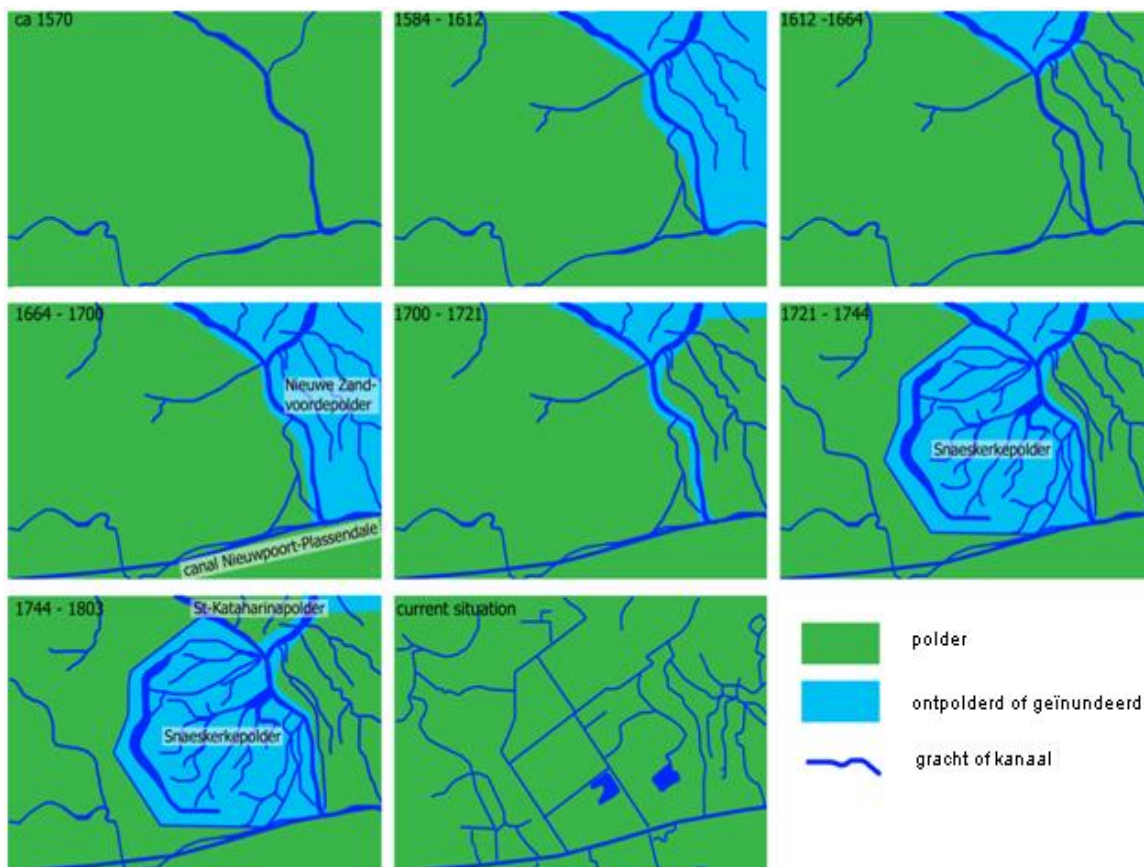
Het aanwezige zoute water is dus oud en is zeker geen recent zeewater zoals nog soms abusievelijk wordt gedacht. En de Holocene geologie vormt de blauwdruk van het complexe patroon dat op de verziltingskaart te zien is.



Figuur 2.6. Regenwater infiltreert op een kreekrug, stroomt naar de randen en verdringt het oudere zoute water. Na verloop van tijd ontstaat een stabiele zoetwaterlens.

Van inpoldering naar ontpoldering

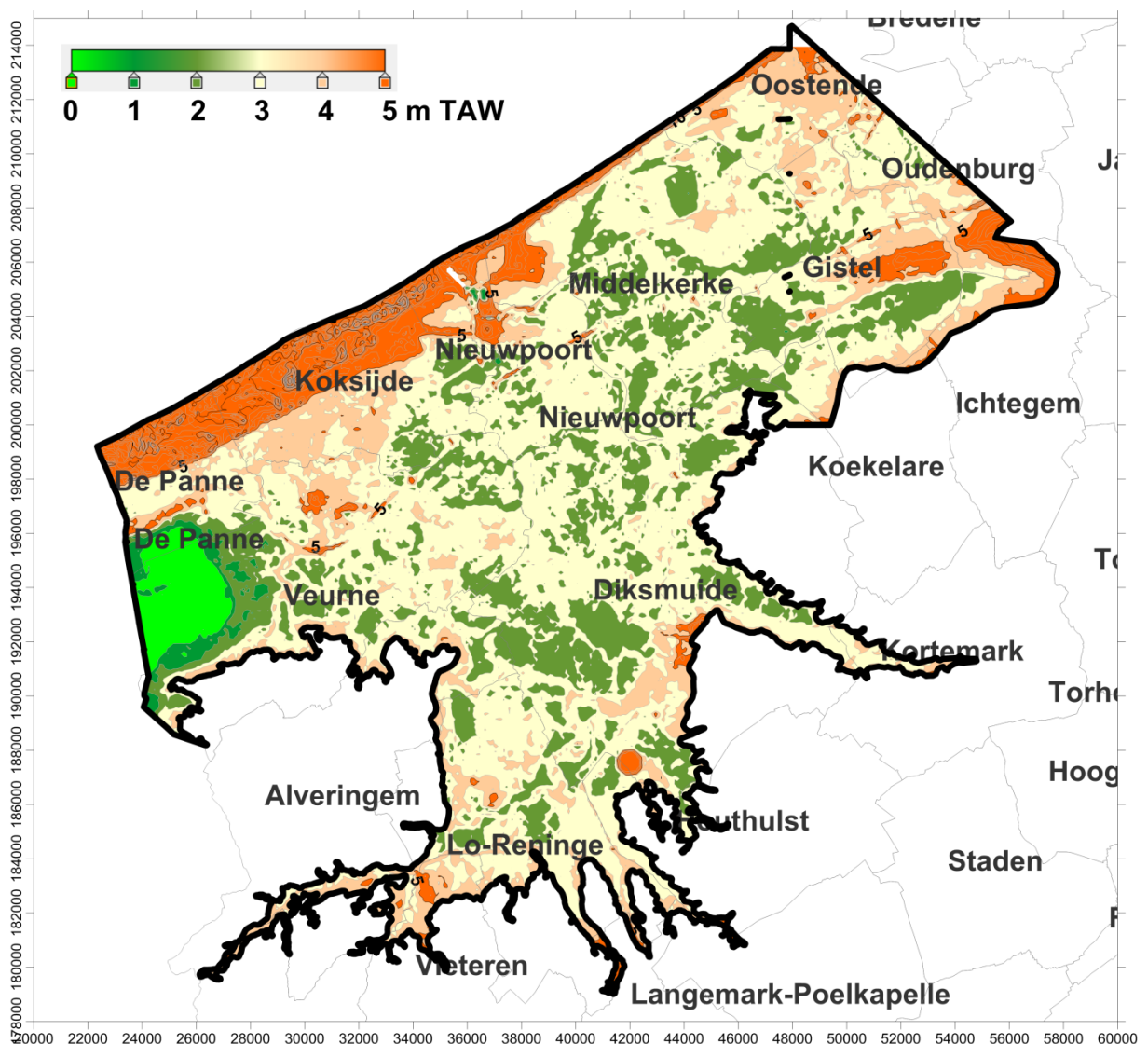
Eenmaal ingepolderd betekent niet voor altijd ingepolderd. Het gebied rond Oostende, wat gekend staat als de 'Historische Polders van Oostende' en wat binnen het studiegebied valt, is hier een voorbeeld van. De geschiedenis is in detail opgetekend door Farasyn (2006). Nadat het gebied tussen 1584 en 1604 geïnundeerd werd door de Geuzen om de Spanjaarden buiten de stad te houden, werden nadien delen aan de zee gelaten. Gedacht werd dat getijdenwerking de havengeul van Oostende zou openhouden. Tot het begin van de 19^{de} eeuw zijn ze zo verschillende gebieden ontpolderd geworden. Figuur 2.7 illustreert dit voor de omgeving van de Snaeskerkepolder. In het ontpolderd deel kon terug tijdelijk zeewater infiltreren. Tenzij mogelijk in details, valt hier in de huidige zoet-zoutwaterverdeling niets meer van te merken. Het doel van dit alles, het openhouden van de havengeul, mislukte echter jammerlijk, tot uiteindelijk de huidige Spuikom werd gegraven. Ontpolderen blijft ook nu nog actueel, denk maar aan de uitbreiding van het Zwin.



Figuur 2.7. Ontwikkeling van de Snaeskerkepolder als deel van de Historische Polders van Oostende (uit Vandenbohede et al., 2011).

2.3 Maaiveldhoogte

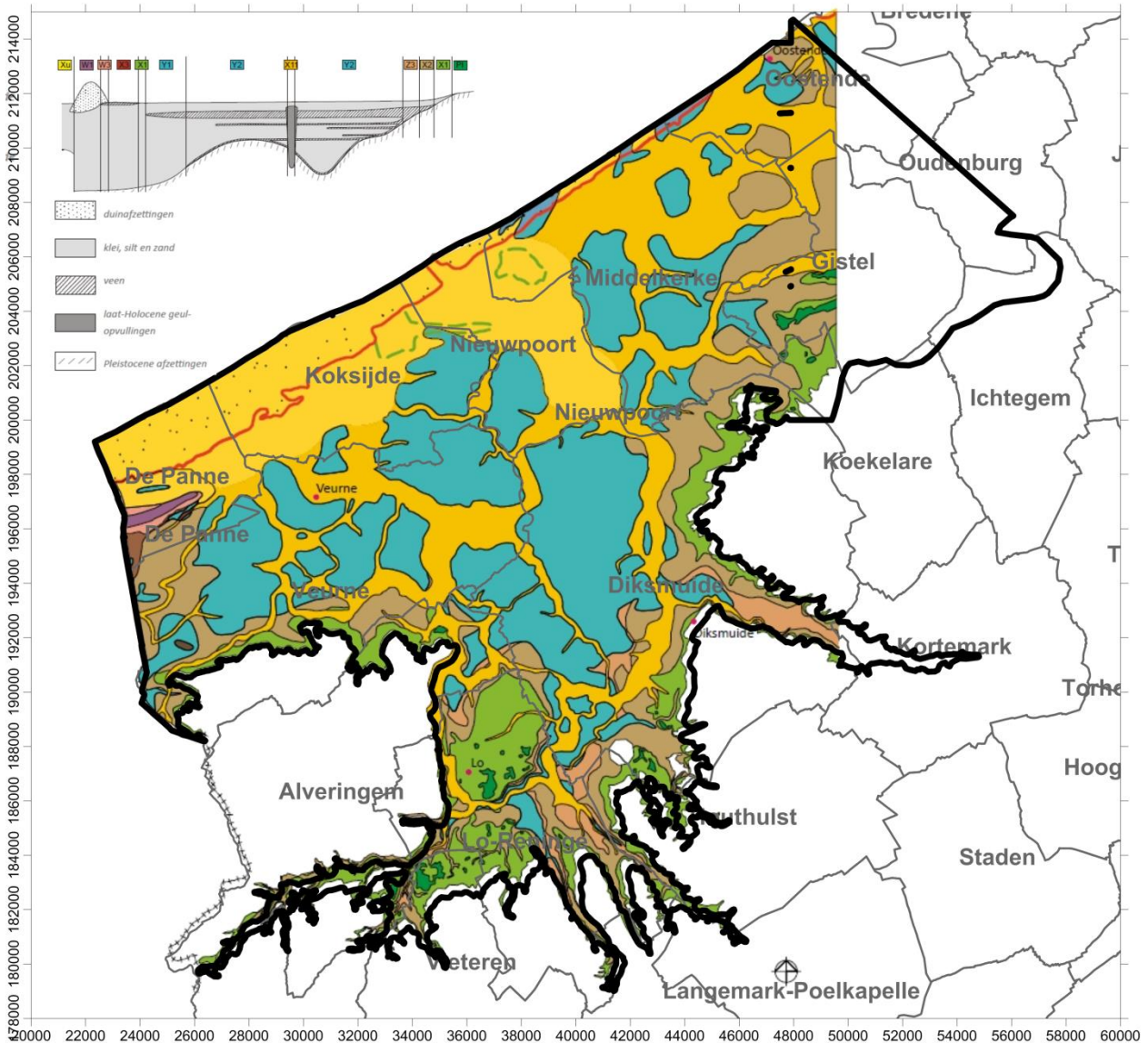
Op basis van het Digitaal Hoogte Model (DHM) Vlaanderen werd een grid aangemaakt met de hoogteligging van het terrein. De spatiale resolutie van het grid komt overeen met die van de lithologische modellen en bedraagt 100 m. Daartoe werd voor elk gridpunt de gemiddelde hoogte bepaald van alle DHM datapunten die binnen het overeenkomende 100 x 100 m vierkant vielen. Het bekomen DTM is op kaart voorgesteld op Figuur 2.8. De kleurschakering werd geschaald binnen het 0 tot +5 m TAW hoogte-interval om details van het microreliëf binnen het studiegebied te kunnen visualiseren. In het duingebied en ten oosten van Gistel stijgt de topografie tot boven peil +5.00 m TAW. De poelgronden liggen meestal tussen +1.5 en +2.5, de kreekruigen tussen +2.5 en +3.5. De laaggelegen Moeren liggen rond peil 0 m TAW.



Figuur 2.8 Maaiveldhoogte van het studiegebied geschaald binnen het 0 tot +5m TAW hoogte-interval.

2.4 Geohydrologie

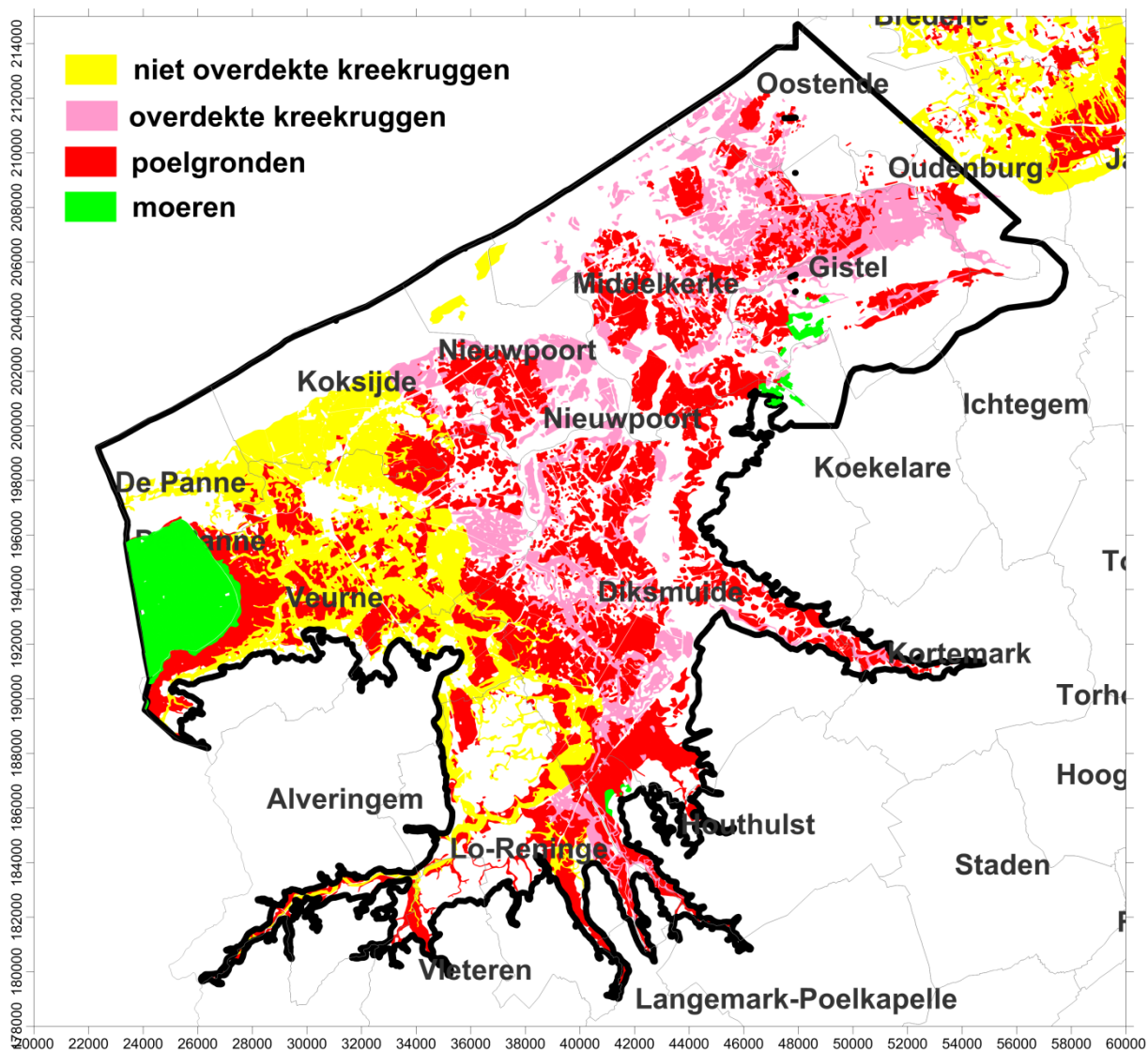
De opbouw van het freatisch reservoir werd afgeleid uit een profieltypekaart van het gebied (Figuur 2.9, Baeteman, 2011), waarbij aan ieder profieltype een kenmerkende, gemiddelde opbouw werd toegekend. Deze opbouw betreft zowel het lithofacies, als de dikte van de lagen.



Figuur 2.9 Ligging van profieltypen van het freatisch reservoir volgens Baeteman (2011). Geel stelt de duinen voor; oranje de kreekkruggen; blauw, bruin en groen de poelgronden.

De oppervlakkige sedimenten bepalen in grote mate de lokale infiltratiemogelijkheden van regenwater en daardoor de ontwikkeling van zoetwaterlenzen. De belangrijkste afzettingen in de polderstreek zijn zandige kreekrugafzettingen en kleiige poelgronden. Op basis van de bodemkaart werd het voorkomen van kreekrugafzettingen en poelgronden gekarteerd. Volgens de bodemkaart zijn de kreekrugafzettingen opgesplitst in de groepen overdekte (kleidek, meestal < 1.25 m, bij Avekapelle is dit bv 2 – 3 m) en niet-overdekte (geen kleidek). Kreekrugafzettingen zijn overwegend zandig. De dikte is variabel: de basis kan reiken tot in het Pleistocene substraat of ondieper tot in het Holocene kleiige substraat. Kreekkruggen gefundeerd tot in het Pleistoceen vormen geohydrologisch gezien een doorlatende verbinding tussen het Holocene en het Pleistocene deel van het freatisch pakket terwijl er onder de ondiepere kreekkruggen storende kleilagen kunnen worden aangetroffen. Poelgronden bestaan

hier uit een Holoceen klei-veen complex en is meerdere meters dik. De selectie steunde op het attribuutveld "bodemserie". Het laaggelegen gebied "De Moeren" bestaat uit drassige, kleiige grond (zogenaamde Moergronden). De ligging van de verschillende oppervlakesedimenten is aangegeven op Figuur 2.10. Tusseliggende niet ingekleurde percelen kunnen van antropogene oorsprong zijn (zoals bebouwing, ophogingen, uitgravingen) of tot andere bodemseries behoren dan poelgronden en kreekgronden.



Figuur 2.10 Ligging van de kreekgronden en poelgronden in het studiegebied op basis van de bodemkaart (samenstelling van bovenste 1.25 m).

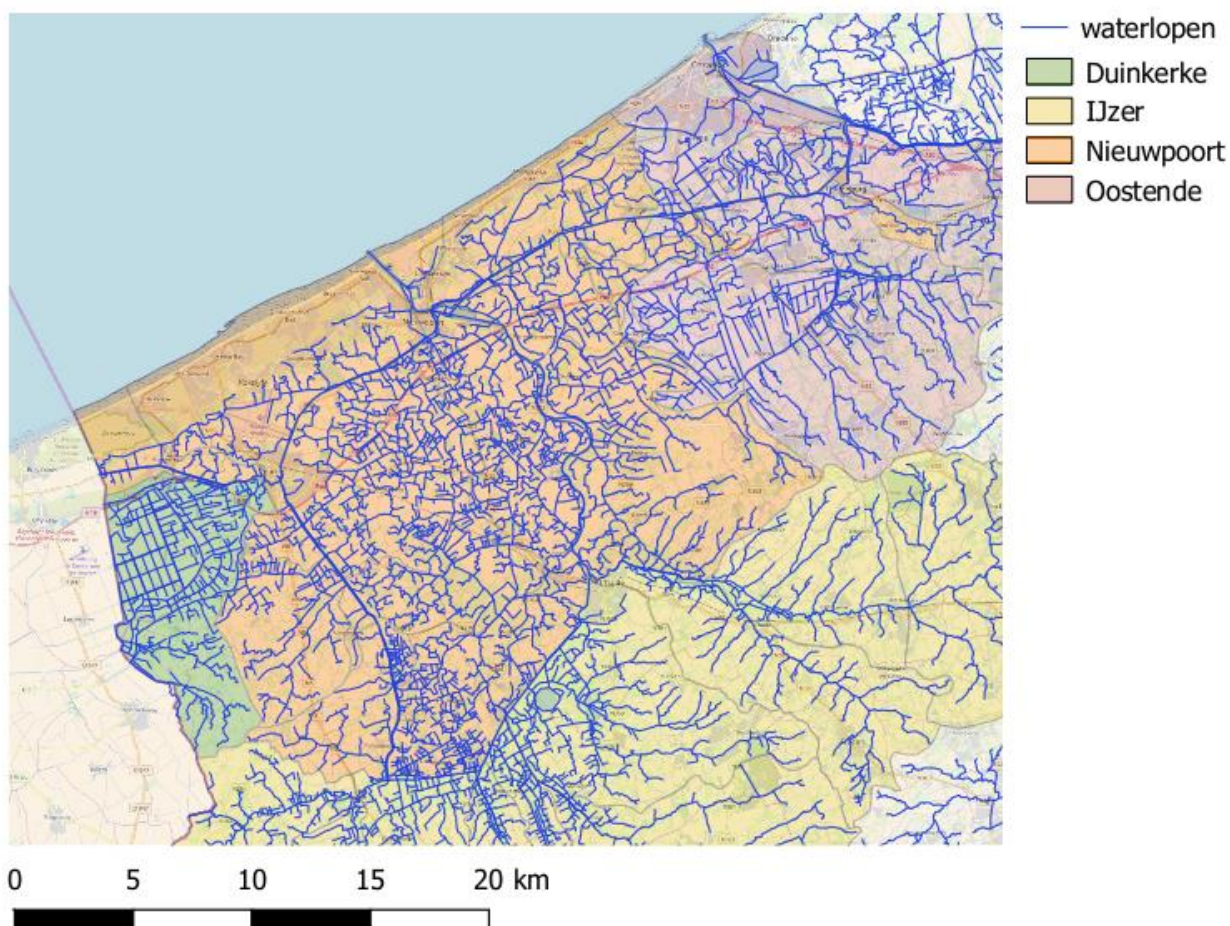
2.5 Hydrografie (ontwatering en polders)

Het huidige afwateringssysteem

Zoals aangehaald in paragraaf 2.2 is er in het poldergebied een dicht netwerk van grachten nodig om het land bewoonbaar en bewerkbaar te houden. De waterhuishouding en de afwatering wordt bijgevolg volledig door de mens aangestuurd. Heden te dage is hier een efficiënt systeem aanwezig waarbij overtollig regenwater opgevangen wordt en via lokale drainagesystemen en pompgemalen naar grotere grachten of kanalen geleid wordt die uiteindelijk bij laag water spuien in de Noordzee. In het gebied waar de potentiekaarten worden opgemaakt, zijn er twee zo'n locaties, namelijk te Oostende en te Nieuwpoort, terwijl ook een deel van het water via Frankrijk wordt geëvacueerd. Daarbij zijn er verschillende zones te onderscheiden (Figuur 2.11):

- *Het afwateringsgebied richting Frankrijk.* De Moeren en omgeving wateren via de Ringsloot en de Bergenvaart af naar Duinkerke. De Ringsloot watert de Binnenmoeren af terwijl de Bergenvaart water uit de Buitenmoeren, een deel van de zandleemstreek, het plateau van Izenberge en een deel van de Pistelhoek (nabij Veurne) richting Frankrijk stuurt.
- *Het afwateringsgebied richting Nieuwpoort, zone westkust.* Het overige gebied ten westen van de IJzer watert af naar Nieuwpoort. Dit gebeurt via verschillende waterlopen (het kanaal Duinkerke-Veurne (of Veurnevaart), het Lokanaal, de Grote Beverdijkvaart, de Koolhofvaart, de Venepevaart, het afvoerkanaal Veurne-Ambacht) die uiteindelijk uitmonden in een groot sas- en sluzencomplex, de Ganzepoot. Het kanaal Duinkerke-Veurne is in de eerste plaats voor scheepvaart bedoeld maar doet ook dienst als afleidingskanaal van de IJzer, via de Lovaart, bij hoge watertoevoer. Een deel van de omliggende gebieden van de Lovaart worden via pompgemalen ontwaterd via dit kanaal. De Koolhofvaart en de Grote Beverdijkvaart ontwateren elk een groot gebied maar komen op ongeveer 800 m van de IJzermonding samen in het afvoerkanaal van Veurne-Ambacht (of de Noordvaart) die in de Ganzepoot uitmondt. De Venepevaart verbindt de Koolhofvaart en de Grote Beverdijkvaart. Ook via Oude Veurnevaart kan ten westen van Nieuwpoort water gespuid worden, dit vooral afkomstig van het Langeleed dat langs de polder-duin grens loopt.
- *Het afwateringsgebied richting Nieuwpoort, zone middenkust.* Dit is het poldergebied (deel van Gistel-Ambacht) ten noordoosten van de IJzer. Het kanaal Plassendale-Nieuwpoort (of Brugse vaart) staat in verbinding met het Ganzepootcomplex maar sluit ook aan op het kanaal Oostende-Brugge via de sluis van Plassendale. Water in dit deel van het kanaal kan zowel naar Nieuwpoort als naar Oostende gestuurd worden, waarbij Nieuwpoort de preferentiële richting is. Het overige deel van het gebied wordt ontwaterd via het Nieuw Bedelf dat aansluit op het Ganzepootcomplex en via de Vladslovaart die via de Oude IJzer (of de kreek van Nieuwdamme) de Ganzepoot bereikt.
- *Het afwateringsgebied van de IJzer.* Vanaf de monding (of beter de aansluiting met de Ganzepoot) tot in Diksmuide is de IJzer ingekapseld tussen dijken en sluiten er geen waterlopen op aan. Stroomafwaarts van Diksmuide tot aan Elzendamme ontvangt de IJzer vooral water vanaf de rechteroever. Stroomafwaarts van Elzendamme krijgt de IJzer water van zowel de rechter- als de linkeroever. Het kanaal Ieper-IJzer, de Heidebeek, de Poperingevaart, de Kemmelbeek, de Ieperlee de Martjesvaart, het Blankaartbekken en de Handzamevaart monden uit in de IJzer.
- *Het afwateringsgebied richting Oostende.* Het overige deel van Gistel-Ambacht watert via een aantal waterlopen, waarvan de Moerdijkvaart de belangrijkste is, af naar het kanaal Plassendale-Nieuwpoort wat op haar beurt te Oostende in de zee uitmondt.

Een aantal waterlopen gelegen ten noorden van het kanaal Plassendale-Nieuwpoort watert tenslotte eveneens af naar Oostende.



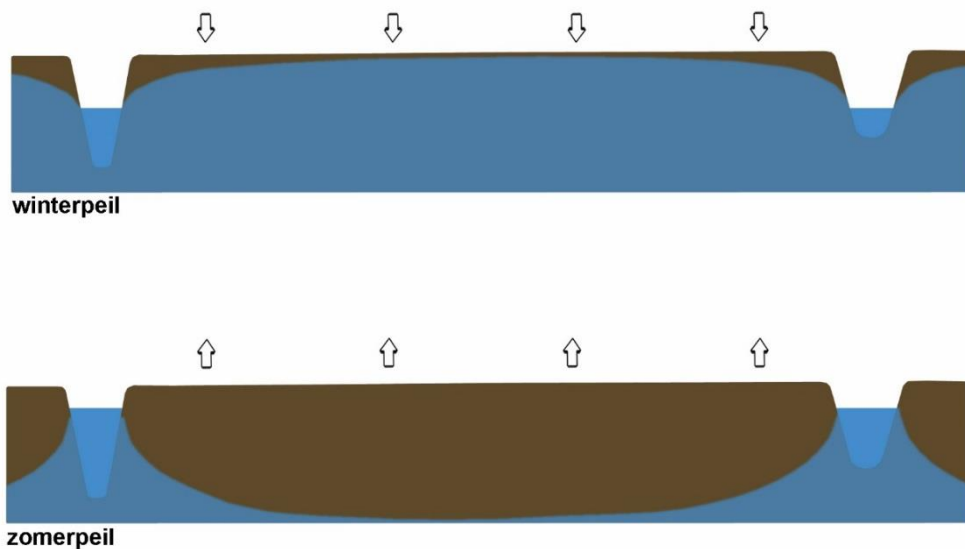
Figuur 2.11. De verschillende afwateringsgebieden naar Duinkerke, de IJzer, Nieuwpoort en Oostende in het kustgebied ten westen van Oostende zoals gedefinieerd in de bekkenbeheerplannen. Water dat via de IJzer uit het gebied verwijderd wordt, wordt eveneens via Nieuwpoort gespuid. Vervaardigd o.b.v. gegevens <http://www.geopunt.be>.

Zomer- en winterpeil

Hoewel afwatering het meest in het oog springt, hebben de polderwaterlopen zowel een drainerende als irrigerende functie (Figuur 2.12). Tijdens de winter is er meestal water te veel in het gebied en is er de noodzaak om overtollig regenwater (zo snel mogelijk) naar zee te leiden. De peilen in de grachten worden daardoor kunstmatig laag gehouden zodat ze in staat zijn het overtollige water tijdelijk te bergen en af te voeren. Daarbij wordt ook de grondwaterstand in de hand gehouden en belet dat de landbouwgronden waterziek zijn.

Tijdens de zomer is de situatie helemaal anders. Door de hoge evaporatie is er geen neerslagoverschot en dalen de grondwaterpeilen wat tot droogteschade aan gewassen leidt. Om dit tegen te gaan wordt water in de waterlopen gehouden en wordt er gestreefd om het peil relatief hoog (in ieder geval hoger dan tijdens de wintersituatie) te houden. Dit geeft water ter beschikking voor kunstmatige beregening van gewassen, helpt ook om de watertafel in de aanpalende gronden niet te diep te laten wegzinken en gaat verzilting van oppervlaktewater tegen. De waterlopen werken in dit geval dus irrigierend.

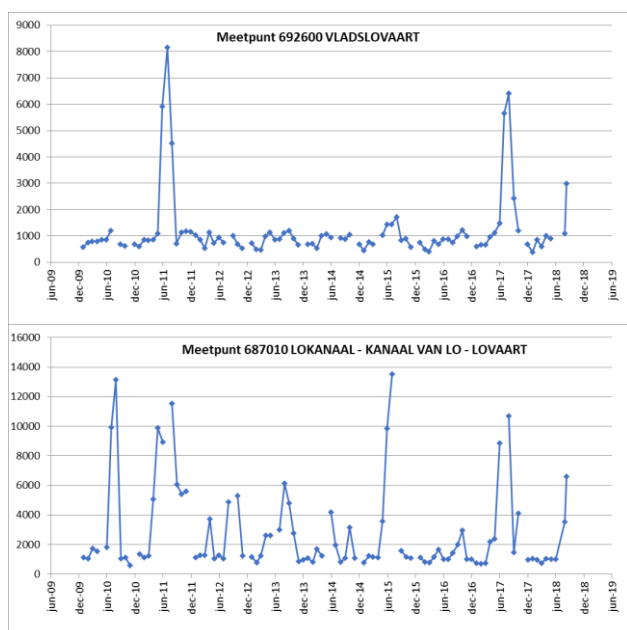
Winter- en zomerstreefpeilen kunnen van streek tot streek verschillen. In het centrale deel van de Westkustpolder zijn de waarden bijvoorbeeld +1.8 en +2.1 m TAW.



Figuur 2.12. Tijdens de winter hebben de polderwaterlopen een drainerende werking op de aanpalende gronden; tijdens de zomer is dit irrigierend.

Het zoutgehalte van het oppervlaktewater

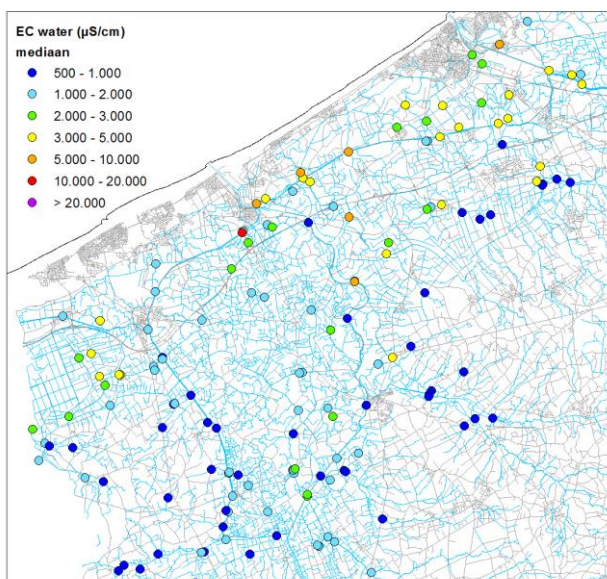
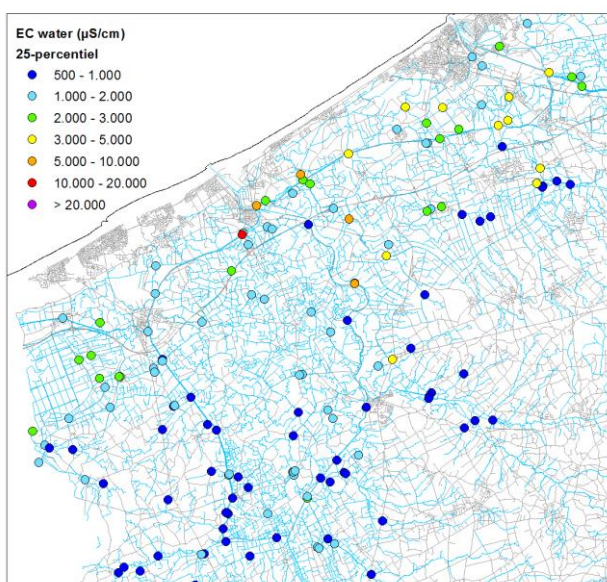
Het zoutgehalte van het oppervlaktewater in het westkustgebied varieert sterk, zowel in de ruimte als in de tijd. Op een aantal meetpunten wordt het zoutgehalte maandelijks gemeten. Figuur 2.13 geeft voor 2 meetpunten de temporele variatie weer. De wintermaanden zijn over het algemeen het zoetst en de zomermaanden zijn duidelijk het zoutst.

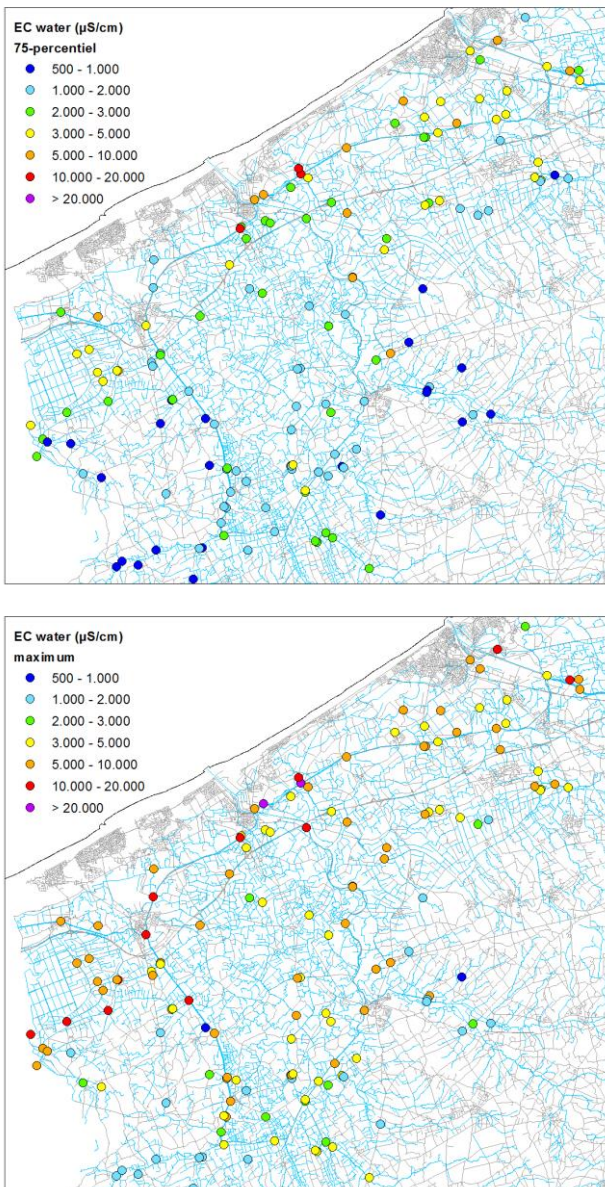


Figuur 2.13. Voor 2 meetpunten de temporele variatie van het zoutgehalte van het oppervlaktewater (in microS/cm), vervaardigd o.b.v. gegevens <https://www.vmm.be/data/waterkwaliteit>.

De onderstaande kaartjes tonen de ruimtelijke variatie van het zoutgehalte. Voor de meetpunten is het zoutgehalte van het oppervlaktewater, weergegeven als 25-percentiel, mediane, 75-percentiel en maximale waarde voor de meetperiode 2010-2018. De 25-percentiel waarde kan grofweg worden gezien als het zoutgehalte dat gedurende 3 maanden per jaar niet wordt overschreden. Drie maanden per jaar is het zoutgehalte van het oppervlaktewater dus zoeter of gelijk aan deze waarde, en dit zijn meestal de natte wintermaanden. Voor de mediane waarde geldt hetzelfde alleen dan voor een periode van 6 maanden per jaar. De 75-percentiel waarde kan worden gezien als het zoutgehalte dat 3 maanden per jaar wordt overschreden. Drie maanden per jaar is het dus zouter dan aangegeven op deze kaart en dit zijn meestal de 3 zomermaanden.

De 25-percentiel-kaart laat zien dat voor een groot gebied langs de kust, het gedurende meer dan 9 maanden zouter is dan $2000 \mu\text{S/cm}$. Dit water is gedurende deze periode niet geschikt voor tijdelijk opslag in de ondergrond. De 75-percentiel kaart laat zien dat voor meer dan de helft van het gebied gedurende de zomermaanden geen zoet oppervlaktewater beschikbaar is.





Figuur 2.14. De 25-,50-,75-percentiel en maximale EC-waarde voor verschillende meetpunten voor de meetperiode 2010-2018. Vervaardigd o.b.v. gegevens <https://www.vmm.be/data/waterkwaliteit>.

Enkele historische ontwikkelingen

Het ontstaan van het afwateringssysteem, de kanalen en de verschillende hydraulische kunstwerken kent een lange geschiedenis waarbij verschillende factoren een rol hebben gespeeld. In wat volgt worden slechts enkele aspecten aangehaald. Voor een uitgebreide behandeling wordt verwezen naar Termote (2016) en Van Pul (2018).

Naast afwatering zijn er nog een aantal andere factoren die de ontwikkeling van de waterlopen vanuit historisch perspectief vorm hebben gegeven. Het netwerk van grachten heeft niet alleen een afwateringsfunctie, ook voor de handel en personenvervoer bleken ze al gauw belangrijk. De economische waarde van de kustvlakte was immers vrij groot door de aanwezigheid van gegeerde grondstoffen zoals klei, veen en zout. In de 12^{de} en 13^{de} eeuw werden dan ook kanalen aangelegd voor de verhandeling van deze producten.

Het beheer en onderhoud van de waterlopen is complex en moest georganiseerd gebeuren. Zowel bevaarbaarheid, afwatering, en bevoeiing moesten op elkaar afgesteld raken. Daarom ontstonden in de 12^{de} en 13^{de} eeuw de Wateringen en deze functioneren nog, als de Vlaamse Polders en Wateringen (een openbaar bestuur), tot op de dag van vandaag.

Het feit dat de waterlopen door boten, weliswaar platbodems, moesten kunnen gebruikt worden, betekende dat er water in de grachten moest staan. Maar tegelijkertijd waren de drainagetechnieken niet zo efficiënt als wat we nu kennen. Het gevolg was dat het drainagepeil hoger lag, en dit zeker in de poelgronden, dan nu. De efficiënte hedendaagse drainage is er maar gekomen door het toepassen van buisdrainage na de Tweede Wereldoorlog.

De bedijking die aangelegd werd rond de grote geulen bleken economisch interessante vaarwegen te creëren tussen de grote steden en de zee. De geul die Brugge tot begin de 10^{de} eeuw rechtsreeks verbond met de zee, lang voordat dit via het Zwin gebeurde, is hier een mooi voorbeeld van. Deze waterlopen kregen veelal een hoger peil dan de omliggende polders en werden zodoende kunstmatige waterscheidingen. De tussenliggende gebieden werden afgesloten bekkens waar eigen ontwateringspunten voor moesten worden gezocht. In de vroege Middeleeuwen speelden de drie grote steden in Vlaanderen, zijnde Brugge, Gent en Leper, hier een drijvende rol in.

Om in de toenemende vraag naar waterwegen voor handel te voorzien werden kunstmatige ingrepen gedaan, namelijk het graven van kanalen. Ook deze moesten ingepland worden in de bestaande afwateringsinfrastructuur. De ontwikkeling van de Ganzepoot te Nieuwpoort is hier een voorbeeld van. Heden ten dage komen hier zes waterwegen samen (Figuur 2.15); drie kanalen (het kanaal Duinkerke-Veurne, de gekanaliseerde IJzer en de Plassendale-Nieuwpoort vaart) en drie afwateringsvaarten (Noordvaart, Oude IJzer/kreek van Nieuwdamme en Nieuwbedelf). Het ontstaan van dit complex kent een lange en bewogen geschiedenis.



Figuur 2.15. Luchtfoto van het Ganzepootcomplex te Nieuwpoort. Beginnend in het noorden en in wijzerzin worden aangetroffen: het Nieuwbedelf, het kanaal Plassendale-Nieuwpoort, de Oude IJzer, de gekanaliseerde IJzer, de Noordvaart en het kanaal Duinkerke-Veurne. Het is een cruciaal punt voor de afwatering van het westelijk kustgebied. Vervaardigd o.b.v. gegevens <http://www.geopunt.be>.

Naast afwatering en handel is er nog een derde factor die de ontwikkeling van de infrastructuur in polders heeft bepaald en dat is het militaire aspect. Vanaf het begin werd de hydraulische infrastructuur in de meeste gevallen zo ontworpen dat het in beide richtingen kon ingezet worden: ontwateren maar ook inunderen. Inundatie was immers het wapen bij uitstek tijdens

een militair conflict. De verschillende inundaties rond Nieuwpoort (met zowel zoet als zout water) zijn hier schoolvoorbeelden van maar ook Oostende kent een interessante geschiedenis op dat vlak. De inundatie van de polder tussen de IJzerdijk en de spoorwegberm Nieuwpoort-Diksmuide via de Noordvaart in oktober 1914 is ongetwijfeld de best gekende inundatie. Echter, dit laat geen duidelijke sporen na in de huidige zoet-zout verdeling.

Tenslotte is het nuttig nog iets te vermelden over De Moeren aangezien dit gebied een belangrijke rol heeft gespeeld in het afwateringsverhaal van de Westhoek. In het begin van de 17^{de} eeuw vormden De Moeren twee moerasgebieden met een totaaloppervlakte van zo'n 3200 ha in de driehoek Veurne-Bergen-Duinkerke (figuur 2.16). Op Belgisch grondgebied ontwaterde zo'n 1500 ha poldergrond af naar dit gebied en ook de IJzer stond, via de Lovaart, in verbinding met De Moeren. De Moeren vormden een enorme buffer waarbij wateroverschotten uit de omgeving werden opgevangen.

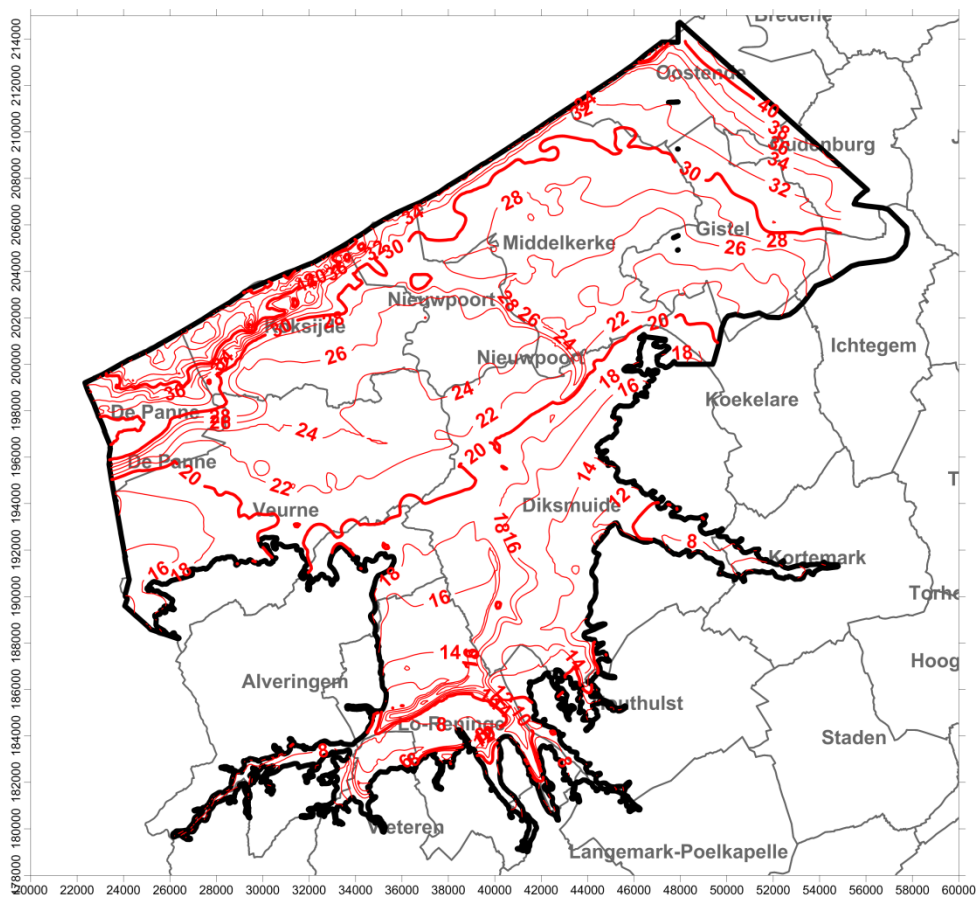
De machthebbers van de Zuidelijke Nederlanden zagen een drooglegging echter als een belangrijke uitbreiding van landbouwareaal en zo geschiedde het uiteindelijk in 1627. In de daaropvolgende decennia werden De Moeren een speelbal waarbij het gebied verschillende malen, om militaire redenen, geïnundeerd werd en vervolgens terug ingepolderd. Het belang is echter dat het ontwateringssysteem fundamenteel gewijzigd werd. Al het water wat voorheen in De Moeren terecht kon, moest nu via Nieuwpoort of Duinkerke naar zee afgevoerd worden. Op die toenemende druk was het afwateringssysteem niet voorzien. Dit is zonder twijfel één van de factoren geweest die mede tot het complexe systeem, de Ganzepoot, te Nieuwpoort hebben geleid.



Figuur 2.16. Deel van het westelijk kustgebied zoals te zien is op de kaart Flandria, opgemaakt door Gerard Mercator en gepubliceerd in 1570 (uit Bossu, 1982). Langs de huidige Frans-Belgische grens domineren De Moeren het hydrogeografische landschap.

2.6 Grondwaterstroming

De polders vormen door hun kunstmatig gereguleerde en laag gehouden peilen een uitstroomgebied dat grondwater ontvangt van zowel de zeewaartse als de landwaartse zijde. Langs de zeewaartse zijde vormt de duingordel een infiltratiegebied dat gevoed wordt via de goed doorlatende duinzanden waaronder zich een grondwaterscheidingskam heeft ingesteld tussen de zee en de polders. De grondwaterpeilen in de duingordel liggen enkele meters hoger dan de polders en ook boven het gemiddelde zeepeil. De grootte van deze opbolling hangt af van de breedte van de duingordel. Binnen het duingebied is er quasi geen afvoer van oppervlaktewater waardoor een belangrijke fractie van het regenwater lokaal kan infiltreren. Langs de zeewaartse zijde van de grondwaterscheidingskam in de duinen stroomt het grondwater naar de zee, langs de landwaartse zijde naar de polders toe. Door de grondwaterscheidingskam kan er geen zeewater rechtstreeks naar de polders toe stromen. Het zout water in de polders is van historische oorsprong, niet van recente instroom (zie paragraaf 2.2). Langs de landwaartse zijde ligt nabij de voet van de duinen vaak een afwateringsgracht die het vanuit de duinen toestromend grondwater grotendeels opvangt. Ten zuiden van De Panne is dat b.v. het Langgeleed.



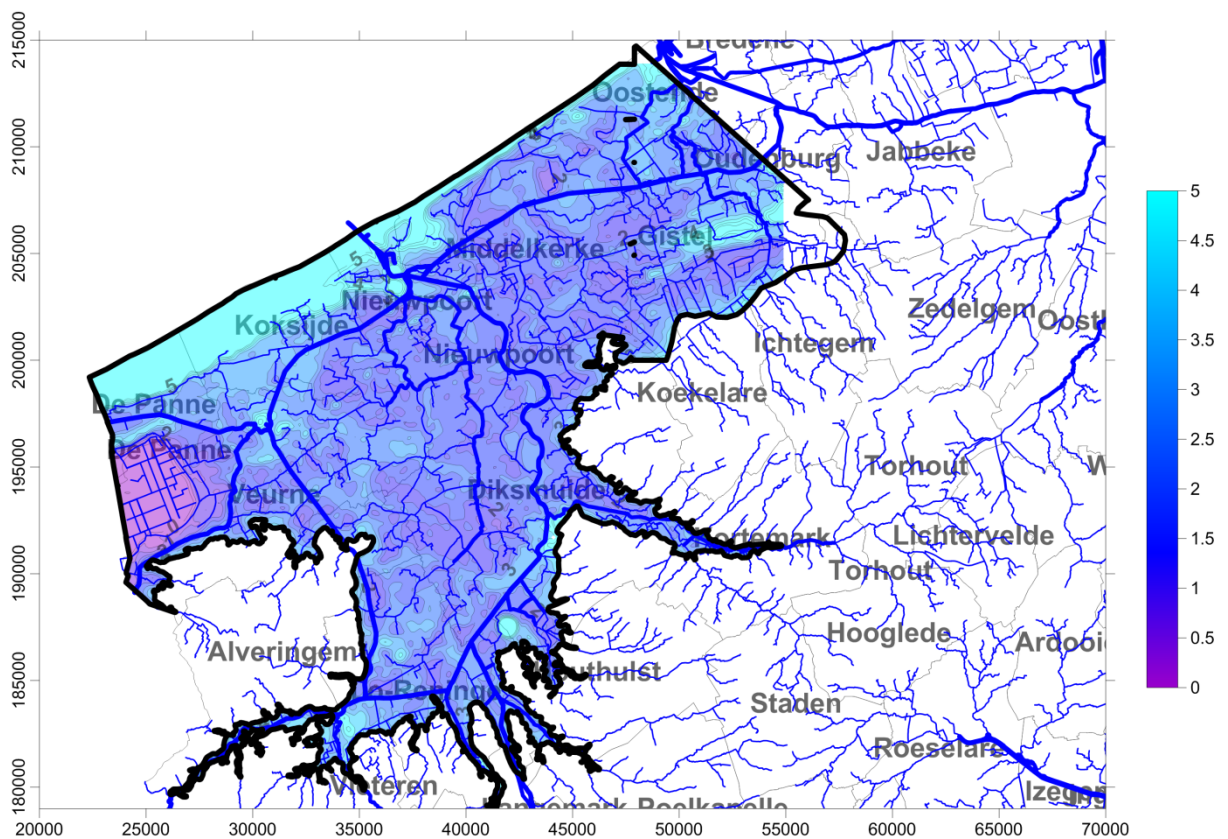
Figuur 2.17 Dikte van het freatisch reservoir.

De polders ontvangen ook grondwater vanuit het achterland. De landwaartse begrenzing van de polderregio valt meestal samen met een oprijzing van het tertiair substraat dat vaak uit minder doorlatende afzettingen bestaat. In het westelijk kustgebied is dat de Ieperiaanklei (Formatie van Kortrijk) waarboven slechts een dunne quataire bedekking voorkomt. De freatische laag is hier hooguit enkele meters dik (zie Figuur 2.17) en bijgevolg stroomt hierin slechts een beperkte hoeveelheid grondwater. De instroom vanuit landwaartse zijde is hier dus zeer gelimiteerd. Een illustratief voorbeeld is het plateau van Izenberghe, dat ten zuiden van de Moeren nabij de Belgisch-Franse grens oprijst en een ruim 8 km grote topografische barrière

vormt tussen de laaggelegen Moeren in het noorden en een uitloper van de IJzervallei in het zuiden. Het plateau stijgt tot boven peil +10 en is daardoor nooit overstroomd geweest. Hier is er geen zout water in de ondergrond en zit het kleisubstraat vaak slechts één of twee meter diep. Ten zuiden van het plateau daalt de topografie weer naar de IJzer toe tot peil +3 en komt er terug lokaal zout water voor, restant van historische transgressies.

Doordat het poldergebied zelf een microreliëf heeft en hoogteverschillen zeer beperkt zijn, wordt de lokale grondwaterstroming hoofdzakelijk beïnvloed door twee factoren: de topologie van het waterlopenstelsel en de peilen die erin gehandhaafd worden enerzijds en de doorlatendheid van de oppervlakkige sedimenten anderzijds. Het grachtenstelsel bepaalt waar de uitstroom van grondwater plaatsvindt en hoeveel er kan weggedraineerd worden. De aard van de oppervlakkige sedimenten bepaalt waar er regenwater kan infiltreren en daardoor een lokaal voedingsgebied vormt. Binnen de polders bestaat er een afwisseling van weinig doorlatende poelgronden die vooral uit kleimateriaal bestaan en kreekruggen die een zandige ondergrond hebben. Op de zandbodems van de kreekruggen kan gemakkelijk regenwater infiltreren en hier staat de watertafel dan ook hoger. De kreekruggen vormen lokale infiltratiegebieden. Het verschil in oppervlaktensedimenten heeft door de paleogeografische evolutie geresulteerd in een relatie met de topografie (zie sectie paleogeografie) waardoor de kreekruggen hoger liggen dan de omliggende lage poelgronden. Het microreliëf kan daardoor als een indicatie van de stijghoogteverdeling binnen het poldergebied beschouwd worden. Omdat de bestaande peilbuizen en de densiteit van deze grondwaterpeilmeetpunten onmogelijk het detail van het gehele microreliëf kan capteren, werd een stijghoogtekaart opgesteld op basis van een hoogtetgrid. Dit DTM is opgesteld op basis van het DHM Vlaanderen door gebruik te maken van de individuele datapunten die een hoge densiteit hebben (één punt per 3 m). Daarmee werd voor elke cel van het hoogtetgrid de gemiddelde hoogteligging berekend. Verder wordt verondersteld dat de jaargemiddelde grondwaterdiepte precies één meter bedraagt omdat er onvoldoende gegevens van de grondwaterstand beschikbaar zijn om hier een gebiedsdekkende kaart van te maken. Hierbij werd geen onderscheid gemaakt tussen kreekruggen en poelgronden. Deze werkwijze is enkel toepasbaar binnen het poldergebied. In de duingordel b.v. is er geen éénduidige relatie tussen grondwaterpeil en maaiveldhoogte maar wordt de stijghoogte vooral bepaald door de afstand tot de rand van het duinmassief.

De resulterende kaart (Figuur 2.18) reflecteert het complex patroon van stijghoogteverdeling en stroming. De laagste peilen komen voor in de Moeren waarbij de watertafel meer dan 2 m onder het gemiddeld zeepeil staat. In de duingordel staat de watertafel boven peil +5 maar kan met de hier gevolgde methode niet precies bepaald worden. Het duingebied heeft op de kaart daarom volledig op peil +5 ingekleurd.



Figuur 2.18 Stijghoogtekaart (in m TAW) van de watertafel binnen het studiegebied aangemaakt op basis van het DTM.

De hier aangegeven stijghoogteverdeling dient als een lange termijn gemiddelde beschouwd te worden. Schommelingen treden seizoensgebonden op, onder seizoensgebonden meteorologische condities, maar ook door het seizoensgebonden waterpeilbeheer. Daarnaast komen ook meerjaarlijkse variaties op, te wijten aan (extreem) natte of droge jaren. Lokaal kan door de seizoensgebonden grondwaterstroming sterk veranderen. Dit werd b.v. vastgesteld in het overdekt waddegebied ten zuiden van De Panne. Tussen de kustduinen en de oude duingordel ("Cabourduinen") bevindt zich een 1.5 km brede polderstrook die ontwikkeld is op siltrijke sedimenten van een oud waddegebied. In deze polderstrook ligt dicht bij de kustduinen een afwatering (het Langgeleed) en meer naar het binnenland kanaal Duinkerke-Veurne. Het waterpeil in beide waterwegen wordt seizoensgebonden gereguleerd. Gedurende de winterperiode is er veel grondwateraanvulling en stelt zich een grondwaterscheiding in tussen beide kanalen (Figuur 2.19a). Het water dat vanuit de duingordel landinwaarts stroomt wordt dan volledig door het Langgeleed opgevangen. In de zomerperiode is er slechts minimale of geen grondwateraanvulling, valt de waterscheidingskam weg en wordt de stroming hoofdzakelijk gecontroleerd door de waterpeilen in de waterwegen (Figuur 2.19b). Dan is er een doorstroming onder het Langgeleed door en wordt een deel van het duinwater verder landinwaarts gedreven naar het kanaal Duinkerke-Veurne toe. Het leidt geen twijfel dat vergelijkbare sterk seizoensafhankelijke stromingspatronen ook op andere plaatsen in de polders optreden. Het identificeren en karakteriseren van dergelijke situaties vereist wel een exploratieonderzoek op heel lokaal en gedetailleerd niveau.

Het grondwaterstromingspatroon dat ontstaan is door de afwisseling van doorlatende kreekruggen en weinig doorlatende poelgronden heeft ook de verdeling van zoet en zout grondwater in de polderstreek bepaald. Beide zijn namelijk intrinsiek aan elkaar gekoppeld. Onder de kreekruggen, die als infiltratiegebied functioneren, is er regenwater geïnfilteerd en dit heeft het zout water dat door historische transgressies was achtergebleven, verdrongen. Onder de kreekruggen zijn aldus zoetwaterlenzen ontstaan waarvan de laterale uitbreiding

afhngt van de breedte van de kreekrug en de diepte mede bepaald wordt door de grondwateraanvulling op de rug (hoe meer hoe dieper de lens zal zijn), de grondwaterstand (hoe hoger de grondwaterstand, hoe dikker de lens) en de aanwezigheid van storende lagen in de ondergrond (storende lagen beperken de groei van de lens). Geofysisch onderzoek en waterkwaliteitsmetingen hebben uitgewezen dat meestal niet het volledige reservoir verzoet is, en er nog brak en/of zouter water boven het onderliggend substraat bevindt. Voorbeelden van dergelijke kreekruggen zijn de Avekapellekreek en de IJzerkreek.

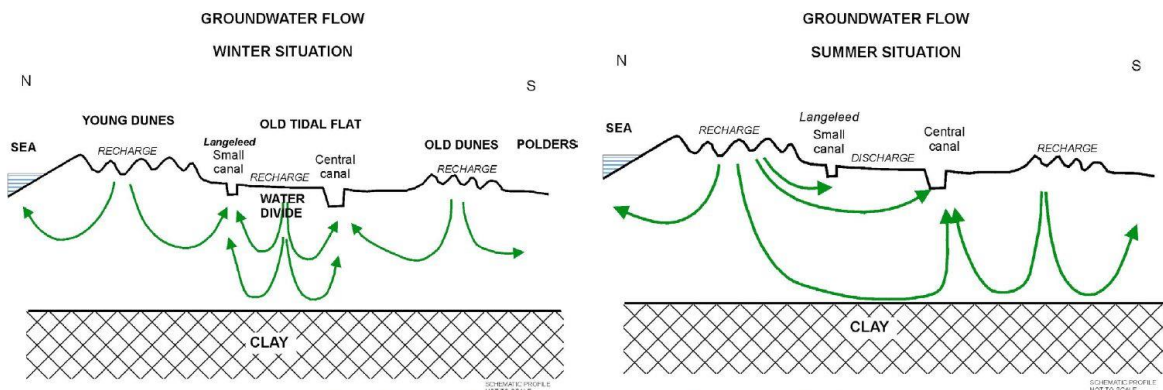
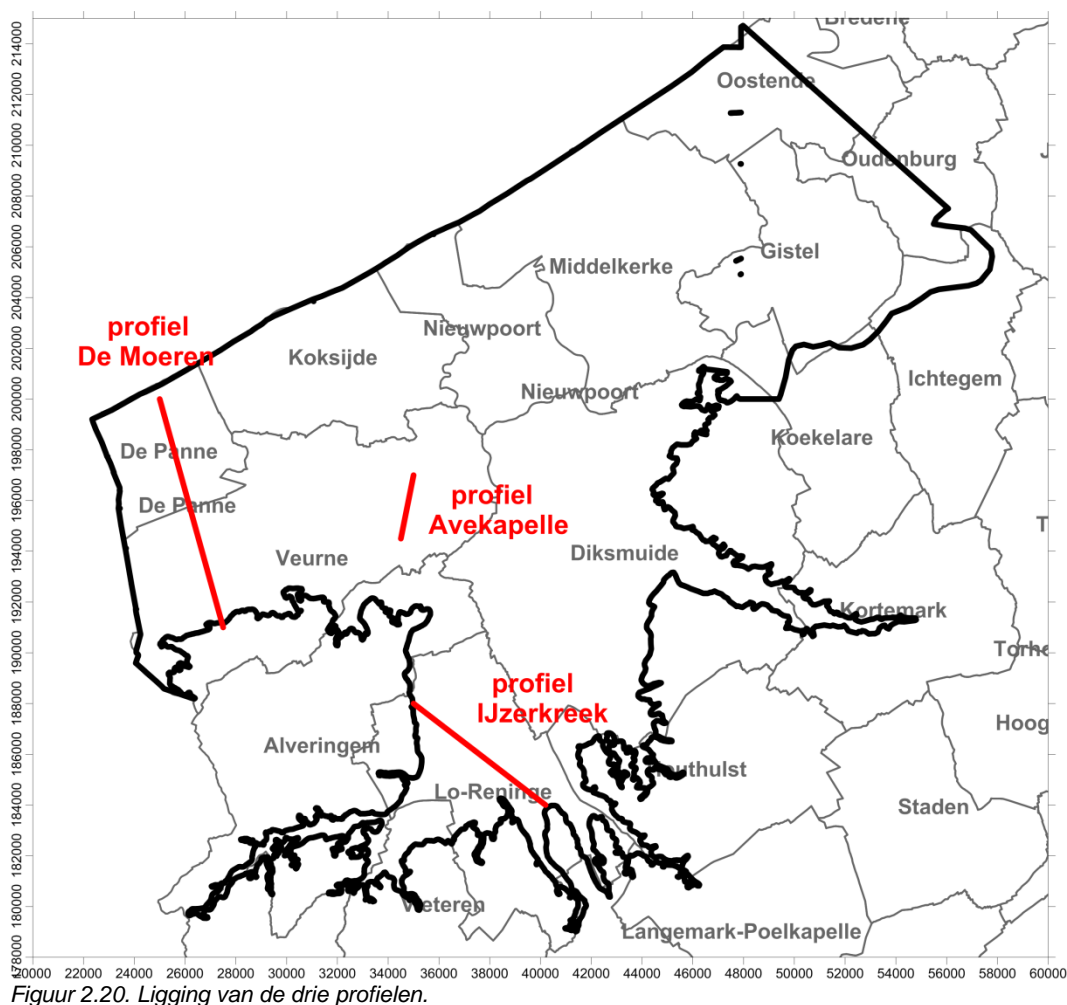


Figure 3 Groundwater flow in winter and summer situation

Figuur 2.19 Seizoenale variaties in grondwaterstroming in het overdekte waddenlandschap in De Panne tussen de recente duingordel en de oude duinen (van Camp et al., 2002).

De relatie tussen grondwaterstroming en zoet/zoutverdeling wordt duidelijk geïllustreerd a.h.v. drie profielen die zowel de kreekruggen als de poelgronden doorsnijden (zie Figuur 2.20 voor de ligging profielen). In deze profielen is de zoet/zoutwater verdeling afgeleid uit resistiviteitsloggings in boringen langsheen het profiel en zijn de grondwatersamenstellingen aangegeven in ondiepe en diepe filters die in deze boorputten geplaatst zijn. Het voorkomen van de kreekruggen en de poelgronden is aangeduid boven elk profiel.



Figuur 2.20. Ligging van de drie profielen.

Profiel De Panne naar De moeren (Figuur 2.21)

Dit profiel is bijna 10 km lang en begint op het strand van De Panne, waarna het de huidige duingordel doorloopt, de polders in het overdekt waddegebied doorsnijdt, doorheen de oude duingordel passeert en tenslotte doorheen De Moeren loopt tot aan de rand van het plateau van Izenberge, dat de zuidelijke grens van de depressie van De Moeren vormt.

In deze sectie komen twee zoetwaterlenzen voor, onder de twee duinmassieven die doorkruist worden. De grootste ca 2 km brede lens bevindt zich onder de huidige duinen waar zoet water tot aan de top van de onderliggende tertiaire klei voorkomt. De landinwaartse zijde van de duinen zijn ontwikkeld boven op de oudere wadafzettingen, die ook de ondergrond vormen van de ca 1 km brede polderstrook die de recente van de oude duinen scheidt. Onder de twee duinmassieven hebben zich grondwaterscheidingskammen ingesteld en het overdekt waddegebied ontvangt zowel grondwater van de recente als van de oude duinen. In het overdekt waddegebied is er een sterke verticale variatie in saliniteit. Bovenaan het reservoir komt nog zoet tot matig brak water voor, maar onderaan het reservoir zit zout water. Ondanks het toestromend zoet water vanuit noorden en zuiden is het diepe zout water hier nog steeds niet uitgespoeld. De grondwaterstroming in het overdekt waddegebied is ook sterk seizoenaal waarbij er gedurende de winter ook lokaal regenwater infiltreert. De zoete bovenlaag is dus zowel afkomstig van toestromend duingrondwater, als van lokale winterinfiltratie. De zoetwaterlens onder de oude duinen is niet uitgediept tot op het kleisubstraat, waardoor zich onderaan nog een zoute onderlaag handhaaft. De lens is ook asymmetrisch: de landinwaartse zijde is dieper ontwikkeld. Een deel van het hier geïnfilteerde water stroomt landinwaarts naar De Moeren toe, een laaggelegen gebied dat reeds lang wordt ontwaterd. Het duinwater wordt

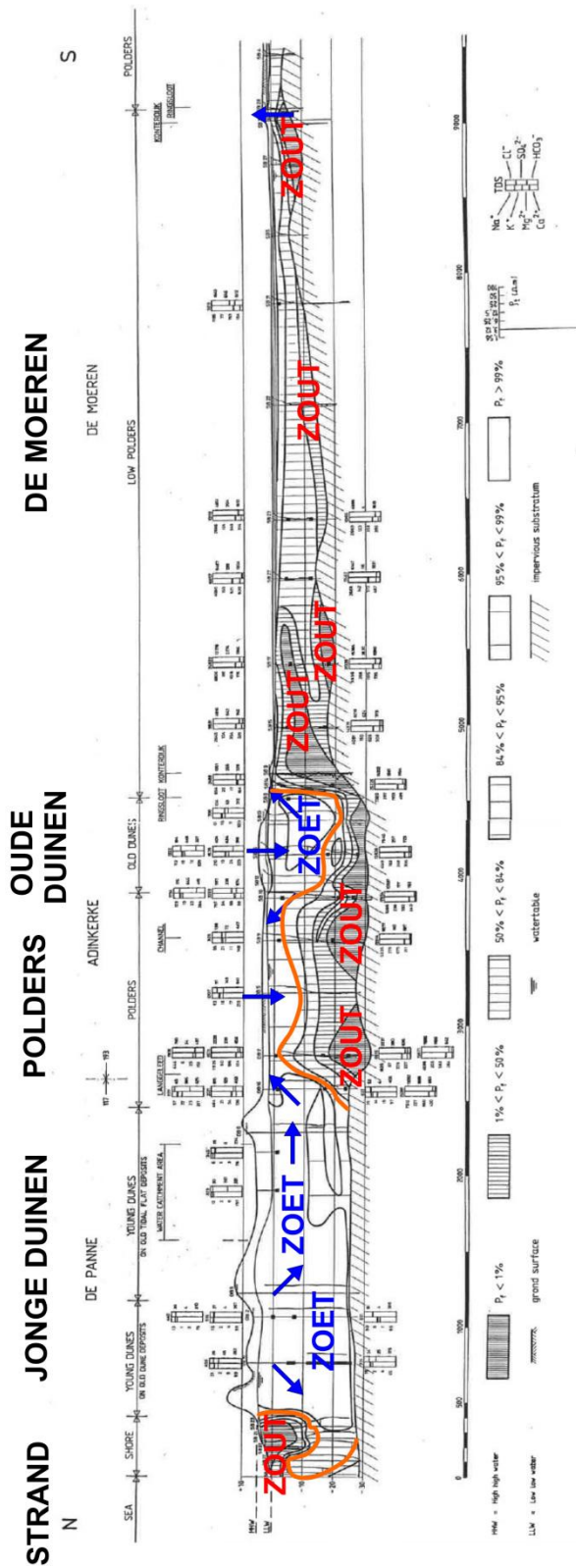
vooral opgevangen door de ringsloot (naast de ringslootstraat) die rond De Moeren is aangelegd. In De Moeren zelf komt vooral brak en zout grondwater voor. Door de lage ligging treedt dit zoute grondwater in de sloten uit en spreken we van zoute kwel. Over het algemeen neemt de saliniteit toe met de diepte, maar langs de noordzijde wordt de hoogste saliniteit midden in het reservoir vastgesteld. Het is misschien het gevolg van de complexe stromingssituatie die optreedt op de overgang tussen het duin infiltratiegebied en de laaggelegen drainage van De Moeren. Langs de landinwaartse zijde grenzen De Moeren aan het plateau van Izenberge, dat door zijn hoogteligging (meer dan +10 m TAW) nooit is overstroomd geweest en dus niet verzilt is. Het kleisubstraat zit hier echter zo ondiep (vaak op niet meer dan 1 tot 2 m) dat de grondwaterstroming in deze dunne freatische laag zeer beperkt is en er bijgevolg slechts weinig grondwater van op het plateau naar De Moeren toe zal stromen.

Profiel doorheen de Avekapellekreek (Figuur 2.22)

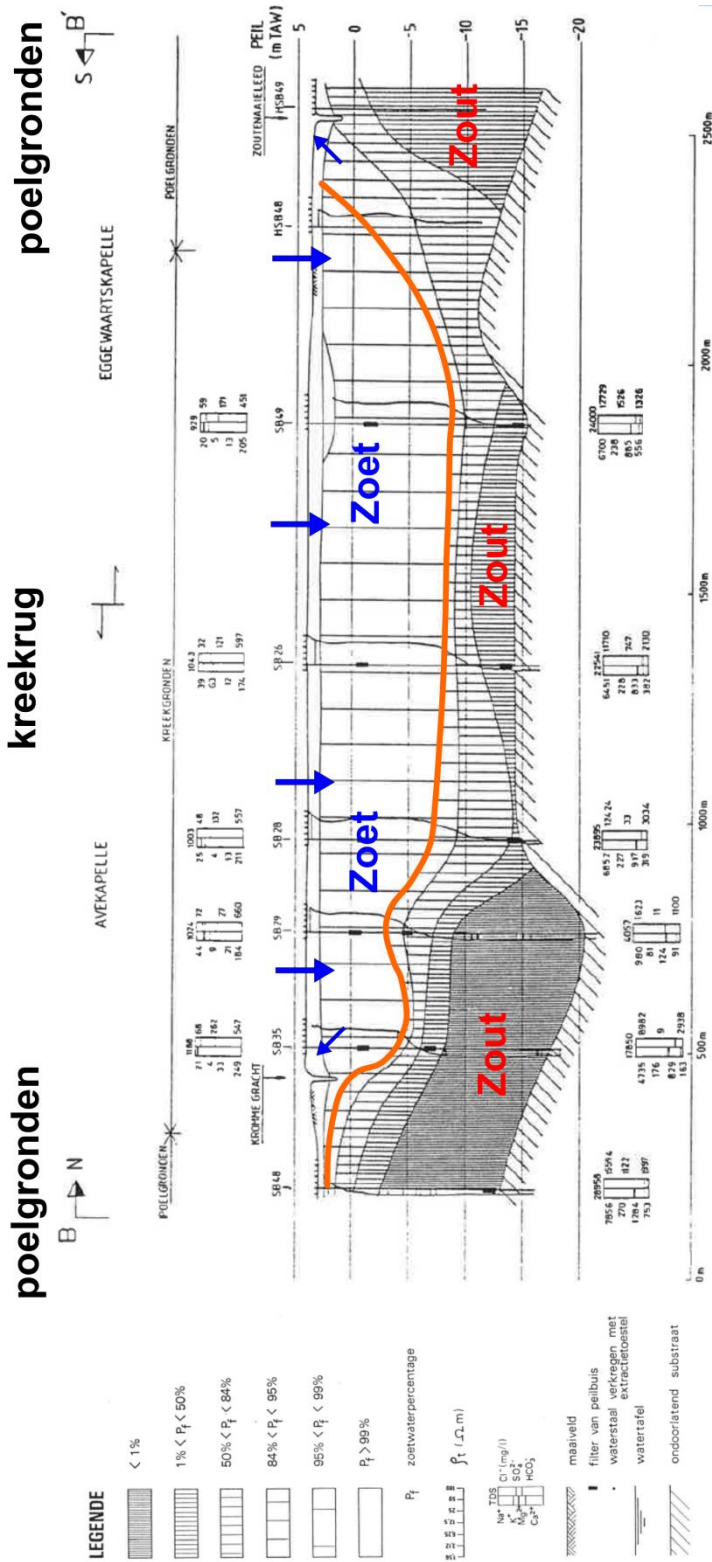
Rondom Avekapelle, ca 4 km ten oosten van Veurne, komt een belangrijke lokale zoetwaterlens voor die zicht ontwikkeld heeft door de aanwezigheid van hogergelegen kreekkrugsedimenten. Het ca 2.5 km lange profiel doorsnijdt de zoetwaterlens volledig ten oosten van Avekapelle, van noord naar zuid, en toont dat de lens een breedte van ca 2 km heeft (in NS richting). De zoete lens heeft een dikte van ruim 10 m maar rust op een zoute onderlaag die nog enkele meter dik is. Zowel langs de noordzijde als de zuidzijde wordt de kreekkrug omgeven door poelgronden waar het reservoir vooral gevuld is met zout water. Langs de noordzijde van de kreekkrug is het reservoir wat dikker doordat een geul in het kleisubstraat is ingesneden. Deze geul is opgevuld met zout water, zodat hier de zoute onderlaag dikker is: een ca 10 m dik zoet pakket rust op een ca 10 m dik zoute onderlaag bovenop het kleisubstraat. Het toont dat ook de morfologie van het kleisubstraat een invloed heeft op de hoeveelheid zout water dat nog onderaan in het reservoir aanwezig is.

Profiel doorheen de IJzerkreek (Figuur 2.23)

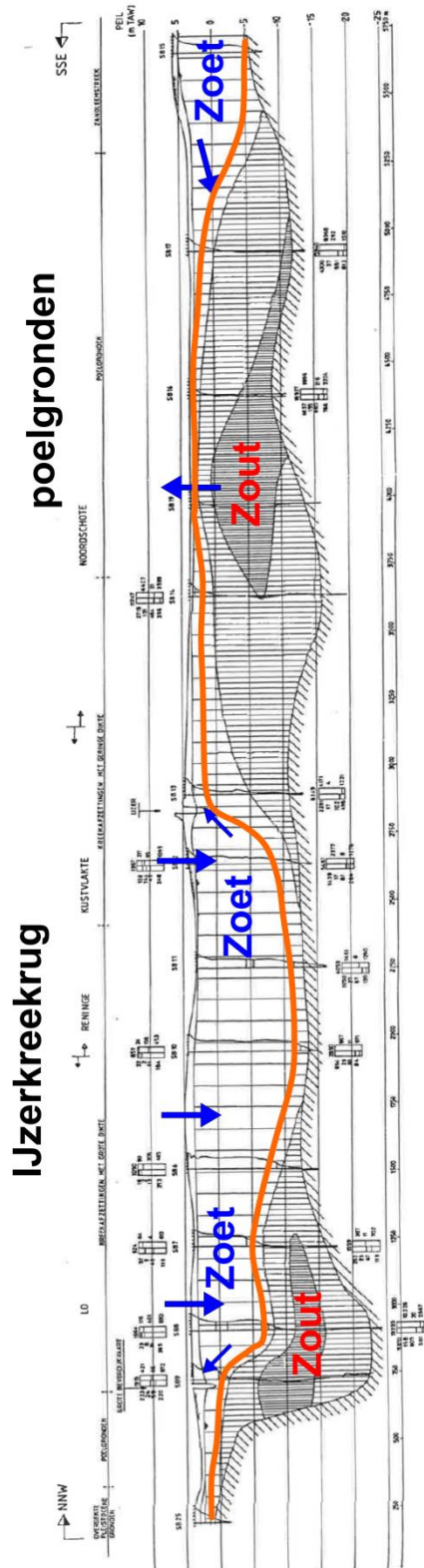
Ten zuiden van Diksmuide komen ook kreek sedimenten voor waarin zich lokaal zoetwaterlenzen hebben ontwikkeld. Tussen Diksmuide en Nieuwkapelle zijn de kreek sedimenten bedekt, maar ten zuiden van Nieuwkapelle komen lokaal niet bedekte kreekkrugsedimenten voor. Verder zuidwaarts komen er opnieuw bedekte kreekkrugafzettingen voor en poelgronden. Dit bijna 6 km lang profiel begint ten zuiden van Nieuwkapelle en loopt zuidelijk tot aan poldergrens en het begin van de zandleemstreek in het achterland. In het profiel komt een 2 km brede zoetwaterlens voor in het noordelijk deel waar de kreek sedimenten niet bedekt zijn. In het centrum van de lens is het reservoir grotendeels verzoet, tot een diepte van wel 15 m. Onder het noordelijk deel is de lens dunner (max 10 m) en is een geul uitgeschuurd in het kleisubstraat. Deze bevat nog zout water dat hier een onderlaag vormt van wel 15 m dik. In het zuidelijk deel van de lens zijn de kreek sedimenten bedekt en is de zoetwaterlaag dunner. In de poelgronden wordt ondiep zout water aangetroffen



Figuur 2.21 Profiel door de westelijke kustvlakte van De Panne naar het zuidoosten doorheen de Moeren , loodrecht op de kustlijn (Lebbe et al., 1983, Bolle et al., 1991).



Figuur 2.22 Noord-zuid profiel ten oosten van Avekapelle door de Avekapellekreek (naar Zeuwts, 1991).



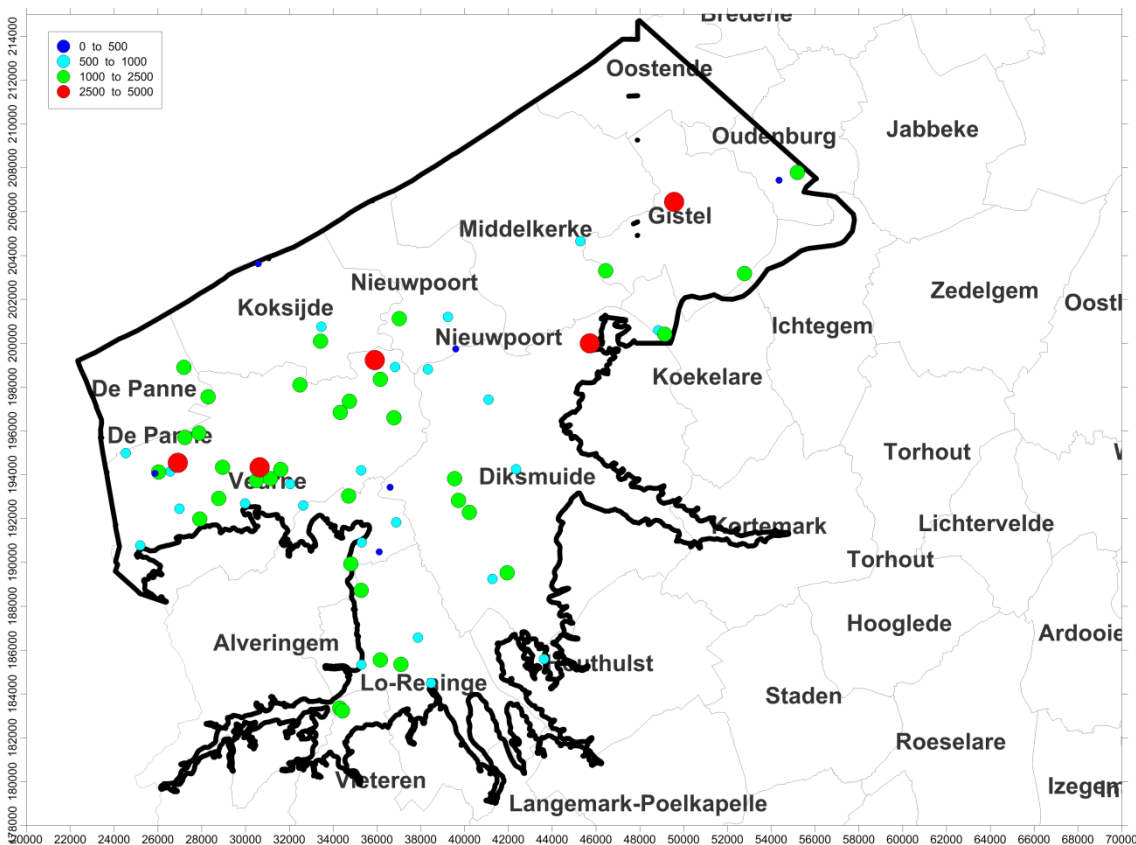
Figuur 2.23 Profiel door de IJzerkreekkrug van Nieuwkapelle naar Noordschote (naar Zeuwts, 1991).

2.7 Grondwateronttrekkingen

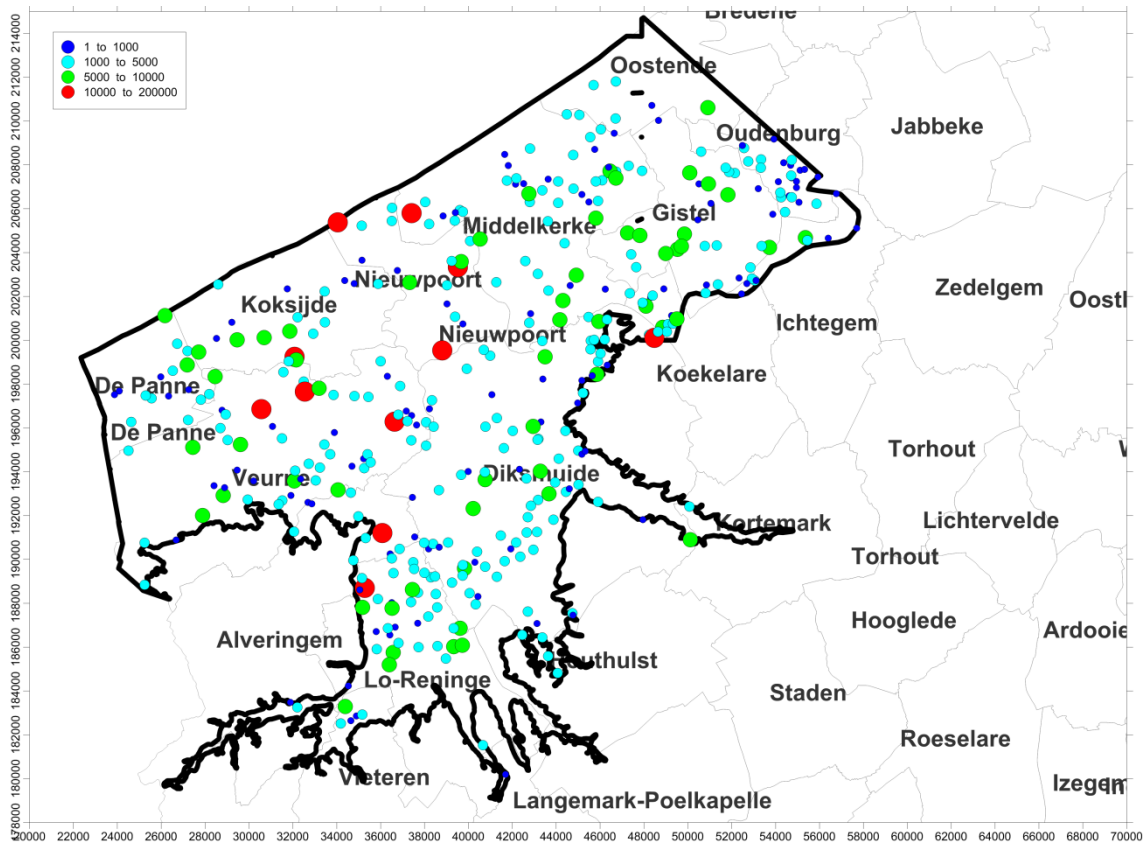
De huidige grondwaterwinningen (dato juli 2018) kunnen via het DOV webportaal opgevraagd worden. Voor elke winning wordt enkel het vergund debiet gegeven, effectief opgepompte debieten zijn niet openbaar. De belangrijkste aangesproken lagen zijn het freatisch Quartair aquifersysteem (Figuur 2.24) en het relatief diepe, gespannen Landeniaan aquifersysteem (Figuur 2.25). Het Landeniaan aquifersysteem wordt gevoed door lek doorheen de bedekkende leperiaanklei.

Binnen het studiegebied zijn er 67 winningen in het Landeniaan aquifersysteem (HCOV 1000 t/m 1099) vergund voor een totaal debiet van 77.932 m³/jaar. Het Landeniaanwater mag enkel voor hoogwaardige toepassingen zoals drinkwater voor veeteelt gebruikt worden terwijl quartaire winningen zowel aangewend worden voor hoogwaardig als laagwaardig gebruik. In het Quartair aquifersysteem zijn er 402 winningen vergund (dit is exclusief de IWVA-winningen) voor een totaal debiet van 1.315.914 m³/jaar. Het Quartair aquifersysteem wordt dus veel meer aangesproken dan de diepe Landeniaan laag.

De voorbije 18 jaar is er bovendien gestreefd naar een afbouw van de Landeniaanwinningen. Het groot aantal quartaire winningen wijst erop dat er potenties zijn voor gebruik quartaire winningen als alternatief voor Landeniaanwinningen.



Figuur 2.24 Vergunde grondwaterwinningen in het Landeniaan aquifersysteem in m³ per jaar.



Figuur 2.25 Vergunde grondwaterwinningen in het Quartair aquifersysteem in m³ per jaar (exclusief de IWVA winningen).

3 Potentiekaarten

3.1 Lijst met potentiële zoetwater maatregelen

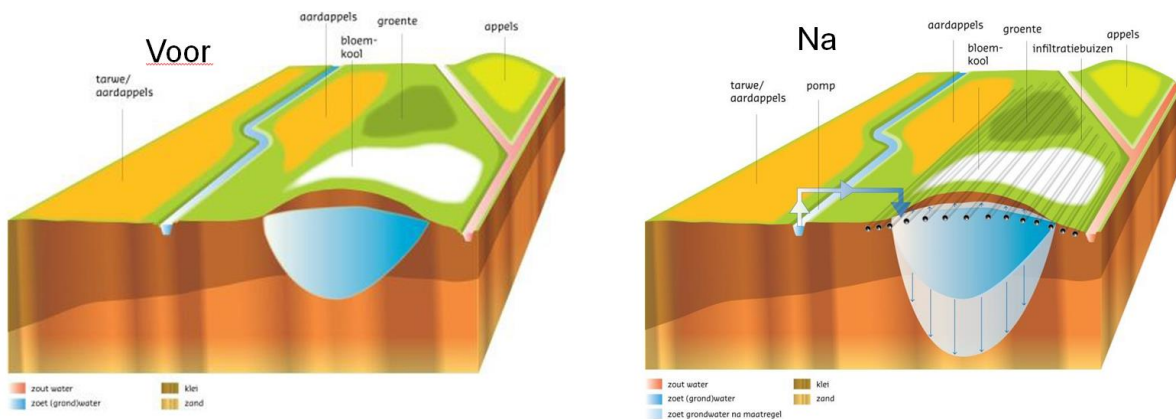
Na een inventarisatie is een lijst samengesteld van potentiële maatregelen voor het vergroten van de zoetwaterbeschikbaarheid in het studiegebied. Uit deze lijst worden vijf maatregelen of combinaties van maatregelen geselecteerd waarvoor de potentiekaarten zijn gemaakt. Eerst zullen de geïnventariseerde maatregelen in deze paragraaf worden besproken waarna de selectie van de vijf maatregelen voor de potentiekaarten zal worden onderbouwd (paragraaf 3.2).

De lijst bestaat uit de volgende maatregelen en worden hieronder 1 voor 1 kort besproken.

1. kreekruuginfiltratie
2. Verticale ASR
3. Freshmaker
4. SeepCat
5. Brakwateronttrekking in combinatie milde ontzilting
6. Regelbare en/of klimaatadaptieve drainage
7. Drains2Buffer
8. Waterconservering door stuwtjes

1. Kreekruuginfiltratie

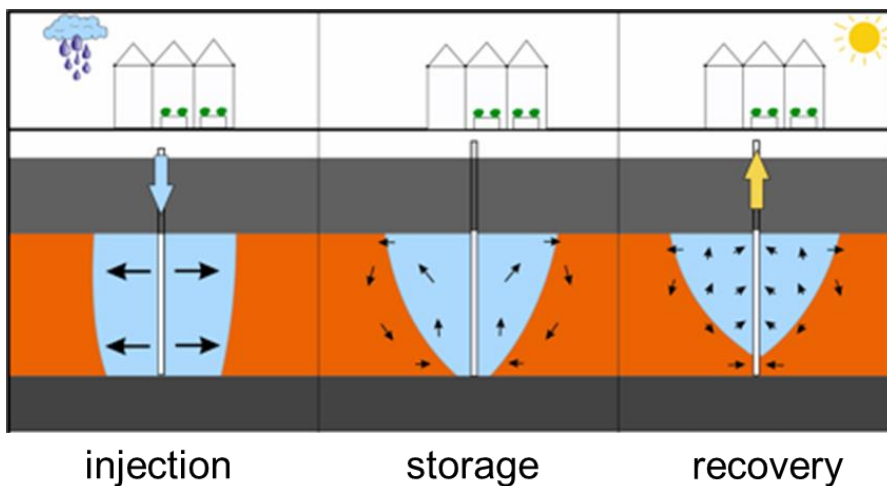
Deze oplossing is er op gericht om door actieve infiltratie van beschikbaar zoetwater via drains de grondwaterstand te verhogen in hoger gelegen zandlichamen (bijv. kreekruigen of oude zandgeulen) en daarmee de zoetwaterlens te vergroten volgens het Badon Ghyben-Herzberg (BGH) principe. De zoetwaterlens drijft als het ware in het zoute grondwater, vergelijkbaar met een ijsklontje dat in water drijft waarbij een deel boven water uitsteekt en een veel groter deel onder water zit. Er heerst een evenwicht conform de wet van Archimedes waarbij het gewicht van de zoetwaterlens (of ijsklontje) even groot is als de tegendruk van het omringende zoute water. Om de lens te laten groeien, dus om meer zoetwater in de ondergrond op te slaan, dient de grondwaterstand te worden verhoogd om aan dit evenwicht te (blijven) voldoen. De winst die het systeem oplevert is dus hoofdzakelijk het gevolg van een hogere grondwaterstand. De extra infiltratie van water helpt hierbij en is nodig om de lens sneller te laten groeien dan alleen door de neerslag die op het perceel valt. Volgens het BGH-principe leidt een verhoging van de grondwaterstand dus tot een dikkere zoetwaterlens. Onder ideale omstandigheden (o.a. homogeen watervoerend pakket, zoetwaterlens in zeewater, stationaire situatie) zal volgens het BGH-principe de dikte van de zoetwaterlens toenemen met 40 maal de gerealiseerde grondwaterstandsverhoging. Dit zal echter nooit worden bereikt omdat (1) ideale omstandigheden zich niet voordoen, (2) de grondwaterstandsverhoging niet jaarrond kan worden gehandhaafd en (3) de zoetwaterlens in de zomer zal worden geëxploiteerd. De grondwaterstand kan ook worden verhoogd door gebruik te maken van de neerslag die op het perceel valt door de drainagebasis van drains en/of sloten te verhogen. De groei van de lens zal dan echter veel trager gaan. Tevens is de exploitatie van de lens dan vermoedelijk niet duurzaam. De mogelijkheden van deze oplossing zijn in het veld met een pilot op Walcheren (Zeeland, Nederland) (GO-FRESH-NL project) getest (Oude Essink et al., 2018; Pauw et al., 2015).



Figuur 3.1 Een zoetwaterlens die wordt vergroot door een Kreekruginfiltratie-Systeem (bron Deltares).

2. Verticale ASR

ASR staat voor Aquifer Storage and Recovery. Met verticale ASR wordt hier verstaan het injecteren van zoetwater tijdens perioden met een zoetwateroverschot via een verticale put en het onttrekken van het geïnjecteerde zoetwater in perioden met een zoetwatervraag via dezelfde put. Het water wordt bij verticale ASR op grotere diepte opgeslagen dan bij de Freshmaker en bij kreekruginfiltratie. Deze vorm van ASR wordt in West-Nederland al veelvuldig toegepast maar is niet geschikt voor opslag in zoute gebieden.

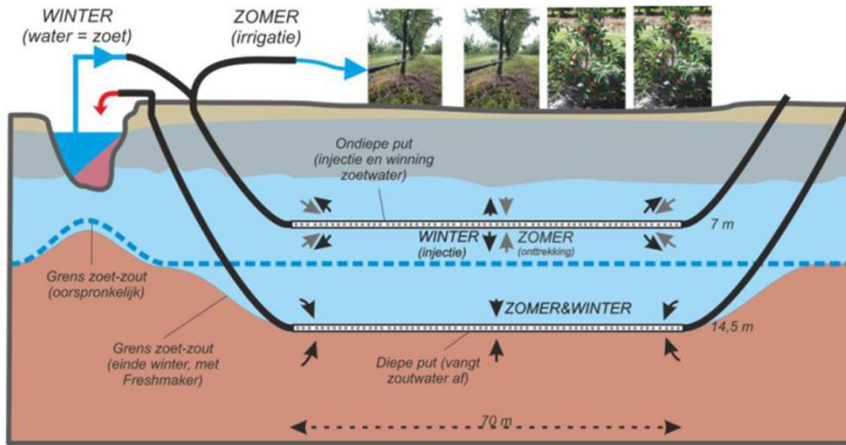


Figuur 3.2. Een verticaal Aquifer Storage and Recovery systeem (Bron: KWR).

3. Freshmaker

De Freshmaker (Zuurbier et al., 2014) is erop gericht om in zoute gebieden de zoetwatervoorraad in de winter te vergroten voor gebruik in droge perioden door actief beschikbaar water te infiltreren. Het terugwinnen van geïnjecteerd zoetwater in zoute watervoerende pakketten is extra complex door de opwaartse kracht van het zoute grondwater die de zoetwaterbel omhoog duwt. De Freshmaker combineert het ondiep (5-10 m) injecteren met het onttrekken van zout grondwater op een diepte van 15-20 m, om zo de zoetwaterbel op zijn plek te houden. Voor zowel de infiltratie van zoetwater als het onttrekken van zoet en zout grondwater worden zogenaamde HDDWs (HDDW = horizontal directional drilled well), ofwel horizontale putten, gebruikt. Het dieptetraject waarbinnen de Freshmaker gebruikt kan worden, wordt beperkt door de technische mogelijkheden van goedkope HDDWs; op dit moment het

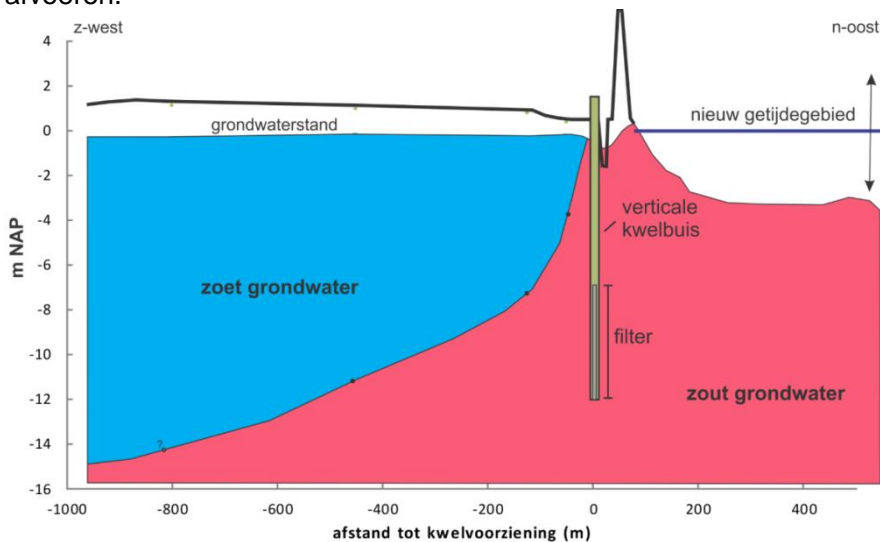
traject tussen 0-20 m-mv. Ook deze maatregel is tijdens GO-FRESH-NL in het veld getest (op Zuid-Beveland, Nederland).



Figuur 3.3 Voorstelling van de Freshmaker (Bron: Zuurbier et al., 2014).

4. SeepCat (Seepage catcher)

SeepCat is een kwelsysteem dat bestaat uit verticale onttrekkingsbuizen die rond of langs een zoetwaterlichaam zijn geplaatst en het zoute grondwater dat het zoete grondwater omringt afvoeren. Hierdoor wordt de zoetwaterdruk verlaagd en kan de zoetwatervoorraad groeien. Zeker als dit gecombineerd wordt met een actief infiltratiesysteem. In Perkpolder (Nederland) is SeepCat geïnstalleerd om een bestaande zoetwaterbel te beschermen tegen de effecten van nieuw ingericht getijdegebied. De gerealiseerde kwelvoorziening is een onttrekkingsstelsel van 61 verticale kwelbuizen die op basis van vrij verval (door stijghoogtedruk in het eerste watervoerende pakket) zout grondwater uit het eerste watervoerende pakket afvoeren.



Figuur 3.4 Kwelsysteem 'SeepCat' voor bescherming van zoetwaterlenzen (De Louw et al., 2016).

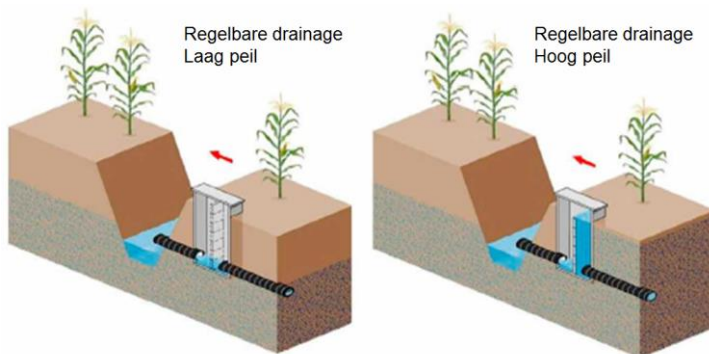
5. Brakwater onttrekken en milde ontzilting

Ontzilting van brak grondwater voor het verkrijgen van zoetwater wordt steeds efficiënter en komt daardoor steeds vaker in beeld als kansrijke zoetwatermaatregel. Veel tuinders in het westen van Nederland passen al ontziltingstechnieken toe voor het besproeien van hun gewassen. De techniek wordt interessanter wanneer het op grotere schaal wordt toegepast.

Daarbij kan worden gedacht aan combinaties waarbij het onttrekken van brak grondwater wordt toegepast om verzilting te mitigeren. Dit soort combinaties van maatregelen worden binnen het COASTAR-project onderzocht (COASTAR.nl).

6. Regelbare en/of klimaatadaptieve drainage

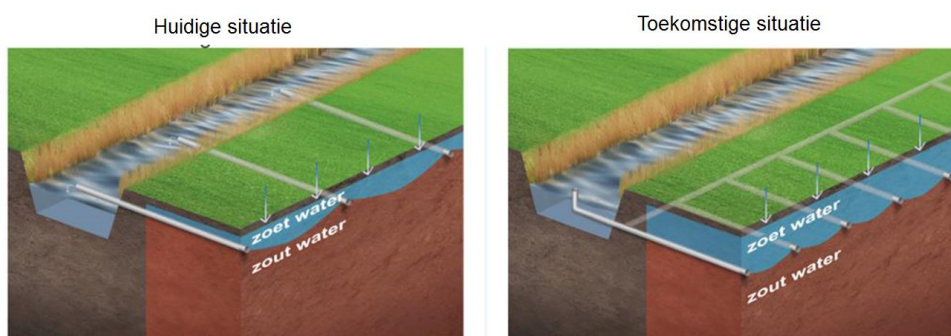
Regelbare drainage (RD) is uitgerust met een technische voorziening waarmee de grondwaterstand in een gedraineerd perceel - binnen een bepaald bereik op elk gewenst niveau kan worden ingesteld, dus ook boven de uitstroomopeningen van de drains in de sloot. Meestal worden verschillende drainagebuizen aan elkaar gekoppeld door een verzameldrain die uitkomt in een regelput. In de regelput kan het gewenste drainageniveau worden ingesteld. Als de ingestelde hoogte samenvalt met het gemiddelde maaiveld is de drainage in feite uitgeschakeld. Als de hoogte beneden het niveau van de drains wordt ingesteld, ontstaat een conventioneel werkend drainagesysteem. In het regelbereik tussen deze twee uitersten zal de drainage alleen water afvoeren als het grondwaterniveau boven de ingestelde hoogte uitkomt. Wanneer op een droge periode moet worden geanticipeerd kan de ontwateringsbasis (tijdelijk) worden verhoogd om zoveel mogelijk water vast te houden. Wanneer onder droge omstandigheden zoet water van elders kan worden aangevoerd, kan een regelbaar drainagesysteem ook worden gebruikt om dit water ondergronds, via de drains, naar de wortelzone te brengen en hogere grondwaterstanden te realiseren. Wanneer de drainagebasis traploos en op afstand kan worden geregeld en daardoor snel kan worden geanticipeerd op weersveranderingen, wordt gesproken van KlimaatAdaptieve Drainage (KAD).



Figuur 3.5 Samengestelde regelbare drainage systeem (Bron: Alterra)

7. Drains2buffer

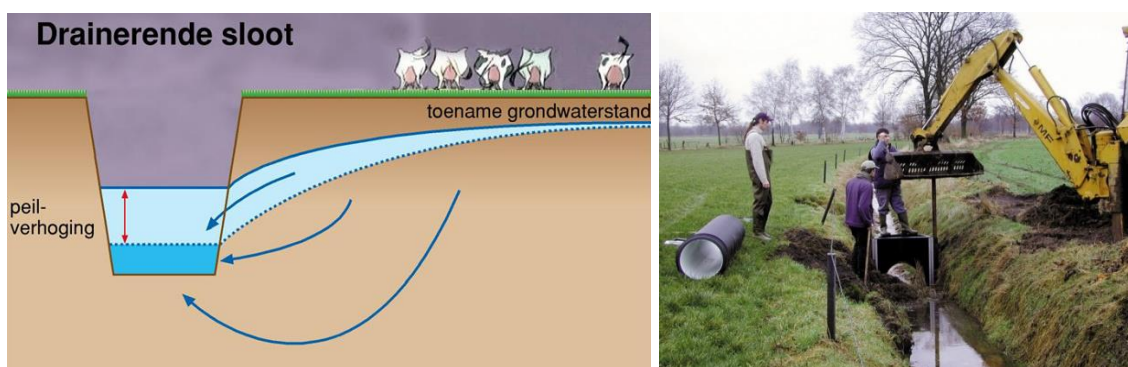
De werking van drains2buffer is afgestemd op gebieden met dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden. In zoute kwelgebieden kunnen de regenwaterlenzen direct onder het maaiveld zo dun zijn dat via capillaire opstijging zout in de wortelzone kan komen. De regenwaterlenzen zijn daarom erg kwetsbaar voor drogere klimaatomstandigheden. Om die kwetsbaarheid te verminderen worden bij drains2buffer dieper gelegen, regelbare drains aangelegd. Deze voeren zout grondwater af, wat ruimte creëert voor berging van regenwater en groei van de zoete regenwaterlens. De kans op het doordringen van zout naar de wortelzone neemt hierdoor af. De oplossing is getest binnen het GO-FRESH project op Schouwen-Duiveland (Nederland) (Oude Essink et al. 2018).



Figuur 3.6 De werking van het Drains2Buffer systeem om dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden te laten groeien (Oude Essink et al., 2018).

8. Waterconservering door stuwtjes

Bij waterconservering wordt water in de winterperiode (wanneer er een neerslagoverschot is) bovenstrooms, in de zgn. haarvaten van het oppervlaktewatersysteem achter kleine stuwen vastgehouden. Hierdoor stijgt het waterpeil in het oppervlaktewater, en als gevolg hiervan het grondwaterniveau van de aangrenzende terreinen. In feite wordt door peilopzet in het oppervlaktewater de drainagebasis verhoogd. Het doel is om zo veel mogelijk grondwater vast te houden voor het groeiseizoen. Hierbij wordt de grondwaterstand verhoogd op een niveau dat het water tijdens het groeiseizoen via capillaire opstijging de wortelzone kan bereiken.



Figuur 3.7 Waterconservering door stuwtjes door het langer vasthouden van grondwater (De Louw et al., 2001).

3.2 Selectie vijf GO-FRESH Vlaanderen maatregelen

Uit de lijst van 8 maatregelen zijn de volgende (combinaties) van maatregelen gekozen die wij kansrijk achten in het studiegebied westkustgebied en waarvoor we de potentiekaarten zullen afleiden.

De keuze wordt hieronder kort toegelicht.

1. Lokale kreekruginfiltratie
2. Regionale kreekruginfiltratie
3. Combinatie kreekruginfiltratie, SeepCat (brakwater onttrekking), in combinatie milde ontzilting
4. Regelbare drainage
5. Waterconservering door stuwtjes

Kreekruginfiltratie wordt als meest kansrijk geacht, gezien het feit dat bijna alle bestaande zoetwaterlenzen in het westelijk kustgebied (m.u.v. de duinen) gerelateerd zijn aan het voorkomen van hoger gelegen kreekruggen. Bij deze maatregel zijn er twee typen systemen denkbaar: (a) een lokaal systeem op perceelschaal, waarbij de landbouwer het water zelf infiltreert en onttrekt voor eigen gebruik. Infiltratie en onttrekkingshoeveelheden zijn beperkt en het systeem is in handen van de gebruiker, (b) een regionaal systeem waarbij grote delen van

een kreekkrug (of ander hoger gelegen zandlichaam) worden gebruikt voor de tijdelijke opslag van zoetwater op grote schaal. Hierbij kan het systeem meerdere gebruikers voorzien van zoetwater in tijden van tekorten. Dit type regionale systeem wordt typisch beheerd door een overkoepelende organisatie, coöperatie of waterbedrijf. Het schaalniveau bepaalt in sterke mate de zoekgebieden voor dit soort maatregelen en daarom is er hier een onderscheid gemaakt in een lokaal (**maatregel 1**) en een meer regionaal systeem (**maatregel 2**).

Het is interessant te bekijken hoe de potentie van kreekruginfiltratie kan worden vergroot door combinaties met andere maatregelen. Het meest kansrijk achten wij de combinatie met een zout grondwater afvoer systeem, zoals SeepCat, waarbij het onttrokken brakke water ook weer kan worden gebruikt voor de productie van zoetwater (**maatregel 3**).

Zowel Regelbare drainage (**maatregel 4**) als Waterconservering door stuwtdjes (**maatregel 5**) zijn maatregelen bedoeld om de grondwaterstand in het perceel te sturen en daarmee de vochtvoorziening. De huidige ontwatering van landbouwpercelen is vaak gericht op de traditionele gedachte om het water zo snel mogelijk het land af te krijgen en grondwaterstanden zo laag mogelijk te krijgen om natschade te voorkomen. Echter, dit heeft direct consequenties voor de vochtvoorziening gedurende het groeiseizoen, die ontoereikend kan zijn door de te intensieve afvoer van het winterwater. Met de genoemde maatregelen kan dit proces worden vertraagd zodat langer van het water uit de winter kan worden geprofiteerd en mogelijk 1 of meerdere beregeningsbeurten kunnen worden bespaard. Met regelbare drainage kan de grondwaterstand in het perceel makkelijker worden gestuurd dan met stuwtdjes in de watergangen. Daarnaast kan dit systeem worden gebruikt om eventueel beschikbaar zoetwater via drains de bodem te infiltreren (ook wel sub-irrigatie genoemd). Het plaatsen van stuwtdjes is een wat grovere maatregel die wel simpeler en goedkoper is te implementeren. Voor de poldergebieden werkt waterconservering door stuwtdjes in het algemeen vrij goed omdat het om vlakke gebieden gaat en met 1 stuwtdje een groot gebied kan worden beïnvloed. Door peilopzet met stuwtdjes kan ook het drainageniveau van aanwezige drains worden beïnvloed door deze onder water te zetten. Door de peilen in de waterlopen hoger te houden wordt ook zoute kwel tegengegaan. Met zowel regelbare drainage als waterconservering door stuwtdjes is her en der in het kustgebied al ervaring opgedaan.

Uit de geïnventariseerde lijst zijn de onderstaande maatregelen niet geselecteerd om de volgende redenen:

- Verticale ASR: dit Aquifer Storage en Recharge systeem werkt niet effectief in aquifers met zout grondwater omdat het zoute grondwater het zoete water omhoog drukt.
- Freshmaker: dit systeem blijkt hoge kosten met zich mee te brengen en is alleen kosteneffectief voor besproeiing van hoog kapitaalkrachtige gewassen en de focus binnen deze studie ligt op de veehouderij.
- SeepCat: werkt als individuele maatregel alleen goed als mitigerende maatregel om bijvoorbeeld aangrenzende peilverhogingen te compenseren. Echter, in combinaties met andere maatregelen is deze oplossing zeker de moeite waard om de potentie ervan te onderzoeken, en dit is dan ook voorgesteld in maatregel 3.
- Brakwater onttrekking in combinatie milde ontzilting: de kosten van ontzilting zijn nog steeds hoog en daarom is deze maatregel alleen geschikt voor hoogwaardige kapitaalkrachtige gewassen. Echter, in combinaties met andere maatregel zou het eventueel een kosteneffectieve optie kunnen zijn en daarom wordt dit via maatregel 3 voor het studiegebied onderzocht.
- Drains2Buffer: deze maatregel is bedoeld om dunne regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden te vergroten zodat de kans op zoutschade afneemt. Er zijn geen aanwijzingen dat er momenteel zoutschade in het gebied optreedt en daarom wordt deze maatregel niet verder onderzocht.

3.3 Methodiek voor afleiden potentiekaarten

De methodiek hiervoor is gebaseerd op het combineren van sleutelfactoren die de werking van de maatregel beïnvloeden, mits deze informatie als GIS-bestand aanwezig is. De methodiek is dus sterk afhankelijk van de beschikbaarheid van de gegevens. De sleutelfactoren zijn op basis van de watersysteemanalyse (hoofdstuk 1.2) en ervaring met eerder uitgevoerde studies en pilots vastgesteld (Van Bakel et al., 2014, Oude Essink et al., 2018; Pauw et al., 2015; De Louw et al., 2001 en 2016)

Een combinatie en weging van de sleutelfactoren leidt tot een bepaalde geschiktheid voor de desbetreffende maatregel. Dit is een redelijke subjectieve handeling op basis van expert-judgement die iteratief tot stand is gekomen. De verkregen geschiktheidsklassen op de potentiekaarten zijn daarom niet meer dan een indicatie op regionaal schaalniveau en dient niet al te absoluut te worden geïnterpreteerd. Het is belangrijk te beseffen dat niet voor alle sleutelfactoren ruimtelijke informatie aanwezig was, en dat de nauwkeurigheid van de beschikbare ruimtelijke informatie sterk verschilt van factor tot factor. De potentiekaart geeft daarom een eerste indicatie waarna lokale informatie dient te worden verzameld om de uiteindelijke haalbaarheid van de maatregel te bepalen.

Voor de volgende maatregelen worden potentiekaarten afgeleid en de methodiek wordt per maatregel hieronder besproken.

1. Lokale kreekruuginfiltratie
2. Regionale kreekruuginfiltratie
3. Combinatie kreekruuginfiltratie, SeepCat (brakwater onttrekking), in combinatie milde ontzilting
4. Regelbare drainage
5. Waterconservering door stuwtjes

Maatregel 1. Actieve Kreekruuginfiltratie – lokaal systeem

Deze oplossing is er op gericht om door actieve infiltratie via drains van beschikbaar zoetwater de grondwaterstand te verhogen in hoger gelegen zandlichamen (bijv. kreekruigen of oude zandgeulen) en daarmee de zoetwaterlens te vergroten volgens het Badon Ghyben-Herzberg (BGH) principe. De zoetwaterlens drijft als het ware in het omringende zoute grondwater waarbij er een evenwicht bestaat tussen de grondwaterstand en de dikte van de zoetwaterlens volgens een vaste verhouding, afhankelijk van het zoutgehalte van het zoute grondwater. De zoetwaterlens kan dus alleen maar in de diepte groeien wanneer de grondwaterstand structureel wordt verhoogd (of wanneer de druk van het zoute omringende grondwater wordt verlaagd).

Deze maatregel is er op gericht om op lokaal perceelsniveau de zoetwaterlens te laten groeien. De agrariër infiltreert het water zelf en onttrekt voor eigen gebruik. Infiltratie en onttrekkingshoeveelheden zijn beperkt en het systeem is in handen van de gebruiker. Hierbij kan gedacht worden aan een gebied ter grootte van een 1 tot 20 ha.

Wil deze maatregel kansrijk zijn, dan dient er de mogelijk te zijn om de grondwaterstand structureel met enkele decimeters te laten groeien. Dit kan door 2 manieren: (1) de ontwatering van het perceel te verminderen of (2) de grondwateraanvulling te verhogen. De ontwatering verminderen kan door het slootpeil te verhogen of door (indien aanwezig) het drainagepeil van drains te verhogen (bijvoorbeeld door samengestelde regelbare drainage). De grondwateraanvulling verhogen kan door naast het bestaande neerslagoverschot extra zoet water via infiltratiesloten of -drains te laten infiltreren. De lens zal dan ook veel sneller groeien dan wanneer dit met het bestaande neerslagoverschot zou moeten gebeuren. Bovendien zal na het bereiken van de gewenste lensdikte, infiltratie van additioneel water nodig blijven om de lens duurzaam te kunnen blijven exploiteren.

Hieronder worden de verschillende sleutelfactoren besproken die zijn gebruikt voor het bepalen van de potentie van deze maatregel. In tabel 3.1 staan deze sleutelfactoren samengevat, samen met de scores die er aan zijn toegekend.

Factor A: Aanwezigheid kreekrug of duinen

De meeste zoetwatervoorraden in het westkustgebied zijn te vinden onder duinen en kreekruggen. Dit zijn ten opzichte van de omgeving hoger gelegen zandlichamen en zowel de hoge ligging (hogere grondwaterstand leidt tot dikkere lens) als het zandige materiaal (goed doorlatend en daardoor geschikt voor infiltratie, stokkering en onttrekking) zijn belangrijke eigenschappen. Tijdens deze studie wordt er voornamelijk gefocussed op de kreekruggen omdat dit de relatief hogeregelegen zandlichamen betreft met zoet grondwater in een verder relatief laag poelgronden gebied waar zoet grondwater slechts in beperkte mate aanwezig of zelfs afwezig is. Het is duidelijk dat de duinen ook zeer geschikte gebieden zijn om via kunstmatige infiltratie grondwater ondergronds op te slaan. Daarom zijn deze duingebieden wel op de kaart weergegeven.

De bodemkaart geeft de ligging van deze kreekruggen weer waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen overdekte en niet-overdekte kreekruggronden. De kreekruggronden zijn volgens de bodemkaart 'kleiig-zandgronden en kleigronden die lichter worden in de diepte'. De overdekte kreekruggronden zijn bedekt met relatief recent door de zee afgezette klei. Het kleidek boven op de zandige kreekrugafzettingen kan infiltratie van zoetwater belemmeren en daarom is er binnen deze sleutelfactor onderscheid gemaakt tussen overdekte en niet-overdekte kreekruggen. Zie ook Factor E.

Factor B: Hoogteligging

Zoals eerder aangegeven is de hoogteligging van belang voor het vergroten van de zoetwatervoorraad in de ondergrond. Grotendeels wordt dit al ondervangen door Factor A. Echter, er kunnen hoger gelegen gebieden bestaan die niet op de bodemkaart als kreekrug staan aangeduid maar wel geschikt kunnen zijn. Bijvoorbeeld, dekkleigronden zijn volgens de bodemkaart 'gronden met homogeen kleidek tot meer dan 100 cm diepte' en wanneer het kleidek niet te dik is, kan met dieptedrainen onder het kleidek zoetwater worden geïnfiltrerd. Daarnaast geeft het DEM op een nauwkeuriger schaalniveau de hoger gelegen gebieden weer. Op basis van een GIS-analyse is bepaald dat de meeste huidige kreekruggen een hoogteligging hebben hoger dan 3.5 m TAW en daarom is deze hoogte als grens aangenomen om hoger gelegen gebieden aan te duiden.

Factor C: Diepte zoet-zout grensvlak

De aanwezigheid van een zoetwaterlens vergroot de potentie om extra zoetwater in de ondergrond te bergen. Immers, de aanwezigheid van een zoetwaterlens geeft aan dat al aan de meeste sleutelfactoren is voldaan. Met het verhogen van de grondwaterstand en infiltratie van zoet water kan de bestaande lens dan worden vergroot. Wanneer het zoet-zout grensvlak dieper dan 5 m ligt, wordt de kans groot geacht dat bestaande lenzen significant kunnen worden vergroot.

De diepte van zoet-zout grensvlak is uit de FRESHM-resultaten (helikoptervluchten) onttrokken.

Factor D: Groeimogelijkheden lens

Het is evident dat er ruimte in de ondergrond moet zijn voor de lens om te groeien. Zoals eerder opgemerkt groeit de lens vooral in de diepte, aan de onderkant van de lens (theoretisch 40 keer de structurele grondwaterstandverhoging). Het is dan ook van belang om te bepalen of onder de huidige lens de groei niet belemmert kan worden door een klei- of veenlaag. De ruimte die beschikbaar is voor zoetwaterlenzen, beperkt zich dus tot het freatisch pakket dat aan de onderzijde wordt begrensd door klei. Daarom is de afstand bepaald van de onderkant van de bestaande zoetwaterlens tot aan de basis van het freatisch pakket (in veel gevallen de top van leperse klei maar lokaal kan ook sterk kleiig zand de groei belemmeren). Wanneer deze afstand

meer dan 5 m is, wordt verondersteld dat er voldoende ruimte is voor de lens om te groeien. Speciale aandacht is nodig voor de Tertiaire formatie van Tielt, die op de kaart als zandig wordt aangeduid maar lokaal erg kleiig kan zijn en de groeimogelijkheden van de lens kan beperken. Vermoedelijk zijn er daardoor voor de IJzervallei minder mogelijkheden dan aangegeven op de potentiëkaart.

Het voor dit project opgestelde lithologische model levert de basis van dit freatisch systeem. De basis van onderkant van de zoetwaterlens is uit de FRESHEM-resultaten onttrokken.

Factor E: Aanwezigheid klei of veen bovenste 3m

Klei of veen in het ondiepe deel van de ondergrond belemmert zeer sterk de infiltratie van het neerslagoverschot naar de diepere ondergrond en daarmee de groei van zoetwaterlenzen. Dikke zoetwaterlenzen zullen in deze gebieden daarom ook niet worden aangetroffen. Echter, het is technisch mogelijk om infiltratiedrains onder de storende lagen te installeren of infiltratiebekkens door deze storende lagen te graven, zodat zoet water infiltratie mogelijk wordt en daarmee de groei van een zoetwaterlens. Er is gekozen om een grens van 3 m te hanteren omdat dit technisch relatief goed te realiseren valt.

Deze informatie wordt onttrokken uit het lithologische model (Delsman et al. 2019) en is complementair aan de aanwezigheid van kreekruggen met klei-dek bepaald in Factor A.

Factor F: Aanwezigheid klei of veen dieper dan 3 meter

Storende lagen bestaande uit klei of veen in het freatische pakket belemmeren zeer sterk de groei van zoetwaterlenzen. Meestal beperkt de groei zich tot op de storende laag. Er is onderscheid gemaakt tussen gebieden met en zonder storende lagen in het freatisch pakket beneden de 3 m-mv tot een diepte van 5 m onder de bestaande zoetwaterlens (Factor D).

Factor G: Diepte grondwaterstand

De zoetwaterlens kan alleen maar worden vergroot wanneer de grondwaterstand structureel wordt verhoogd. Immers, de gemiddelde grondwaterstand bepaalt in sterke mate de dikte van de zoetwaterlens volgens het Badon-Ghyben Herzerg (BGH) principe. Wanneer de grondwaterstand niet wordt verhoogd, dan duwt het omringende zoute water het zoete water weer gewoon omhoog. Volgens het BGH-principe zou het theoretisch mogelijk moeten zijn om met een structurele verhoging van de gemiddelde grondwaterstand van 10 cm, een zoetwaterlens te vergroten met 4 m (factor 40 bij zoet versus zeewater).

Echter, er is geen gebiedsdekkende informatie van de diepte van de grondwaterstand beschikbaar. Hoewel de bodemkaart met de 'drainageklasse' informatie geeft over de diepte van de grondwaterstand, is deze informatie juist voor het westkustgebied niet op de digitale bodemkaart aanwezig. Daarbij dient te worden opgemerkt dat de drainageklassen in de jaren 1950 zijn bepaald en dus niet meer de actuele situatie weerspiegelen.

Het is daarom niet mogelijk om deze factor mee te nemen bij de vervaardiging van de potentiëkaart. Deze belangrijke factor dient daarom lokaal in het veld te worden bepaald. Met enkele boringen kan een inschatting van de lokale ontwatering gemaakt worden en kan er al vrij snel een beeld worden verkregen hoeveel grondwaterstandsverhoging in het perceel mogelijk is. Als uitgangspunt kan het criterium worden gebruikt die in het FWOO-project voor Nederland is gehanteerd (Van Bakel et al., 2014), namelijk de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) moet dieper zitten dan 85 cm beneden maaiveld zodat er ruimte is om de grondwaterstand structureel enkele decimeters te laten groeien.

Factor H: Beschikbaarheid van zoetwater voor infiltratie

De geschiktheid van het gebied voor de maatregel hangt ook sterk af van de beschikbaarheid van zoetwater (bijv. wateraanvoer vanuit beken en/of kanalen uit het achterland) en de kwaliteit van het zoete water. Hoewel er op enkele locaties het zoutgehalte van het oppervlaktewater wordt gemeten, is deze informatie ruimtelijk niet gedetailleerd genoeg om dit mee te nemen als sleutelfactor voor het vervaardigen van de potentiëkaart van kreekruginfiltratie, en wordt daarom buiten beschouwing gelaten.

Het is dan ook een parameter die lokaal in het veld dient te worden bepaald voor het gebied waar deze maatregel wordt overwogen. In paragraaf 2.5 worden enkele kaarten van het gebied gepresenteerd waarin het zoutgehalte van het oppervlaktewater staat weergegeven. Op basis van deze kaarten kan een eerste idee worden verkregen wat de kans op beschikbaar zoet water is voor een bepaald gebied.

Tabel 3.1 Factoren voor het bepalen van de potentie van maatregel 1: lokale kreekruuginfiltratie.

Factoren geschiktheid maatregel 1: lokale kreekruuginfiltratie	Criteria en score
Factor A: Aanwezigheid kreekrug of duinen	0: geen kreekrug 1: kreekrug met klei-dek 2: kreekrug zonder klei-dek of duin
Factor B: Hoogteligging	0: lager dan 3.5 m TAW 1: hoger dan 3.5 m TAW
Factor C: Diepte zoet-zout grensvlak	0: ondieper dan 5 m 1: dieper dan 5 m
Factor D: Groeimogelijkheden lens	0: minder dan 5 m 1: meer dan 5 m
Factor E: Aanwezigheid klei of veen bovenste 3m	0: klei of veen aanwezig bovenste 3m 1: geen klei of veen aanwezig
Factor F: Aanwezigheid klei of veen dieper 3 meter	0: klei of veen aanwezig 1: geen klei of veen aanwezig
Factor G: Diepte grondwaterstand	n.v.t. ontbrekende gegevens
Factor H: Beschikbaarheid zoetwater voor infiltratie	n.v.t. ontbrekende gegevens

In de onderstaande tabel staan voor de verschillende geschiktheidsklassen, de weging en combinaties van factoren weergegeven. Uit deze tabel blijkt aan welke factoren het meeste gewicht is toegekend. Bijvoorbeeld een gebied wordt niet kansrijk geacht als het geen kreekrug betreft en lager ligt dan 3.5 m TAW of als er storende lagen voorkomen in het relevante traject van het freatisch pakket.

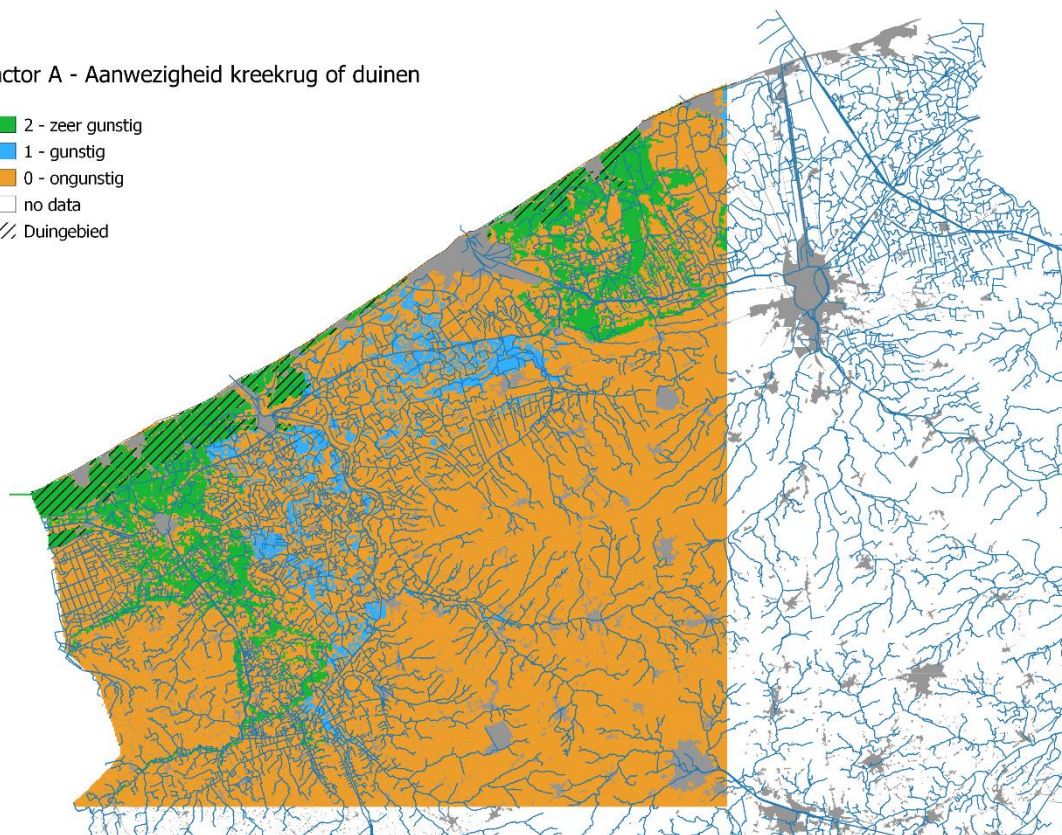
Tabel 3.2 Combinatie en weging van sleutelfactoren om te komen tot een bepaalde mate van kansrijkheid van maatregel 1: lokale kreekruuginfiltratie.

Geschiktheid maatregel 1: lokale kreekruuginfiltratie	Criteria en score
Zeer kansrijk	Als A=2 en B=1 en C=1 en D=1 en E=1 en F=1
Kansrijk met diepere infiltratiedrains	Als A=1 en B=1 en C=1 en D=1 en E=0 en F=1
Kansrijk	Als $(A+B) \geq 1$ en E=1 en F=1 en $(C+D) > 0$
Mogelijk kansrijk	Als $(A+B) \geq 1$ en F=1 en $(C+D+E) < 2$
Niet kansrijk	Als A=0 en B=0 of F=0 of alle overige gebieden die niet in één van de bovenstaande klassen vallen.

De kaarten met de score van de verschillende sleutelfactoren en de potentiekaart staan hieronder weergegeven.

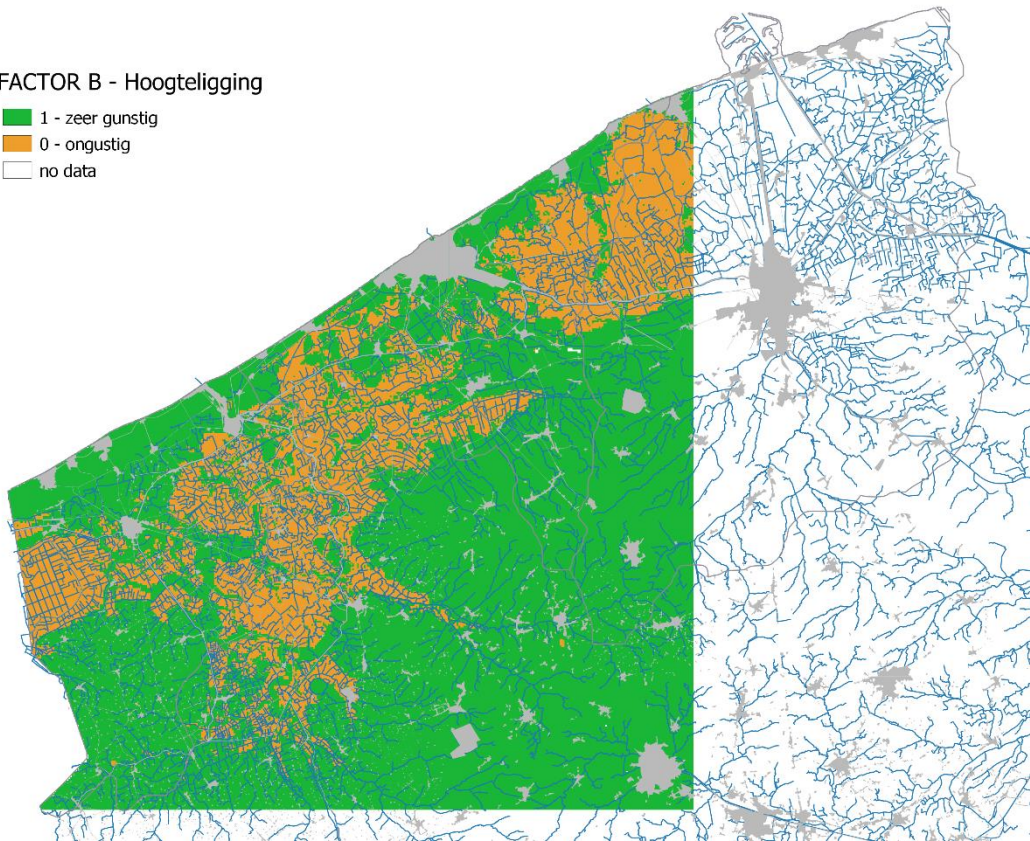
Factor A - Aanwezigheid kreekrug of duinen

- 2 - zeer gunstig
- 1 - gunstig
- 0 - ongunstig
- no data
- Duingebied



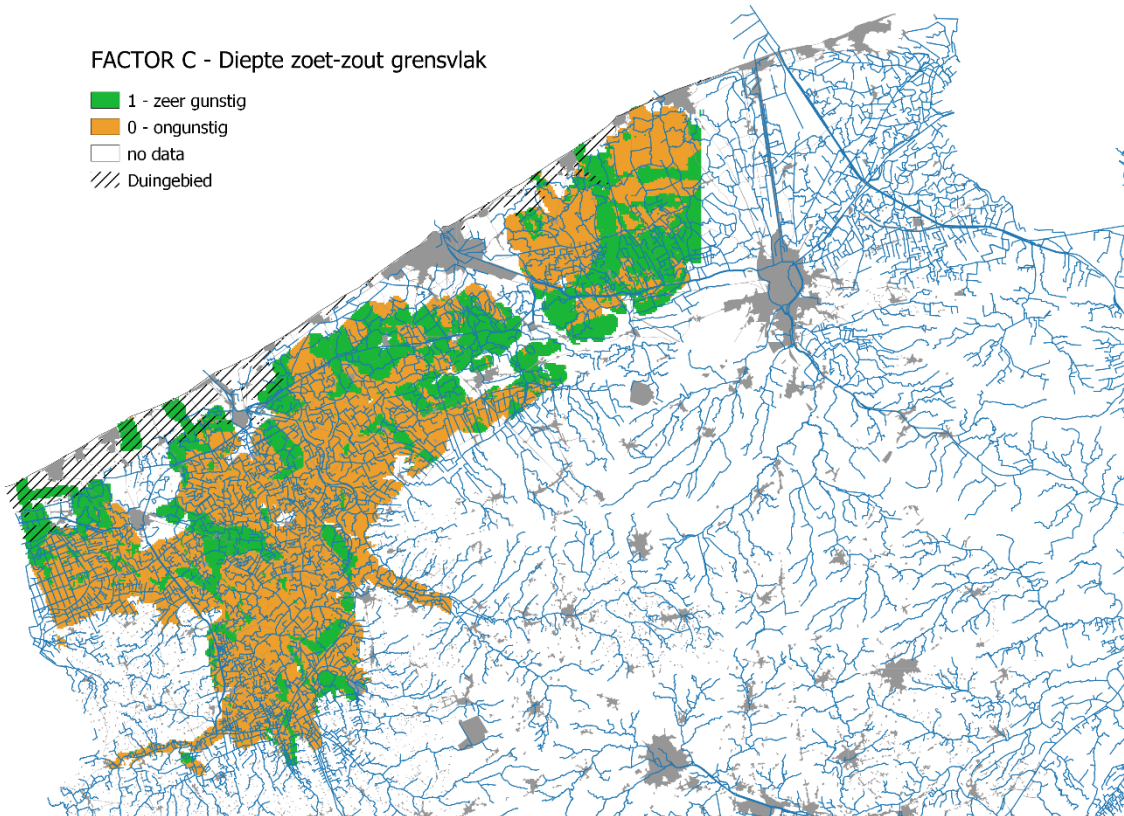
FACTOR B - Hoogteligging

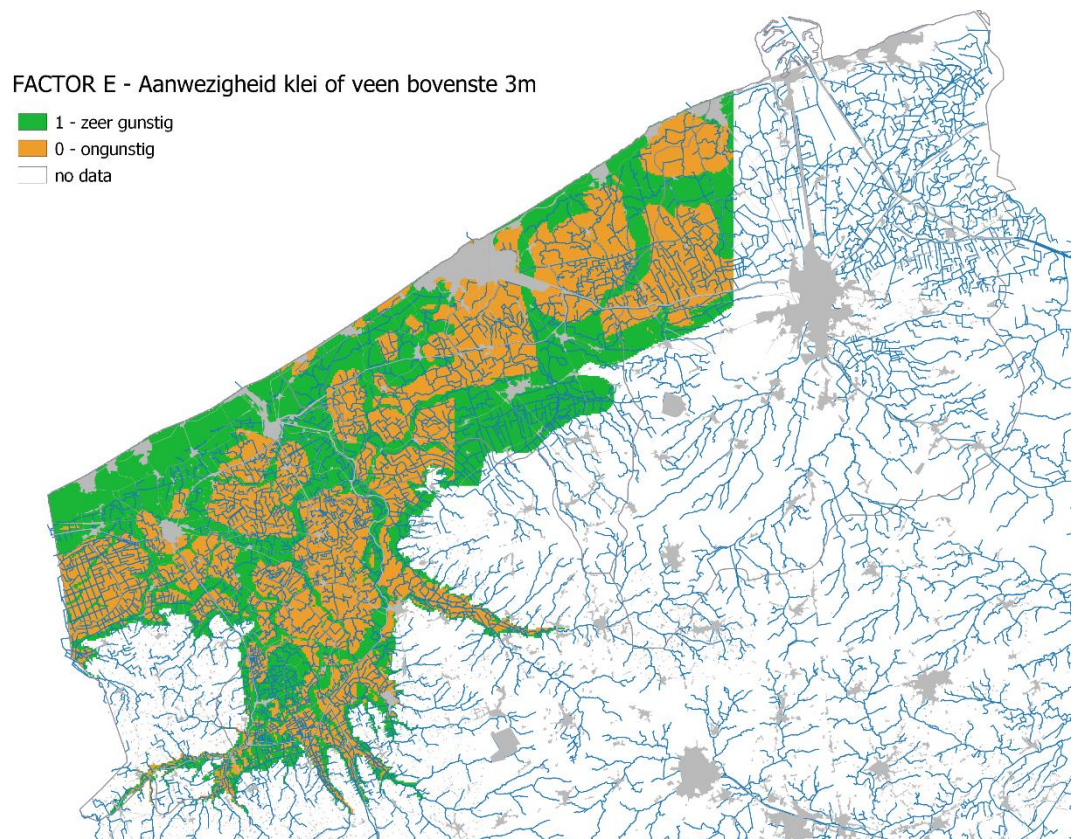
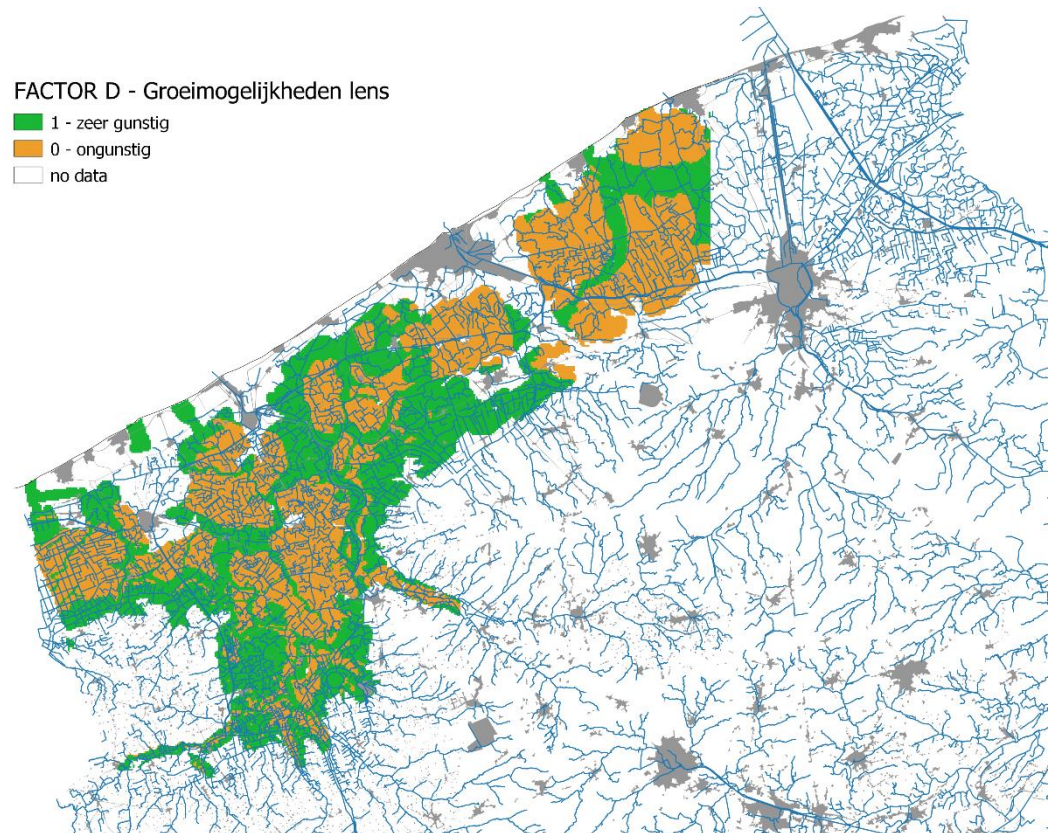
- 1 - zeer gunstig
- 0 - ongunstig
- no data

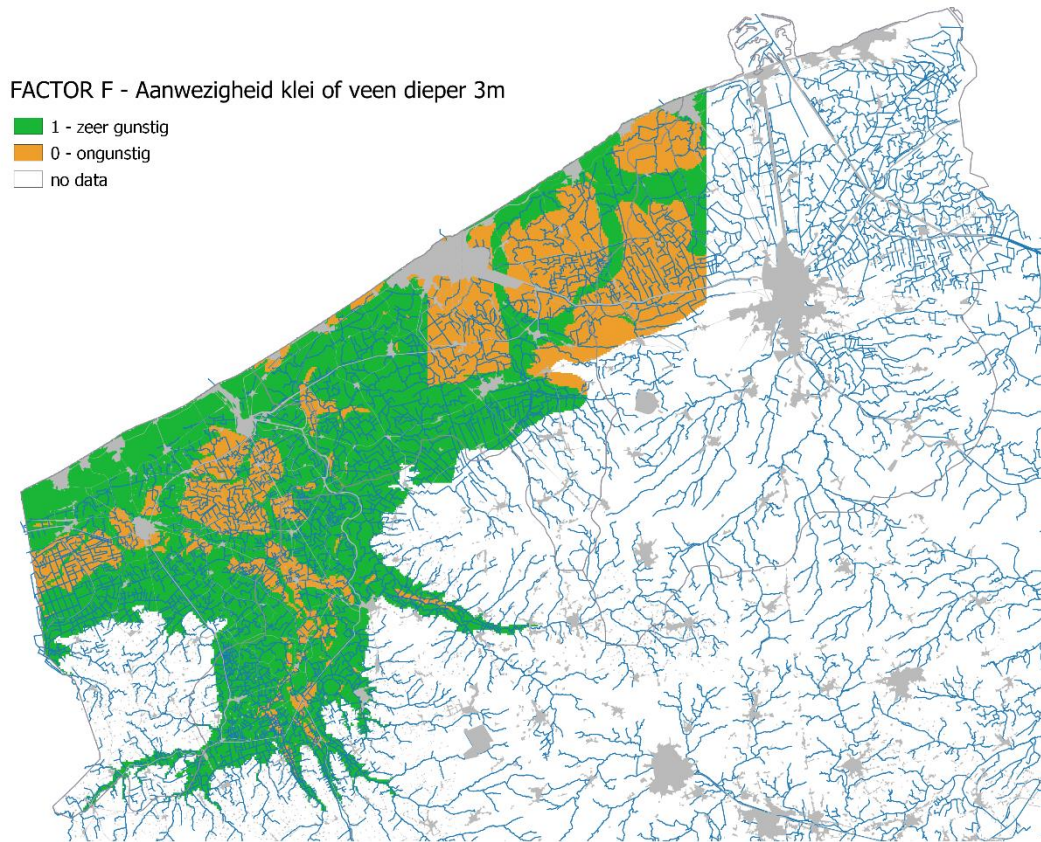


FACTOR C - Diepte zoet-zout grensvlak

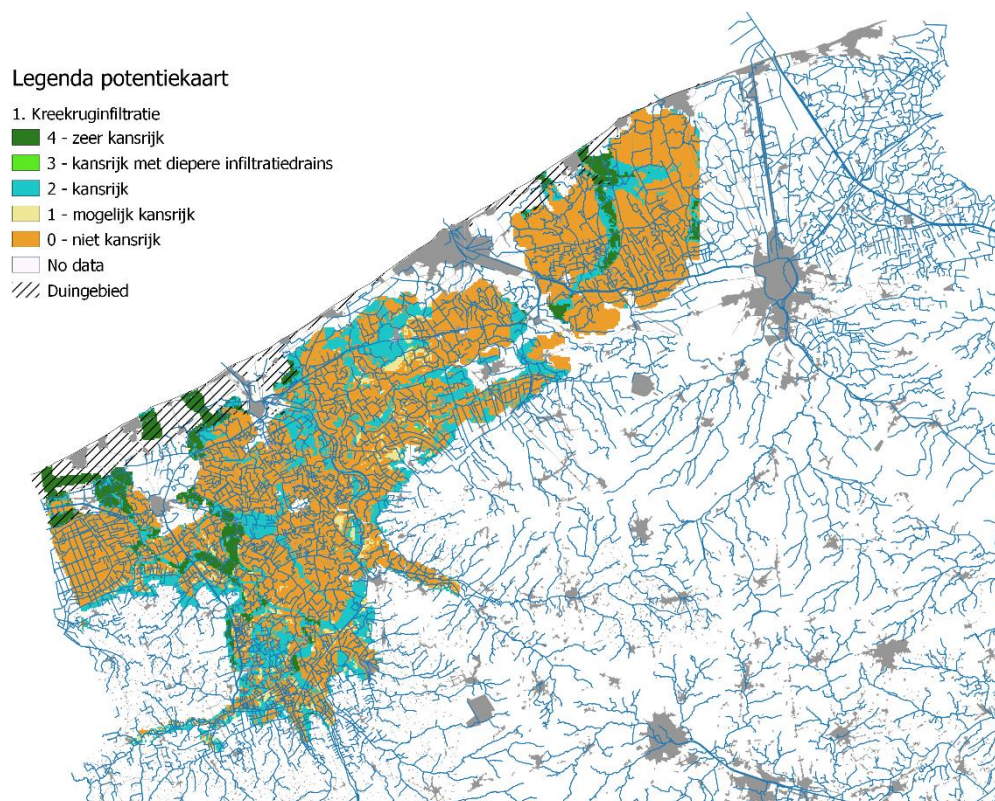
- 1 - zeer gunstig
- 0 - ongunstig
- no data
- Duingebied







Figuur 3.8 Kaarten met de score van de verschillende sleutelfactoren voor maatregel 1 - lokale kreekruiginfiltratie.



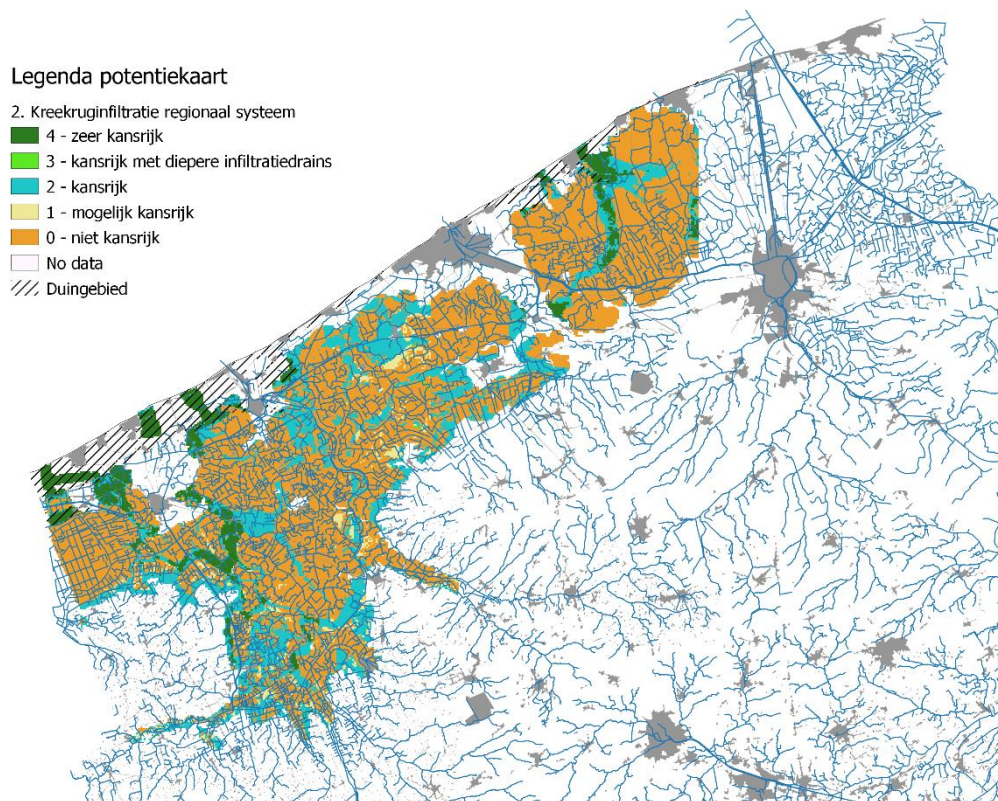
Figuur 3.9 De potentiekaart van maatregel 1: - lokale kreekruginfiltratie. Voor de duinen ontbreken grotendeels gegevens over factor C en D (in relatie tot FRESHEM-data) en worden daarom op de kaart als no-data aangegeven. Echter, het is duidelijk dat de duinen als zeer kansrijk kunnen worden aangemerkt voor elke vorm van Aquifer Storage & Recovery, inclusief kreekruginfiltratie.

Maatregel 2. regionale kreekruuginfiltratie

Deze maatregel is hetzelfde als maatregel 1 alleen verschilt de schaal waarop deze wordt toegepast, regionaal in plaats van lokaal. Het doel is grootschalige zoetwaterberging dat meerdere gebruikers voorziet van zoetwater in tijden van tekorten. Dit type regionale systeem wordt typisch beheerd door een overkoepelende organisatie, coöperatie of waterbedrijf. Deze grootschalige zoetwaterberging kan worden toegepast in gebieden groter dan 20 ha.

Behalve de schaal van de maatregel, zijn alle sleutelfactoren identiek aan die van het lokale kreekruuginfiltratie-systeem (maatregel 1). Beschrijving van deze factoren wordt daarom hier niet meer herhaald. Enige bijkomende conditie die wordt toegepast bij de bepaling van de geschiktheid, is de grootte van een aaneengesloten gebied dat als kansrijk (van mogelijk kansrijk tot zeer kansrijk) kan worden aangemerkt. Deze grens wordt gelegd op 20 ha. Aaneengesloten gebieden die kleiner zijn dan 20 ha worden als niet-kansrijk aangegeven. Echter, op deze schaal is er nauwelijks een verschil met de potentiekaart voor maatregel 1 te zien.

De kaarten met de score van de verschillende sleutelfactoren zijn gelijk aan die van maatregel 1 en staan weergegeven in Figuur 3.8. De potentiekaart staat hieronder weergegeven. Notabene: de duinen zijn aangemerkt als kansrijk volgens de methodiek weergegeven in Tabel 3.1 en 3.2 omdat het geen kreekrug betreft. Echter, de duinen kunnen als zeer kansrijk worden gezien voor elke vorm van Aquifer Storage & Recovery, inclusief kreekruuginfiltratie.



Figuur 3.10 De potentiekaart van maatregel 2: regionale kreekruuginfiltratie. Voor de duinen ontbreken grotendeels gegevens over factor C en D (in relatie tot FRESHM-data) en worden daarom op de kaart als no-data aangegeven. Echter, het is duidelijk dat de duinen als zeer kansrijk kunnen worden aangemerkt voor elke vorm van Aquifer Storage & Recovery, inclusief kreekruuginfiltratie.

Maatregel 3. Combinatie kreekruuginfiltratie, SeepCat (brakwater onttrekking), in combinatie met milde ontzilting

Maatregel 3 is een combinatie van kreekruuginfiltratie (maatregel 1 en 2) met brakwater onttrekking en milde ontzilting. De potentie van kreekruuginfiltratie kan worden vergroot door rond de zoetwaterlens brak grondwater te onttrekken. Door het onttrekken van brak grondwater wordt de druk van het zoute grondwater verlaagd en ontstaat er een nieuw evenwicht volgens het BGH-principe. Door de lagere tegendruk van het onderliggende zoute water ontstaat er ruimte voor de lens om te groeien. Eventuele ontzilting van het onttrokken brakke grondwater levert een extra bron voor zoetwater op. Voor het zoute restwater moet wel een oplossing worden gevonden om deze af te voeren.

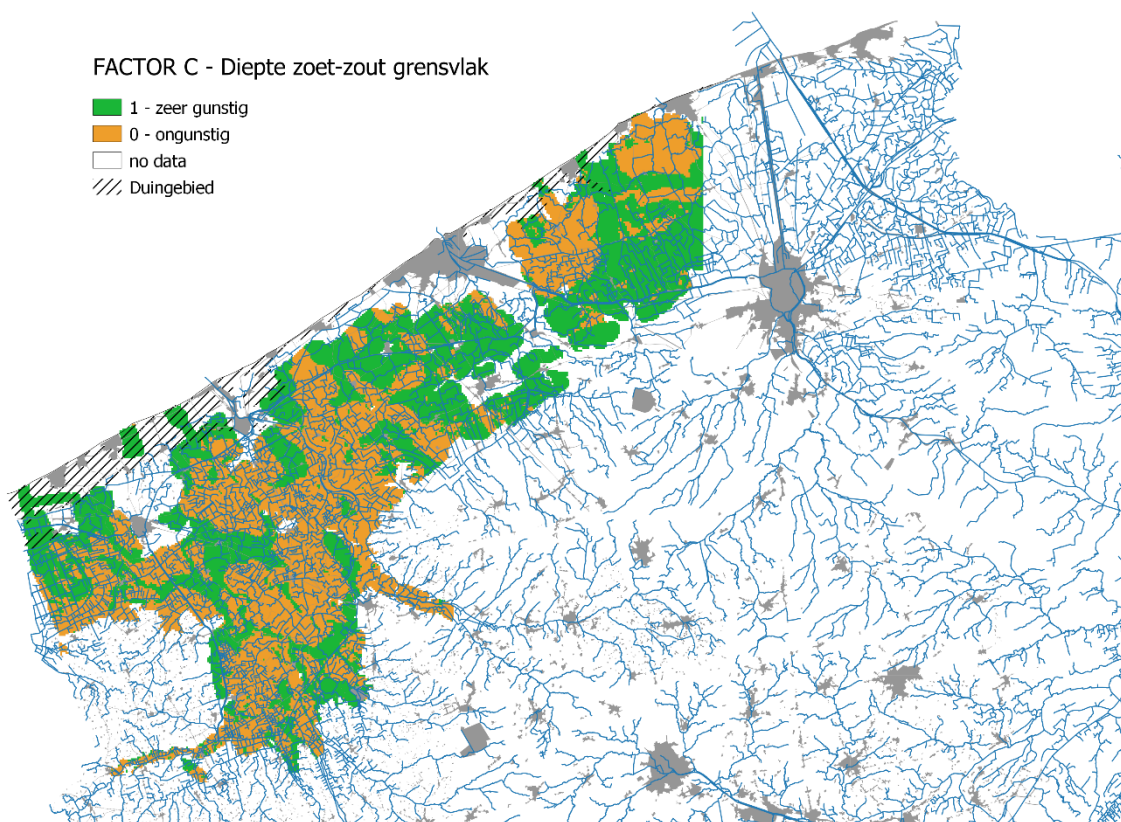
Het onttrekken van brak grondwater kan met verticale buizen worden gerealiseerd met een diameter van 150 mm of breder, een filter met voldoende lengte in het brakke grondwater en een onderlinge afstand van de verticale buizen van 15 tot 30 meter. Dit systeem wordt SeepCat genoemd en is succesvol toegepast in Perkpolder (Zeeuws-Vlaanderen, Nederland) (De Louw et al., 2016). Daadwerkelijke dimensies van het systeem dienen op basis van de lokale situatie te worden vastgesteld. Een 5 tot 10-tal verticale buizen dienen aan elkaar te worden gekoppeld via een verzamelbuis beneden de grondwaterstand en de verzamelbuis dient uit te komen in een regelput. Wanneer de druk van het brakke grondwater hoger is dan het slootpeil, zijn er geen pompen nodig om het brakke grondwater te onttrekken. De verticale buizen dienen direct naast een sloot te worden geplaatst voor eventuele afvoer van het brakke water. Een nadeel van deze methode is dat er extra brak water in de sloot terecht komt en het water in de sloot dus zouter wordt. Dit hoeft niet altijd een probleem te zijn, bijvoorbeeld als het slootwater al te zout is voor irrigatiewater of andere functies. Of verzilting van het slootwater een probleem oplevert en daarmee de potentie van maatregel degradeert, dient voor de specifieke situatie nader te worden bepaald.

De sleutelfactoren voor deze maatregel 3 zijn grotendeels gelijk aan die van maatregel 1 alleen door de extra onttrekking van brak grondwater zijn er meer type gebieden potentieel geschikt. De enige aanpassing ten opzichte maatregel 1 is de verlaging van het criterium van Factor C van 5 m naar 3 m.

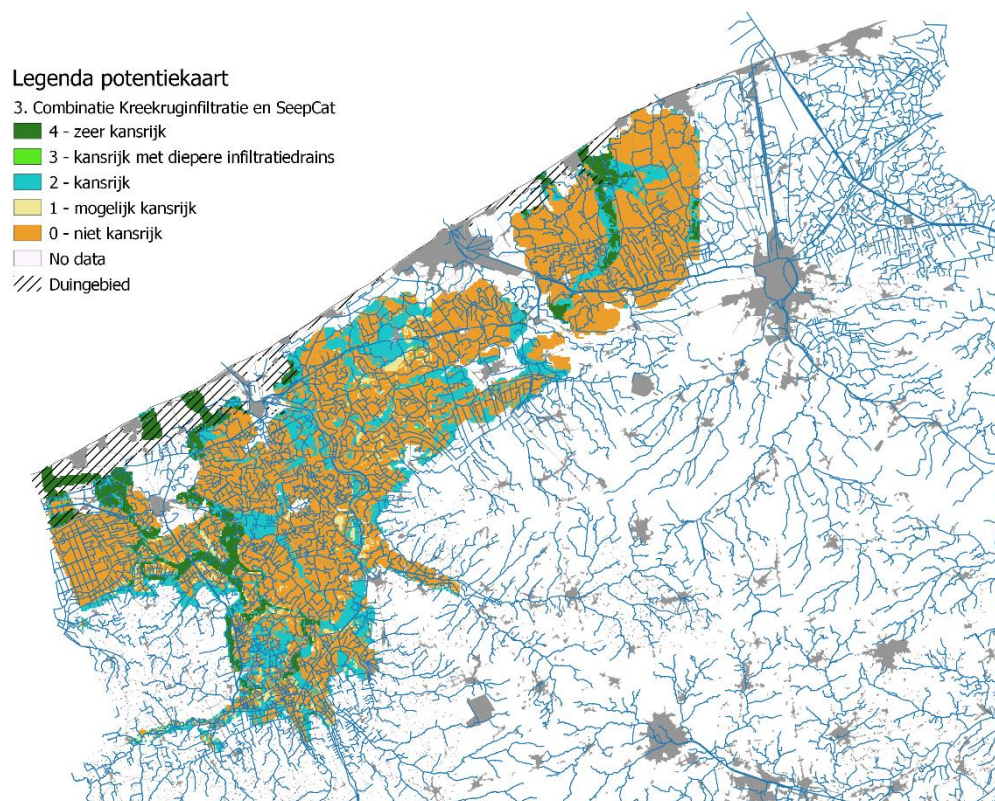
Tabel 3.3 Factoren voor bepalen van de potentie van maatregel 3: combinatie kreekruuginfiltratie, SeepCat, in combinatie met milde ontzilting.

Factoren geschiktheid 3: combinatie kreekruuginfiltratie, SeepCat, in combinatie met milde ontzilting	Criteria en score
Factor A: Aanwezigheid kreekrug	0: geen kreekrug 1: kreekrug met klei-dek 2: kreekrug zonder klei-dek
Factor B: Hoogteligging	0: lager dan 3.5 m TAW 1: hoger dan 3.5 m TAW
Factor C: Diepte zoet-zout grensvlak	0: ondieper dan 3 m 1: dieper dan 3 m
Factor D: Groeimogelijkheden lens	0: minder dan 5 m 1: meer dan 5 m
Factor E: Aanwezigheid klei of veen bovenste 3m	0: klei of veen aanwezig bovenste 3m 1: geen klei of veen aanwezig
Factor F: Aanwezigheid klei of veen dieper 3 meter	0: klei of veen aanwezig 1: geen klei of veen aanwezig

De kaarten met de score van de verschillende sleutelfactoren en de potentiekaart staan hieronder weergegeven. De weging en combinatie van factoren is gelijk aan die van maatregel 1 en deze tabel wordt daarom hier niet herhaald (zie Tabel 3.1).



Figuur 3.11 Kaart met de score van sleutelfactor C voor maatregel 3: Combinatie kreekruginfiltratie Systeem, SeepCat (brakwater onttrekking), in combinatie met milde ontzilting. De kaarten van de overige sleutelfactoren zijn gelijk aan die van maatregel 1 en staan in Figuur 3.8 weergegeven. Voor de duinen ontbreken grotendeels gegevens over factor C en D (in relatie tot FRESHM-data) en worden daarom op de kaart als no-data aangegeven. Echter, het is duidelijk dat de duinen als zeer kansrijk kunnen worden aangemerkt voor elke vorm van Aquifer Storage & Recovery, inclusief kreekruginfiltratie.



Figuur 3.12 De potentiekaart van maatregel 3: Combinatie kreekruuginfiltratie, SeepCat (Brakwater onttrekking), in combinatie met milde ontzilting.

Maatregel 4. Samengestelde regelbare drainage (of peilgestuurde drainage)

Samengestelde regelbare drainage (RD) is uitgerust met een technische voorziening waarmee de grondwaterstand in een gedraineerd perceel - binnen een bepaald bereik op elk gewenst niveau kan worden ingesteld. De term samengesteld duidt op het feit dat verschillende drainagebuizen aan elkaar worden gekoppeld (via verzameldrain) zodat met 1 regelmechanisme het drainagepeil kan worden gestuurd. Zo kan er meer grondwater worden vastgehouden en hogere grondwaterstanden in het groeiseizoen worden gerealiseerd door een hoger drainageniveau in te stellen, terwijl in natte perioden het drainageniveau kan worden verlaagd om natschade te voorkomen. Bij ondiepere grondwaterstanden kan er tijdens droge perioden meer grondwater via capillaire opstijging de wortelzone bereiken waardoor beregeningsbeurten zouden kunnen worden uitgesteld. Daarnaast kan dit systeem worden gebruikt om eventueel beschikbaar zoetwater via drains de bodem te infiltreren (ook wel sub-irrigatie genoemd).

Een bijkomend voordeel van dit systeem is dat voor zoute kwelgebieden een gemiddeld hogere grondwaterstand leidt tot dikkere zoetwaterlenzen. Hierdoor neemt eventuele zoutschade in de wortelzone af (zie ook paragraaf 3.1, maatregel 7) en neemt de zoetwatervoorraad toe.

In Nederland is al enige ervaring opgedaan met het toepassen van samengestelde regelbare drainage. In Figuur 3.13 zijn enkele vormen van drainage weergegeven waarbij te zien is dat bestaande conventionele drains op verschillende manieren regelbaar kunnen worden gemaakt. Bestaande drains kunnen via het slootpeil worden gestuurd door slootpeilverhoging. Hierdoor komen de drains onder water te liggen waardoor het ontwateringsniveau wordt verhoogd. Nadeel is dat met slootpeil verhogingen behalve het doel-perceel vaak grotere gebieden worden beïnvloed. Ook is deze vorm niet toepasbaar bij zout oppervlaktewater omdat het risico bestaat dat zout oppervlaktewater via de drains het perceel in stroomt. Bestaande drains

kunnen ook aan elkaar worden gekoppeld waarbij de verzameldrain in een regelput uitkomt. In de regelput kan het ontwateringsniveau van de samengestelde drains worden geregeld. Wanneer er wordt gekozen om nieuwe drains te installeren, is het aan te bevelen de drains dicht bij elkaar te leggen voor een beter sturing en om bij natte perioden een snellere afvoer te garanderen.

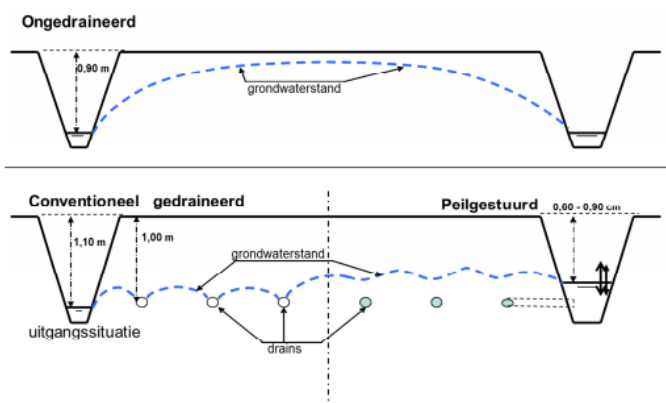


Fig. 1.1 Dwaarsdoorsneden van een perceel: ongedraineerd (boven), conventioneel (CD; onder links) en peilgestuurd (PD) gedraineerd (onder rechts).

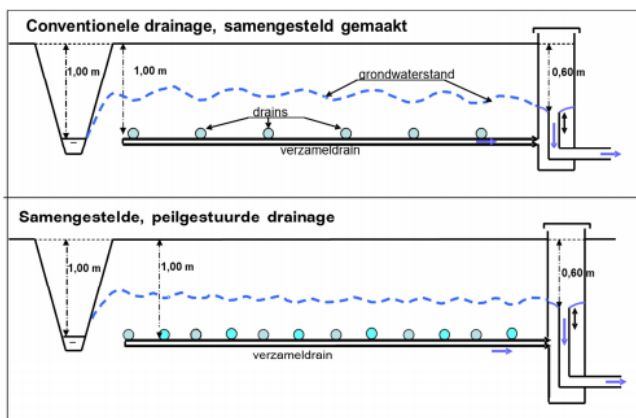


Fig. 1.2 Samengesteld peilgestuurd drainagesysteem, dwarsdoorsnede over een perceel.

Bij het drainagesysteem in het onderste deel van de figuur is de drainafstand verkleind.

Figuur 3.13 Verschillende vormen van drainage: conventionele drainage, conventionele drainage peilgestuurd, conventionele drainage samengesteld en regelbare gemaakt, nieuwe drainage regelbare drainage met kleinere drainage-afstand voor betere sturing (figuren overgenomen uit Van Bakel et al., 2013).

Future Water heeft in 2013 een geschiktheidskaart gemaakt voor (samengestelde) regelbare drainage voor Nederland (Van Bakel et al., 2013). Zij noemen als belangrijkste factoren die van belang zijn voor de geschiktheid van regelbare drainage:

- Doorlatendheid van de bodem op de diepte van de drainagebuizen;
- Aanwezigheid van keileem of klei in het ondiepe bodemprofiel (slecht doorlatend en daarom ongunstig voor drainage);
- Aanwezigheid van ijzer in het bodemprofiel of in kwelwater (aanwezigheid van ijzer kan leiden tot verstopping van drainagebuizen);
- Hydrologische situatie ter plekke: kwel vanuit of wegzijging naar het regionale grondwatersysteem (de effectiviteit van RD neemt af met een grotere wegzijging)
- Drooglegging van het perceel i.c. de ontwateringsbasis in de directe buurt van het perceel. Bij een te geringe drooglegging is de maximale ontwateringsbasis van de drains te ondiep waardoor sturingsmogelijkheden beperkt worden.

In Figuur 3.14 staan deze verschillende factoren met bijbehorende criteria weergegeven (Van Bakel et al., 2013). De factoren voor de potentiëkaart Samengestelde Regelbare Drainage voor

het westkustgebied zijn hierop gebaseerd, maar aangepast op basis van de beschikbare ruimtelijke informatie.

Factor	Criterium	Groen=geschikt Oranje=kan ongeschikt zijn Rood=ongeschikt	
		CD	PD
Doorlatendheid rond de drains is onvoldoende	Klei op draandiepte (ca. 1 m-mv)		
Drains mogen niet in de keileem liggen	Keileem <0,6 m diep		
Verstopping drains door ijzer	IJzer in profiel		
Te veel wegzijging waardoor peilsturing nauwelijks effectief	> 0,5 mm/d		
Drooglegging zodanig gering dat ontwateringsbasis te ondiep is	< 0,7 m (zand) < 0,9 m (klei)		

Figuur 3.14 Overzicht van factoren en bijbehorende criteria die bepalen of de onderscheiden vormen van drainage geschikt of niet geschikt zijn. CD=conventionele drainage, PD=peilgestuurde of regelbare drainage (figuur overgenomen uit Van Bakel et al., 2013).

De sleutelfactoren voor samengestelde regelbare drainage voor het westkustgebied staan weergegeven in Tabel 3.4 en worden hieronder kort besproken.

Factor A: Doorlatendheid bodem op drainageniveau

De aanwezigheid van klei of veen rondom de drains belemmert de werking van drains en daarmee de potentie om met regelbare drainage de grondwaterstand in het perceel te sturen. Zandige bodems zijn juist uiterst geschikt voor regelbare drainage. Er wordt als drainageniveau 1.0 tot 1.5 m-mv aangehouden en wanneer in dit traject klei of veen wordt aangetroffen, dan is het gebied minder geschikt voor regelbare drainage.

Om deze factor ruimtelijk in beeld te brengen, worden 2 bronnen gebruikt: de bodemkaart en het lithologisch model. De bodemkaart geeft grotendeels alleen informatie voor de bovenste 1 meter. Uit de legenda van de bodemkaart valt te halen dat bijna alle bodems in het Westkust, waarvan het moedermateriaal onder zeeïnvloed is gesedimenteerd, enige mate van klei, leem, kleilig zand of veen bevat. Echter, er wordt ervan uitgegaan dat de kreekruggen zonder kleidek het meeste geschikt zijn en dat de overige bodems (kreekruggen met kleidek, poel- en schorgronden, dekkleipolders, moeren) minder doorlatend materiaal bevatten in de bovenste 1-1.5 m en daardoor minder geschikt zijn. Het lithologisch model geeft de lithologische samenstelling (onderscheid in klei, veen en zand) per 0.5m weer en hoewel deze informatie grotendeels met de bodemkaart overlapt, wordt deze extra bron gebruikt voor deze factor A.

Factor B: Doorlatendheid bodem boven drains

De grondwaterstand kan beter gestuurd worden als ook de bodem boven de drains (van 0 tot 1.0 m-mv) doorlatend is. De informatie uit de bodemkaart over de lithologische samenstelling van dit traject is al gebruikt bij factor A1 en wordt hier niet herhaald. Het lithologisch model geeft nog wat additionele informatie over de bovenste meter en wordt bij deze factor toegepast.

Factor C: IJzer in bodemprofiel

IJzer in bodemprofiel kan leiden tot verstopping van de drainagebuizen waardoor ze vaker doorgespoeld moeten worden. Verstopping van drains is vooral aan de orde indien de drainagebuizen niet permanent onder water liggen waardoor opgelost ijzer kan oxideren. Bij regelbare drainage liggen ze veelal wel onder water, waarbij de kans groot is dat ijzer minder neerslaat en eenmaal neergeslagen ijzer (deels) in oplossing gaat. Van Bakel et al. (2013)

hebben er daarom voor gekozen om 'ijzer in profiel' niet mee te nemen als factor, maar als aandachtspunt. Natuurlijk kan er bij het ontwerp, de inrichting en het beheer van regelbare drainage rekening gehouden worden met onderhoud via het doorspuiten van de drainbuizen. In navolging hiervan wordt 'ijzer in bodemprofiel' hier dan ook alleen meegenomen als aandachtspunt.

De bodemkaart wordt gebruikt om gebieden te selecteren waar ijzerrijke bodemhorizonten voorkomen. Dit zijn veelal de bodems aangeduid met de letters ..g en ..h in de legenda onder profielontwikkeling. Echter, voor het kustgebied ontbreekt deze informatie op de digitale bodemkaart en kan hier daarom niet worden gepresenteerd.

Factor D: Wegzijing of kwel

Van een wegzijging-situatie wordt gesproken wanneer er grondwater naar de diepere ondergrond doorsijpelt en niet direct door de dichtstbijzijnde sloot of drain wordt afgevoerd. Indien er sprake is van wegzijging is er aan de ene kant weinig behoefte aan drainage want de grondwaterstand zal vaak diep genoeg staan. Peilsturing heeft dan weinig effect, het grondwater zal letterlijk aan de onderkant van het perceel wegsijpelen (Van Bakel et al., 2013). In kwelsituaties worden vaak hogere grondwaterstanden aangetroffen en in gebieden met kwel moet er naast het neerslagoverschot, ook nog het kwelwater worden afgevoerd. Deze gebieden zijn vaak wel gedraineerd. Kwelgebieden worden dan ook als gunstig bestempeld voor regelbare drainage.

Er is geen gebiedsdekkende informatie beschikbaar van kwel- en wegzijgingsgebieden. Echter, de dikte van de zoetwaterlens geeft hier wel informatie over. In wegzijgingsgebieden vindt infiltratie van regenwater plaats waardoor er zich zoetwaterlenzen kunnen vormen volgens het BGH-principe; in kwelgebieden voorkomt de alsmaar verticaal omhoog gerichte stroming de infiltratie van regenwater met als gevolg slechts zeer dunne of zelfs afwezige regenwaterlenzen (De Louw, 2013). De kaart met de diepte van het zoet-zout grensvlak wordt daarom gebruikt om globaal deze gebieden te onderscheiden. Bij een grensvlak dieper dan 3 m-mv wordt een wegzijging verondersteld en een grensvlak ondieper dan 3 m-mv kwel.

Factor E: Drooglegging

De drooglegging is een maat voor de ontwateringsbasis van de drains en is gedefinieerd als het hoogteverschil tussen gemiddeld maaiveld en slootpeil in de wintersituatie. De drooglegging moet voldoende groot zijn om het RD-systeem effectief te laten functioneren. Immers, wanneer het slootpeil al hoog staat, kan het drainagepeil niet meer verder worden verhoogd zonder dat er potentieel natschade kan optreden. Van Bakel et al. (2013) hebben ingeschat dat deze factor per grondsoort verschilt en nemen voor een zandgrond een criterium van minimaal 0.7 m en voor kleigrond van minimaal 0.9 m.

De drooglegging kan worden bepaald door het winterpeil van het maaiveld af te trekken. Echter, alleen voor het gebied ten oosten van de IJzer is digitale informatie beschikbaar gesteld van het winterpeil. Deze factor wordt daarom bij het maken van de potentiekaart niet meegenomen. Echter, de kaart van deze factor laat zien dat deze bijna overal als gunstig wordt aangemerkt en zal daarom nauwelijks belemmerend werken.

Tabel 3.4 Factoren voor bepalen van de potentie van maatregel D: Samengestelde regelbare drainage

Factoren geschiktheid maatregel 4: samengestelde regelbare drainage	Criteria en score
Factor A1: Aanwezigheid klei of veen in de bovenste 1.5 m (obv bodemkaart)	0: klei of veen in bodemprofiel 1: overwegend zand in bodemprofiel
Factor A2: Aanwezigheid klei of veen op drainageniveau (1.0-1.5 m-mv) (obv lithologisch model)	0: klei of veen op drainageniveau 1: zand op drainageniveau
Factor B: Doorlatendheid bodem boven drains (0-1.0 m-mv) (obv lithologisch model)	0: klei of veen bovenste meter 1: zand bovenste meter
Factor C: IJzer in bodemprofiel (geen digitale info voor westkustgebied beschikbaar)	0: ijzer in bodemprofiel 1: geen ijzer in bodemprofiel
Factor D: Kwel / wegzijging obv diepte zoet-zout grensvlak	0: dieper dan 3 m (wegzijging) 1: ondieper dan 3 m (kwel)
Factor E: Droogleggingscriterium: zand > 0.7 m en klei > 0.9 m	0: drooglegging < criterium 1: drooglegging > criterium

In Tabel 3.5 staan voor de verschillende geschiktheidsklassen, de weging en combinaties van factoren weergegeven. Voor samengestelde regelbare drainage is er voor gekozen om geen enkel gebied als ongeschikt aan te merken. Immers, voor veel kleigebieden in polders is buisdrainage nodig om het perceel voldoende droog te maken, ondanks dat drainage minder goed werkt dan voor zandige bodems. Ook regelbare drainage kan daarom worden toegepast voor kleigronden en kan er een gemiddeld hogere grondwaterstand worden gerealiseerd zonder extra natschade.

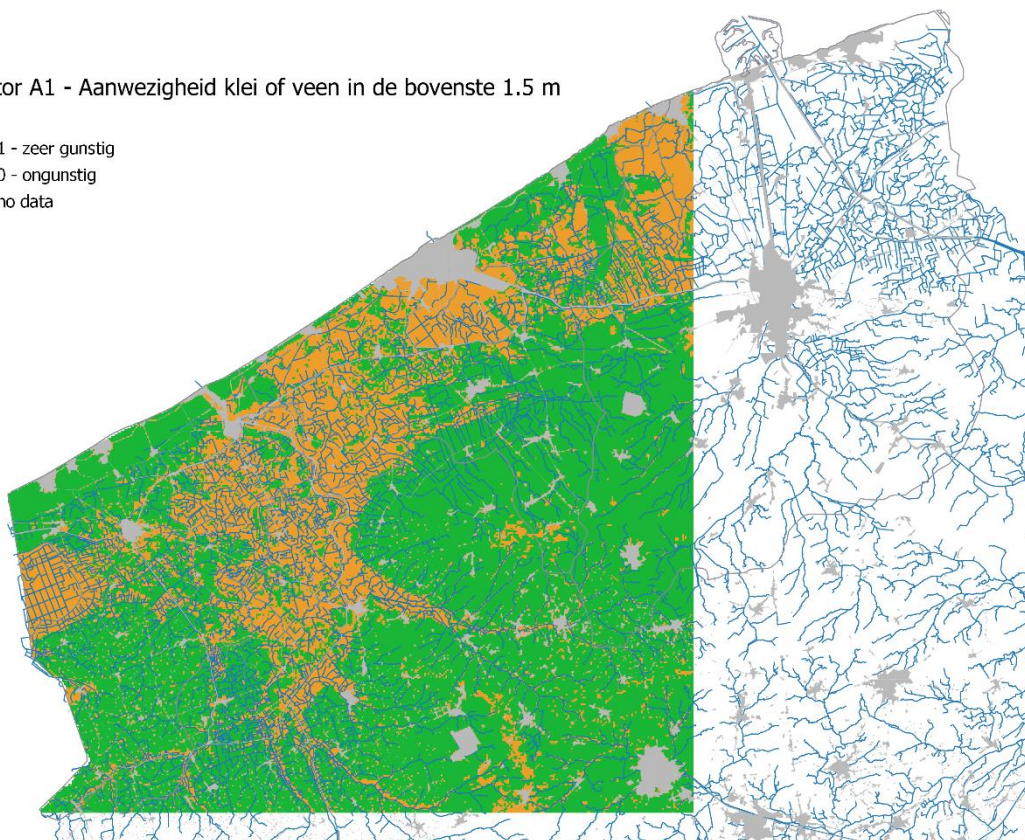
Tabel 3.5 Combinatie en weging van sleutelfactoren om te komen tot een bepaalde mate van kansrijkheid van maatregel 4: samengestelde regelbare drainage

Geschiktheid maatregel 4: samengestelde regelbare drainage	Criteria en score
Zeer kansrijk	Als (A1+ A2)>0 en B=1 en D=1
Kansrijk	Als D=1
Mogelijk kansrijk	Alle overige combinaties.
Niet kansrijk	n.v.t.
aandachtspunt: ijzer in bodem, mogelijk meer onderhoud	Als C=0

De kaarten met de score van de verschillende sleutelfactoren en de potentiekaart staan hieronder weergegeven.

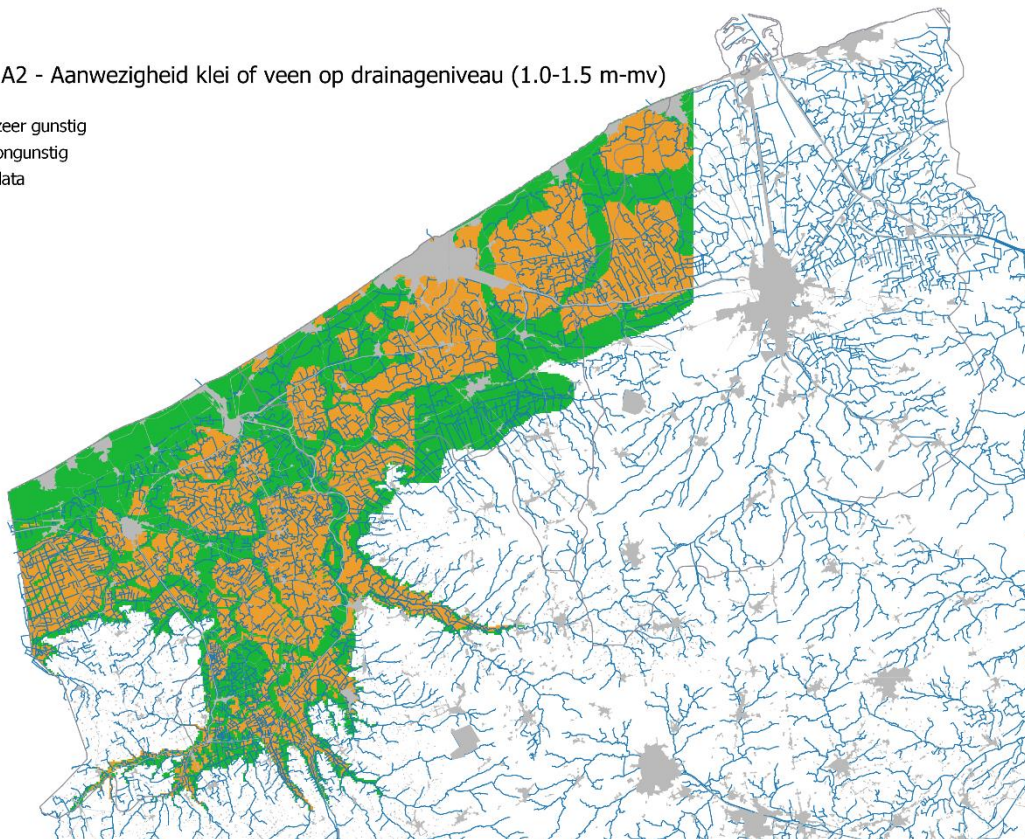
Factor A1 - Aanwezigheid klei of veen in de bovenste 1.5 m

- 1 - zeer gunstig
- 0 - ongunstig
- no data



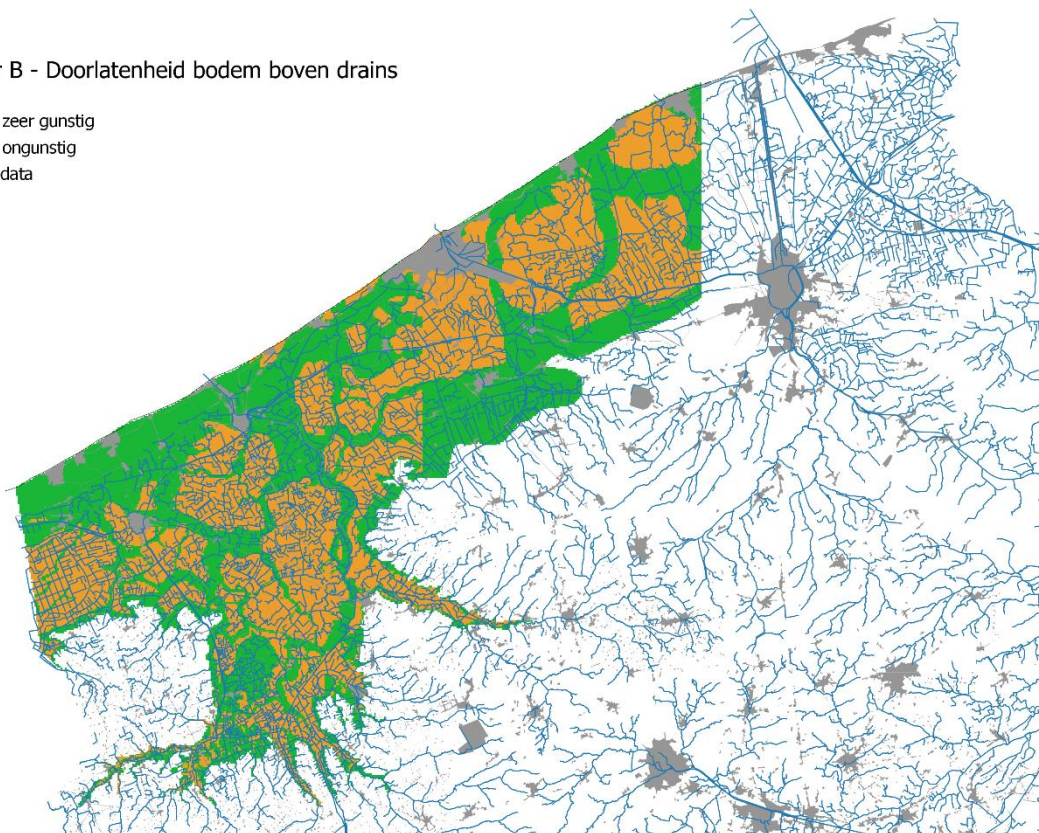
Factor A2 - Aanwezigheid klei of veen op drainageniveau (1.0-1.5 m-mv)

- 1 - zeer gunstig
- 0 - ongunstig
- no data



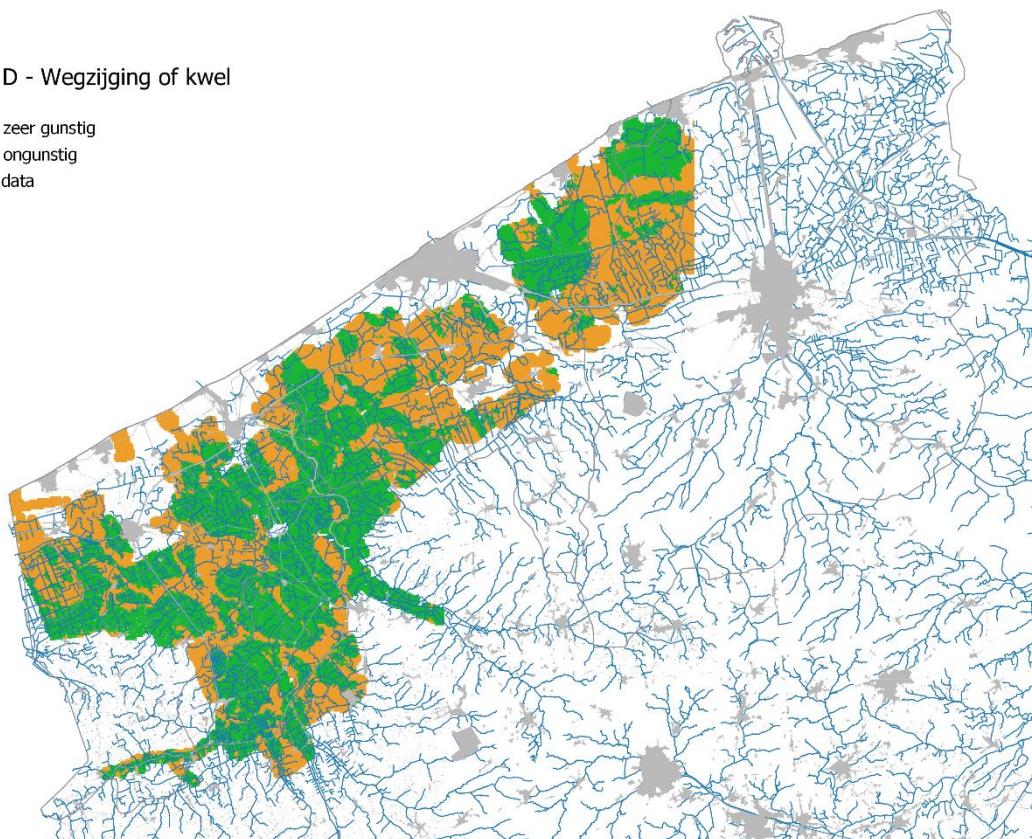
Factor B - Doorlatenheid bodem boven drains

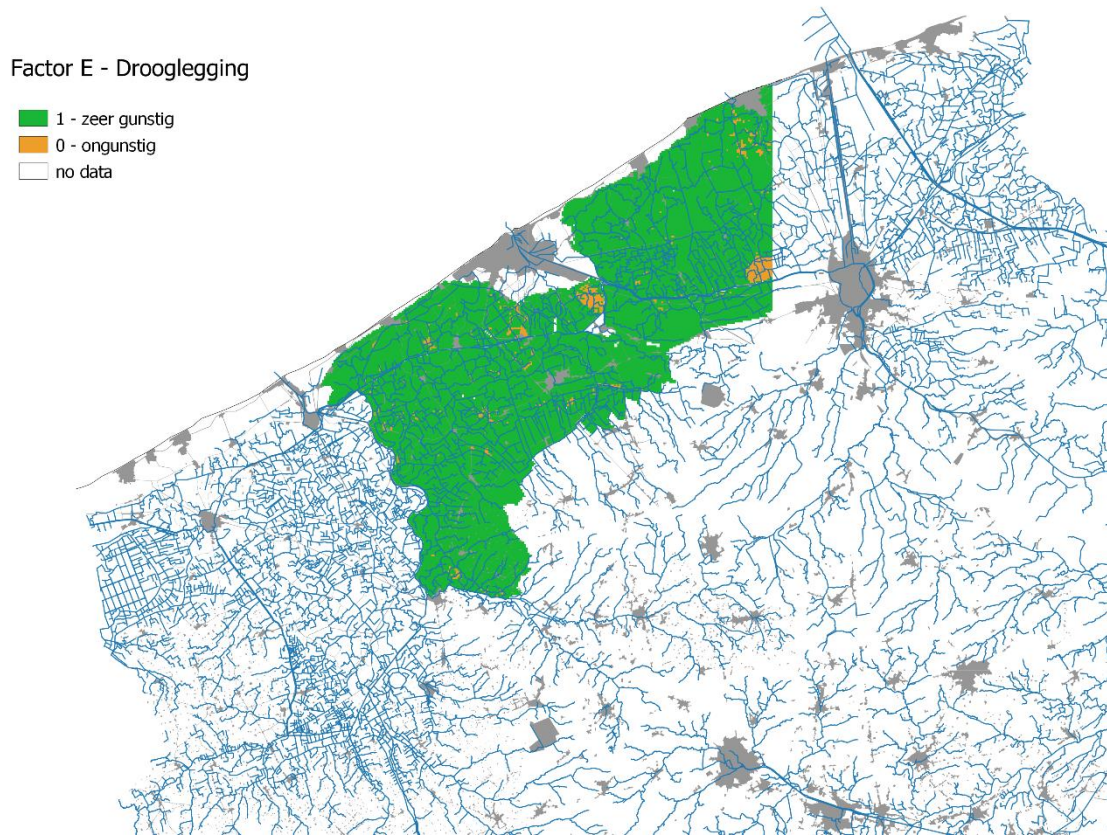
- 1 - zeer gunstig
- 0 - ongunstig
- no data



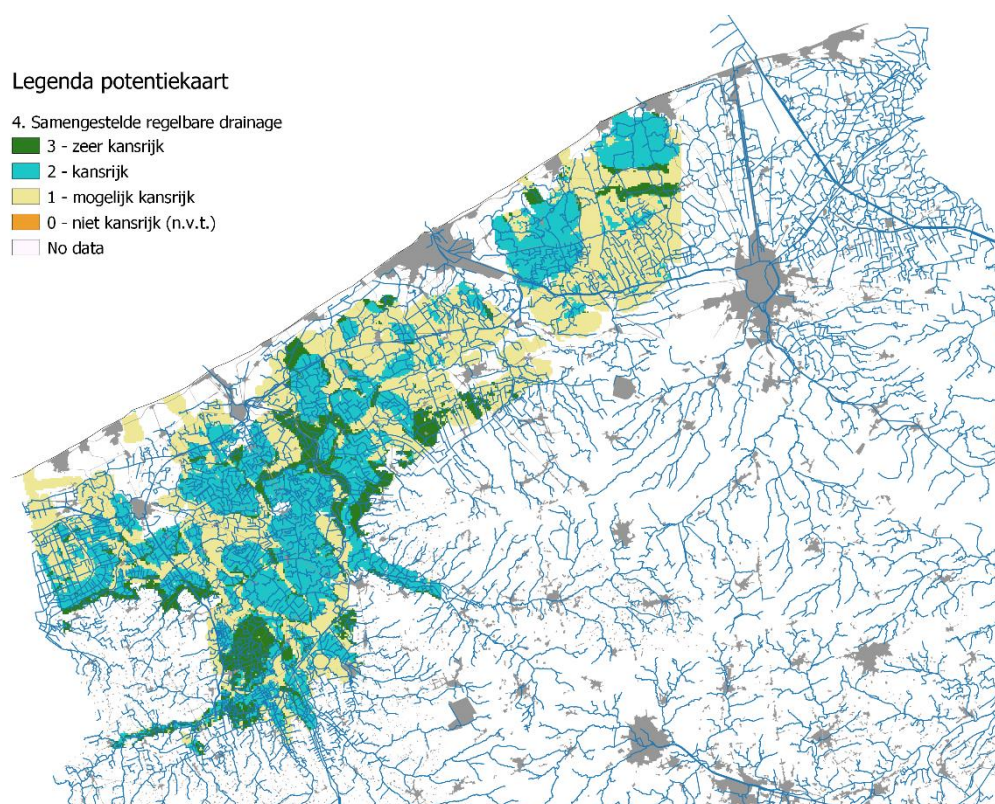
Factor D - Wegzijing of kwel

- 1 - zeer gunstig
- 0 - ongunstig
- no data





Figuur 3.15 Kaarten met de score van de verschillende sleutelfactoren voor maatregel D Samengestelde regelbare drainage.



Figuur 3.16 De potentiekaart van maatregel 4 Samengestelde regelbare drainage.

Maatregel 5. Waterconservering door stuwjes

Waterconservering door middel van stuwjes is een manier om het neerslag-overschot (tijdelijk) te bergen in de bodem zodat het beschikbaar komt in het groeiseizoen. Dit wordt gerealiseerd door het oppervlaktewaterpeil in de sloten te verhogen door middel van een stuw. Zo kan er meer grondwater worden vastgehouden en hogere grondwaterstanden in het groeiseizoen worden gerealiseerd. Bij ondiepere grondwaterstanden kan er tijdens droge perioden meer grondwater via capillaire opstijging de wortelzone bereiken waardoor beregeningsbeurten zouden kunnen worden uitgesteld.

Voor het project FreshWater Options Optimizer (FWOO) is een geschiktheidskaart voor waterconservering door stuwen voor Nederland opgesteld (Van Bakel et al., 2014). Deze methodiek zal worden gevolgd voor het opstellen van een potentiekaart voor het westkustgebied. Hieronder zullen alle factoren uit de FWOO-methodiek worden besproken, echter voor het westkustgebied is niet alle informatie in de vorm van ruimtelijke GIS-bestanden voorhanden en daarom zullen niet alle factoren worden meegewogen.

Factor A: potentiële bodemberging

De potentiële bodemberging geeft de bodemberging weer tussen de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en maaiveld, bij hydrostatisch evenwicht. Het geeft aan hoeveel de bodem nog in staat is om (grond)water te bergen. Bij een te hoge GVG is de bodemberging te gering om nog extra water te conserveren.

Hoewel de bodemkaart met de 'drainageklasse' informatie geeft over de diepte van de grondwaterstand, is deze informatie juist voor het westkustgebied niet op de digitale bodemkaart aanwezig. Deze factor zal daarom ook niet worden meegenomen bij het bepalen van de potentie van een gebied voor deze maatregel. Voor het FWOO-project in Nederland is

bepaald dat de bodem een bui van 20 mm moet kunnen opvangen. Wanneer de potentiële bodemberging minder is dan 20 mm, wordt aan deze factor niet voldaan.

Factor B: maaiveldhelling

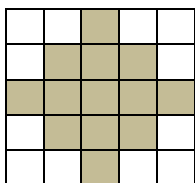
De stroomopwaartse doorwerking van een peilverhoging door een stuw is sterk afhankelijk van het verhang van de waterloop. Bij steile waterlopen is het effect van de stuw snel uitgewerkt terwijl in vlakke gebieden zoals polders een groot gebied met één stuw kan worden beïnvloed. De maaiveldhelling is representatief beschouwd voor het verhang van de waterlopen.

Op basis van het DTM van het westkustgebied is de maaiveldhelling afgeleid door het grootste verschil in maaiveldhoogte te nemen van de omringende gridcellen en vervolgens gesmootht.

Factor C: slootafstand

De mogelijkheden om water te conserveren zijn min of meer evenredig met de dichtheid van alle waterlopen. Hoe meer sloten, hoe beter de grondwaterstand kan worden gestuurd met behulp van stuwtdjes.

Voor het westkustgebied is geen digitale bestand beschikbaar van alle aanwezige slootjes. Het WLAS-bestand is wel beschikbaar maar laat alleen de grotere waterlopen zien. Er wordt echter aangenomen dat de aanwezigheid van deze grote waterlopen op deze kaart representatief zijn voor de totale slootdichtheid. Van het WLAS-bestand wordt per gebied van 100x100m de lengte aan waterlopen bepaald (maat voor slootafstand) waarna de gemiddelde slootafstand wordt bepaald van de gridcel zelf en de 12 omringende grids volgens onderstaande geometrie.



Factor D: Weglekking naar omgeving - Spreidingslengte

De mate waarin de grondwaterstand op de locatie reageert op de verhoging van de ontwateringsbasis hangt ook af van de geïnduceerde weglekking naar de omgeving. De spreidingslengte is een goede indicatie voor deze weglekking. De spreidingslengte is de wortel van het product van het doorlaatvermogen en de weerstand die bestaat uit de som van de drainage-weerstand en de weerstand van de eerste scheidende laag. De weglekking is voor het gebied waar waterconserveringsmaatregelen worden doorgevoerd te beschouwen als een verlies maar voor de omgeving als een winst. Voor de potentiekaarten is echter alleen het verlies voor het gebied waar de maatregel wordt uitgevoerd van belang want deze bepaalt immers hoe goed de maatregel in staat is water te conserveren.

Voor het Westkust gebied is geen digitale informatie over het doorlaatvermogen en weerstanden beschikbaar en daarom kan de spreidingslengte niet worden uitgerekend. Om de factor weglekking toch mee te nemen, wordt er onderscheid gemaakt tussen wegzijgebieden waar enige mate van weglekking plaatsvindt en kwelgebieden waar geen weglekking plaatsvindt. Bij het ontbreken van een kwel-wegzijgingskaart van het gebied wordt de diepte van het zoet-zout grensvlak genomen om kwel- en wegzijgingsgebieden te onderscheiden, zoals dit ook bij de maatregel D: regelbare drainage factor is gedaan (zie factor D).

Factor E: buisdrainage

Het effect van waterconservering door stuwen kan beperkt worden (of in sommige gevallen juist versterkt worden) door de aanwezigheid buisdrainage. Dit hangt sterk van de lokale situatie af. Bijvoorbeeld, door peilverhoging kunnen drains onder water komen te liggen waardoor het drainageniveau van drains met de peilverhoging worden verhoogd en de grondwaterstand in het perceel wordt beïnvloed. Dit is eigenlijk een vorm van peilgestuurde (regelbare) drainage (zie maatregel D). Wanneer het verhoogde peil onder de uitmonding van

de drainagebuizen blijft, zal het extra geconserveerde water in het perceel versneld wordt afgevoerd door de drains waardoor het effect van de maatregel nihil zal zijn. Daarnaast kan verhoging van het peil niet of in mindere mate mogelijk zijn als het ongewenst wordt geacht dat de drainmondingen onder water komen te liggen. Door peilopzet met stuwjes kan ook het drainageniveau van aanwezige drains worden beïnvloed door deze onder water te zetten.

Ondanks dat buisdrainage effect heeft op het succes van waterconservering, is de aanwezigheid van buisdrainage niet meegewogen bij de eindscore. De belangrijkste reden is omdat niet exact bekend is welke percelen gedraineerd zijn en de lokale situatie sterk kan verschillen en verschillend kan uitwerken. Een gedraineerd perceel kan namelijk positief werken voor waterconservering in het geval de drains bij peilverhoging onder water komen (het drainagepeil wordt verhoogd of er treedt zelfs infiltratie via drains op). Wanneer de drains boven het opgezette peil liggen, zullen de effecten van waterconservering minimaal zijn omdat het eventueel extra geconserveerde water direct door de drains wordt afgevoerd. Dit is daarom een factor die bij het inzoomen op lokaal niveau in het veld dient te worden bepaald.

In onderstaande tabellen staan de scores voor de verschillende factoren weergegeven en de weging van de factoren om te komen tot een bepaalde mate van kansrijkheid.

Tabel 3.6 Factoren voor bepalen van de potentie van maatregel E: Waterconservering door stuwjes.

Factoren geschiktheid maatregel 5: Waterconservering door stuwjes	Criteria en score
Factor A: potentiële bodemberging	n.v.t. ontbrekende gegevens
Factor B: maaiveldhelling	0: > 2% 1: 0.02 – 2% 2: < 0.02%
Factor C: slootafstand (grotere waterlopen WLAS)	0: > 200 1: < 200
Factor D: Weglekking naar omgeving door onderscheid kwel / wegzijging obv diepte zoet-zout grensvlak	0: dieper dan 3 m (wegzijging) 1: ondieper dan 3 m (kwel)
Factor E: buisdrainage	n.v.t. ontbrekende gegevens

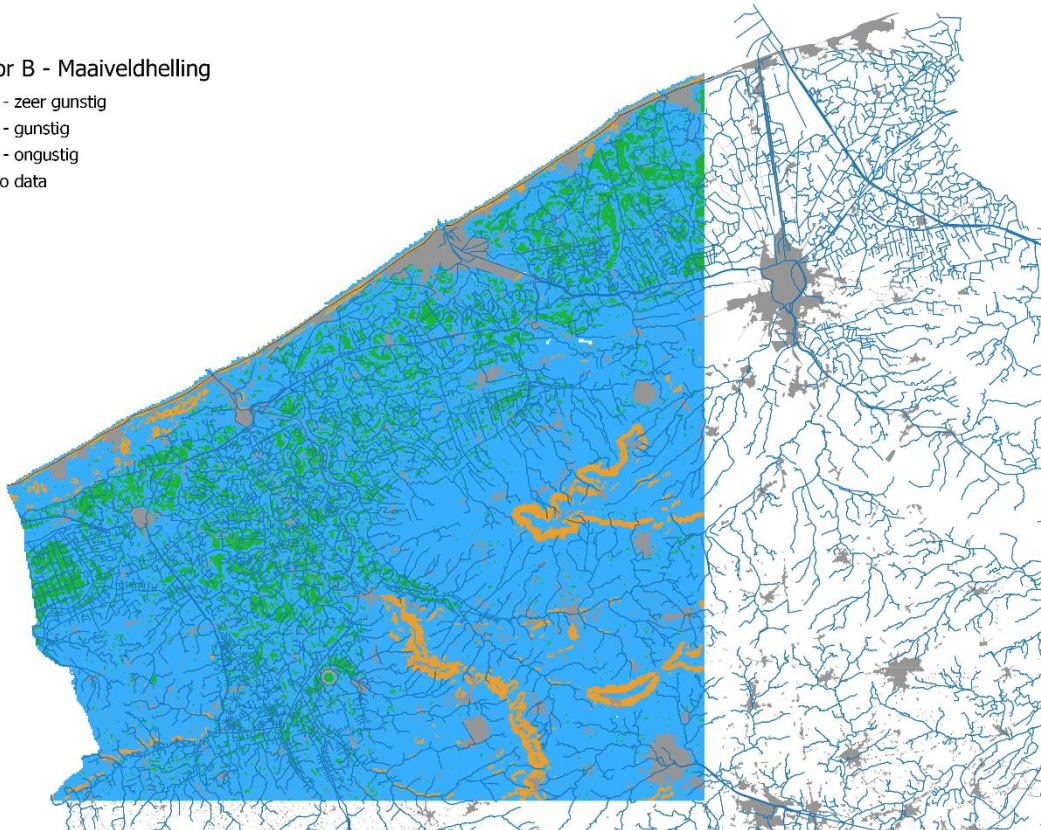
Tabel 3.7 Combinatie en weging van sleutelfactoren om te komen tot een bepaalde mate van kansrijkheid van maatregel 5: Waterconservering door stuwjes.

Geschiktheid maatregel 5: Waterconservering door stuwjes	Criteria en score
Zeer Kansrijk	Als B=2 en C=1 en D=1
Kansrijk	Als B=1 en C=1 en D =1
Mogelijk kansrijk	Als B > 0 en (C+D)<2
Niet kansrijk	Als B=0 of (C+D)=0

De kaarten met de score van de verschillende sleutelfactoren en de potentiekaart staan op de volgende pagina's weergegeven.

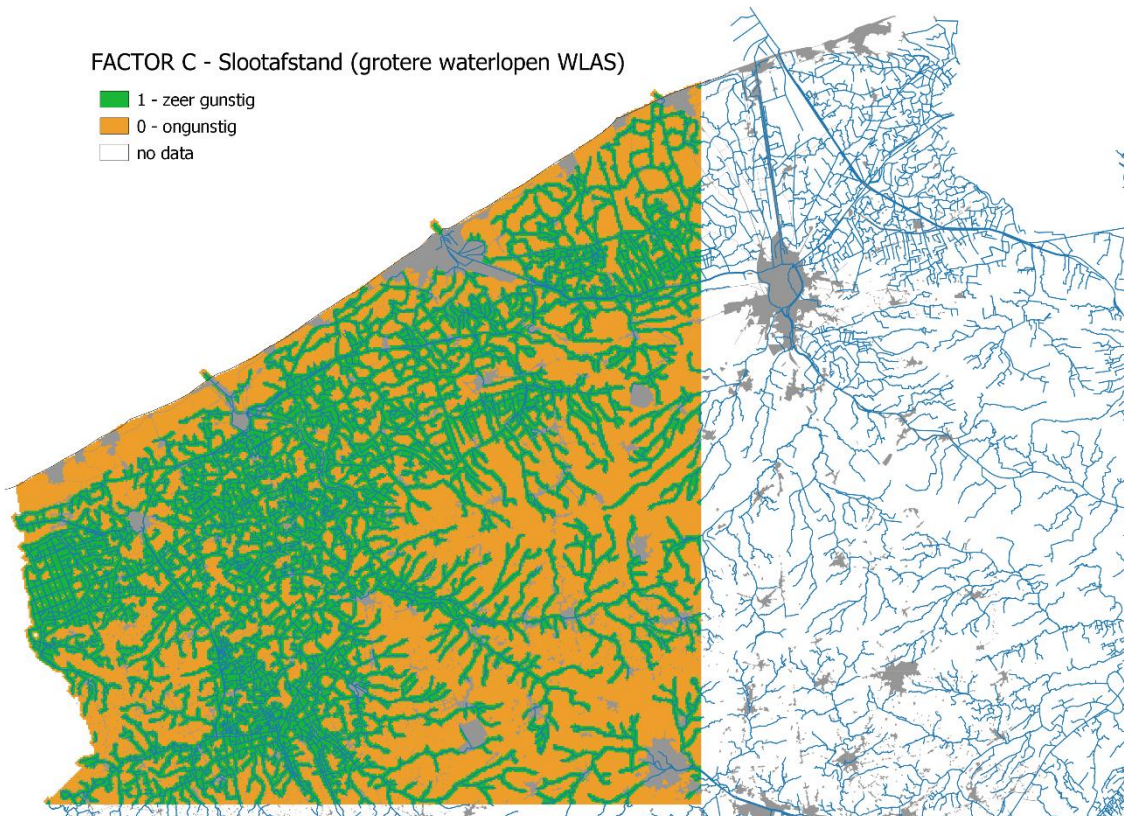
Factor B - Maaiveldhelling

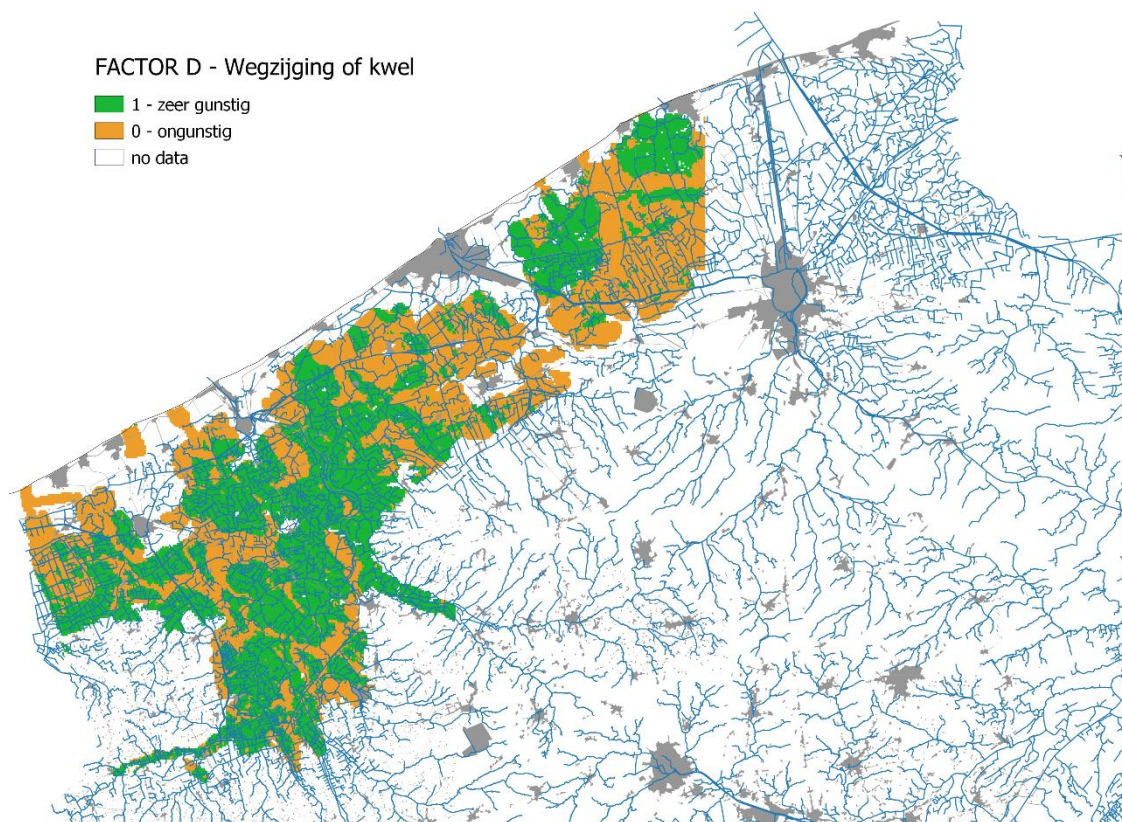
- 2 - zeer gunstig
- 1 - gunstig
- 0 - ongunstig
- No data



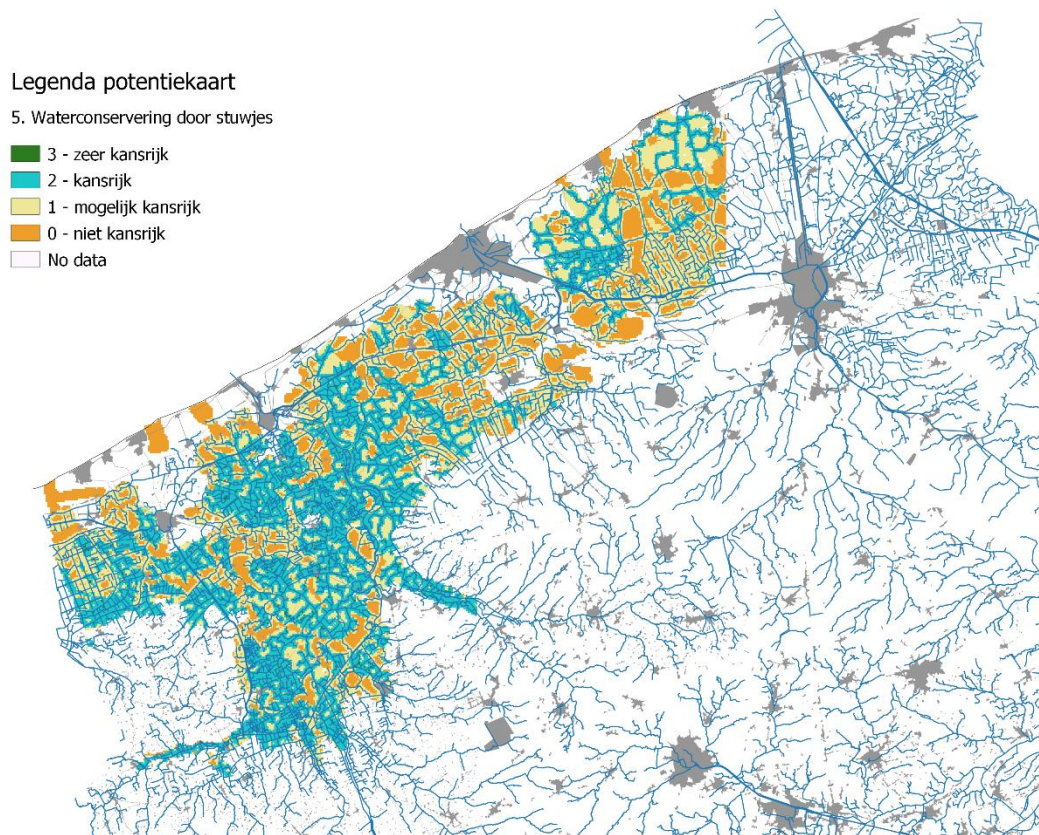
FACTOR C - Slootafstand (grotere waterlopen WLAS)

- 1 - zeer gunstig
- 0 - ongunstig
- no data





Figuur 3.17 Kaarten met de score van de verschillende sleutelfactoren voor maatregel E Waterconservering door stuwtes.



Figuur 3.18 De potentiekaart van maatregel 5 Waterconservering door stuwjes.

3.4 Werkwijze en samenvatting potentiekaarten

In de vorige paragraaf is de potentie van 5 maatregelen om de zoetwaterbeschikbaarheid te vergoten in kaart gebracht. Drie daarvan betreffen een kreekruginfiltratie-systeem waarbij actief water in de ondergrond wordt opgeslagen om het vervolgens te kunnen onttrekken naar behoefte. De andere twee maatregelen (peilgestuurde drainage en waterconservering door stuwjes) zijn bedoeld om zo veel mogelijk het regenwater in het perceel vast te houden zodat gedurende het groeiseizoen een hogere grondwaterstand wordt gerealiseerd waardoor via capillaire opstijging meer vocht in de wortelzone beschikbaar komt. Deze laatste twee maatregelen zijn dus juist geschikt om de vochtvoorziening van het gewas op een perceel te verbeteren terwijl kreekruginfiltratie in een extra waterbron voorziet dat voor verschillende doeleinden kan worden gebruikt, naast beregening van gewassen ook als drinkwater voor vee of reinigingswater. Gezien het doel van dit project de potentie om alternatieve waterbronnen beschikbaar te maken voor met name de veehouderij in het westelijke kustgebied, zal in het volgende hoofdstuk de nadruk liggen op kreekruginfiltratie als extra waterbron.

De potentiekaarten gepresenteerd in de vorige paragraaf zijn samengesteld op basis van een combinatie van sleutelfactoren die de werking van de maatregel beïnvloeden. De ontwikkelde methodiek is sterk afhankelijk van de beschikbaarheid van de gegevens, namelijk er dienen vlakdekkende gegevens (in GIS) beschikbaar te zijn. Het is duidelijk dat de beschikbare gegevens een regionaal karakter hebben waarvan de nauwkeurigheid per sleutelfactor sterk kan verschillen. De verkregen geschiktheidsklassen op de potentiekaarten zijn daarom niet meer dan een indicatie op regionaal schaalniveau en dient niet al te absoluut te worden geïnterpreteerd. De potentiekaart geeft daarom een eerste indicatie waarna lokale informatie dient te worden verzameld om de uiteindelijke haalbaarheid van de maatregel te bepalen.

Hieronder volgt een globale werkwijze en enkele opmerkingen over extra informatie die voor een potentiële locatie dienen te worden verzameld met de focus op kreekruuginfiltratie.

- De potentiëkaart geeft op regionale schaal een eerste indicatie of een locatie geschikt is of niet. Zeker voor locaties nabij de overgang tussen niet-kansrijk en kansrijk kan de werkelijke situatie afwijken van de aangegeven klasse. Verder inzoomen op locatie en interpretatie van de beschikbare gegevens is dan nodig om te beoordelen wat de potentie van de locatie is.
- Wanneer een locatie als kansrijk wordt aangemerkt, dan is verdere beoordeling op lokale schaal nodig.
- Daarvoor is een bezoek aan het betreffende perceel en bedrijf sterk aan te bevelen. In het veld kan beter worden beoordeeld hoe bepaalde sleutelfactoren, in eerste instantie op regionale schaal beschikbaar op kaarten, op lokaal schaalniveau doorwerken (bijv. variatie in hoogteligging van het perceel).
- In het veld dient de ontwaterings situatie (drainage, aanwezigheid en diepte van sloten) worden beoordeeld.
- Het is aan te bevelen om enkele handboringen in het perceel te plaatsen om de ondiepe bodemopbouw te beoordelen (zandig, aanwezigheid van belemmerende kleilagen of veenlagen). Kleilagen belemmeren de infiltratie van water.
- In het boorgat kan eenvoudig de grondwaterstand worden gemeten (na ongeveer 1-2 uur). Ook kan uit het bodemprofiel worden bepaald op basis van zogenaamde gleyverschillen (oxidatie en reductievlekken) wat de gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstand is. De diepte van de grondwaterstand is van belang omdat er ruimte moet zijn om structureel de grondwaterstand te verhogen.
- De beschikbaarheid van zoet oppervlaktewater voor infiltratie in de bodem is van groot belang. Het gaat dan om de beschikbaarheid in volume, de kwaliteit van het oppervlaktewater en mogelijkheden om het zoete water op de juiste locatie in het perceel te transporteren voor infiltratie (de afstand is dan van belang). Deze factor is niet meegenomen in de potentiëkaart omdat het zeer locatie-specifiek is. Met een eenvoudige EC-meter kan worden bepaald of het water zoet genoeg is voor infiltratie in de bodem. Aanvullende informatie over het zoutgehalte door het jaar heen is zeer welkom. Een zoute sloot in de zomer kan namelijk voldoende zoet water leveren in de winter.
- Wanneer serieus tot uitvoering van de maatregel wordt overgegaan, dient de waterkwaliteit in het lab te worden bepaald (zie Hoofdstuk 4).
- In deze fase, wordt tevens aanbevolen om vóór dat het systeem wordt ontworpen en geïmplementeerd, in het veld te bepalen of er geen belemmerende klei- of veenlagen in de bovenste 10-20 m van de ondergrond aanwezig zijn. Dit kan geschieden door een sondering of een boring. Hoewel deze informatie wel is meegenomen in de potentiëkaart maar kan het op lokale schaal sterk afwijken. Soms zijn er voor het perceel boorbeschrijvingen beschikbaar die hierover zinvolle informatie kunnen leveren.
- Hetzelfde geldt voor de dikte van de zoetwaterlens. FRESHM geeft hier een eerste indicatie van. In een peilbuis kan met behulp van een EM-SlimFlex het zoet-zout profiel nauwkeuriger worden bepaald. In Hoofdstuk 4 wordt hier verder op ingegaan.
- Tenslotte kunnen er bepaalde neveneffecten van de te implementeren maatregel optreden. Bijvoorbeeld bij een grondwaterstandsverhoging die nodig is voor kreekruuginfiltratie, kan er vernatting voor de omgeving optreden zonder aanvullende maatregelen van drainage in de omgeving. Deze dienen bij het uitvoeringsplan in beeld te worden gebracht en waar nodig voorkomen te worden in de ontwerpfase.

Speciale aandacht is daarbij nodig voor locaties die nabij natuurgebieden liggen (binnen 200-500 m afstand). Negatieve effecten van de maatregel op een natuurgebied dienen te worden voorkomen en de kans daarop dient voor de betreffende locatie te worden bepaald.

In het volgende hoofdstuk 4 komen bovenstaande punten met meer detail aan de orde.

4 Waterbehoefte westelijke kustgebied en uitvoeringsplan pilootprojecten

4.1 Inleiding

Middels stakeholderparticipatie is de waterbehoefte in het westelijke kustgebied in kaart gebracht. Samengestelde regelbare drainage en stuwtdjes kunnen gebruikt worden om water vast te houden en de watervoorziening in de wortelzone te verbeteren. Anders dan deze maatregelen zorgt actieve kreekruuginfiltratie voor een nieuwe duurzame waterbron waar water uit onttrokken kan worden. Hierdoor heeft het de meeste potentie om de zoetwaterbeschikbaarheid in het gebied te vergroten en in dit hoofdstuk zal daarom verder worden ingegaan op de hydraulische randvoorwaarden van deze maatregel. Daarnaast worden voor twee pilootgebieden deze randvoorwaarden in detail beschreven. Op basis daarvan is een financiële analyse en een realisatieplan opgesteld voor het potentiële systeem.

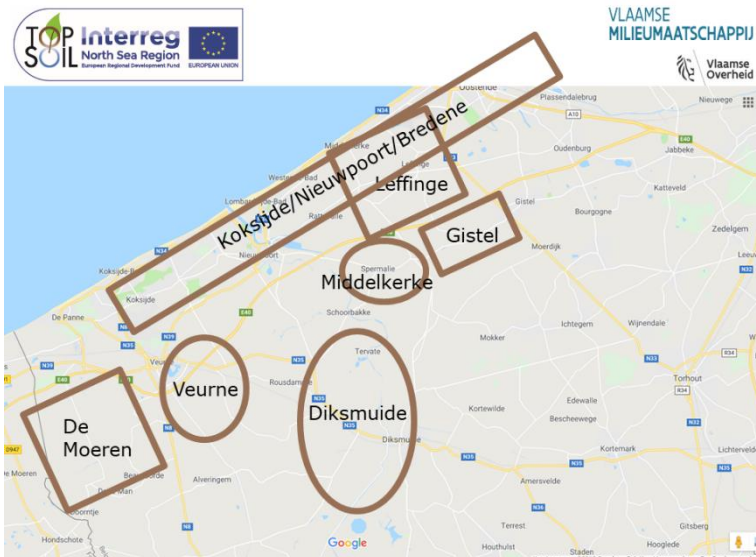
4.2 Stakeholderparticipatie

Door overexploitatie van de Landeniaanaquifer is een regionale depressietrechter ontstaan, waardoor winning van water uit deze laag niet duurzaam meer is. Deze slechte kwantitatieve toestand leidde tot een streng vergunningsbeleid waarbij gestreefd wordt naar een afbouw van de Landeniaanwinningen. Hierdoor worden landbouwers genoodzaakt te zoeken naar alternatieve waterbronnen, zoals freatische grondwaterwinningen.

In het kustgebied speelt evenwel ook de verzilting van het freatisch grondwater mee. Zilt water is vooralsnog geen bruikbare waterbron voor landbouwtoepassingen. Om een inschatting te kunnen maken van de mate waarin freatisch grondwater met een verhoogde zoutdruk hinderlijk is voor landbouwtoepassingen, werd in het kader van dit project een bevraging bij landbouwers in het westelijk kustgebied uitgevoerd. Bij de keuze van de bedrijfstypes werd gefocust op volgende type bedrijven, daar deze de meest waterbehoefte bedrijven zijn:

- Minimaal 20 veehouders waarvan minimaal de helft gespecialiseerde varkensbedrijven
- Minimaal 10 akkerbouwers met een focus op aardappelteelt

Het doel van de consultatie is het in kaart brengen van de waterbehoefte en gebruikte waterbronnen op diverse landbouwbedrijven in het westelijk kustgebied (Figuur 4.1), alsook de interesse in de verhoogde beschikbaarheid van zoetwater in het freatisch systeem.



Figuur 4.1 Bevraagde regio's in het westkustgebied in West-Vlaanderen

Methode

In totaal werden 31 landbouwers bevestigd. Volgende onderverdeling kan hierbij gemaakt worden:

- 1 pluimveebedrijf
- 14 bedrijven met melkvee
 - 5 bedrijven met varkens/melkvee
- 15 bedrijven met varkens
 - 5 bedrijven met varkens/melkvee
 - 1 bedrijf varkens/rundvee
- 6 bedrijven puur akkerbouw, waarbij alle bedrijven een areaal aardappelen heeft van >30 ha.

In totaal 12 bedrijven met een areaal aardappelen > 10 ha

Tijdens de bevestiging werd telkens het volgende op het individuele bedrijfsniveau in kaart gebracht:

- Waterbehoefte
- Waterbronnen zoals vandaag gebruikt
- (Zelf opgelegde) beperkingen omtrent het gebruik van bepaalde bronnen omwille van kwaliteit
- (Zelf opgelegde) beperkingen omtrent het gebruik van bepaalde bronnen omwille van kwantiteit
- Toegepaste waterbehandelingen
- Waterkostprijs
- Interesse in investeringen in alternatief water en/of een pilootinstallatie gelinkt aan de doelstellingen van dit project

Resultaten

Hieronder worden de belangrijkste resultaten weergegeven.

Waterbehoefte en waterbronnen

In Tabel 4.1 zijn de volumes terug te vinden van de waterbehoefte en waterbronnen van de bevestigde bedrijven per regio. De waterbehoefte is afhankelijk van de bedrijfstak en of de teelt al dan niet berekend wordt: een puur akkerbouwbedrijf dat de teelten niet berekent heeft een lagere waterbehoefte dan een bedrijf dat bepaalde teelten wel berekent.

In Tabel 4.2 is het procentuele aandeel van de verschillende waterbronnen weergegeven voor de bedrijfstakken veeteelt, beregening en gewasbeschermingsmiddelen (GBM).

Door het strenge vergunningsbeleid hebben veel bedrijven reeds alternatieven voor diepe grondwaterwinning moeten zoeken/in gebruik nemen. 35 % van de bevroagde bedrijven had in het verleden een vergunning voor diepe grondwaterwinning. Van de bevroagde bedrijven gebruiken slechts 4 bedrijven nog diep grondwater (winning uit de Landeniaan zanden), die slechts 2,3 % van het totale volume aan waterbehoefte voor veeteelt bij de bevroagde bedrijven bedraagt (Tabel 4.2).

Tabel 4.1 Waterbehoefte (m³) voor drinkwater, reinigingswater, beregening en gewasbeschermingsmiddelen (GBM) en gebruikte waterbronnen (m³) bij de bevraagde bedrijven in de verschillende regio's in het westkustgebied.

Regio	Bedrijven bevraged		Waterbehoefte (m ³)					Waterbronnen (m ³)				
	Aantal	Type**	Drinkwater	Reinigingswater	Beregening	GBM	LW*	DGW*	OGW*	DDW*	HW*	OPW*
De Moeren	10	5 varkensbedrijven,	38900	7362	55850	1453	16589	500	185	7778	15307	62806
		1 melkveebedrijf, 1 pluimveebedrijf, 3 akkerbouwbedrijven										
Veurne	2	1 melkveebedrijf, 1 akkerbouwbedrijf	6162	1298	0	53	1651	652	2022	2059	1076	53
		2 varkensbedrijven, 4 melkveebedrijven, 1 gemengd bedrijf melkvee/varkens	40011	4899	22850	109	7759	2079	3749	5819	13285	35178
Leffinge	4	1 melkveebedrijf, 1 gemengd bedrijf varkens/rundvee, 1 gemengd bedrijf melkvee/varkens, 1 akkerbouwbedrijf	8976	1001	6250	438	541	0	4594	0	1914	18907
		1 varkensbedrijf, 1 gemengd bedrijf melkvee/varkens	9638	761	0	81	4102	0	0	0	2541	12300
Gistel	3	1 melkveebedrijf, 1 gemengd bedrijf melkvee/varkens/ akkerbouw, 1 akkerbouwbedrijf	8827	777	4400	672	2469	0	0	5895	1240	17291
		2 melkveebedrijven, 1 gemengd bedrijf varkens/akkerbouw	13699	2845	5880	429	6971	0	1359	4380	143834	18514

*LW = leidingwater; DGW = diep grondwater; OGW = ondiep grondwater; DDW = diepdrainagewater; HW = hemelwater; OPW = oppervlaktewater
 ** Akkerbouwbedrijf: waarvan teelt aardappelen > 30 ha.

Tabel 4.2 Procentuele verdeling van de verschillende waterbronnen voor veeteelt, beregening en gewasbeschermingsmiddelen (GBM)

Gebruikte waterbronnen (%)	LW*	DGW*	OGW*	DDW*	HW*	OPW*
Veeteelt	26,0	2,3	8,4	18,4	27,3	17,5
Beregening	0	0	0	0	0	100,0
GBM	0	0	0	0	9,0	91,0

*LW = leidingwater; DGW = diep grondwater; OGW = ondiep grondwater; DDW = diepdrainagewater; HW = hemelwater; OPW = oppervlaktewater

Waterkwaliteit

39 % van de bedrijven wijdt één of meerdere van de technische problemen op het bedrijf (zoö- of teelttechnische) aan de kwaliteit van het water, meer bepaald aan de zoutdruk. De gesignaleerde problemen zijn hoofdzakelijk zoötechnische problemen zoals slappe mest, vruchtbaarheidsproblemen of hogere sterfte.

Op 48 % van de bevroegde bedrijven werd in het verleden al een waterbron geweerd in het gebruik als gevolg van kwaliteitsproblemen.

- 63 % daarvan betreft oppervlaktewater, gevolgd door diep grondwater 25 %.
- 32 % van deze bedrijven zal niet meer beregenen (hoofdzakelijk door een captatieverbod)
- 37 % verving de waterbron door leidingwater.

Waterkwantiteit

72 % van de bevroegde bedrijven gaf aan al een tekort te hebben. 55 % hiervan betrof hemelwatertekort, gevolgd door 24 % oppervlaktewater.

Waterbehandeling

45 % van de bevroegde bedrijven voert een behandeling uit op het water. Ontsmetten is hierbij de belangrijkste behandelingsmethode, al dan niet voorafgegaan door een filtratie. 1 bedrijf voert een volledige behandelingsprocedure (filteren, ontharden, ontijzeren, ontsmetten) uit op oppervlaktewater vooraleer het water kan gebruikt worden als drinkwater voor varkens.

Waterkostprijs

Voor 73 % van de bevroegde bedrijven mag alternatief water niet meer kosten dan leidingwater, dewelke rond 2 EUR/m³ ligt. Hiervan gaf 23 % aan dat er een zekerheid is wat betreft de kwaliteit van het leidingwater en dat dit voor hen een belangrijk punt is.

Interesse in investeringen in alternatief water en/of pilotinstallaties voor opslag van zoet water

71 % van de bevroegde bedrijven is bereid te investeren in alternatief water, van de 29 % die nee antwoordde had de helft al maximaal geïnvesteerd in alternatieve waterbronnen.

87 % van de bevroegde bedrijven is bereid mee te werken aan een pilotinstallatie rond het nemen van maatregelen om de zoetwaterbeschikbaarheid te vergroten. Hierbij zitten ook bedrijven die al maximaal inzetten op het gebruik van alternatief water, maar toch bereid zijn om mee te stappen in een project om maatregelen te nemen om de beschikbaarheid van zoetwater van hoogwaardige kwaliteit te verhogen.

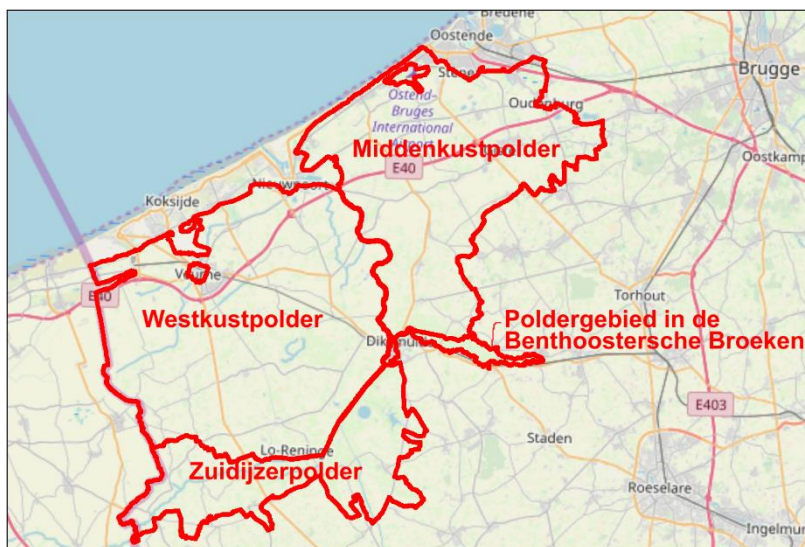
Conclusie

Uit de bevraging kan geconcludeerd worden dat er een grote bereidwilligheid is om te investeren in alternatief water en/of mee te werken aan een pilotinstallatie voor de opslag van extra zoetwater in de ondergrond.

4.3 Hydraulische randvoorwaarden en selectie pilotgebieden

4.3.1 Waterbehoefte West-Vlaanderen

Voor drie verschillende deelgebieden in het westelijke kustgebied is gekeken naar de totale waterbehoefte en de potentie die actieve kreekruginfiltratie biedt. Deze gebieden zijn 1) de Middenkustpolder, 2) het poldergebied in de Benthoostersche Broeken en 3) de Westkustpolder en Zuidijzerpolder gezamenlijk (Figuur 4.2).



Figuur 4.2. Ligging van de deelgebieden in het westelijk kustgebied.

De waterbehoefte van de veeteelt is per deelgebied bepaald met behulp van de resultaten van een recente studie naar de waterbehoefte en het watergebruik in de Vlaamse Kuststreek (Antea Belgium, 2018). De waterbehoefte van de veeteelt bestaat uit de behoefte aan drinkwater en reinigingswater en is weergegeven in Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Watervraag van de veeteelt in de deelgebieden in West-Vlaanderen (Antea Belgium, 2018).

	Watervraag Veeteelt [m ³ /jaar]		
	Drink	Reinig	Totaal
Middenkustpolder	802.000	36.000	838.000
Poldergebied in de Benthoostersche Broeken	31.000	1.700	33.000
Westkustpolder + Zuidijzerpolder	1.878.000	99.000	1.977.000

Vervolgens is gekeken naar de huidige vergunde grondwateronttrekkingen in deze deelgebieden (Tabel 4.4) welke beschikbaar zijn in het DOV webportaal (zie ook paragraaf 2.7). Grondwater is naast hemelwater en leidingwater de belangrijkste waterbron. Het onttrokken grondwater wordt gebruikt door zowel veeteelt als andere toepassingen en geeft dus een indicatie van de totale waterbehoefte die in het gebied wordt voldaan door grondwater. Hiervan wordt Landeniaan water alleen gebruikt voor hoogwaardige toepassingen zoals drinkwater voor vee.

Tabel 4.4. Vergunde grondwateronttrekkingen in de drie deelgebieden, exclusief drinkwaterwinningen (bron: DOV webportaal).

	Vergunde onttrekkingen [m ³ /jaar]		
	Landeniaan	Quartair	Totaal
Middenkustpolder	13.400	530.800	544.200
Poldergebied in de Benthoostersche Broeken	4.200	2.000	6.200
Westkustpolder + Zuidijzerpolder	67.000	642.800	709.800

Op basis van de potentiekaart van actieve kreekruuginfiltratie (Maatregel 1) is de totale oppervlakte berekend dat potentieel kan worden gebruikt voor een dergelijk systeem (Tabel 4.5). Uit de praktijk blijkt dat het extra infiltreren van een hoeveelheid gelijk aan het jaarlijks neerslagoverschot goed mogelijk is, en dat ook minimaal deze extra geïnfiltreerde hoeveelheid weer onttrokken kan worden. Een conservatieve inschatting van de opbrengst van actieve kreekruuginfiltratie is dus te maken door uit te gaan van een verdubbeling van de actuele grondwateraanvulling door infiltratie in het winterhalfjaar en het onttrekken van de extra geïnfiltreerde hoeveelheid water in de zomer. Hier nemen we voor de kreekruigen aan dat vanuit een kreekruuginfiltratie systeem 300 mm/jaar kan worden onttrokken, maar dit hangt af van factoren als de exacte locatie, bodemgesteldheid en gewas.

Indien deze opbrengst met het potentiële oppervlak wordt vermenigvuldigd kan er per deelgebied worden bepaald wat kreekruuginfiltratie maximaal zou kunnen opbrengen indien alle kreekruigen volledig zouden worden gebruikt onder ideale omstandigheden (Tabel 4.5). Hieruit blijkt de grote potentie van deze maatregel: het zou theoretisch ruimschoots de totale watervraag van de veeteelt kunnen voorzien, of de huidige hoeveelheid onttrokken grondwater kunnen vervangen of verduurzamen. In realiteit is het niet mogelijk om alle kreekruigen volledig te gebruiken, bijvoorbeeld door storende lagen in de ondergrond en de beschikbaarheid van water om te infiltreren. Daarnaast zijn de locaties van kreekruigen grotendeels geclusterd en sluiten deze niet overal aan op de locaties met een watervraag. Desalniettemin laat dit overzicht zien dat zelfs de toepassing van actieve kreekruuginfiltratie op slechts 10% van het kreekruigoppervlakte als vervanging kan dienen voor grondwateronttrekkingen uit zowel het Landeniaan als Quartaire pakket, of ruimschoots kan voorzien in de volledige watervraag van de veeteelt.

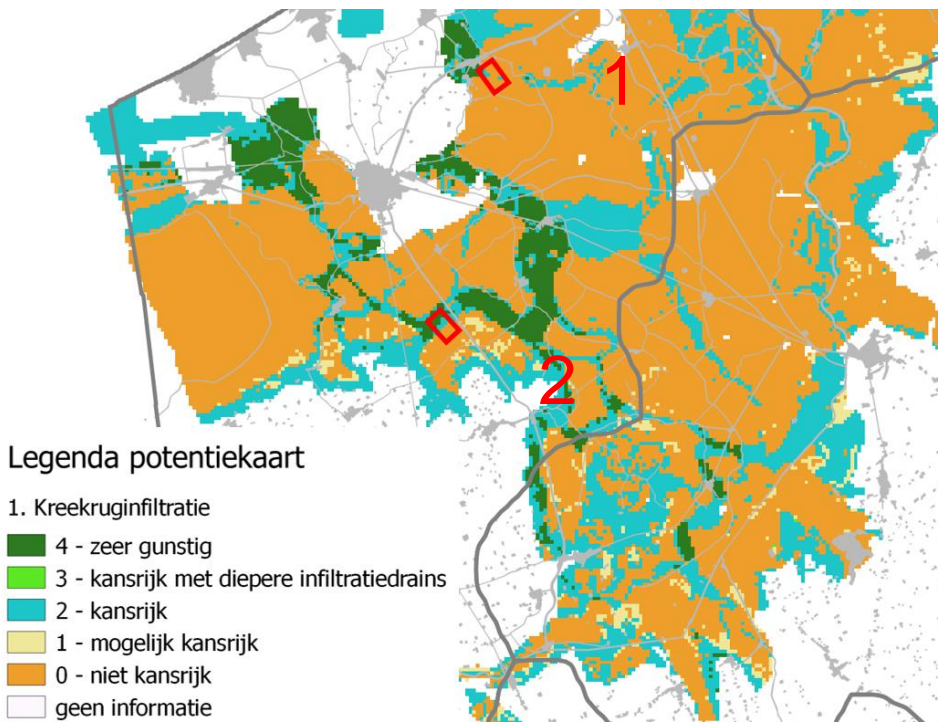
Tabel 4.5 Theoretische potentie van actieve kreekruuginfiltratie in de drie deelgebieden en het duingebied bij het onttrekken van 300 mm/jaar. Het kansrijke oppervlakte is bepaald op basis van de potentiekaart en is het oppervlakte van de gebieden geclassificeerd als 'Mogelijk kansrijk' en hoger.

	Kansrijk oppervlakte [ha]	Potentiele opbrengst bij infiltratie [m ³ /jaar]	Potentie / watervraag veeteelt	Potentie / grondwater onttrekkingen
Middenkustpolder kreekruigen	6.200	18.600.000	23x	36x
Poldergebied in de Benthoostersche Broeken kreekruigen	350	1.050.000	32x	169x
Westkustpolder + Zuidijzerpolder kreekruigen	10.200	30.600.000	16x	45x
Duingebied	4600	13.800.000	5x*	11x*

*Voor het duingebied is de potentie berekend ten opzichte van de watervraag in de drie genoemde polders samen

4.3.2 Beschrijving pilootgebieden

Twee pilootgebieden zijn geselecteerd voor verdere uitwerking, dit zijn een bedrijf in Koksijde en een bedrijf in Veurne (Figuur 4.3). Voor ieder bedrijf volgt hieronder een beschrijving van de hydrogeologische setting, de waterbehoefte en potentiële opbrengst en neveneffecten van actieve kreekruuginfiltratie.



Figuur 4.3. Ligging van de twee pilotgebieden in 1) Koksijde en 2) Veurne.

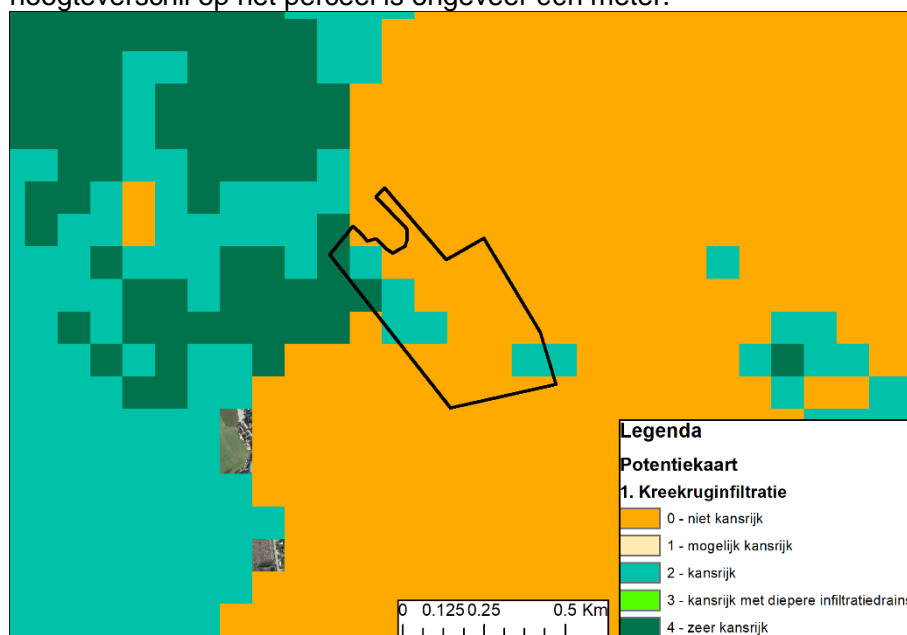
Bedrijf 1, Koksijde

Dit bedrijf focust op vleesvarkens en akkerbouw en heeft hiervoor een watervraag van 13.500 m³/jaar. Het drinkwater van het vee is momenteel overwegend hemelwater en leidingwater en slechts een klein deel diep grondwater (Landeniaan). Het perceel van ongeveer 22 hectare ligt op de rand van een kreekrug en is volledig gedraineerd.

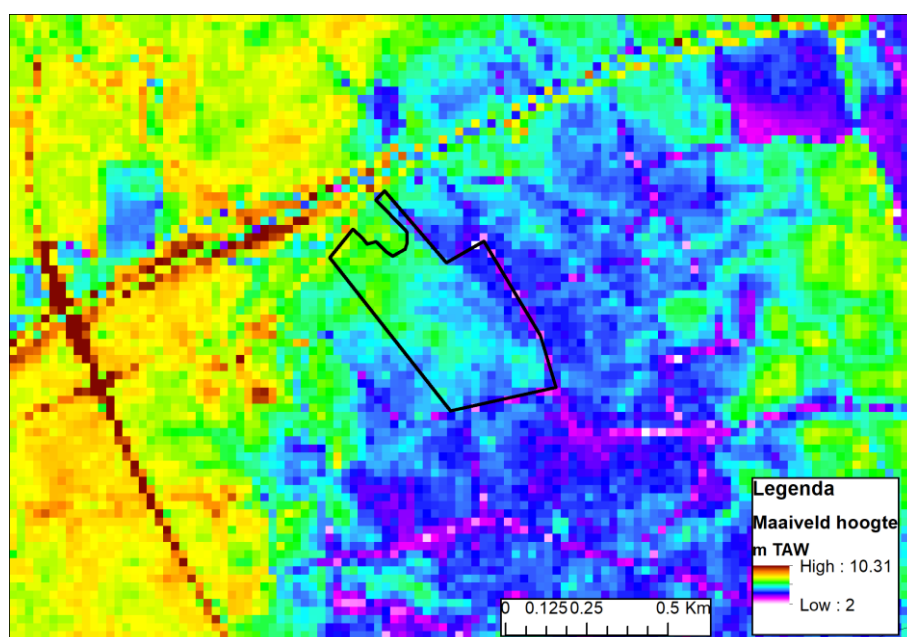


Figuur 4.4. Het perceel van Bedrijf 1 in Koksijde.

Figuur 4.5 geeft de ligging van het perceel van Bedrijf 1 aan op de potentiekaart voor kreekruginfiltratie (potentiekaart 1). Te zien is dat het meest westelijke deel van het perceel geclassificeerd is als 'kansrijk' tot 'zeer kansrijk' maar dat het grootste deel van het perceel geclassificeerd is als 'niet kansrijk'. Dit komt overeen met het feit dat het perceel op de grens ligt van een kreekrug, wat duidelijk te zien is op de hoogtekaart (Figuur 4.6). Het perceel ligt aan de westelijke kant net op de kreekrug en loopt af richting het oosten tot in de polder. Het hoogteverschil op het perceel is ongeveer één meter.



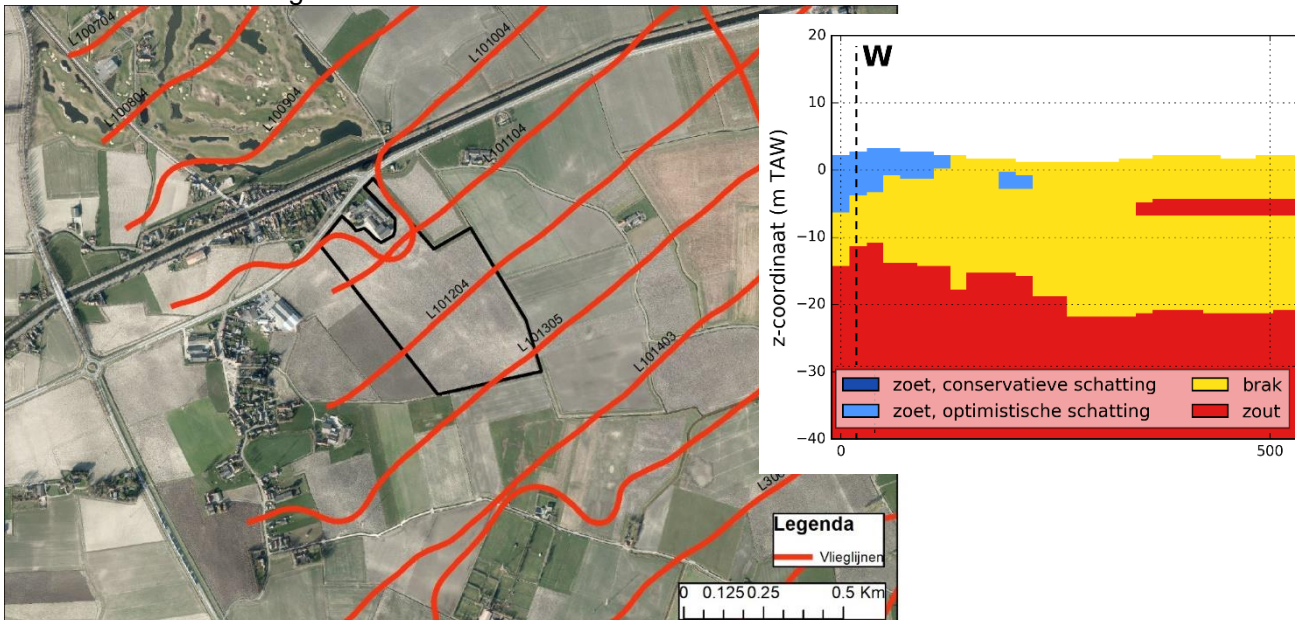
Figuur 4.5. Mogelijkheid voor actieve kreekruginfiltratie volgens de potentiekaart.



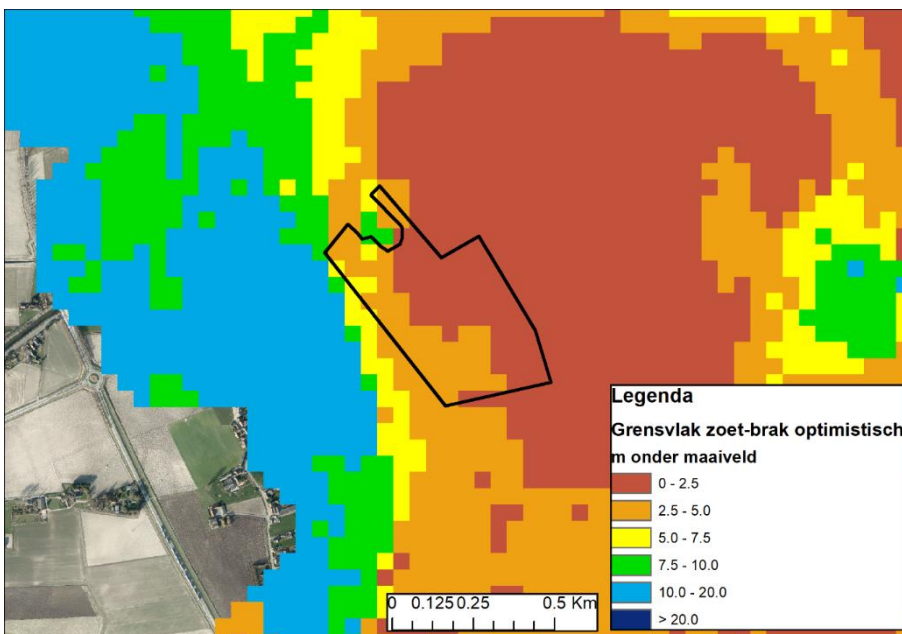
Figuur 4.6 Hoogteligging van het perceel van Bedrijf 1. In groen tot oranje kleuren de kreekrug en in blauwe en paarse kleuren de lagere polders.

De diepte van het zoet-brak grensvlak varieert ook tussen het westen en oosten van het perceel. De onderstaande figuren geven de resultaten van de EM metingen die zijn uitgevoerd

met de helikopter. Er lopen diverse vlieglijnen over het perceel. Aan de meest westelijke kant van het perceel is mogelijk zoet water aanwezig tot een diepte van 7.5 meter terwijl al snel richting het oosten dit minder dan 2.5 meter is. Onder het perceel is dus geen dikke zoetwaterlens aanwezig.



Figuur 4.7. Vlieglijnen over het perceel. De inzet toont vlieglijn L101104 welke op het naburig perceel start en richting het noordoosten loopt. De inzet toont de resultaten van deze vlieglijn, de grenzen van het perceel zijn aangegeven met de verticale stippellijnen.



Figuur 4.8. Schatting van het zoet-brakke grensvlak (versie optimistisch) op basis van de helikopter EM metingen.

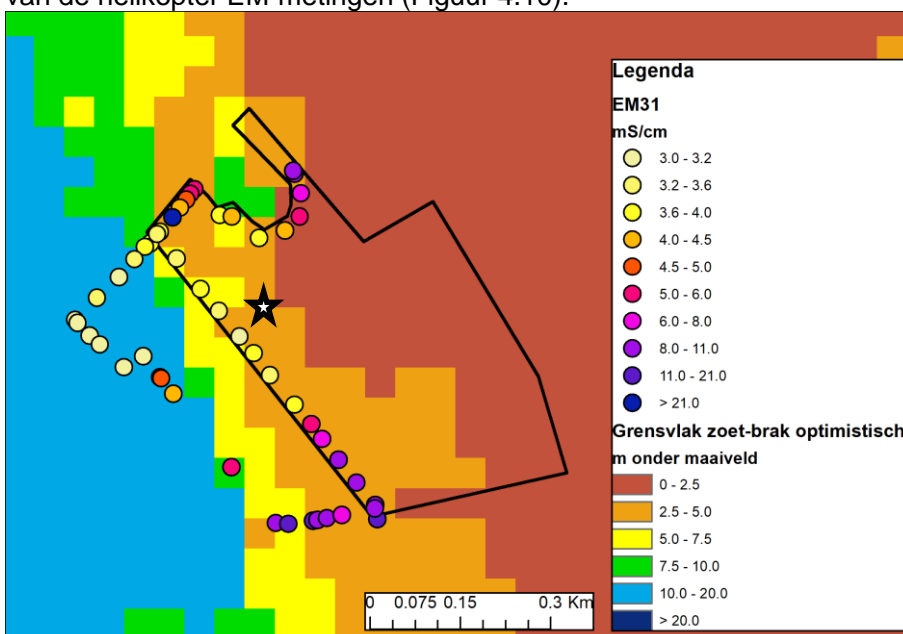
Om dit grensvlak beter te lokaliseren zijn tijdens een veldbezoek EM31 metingen uitgevoerd (Figuren 4.9 en 4.10). Hierbij worden EM metingen uitgevoerd op dezelfde manier als met de helikopter, maar met een draagbaar meetinstrument welke alleen een meting geeft voor de bovenste 4 á 5 meter van de ondergrond. De resultaten van deze metingen zijn in mS/m,

oftewel een lagere waarde staat voor een lagere geleidbaarheid en dus een zoetere ondergrond. Deze meetmethode is voornamelijk gefocust op de variatie in de ruimte omdat het lastig is om een waarde te koppelen aan een bepaalde hoeveelheid zout in het grondwater.



Figuur 4.9. Het uitvoeren van EM31 metingen op het perceel van bedrijf 1. Dit apparaat is een kleine versie van de meetapparatuur die is gebruikt bij de helikoptermetingen.

De resultaten van de EM31 metingen (Figuur 4.10) laten zien dat het perceel van bedrijf 1 zich inderdaad bevindt op de grens van een zoetwaterlens. Terwijl het zoet-brak grensvlak op het naburig perceel dieper dan 6 meter lijkt te liggen komt het dichterbij het oppervlak op de rand van het perceel en richting het oosten. De resultaten komen goed overeen met de inschatting van de helikopter EM-metingen (Figuur 4.10).



Figuur 4.10. Resultaten van de EM31 metingen op het perceel van bedrijf 1. Een lagere waarde representeert een zoetere ondergrond. De ster geeft de locatie van de grondboring aan.

Van het perceel is bekend dat de bodem in het westen zandig is en richting het oosten zwaardere grond bevat, wat overeenkomt met de overgang van een kreekrug naar de polder. Tijdens het veldbezoek is een boring gezet in de westelijke hoek van het perceel (Figuur 4.10; Tabel 4.6). De ondergrond van het perceel is op deze locatie tot op 2 meter diepte kleiig, heeft een dun veenlaagje onder deze diepte en vervolgens zand op 2.2 tot 2.3 meter onder maaiveld. Uit boringen en sonderingen in de omgeving is bekend dat er op grotere diepte meer veen en klei kan voorkomen.

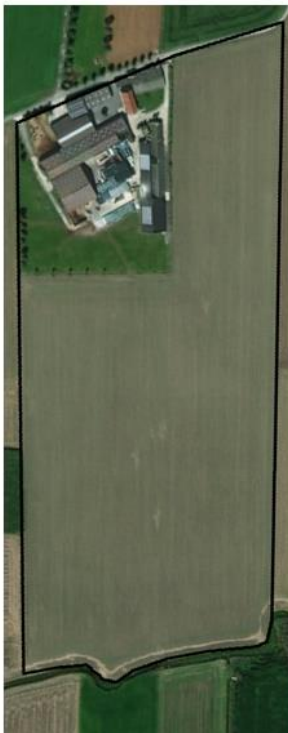
Tabel 4.6. Boring in het westen van het perceel van bedrijf 1.

Diepte [cm-mv]	Observatie
0 – 75	Lichte klei.
75 – 120	Zandige klei tot kleiig zand. Oxidatievlekken.
120 – 200	Klei met wat organisch materiaal.
200 – 220	Veen. Grondwaterstand op 200 cm-mv.
220 - 230	Grijs zand.

Het oppervlaktewater rondom het perceel bestaat uit het lokale watersysteem van sloten en het kanaal Veurne-Nieuwpoort. Zowel het kanaal als de sloten zijn over het algemeen zoet in het winterhalfjaar. Alleen in sommige droge jaren zijn deze oppervlaktewateren in het begin van het winterhalfjaar nog brak.

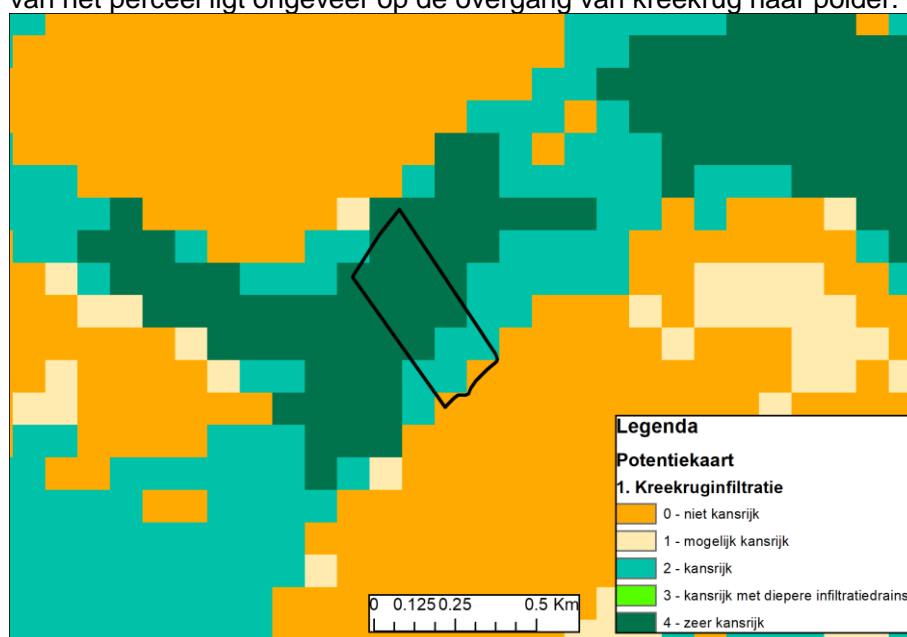
Bedrijf 2, Veurne

Dit bedrijf heeft melkvee en vleesvarkens en heeft hiervoor een watervraag van 7.500 m³/jaar. Het drinkwater van het vee is momenteel overwegend grondwater uit een diepdrain op een diepte van 4-6 meter onder maaiveld. Daarnaast wordt ook grondwater uit een Landenianwinning gebruikt. Het perceel van ongeveer 12 hectare ligt op een kreekrug en is volledig gedraineerd. Er vindt geen beregning plaats.

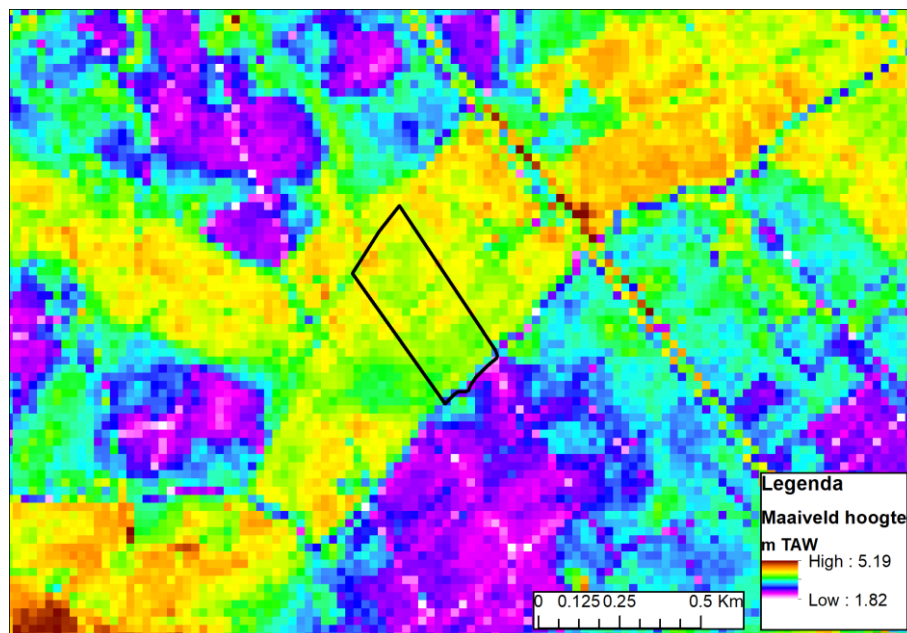


Figuur 4.11. Het perceel van Bedrijf 2 in Veurne.

Figuur 4.12 geeft de ligging van het perceel van Bedrijf 2 aan op de potentiekaart voor kreekruginfiltratie (potentiekaart 1). Meer dan de helft van het perceel is geclassificeerd als 'zeer kansrijk' en het andere deel als 'kansrijk'. Dit komt overeen met het feit dat het perceel op een kreekrug ligt, wat duidelijk te zien is op de hoogtekaart (Figuur 4.13). De zuidoost grens van het perceel ligt ongeveer op de overgang van kreekrug naar polder.



Figuur 4.12. Mogelijkheid voor actieve kreekruginfiltratie volgens de potentiekaart.

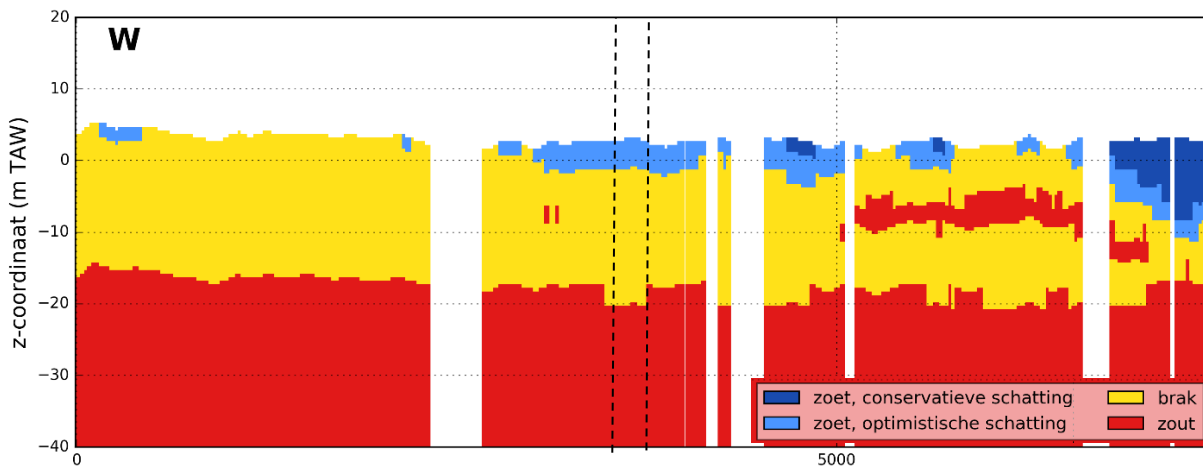


Figuur 4.13. Hoogteligging van het perceel van Bedrijf 2. In groen en gele kleuren de kreekrug en in blauwe en paarse kleuren de lager gelegen polders.

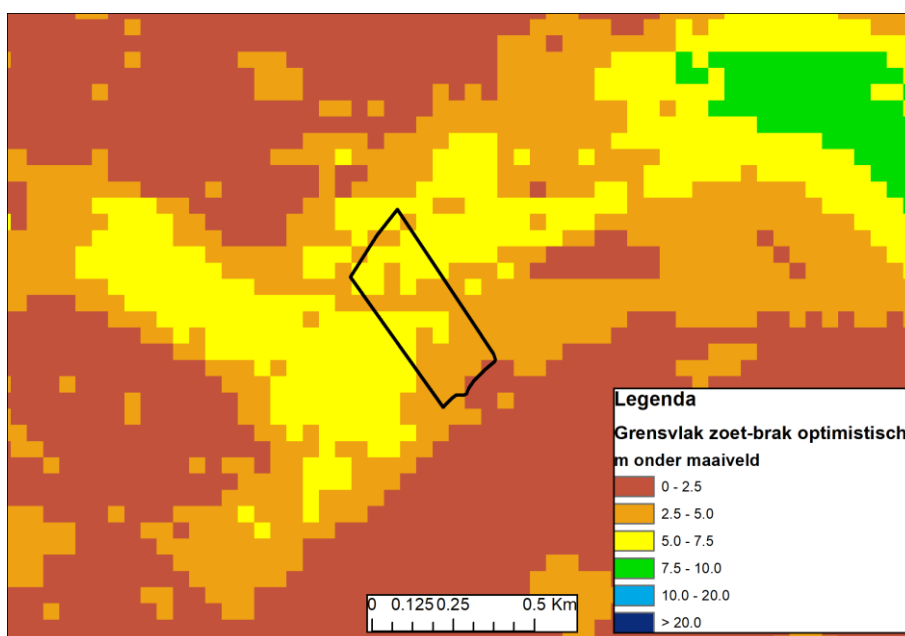
Twee vlieglijnen van de helikopter EM-metingen lopen over het perceel (Figuur 4.14). Op basis van de resultaten van deze metingen is de diepte van het zoet-brak grensvlak ingeschat (Figuren 4.15 en 4.16). Hoewel het perceel op een kreekrug ligt en boringen in de buurt aangeven dat er tot een diepte van 17 tot 24 m zand voor komt en er dus ruimte lijkt te zijn voor groei van de zoetwaterlens, ligt het zoet-brak grensvlak op deze locatie niet erg diep. Blijkbaar zijn de grondwaterstanden te laag voor het uitbouwen van de lens.



Figuur 4.14. Vlieglijnen over het perceel van bedrijf 2.



Figuur 4.15. Detail van Vlieglijn "Westkust 102801". Het perceel van bedrijf 2 bevindt zich tussen de 3600 en 3800 m, aangegeven met stippellijnen.



Figuur 4.16. Schatting van het zoet-brakke grensvlak (versie optimistisch) op basis van de helikopter EM metingen.

Ten oosten van bedrijf 2 zijn twee diepe boringen bekend; tot een diepte van 180 en 280 meter. Op de locaties van deze boringen bestaat de bovenste 17 respectievelijk 24 meter van de ondergrond uit zand. Van het perceel zelf is bekend dat het zandig is en minder zandig wordt in de richting van de polder in het zuiden.

Tijdens het veldbezoek zijn twee boringen gezet (Figuur 4.17). De eerste boring, aan de noordkant van het perceel, laat een overwegend zandig profiel zien (Tabel 4.7). Op deze locatie was de grondwaterstand 151 cm onder het maaiveld en de EC van het bovenste grondwater 640 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabel 4.7. Boring aan de noordkant van het perceel van bedrijf 2.

Diepte [cm-mv]	Observatie
0 - 30	Zandige klei
30 - 70	Kleiig zand / zavel. Vanaf 60 oxidatievlekken.
70 - 80	Zand, bevat wat lichte klei
80 - 160	Zand
160 - 170	Zand. Bevat wat klei en organisch materiaal
170 - 180	Grijs zand



Op de plek van de tweede boring, aan de zuidkant van het perceel, bestaat de ondergrond tot een diepte van 150 cm uit kleiig zand, hieronder ligt een zandiger pakket. De grondwaterstand tijdens de boring lag op 130 cm onder maaiveld en de EC van het bovenste grondwater was hier 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, wat hoger is dan bij de eerste boring op de top van de kreekrug.

Tabel 4.8. Boring aan de zuidkant van het perceel van bedrijf 2.

Diepte [cm-mv]	Observatie
0 - 65	Zandige klei
65 - 150	Kleiig zand. Oxidatievlekken.
150 - 200	Zand. Wat organisch materiaal.



Figuur 4.17. Links de locatie van de twee boringen, rechts het boorprofiel van de zuidelijke boring.

Op het perceel zijn tijdens het veldbezoek drie putten bekeken die het freatische grondwater aansnijden. In deze putten lag de grondwaterstand tussen de 164 en 180 cm onder het maaiveld. Het is bekend dat het grondwater in de winter stijgt tot ongeveer 85 cm onder het maaiveld. De geleidbaarheid is gemeten bij twee van deze putten en was 605 en 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Het perceel wordt aan de zuidzijde begrenst door de beek de Krommegracht. Deze had in het winterhalfjaar 2018/2019 een geleidbaarheid van 1060 tot 1320 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en was toen dus zoet. Tijdens het veldbezoek in juni 2019 was de beek licht brak met een geleidbaarheid van 2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Conclusie pilootgebieden

Bedrijf 1 ligt op de rand van een kreekrug waardoor de randvoorwaarden voor kreekruginfiltratie hier niet ideaal zijn. Het perceel heeft geen significante zoetwaterlens en de ondergrond is kleiig. Het opzetten van het grondwaterpeil door middel van actieve kreekruginfiltratie eventueel in combinatie met stuwtpjes zou op dit perceel een positief effect op de vochtvoorziening in de wortel zone hebben, maar het is onzeker of dit ook kan leiden tot een significante groei van de zoetwatorvoorraad. De mogelijkheid van actieve kreekruginfiltratie op dit perceel bevindt zich daarmee in een onderzoeksfase: is het mogelijk om door middel van een dergelijk systeem op de rand van een kreekrug de zoetwaterlens te vergroten c.q. te verbreden? Een andere mogelijkheid om in de watervoorziening van bedrijf 1 te voorzien is een gebiedsgerichte aanpak. De potentie voor een kreekrugstelsel is hoog op de naburige percelen, waar een gedeeld systeem zou kunnen worden aangelegd.

Bedrijf 2 ligt op een kreekrug en heeft daarmee veel potentie voor actieve kreekruginfiltratie. Zo is er is een (dunne) zoetwaterlens en is de ondergrond zandig. Er is een waterbron aanwezig voor infiltratie in de winter en er is ruimte voor verhoging van de grondwaterstand in het perceel. Een ander voordeel is dat de drainage in het perceel reeds moet worden vervangen. In de volgende hoofdstukken zullen de mogelijkheden voor dit perceel verder worden uitgewerkt in een financiële analyse en in een realisatieplan.

4.4 Financiële analyse: kostprijsberekening ondergrondse zoetwateropslag

Op basis van de terreinvaststellingen was vooral pilootbedrijf 2 kansrijk. De aannames op de locatie van pilootbedrijf 1 zijn nog te groot waardoor het niet haalbaar is om een kostprijsberekening voor deze locatie uit te werken. Op basis van de berekening voor pilootbedrijf 2 wordt later in dit hoofdstuk wel een zeer vereenvoudigde indicatie voor de kosten bij pilootbedrijf 1 gemaakt (Tabel 4.17).

4.4.1 Kostprijsberekening actieve kreekruuginfiltratie pilootbedrijf 2

Beschrijving waterbehoefte bedrijf

In Tabel 4.9 is de waterbehoefte voor het volledige bedrijf en opgesplitst voor de verschillende bedrijfstakken terug te vinden.

Tabel 4.9 Waterbehoefte op pilootbedrijf 2

Waterbehoefte	m ³ /jaar	Doel water
Totale waterbehoefte	7573	volledige bedrijf
Melkveetak	2707	Drinkwater; Reinigingswater stallen, melkinstallatie, koeltank
Varkenstak	4723	Drinkwater; Waterbehoefte luchtwasser; Reinigingswater stallen
Akkerbouwtak	53	Water voor gewasbescherming

In Tabel 4.10 zijn per bedrijfstak de verschillende waterbronnen weergegeven zoals deze op het moment van het bedrijfsbezoek (voorjaar 2019) gebruikt werden:

Tabel 4.10 Huidige waterbronnen per bedrijfstak

Melkveetak	Varkenstak	Akkerbouwtak
Regenwater	Regenwater	Regenwater
Leidingwater	Leidingwater	
Ondiep grondwater (Filterputwater; 2 m diep)	Ondiep grondwater (diepdrainage; 4-6 m diep)	
Diep grondwater (Landeniaan) (tot vergunde hoeveelheid)		

Om het bedrijf blijvend op een duurzame manier van water te voorzien, kan een verhoogde waterwinning uit de kreekrug na actieve kreekruuginfiltratie een optie zijn. De bedrijfsleider geeft aan dat de volgende waterbronnen zouden vervangen kunnen worden:

- Ondiep grondwater dat gebruikt wordt als drinkwater voor het melkvee. De kwaliteit van dit water is suboptimaal. De verhoogde ammoniumdruk in dit ondiepe grondwater kan immers bij melkvee aanleiding geven tot oedeem.
- Diep grondwater (Landeniaanwinning) om zo winningen uit deze kwetsbare laag verder te beperken
- Leidingwater dat zowel wordt ingezet als drinkwaterbron voor melkvee als voor vleesvarkens.

In totaal kan op die manier op dit bedrijf 3416 m³ water omgeschakeld worden naar ondiep grondwater afkomstig van actieve kreekruuginfiltratie. Tabel 4.11 geeft een overzicht van de hoeveelheid van elke waterbron die vervangen zou kunnen worden.

Tabel 4.11 Waterbronnen en hun hoeveelheid die vervangen zouden kunnen worden door actieve kreekruuginfiltratie op pilootbedrijf 2

Te vervangen waterbron	Hoeveelheid water te vervangen (m ³)
Diep grondwater (Landeniaan)	430
Ondiep grondwater voor drinkwater melkvee	2021
Leidingwater voor drinkwater vleesvarkens/melkvee	965
Totaal vervangbaar water	3416

Dat betekent dat in de toekomst nog 3 waterbronnen zouden overblijven:

- 1) Leidingwater: voor het reinigen van de melkinstallatie en -koeltank en als drinkwater voor zeugen en biggen
- 2) Kreekruuginfiltratie water: drinkwater voor vleesvarkens en melkvee en reiniging van de stallen
- 3) Regenwater: reiniging van de stallen en aanmaakwater voor gewasbeschermingsmiddelen

Ondrstaande verdere kostprijsberekening voor dit bedrijf is gerekend naar deze gevraagde capaciteit water, zijnde **3416 m³** per jaar.

Investerings

Een eerste onderdeel van de kostprijsberekening, zijn de investeringen. Deltares kan bogen op ervaring met een concreet kreekruuginfiltratieproject (Oude Essink et al., 2018). Investeringskostprijzen uit deze proefprojecten worden meegenomen in deze kostprijsberekening. Voor deze oefening worden de investeringen afgeschreven op 15 en op 20 jaar, tenzij anders vermeld.

Met volgende kostprijzen (excl. BTW) wordt gerekend:

- 1) Aanleg van de drainage
 - a. Vervanging van de velddrainage door peilgestuurde drainage: 2100 EUR/ha
 - b. Aanleg van extra diepdraains: 20 EUR/lm
Op dit bedrijf is reeds een grondwaterwinning voor diepdrainage aanwezig. Er werd rekening gehouden met de capaciteit van de aanwezige winning om de noodzakelijke uitbreiding te berekenen.
 - c. Doorspuiten van de drains: 1x om de 5 jaar: 600 EUR/keer
- 2) Elektriciteitsleiding naar de beek: totaal 4 500 EUR
- 3) Actieve kreekruuginfiltratie:
 - a. Het regelsysteem in de beek: 5000 EUR
 - b. De pomp in de beek voor de infiltratie (afschrijving op 5 jaar): 5000 EUR
- 4) Pomp voor het onttrekken van het water uit de diepdraains (afschrijving op 5 jaar), dewelke geschat wordt op 500 EUR. Hierbij gebeurde wel de aanname dat een drukvat en de leidingen om het water richting de stal te brengen, al aanwezig zijn op het bedrijf.

Tabel 4.12 geeft een voorlopige raming van de investeringskosten. Deze prijzen kunnen echter nog variëren afhankelijk van de exacte berekeningen van nodige debiet, pompcapaciteit, nodige elektriciteit ter hoogte van de beek, etc.

Tabel 4.12 Voorlopige investeringskost voor 2 ha kreekruuginfiltratie-systeem

Prijzen voor 2 ha kreekruuginfiltratie-systeem	Totale kostprijs onderdeel (EUR excl. BTW)	EUR/jaar Afschrijving 15 jaar	EUR/jaar Afschrijving 20 jaar
Aanleg drainage: Peilgestuurde drainage 2 ha Diepdraains 750m Doorspuiten drains (1x/5jaar)	18 940,00 (15 jr) / 19 540,00 (20 jr)	1262,67	977,00
Elektriciteit naar beek	4 500,00	300,00	225,00
Actieve Kreekruuginfiltratie:			
Regelsturing	5 000,00	333,33	250,00
Pomp voor het infiltreren (dus onttrekken uit de beek)	5 000,00	1000,00*	1000,00*
Pomp voor het oppompen van het water uit diepdraains	500,00	100,00*	100,00*
Totaal investeringen		2 996,00	2 552,00

* afschrijving op 5 jaar

Werkingskosten

De werkingskosten omvatten vooral de kosten voor de energie, zijnde de elektriciteitskost voor de beide pompen.

Heffingen

In de kostprijsberekening is ook de heffing voor het oppompen van ondiep grondwater mee gerekend (Tabel 4.13). Eventuele captatieheffing van de polder is in dit luik ook voorzien, maar is in de polder van pilootbedrijf 2 niet aan de orde.

Onderhoudskosten

De pompen dienen ook onderhouden te worden. Momenteel is hiervoor op basis van advies van een pompspecialist 20% van de kostprijs van de pomp in rekening gebracht. Ook dit dient, alvorens effectief over te gaan tot installatie, nader en meer in detail uitgerekend te worden (bv de optie van het nemen van een onderhoudscontract bij de leverancier).

Kosten voor monitoring waterkwaliteit

Hiervoor werd de Nederlandse pilootinstallatie als basis genomen en daarna gekeken naar de kostprijs voor analyses in Belgische labo's.

Het infiltratiewater moet voldoen aan de milieukwaliteitsnormen voor grondwater welke in Bijlage 2.4.1 van VLAREM zijn gespecificeerd. Dit zijn zowel landelijk als per grondwaterlichaam bepaalde minimale eisen aan onder andere concentraties van fysische-chemische parameters en toxische stoffen.

Momenteel werden hiervoor 2 analyses per jaar in rekening gebracht, met enerzijds een volledige waterpakket wateranalyse op Inagro (voor o.a. standaard chemische parameters) en een uitgebreide screeningsanalyse (GMS/LMS pakket water) bij een erkend labo (voor o.a. toxische stoffen), dewelke alles samen 744,15 EUR kost.

Tabel 4.13 geeft een overzicht van de voorlopige kosten voor werking, onderhoud, heffing en monitoring.

Tabel 4.13 Voorlopige kosten (excl. BTW) voor werking, onderhoud, heffing en monitoring voor 2 ha actieve kreekruuginfiltratie.

Prijzen voor 2 ha kreekruuginfiltratie-systeem	EUR/jaar	EUR/m³
Werkingskost		
Elektriciteit pomp beek	167,00	
Elektriciteit oppompen		0,15
Heffingen		0,1094
Onderhoudskosten	1 000,00	
Monitoringkosten waterkwaliteit	744,15	
Totaal	2 111,15	0,2594

Voorlopige kostprijs actieve kreekruuginfiltratie (EUR/m³)

Wanneer we hierbij dan de gevraagde capaciteit water in rekening brengen, zijnde 3416 m³, komen we op de volgende kostprijs voor actieve kreekruuginfiltratie:

- Met afschrijving op 15 jaar: **1,70 EUR/m³**
- Met afschrijving op 20 jaar: **1,57 EUR/m³**

Opschaling actieve kreekruuginfiltratie

Hebben we echter een grotere waterbehoefte en vragen we dus meer watercapaciteit, dan zal de kostprijs van kreekruuginfiltratie gaan dalen. Tabel 4.14 brengt hiervoor een overzicht.

Tabel 4.14 *Kostprijs van actieve kreekruuginfiltratie bij opschaling en verhoogde waterbehoefte.*

Oppervlakte kreekruuginfiltratiesysteem (ha)	Gevraagd volume water (m ³)	EUR/m ³ Afschr. 15j	EUR/m ³ Afschr. 20j
2	3 416	1,70	1,57
2	6 000 (max)	1,22	1,12
4,5 (half perceel)	3 416	1,84	1,69
4,5	6 000	1,31	1,19
4,5	13 500 (max)	0,91	0,82
9 (volledig perceel)	27 000 (max)	0,79	0,70

Kostprijs andere waterbronnen

Voor de kostprijzen van andere waterbronnen hebben we volgende zaken in rekening gebracht:

- Leidingwater: kostprijs op het pilootbedrijf voor het huidige afgenomen debiet en de afvalwaterheffing
- Grondwater:
 - o Oppompheffing
 - o Afschrijvingen, geraamd op 0,1 EUR/m³
 - o Energiekosten voor het oppompen: 0,15 EUR/m³
 - o Eventuele kostprijs voor behandelingen
- Regenwater:
 - o Opslagkost: geraamd op 1,00 EUR/m³
 - o Energie, geraamd op 0,15 EUR/m³
 - o Eventuele kostprijs voor behandelingen
- Oppervlaktewater (niet van toepassing voor dit pilootbedrijf):
 - o Energiekost, geraamd op 0,15 EUR/m³
 - o Behandelingskost (afhankelijk van het bedrijf)
 - o Captatieheffing (afhankelijk van de polder)

Tabel 4.15 geeft een overzicht van de kostprijzen van de andere waterbronnen op het pilootbedrijf.

Tabel 4.15 *Kostprijs van andere waterbronnen op het pilootbedrijf 2.*

Waterbron	Kostprijs (EUR/m ³)
Leidingwater: kostprijs lw + afvalwaterheffing	1,8105
Diep grondwater (Landeniaan)	0,7299
Filterputwater (ondiep grondwater; 2m diep)	0,7269
Diepdrainagewater (ondiep grondwater; 4-6m diep)	0,7269
Regenwater	1,1500

Wanneer we bovenstaande kostprijzen in rekening brengen voor de waterbehoefte op het volledige bedrijf, kunnen we verschillende scenario's bekijken. Daarbij wordt er vooral de vergelijking gemaakt met gebruik van leidingwater. In Tabel 4.16 is hiervan een overzicht terug te vinden. Het eerste scenario is de huidige situatie op het bedrijf met de huidige waterbronnen in gebruik. Dit komt op een gemiddelde kostprijs van 1,03 EUR/m³ water. Mocht er echter plotseling een volledig verbod en dus geen hervegunning komen voor het oppompen van diep grondwater, dan zou dit debiet vervangen moeten worden door leidingwater. Voor dit bedrijf zou dit dan een meerprijs betekenen van bijna 10 cent per kubieke meter water.

Tabel 4.16 *Kostprijs voor de totale waterbehoefte in EUR en EUR/m³ voor de totale waterbehoefte op het pilootbedrijf voor verschillende scenario's van inzet van waterbronnen*

Pilootstudie: Waterbronnen	Kostprijs totale waterbehoefte (EUR)	Kostprijs EUR/m ³ totale waterbehoefte
Huidige situatie	7 812,45	1,03
Zonder kreekrug, zonder Landeniaan winning	8 504,06	1,12
Met kreekruginfiltratie (2 ha; afschr. 15 jaar)	11 071,51	1,46
Met kreekruginfiltratie (2 ha; afschr. 20 jaar)	10 627,51	1,40

Gaan we de opties met kreekruginfiltratie bekijken, dan zien we dat zelfs met de afschrijving op 20 jaar, het systeem in het geval van dit pilootbedrijf momenteel niet rendabel is. Voor de huidige waterbehoefte, die door het systeem zou kunnen opgevangen worden, zijn de installatiekosten te hoog voor dit bedrijf. Echter heeft actieve kreekruginfiltratie andere voordelen ten opzichte van hemelwater en grondwater, zoals de zekerheid van beschikbaarheid van water, welke niet zijn meegenomen in de kostprijsberekening. Daarnaast wordt het systeem wel rendabel indien de waterbehoefte kan worden vergroot doordat de kostprijs per kuub snel daalt bij opschaling. Te denken valt hierbij aan bijvoorbeeld een samenwerking met omliggende bedrijven.

4.4.2 Kostprijsberekeningen andere potentiële bedrijven voor aanleg actieve kreekruuginfiltratie

Op basis van bovenstaande kostprijsberekening voor het 2^e pilootbedrijf, zijn ook voor andere potentiële bedrijven, die op een mogelijke kreekrug liggen, de kostprijzen doorerekend.

Gebruikte methodiek en aannames

Op de eerste potentiëkaart voor actieve kreekruuginfiltratie, voorgelegd op de eerste workshop in september 2018, werden ook verschillende bedrijven, waar een enquête afgenomen werd, gelokaliseerd (op basis van XY-coördinaten). De bedrijven die in kansrijk gebied liggen voor kreekruuginfiltratie en die tijdens het interview aangaven bepaalde waterbronnen te willen vervangen, werden opgenomen in onderstaande kostprijsberekeningen.

Daarbij werd gekeken wat de te vervangen waterbehoefte kan zijn. Hierbij werden zo veel mogelijk waterbronnen vervangen door actieve kreekruuginfiltratie omdat het voor een agrariër gunstiger is om afhankelijk te zijn van minder en constantere waterbronnen. Er is hierbij geen rekening gehouden of het per bron prijstechnisch interessant is om de waterbron te vervangen. Op basis hiervan werd in de kostprijsberekening van het 2^e pilootbedrijf (met een afschrijvingsperiode van 20 jaar) het gevraagde volume waterbehoefte aangepast, alsook de nodige oppervlakte voor actieve kreekruuginfiltratie. Daarbij werd de aanname gedaan dat per ha er 3000 m³ water geïnfiltreerd en ook onttrokken kan worden (een aanname die evenwel locatie-specifiek moet bekeken worden bij een eventuele uitrol). Naast de kostprijs van de aanleg van de peilgestuurde drainage die per hectare wordt berekend verandert bijvoorbeeld ook de totale benodigde lengte van diepdraains op basis van de hoeveelheid water die onttrokken zal worden. Er werd dus per bedrijf een nieuwe inschatting gemaakt van de kostprijs voor actieve kreekruuginfiltratie, omdat de hoeveelheid te vervangen water per bedrijf anders is. Er dient wel duidelijk gesteld te worden dat naast het volume water alle andere zaken gelijk gesteld werden, terwijl dit in werkelijkheid niet het geval is. Ieder bedrijf die dergelijke kreekruuginfiltratie overweegt, zal een op maat gemaakte kostprijsberekening moeten maken. Het geeft echter al een indicatie of het systeem op het bedrijf rendabel zou kunnen zijn of niet. In Tabel 4.17 is een overzicht gemaakt voor de kostprijzen van actieve kreekruuginfiltratie en de totale waterbehoefte voor de verschillende bedrijven.

Op basis van Tabel 4.17 kunnen we volgende conclusies trekken:

- In alle gevallen zou de invoering van het systeem de totale kostprijs per kubiek doen stijgen.
- Hoe meer volume water gevraagd wordt, hoe interessanter het systeem. Bij een waterbehoefte hoger dan 3000 m³ komt de kostprijs van actieve kreekruuginfiltratie onder de kostprijs van leidingwater te liggen.
- Een voordeel van het vervangen van meerdere (onzekere) waterbronnen door kreekruuginfiltratie is dat het de duurzaamheid en zekerheid van de watervoorziening vergroot en dat het aantal waterbronnen kan worden teruggedrongen waardoor water met een constantere kwaliteit kan worden toegepast. Dit laatste is vooral een voordeel bij toepassing als drinkwater in verband met gewinning van het vee.
- In deze kostprijsberekening is echter geen rekening gehouden met het mogelijk volledig wegvallen van een bepaalde waterbron.
 - o Bedrijf Diksmuide 2 heeft bijvoorbeeld sinds 2018 te kampen met het droogvallen van de diepdrainage onder de stal. Dit werd opgevangen door het inzetten van leidingwater. Vandaar dat voor dat bedrijf ook het scenario opgenomen werd dat de volledige waterbehoefte voor diepdrainage toegevoegd werd aan de waterbehoefte voor leidingwater (Waterbronnen “zonder diepdrainage”). Zou echter actieve kreekruuginfiltratie aangelegd worden, dan zou de kostprijs van actieve kreekruuginfiltratie wel lager zijn dan

- leidingwater (1,29 EUR/m³ t.o.v. 1,96 EUR/m³ voor de leidingwaterbehoefte als diepdrainagewater door leidingwater vervangen wordt), maar blijft de totale kostprijs nog steeds hoger (1,27 EUR/m³ t.o.v. 1,02 EUR/m³).
- Ook op het 2^e pilootbedrijf (bedrijf Veurne), waar momenteel al diepdrainage aanligt, zakt de beschikbare hoeveelheid diepdrainagewater in de verzamelput (cfr. De grondwatertafel die daalt).

Tabel 4.17 Totale waterbehoefte (m³), potentieel gevraagde hoeveelheid water uit de actieve kreekruuginfiltratie (M³), kostprijs voor de actieve kreekruuginfiltratie op het bedrijf (EUR/m³) en kostprijs voor de totale waterbehoefte (EUR en EUR/m³) op het bedrijf, rekening houdende met een afschrijffperiode van 20 jaar.

Bedrijf	Waterbronnen	Totale waterbehoefte (m ³)	Gevraagde m ³ kreekruuginfiltratie	Aantal ha kreekruuginfiltratie	Kostprijs kreekruuginfiltratie (EUR/m ³)	Kostprijs Waterbehoefte (EUR)	Kostprijs totale waterbehoefte (EUR/m ³)
Veurne	huidige situatie	7 573				7 812,45	1,03
	zonder Landeniaan	7 573				8 504,06	1,12
	met kreekruuginfiltratie	7 573	3 416	2	1,57	10 627,51	1,40
Leffinge	huidige situatie	3 119				1 789,13	0,57
	met kreekruuginfiltratie	3 119	2 261	1	2,02	5 563,06	1,78
Koksijde	huidige situatie	13 479				16 888,60	1,25
	met kreekruuginfiltratie	13 479	10 369	4	0,90	19 505,20	1,45
De Moeren	huidige situatie	7 963				7 644,73	0,96
	met kreekruuginfiltratie	7 963	4 878	2	1,25	12 782,79	1,61
Diksmuide 1	huidige situatie	9 159				8 908,18	0,97
	met kreekruuginfiltratie	9 159	6 159	3	1,13	14 989,24	1,64
Gistel	huidige situatie	5 082				1 494,60	0,29
	met kreekruuginfiltratie	5 082	5 082	2	1,23	6 226,73	1,23
Diksmuide 2	huidige situatie	7 300				4 584,59	0,63
	zonder diepdrainage	7 300				7 413,02	1,02
	met kreekruuginfiltratie	7 300	4 648	2	1,29	9 259,40	1,27

4.5 Realisatieplan pilootproject

4.5.1 Beschrijving implementatie maatregel

Potentiele opbrengst

De watervraag op bedrijf 2 is ongeveer 7500 m³/jaar. Een schatting voor de potentiële opbrengst van kreekruuginfiltratie is ongeveer 300 mm per jaar, oftewel 3000 m³/hectare. Dit kan worden vermenigvuldigd met het oppervlakte van het totale systeem om een schatting te maken van de potentiële opbrengst.

De totale opbrengst hangt dus af van de grootte van het systeem. Voor bedrijf 2 zijn dan meerdere varianten van een kreekruuginfiltratie systeem te bedenken: op het volledige perceel, op de helft van het perceel of een maatvoering op basis van de watervraag (Tabel 4.18). Niet de volledige watervraag van het bedrijf kan worden vervangen door kreekruuginfiltratie doordat de kwaliteitseisen voor een deel van de vraag hoger zijn dan kreekruuginfiltratie kan leveren (bijv. voor drinkwater van zeugen en biggen). De totale vervangbare watervraag op het bedrijf is dan 3500 m³/jaar wat overeenkomt met een systeem van 1.2 hectare. Het systeem zou op 2 hectare kunnen worden ingericht zodat een hoger rendement in de toekomst mogelijk is, of om extra groei van de zoetwaterlens mogelijk te maken. Belangrijke kanttekening hierbij is dat er nog weinig ervaring is met (zeer) kleinschalige kreekruuginfiltratie. Voor het groeien van de zoetwaterlens is er een bepaald oppervlakte nodig, maar het is nog niet bekend wat de minimaal benodigde oppervlakte is. Bovendien is dit sterk afhankelijk van de lokale situatie. Op basis van eerdere proeven en expert kennis zou een systeem van minimaal 5 hectare wenselijk zijn. Mede om deze reden is voor het onderstaande realisatieplan uitgegaan van een systeem dat de maximale potentie van het perceel met een oppervlakte van 9 hectare benut.

Tabel 4.18. Mogelijke maatvoering en opbrengst actieve kreekruuginfiltratie

Oppervlakte systeem [m ²]	Infiltratie & Onttrekking [m ³ /jaar]
90.000	27.000
45.000	13.500
20.000	6.000
12.000	3.500

Ontwerp

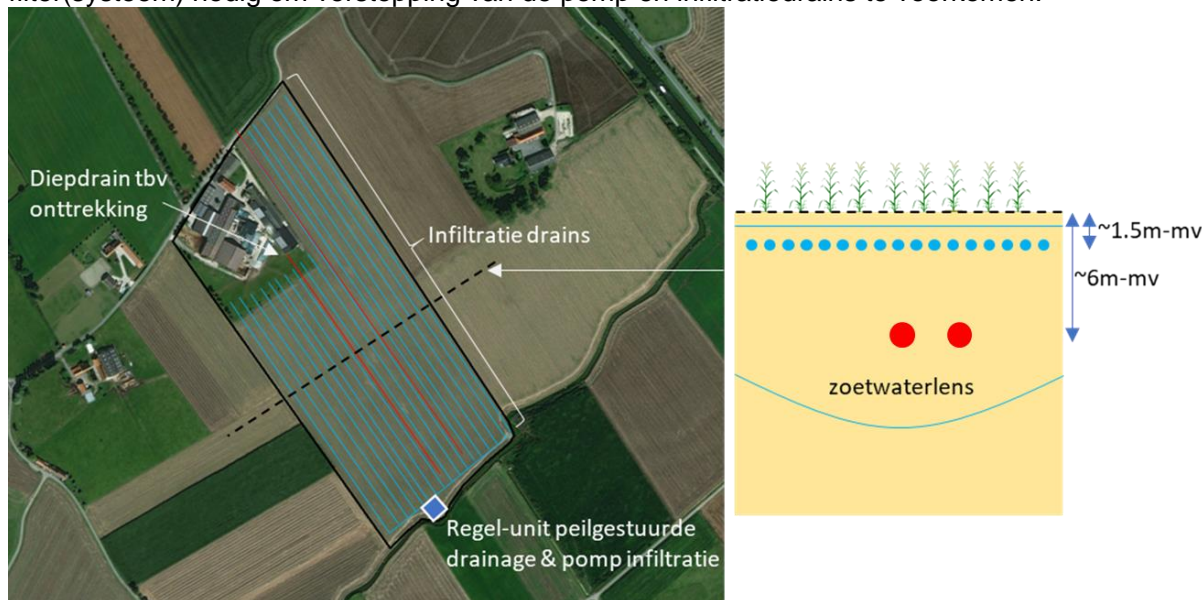
Een systeem voor actieve kreekruuginfiltratie bestaat uit verschillende onderdelen:

- Peilgestuurde drainage t.b.v. infiltratie
- Pomp en sturing t.b.v. infiltratie
- Diepdrain t.b.v. onttrekking
- Pomp t.b.v. onttrekking

De infiltratie drains worden op een diepte van circa 1.5 m onder maaiveld aangelegd en zijn verbonden met een regelput (Figuur 4.18). Met deze drains kan het grondwaterpeil worden verhoogd en kan oppervlaktewater worden geïnfilteerd. De exacte ligging en diepte van de drains wordt voor aanleg bepaald op basis van het advies van een drainage bedrijf. Deze drainage kan 'getrapt' aangelegd worden, waarbij de drains aan de randen van het perceel een ander infiltratiepeil krijgen dan de drains in het midden van het perceel. Zo kan verhoging van het grondwaterpeil langs de randen van het perceel, en daarmee mogelijke (grond)wateroverlast op aanliggende percelen, worden voorkomen.

De waterbron voor infiltratie is de beek aan de zuidzijde van het perceel (Figuur 4.18). Voor de sturing en pomp van het kreekruuginfiltratie-systeem wordt gekozen voor een robuust en onderhoudsarm systeem. De sturing regelt de hoeveelheid oppervlaktewater die wordt onttrokken en in de infiltratiedrains wordt gepompt. Het debiet van de infiltratie wordt gemeten

en op de plek van de onttrekking wordt de geleidbaarheid (EC) van het oppervlaktewater gemeten waardoor alleen water wordt onttrokken en geïnfiltreerd wanneer de bron zoet genoeg is ($EC < 2000 \text{ mS/cm}$). Afhankelijk van de kwaliteit van de bron heeft de pomp een filter(systeem) nodig om verstopping van de pomp en infiltratiedrains te voorkomen.



Figuur 4.18. Concept ontwerp van het systeem voor actieve kreekruuginfiltratie bij Bedrijf 2.

Het systeem voor de onttrekking van grondwater uit de zoetwaterlens bestaat uit diepdrainage en een pomp. Om verzilting van de onttrekking te voorkomen is het belangrijk om de onttrekking over een zo groot mogelijk gebied te verdelen. Om deze reden wordt gebruik gemaakt van diepdrainage in plaats van een verticale onttrekkingsput. Een verticale put heeft namelijk een hoog risico op het omhoog trekken van brak water uit diepere lagen. Op dezelfde manier kan een te kleine diepdrain ook verzilten, en dus is de totale lengte van de diepdrainage afhankelijk van de grootte van de onttrekking. De onttrekkingspomp wordt uitgerust met een debietmeter.

4.5.2 Monitoring

Metten en monitoring is van belang om (1) de potentie van het systeem definitief vast te stellen, (2) het ontwerp definitief vast te stellen en (3) voor het monitoren van effecten op de zoetwaterlens en omgeving.

Metten en monitoren voor realisatie

Vooraf aan de realisatie van het systeem dient de nul-situatie van de zoetwaterlens te worden bepaald. Dit dient twee doelen: (1) het definitief vaststellen van de potentie van de maatregel op perceelsniveau en (2) het volgen van de effectiviteit van de maatregel. Immers, de potentie van de maatregel is vastgesteld op regionaal schaalniveau en dient nog te worden geverifieerd op lokaal schaalniveau. Naast het metten van de zoetwaterlens is het daarbij van belang de aanwezigheid van belemmerende klei- of veenlagen in de ondergrond vast te stellen. De aanwezigheid hiervan kan de potentie degraderen tot 'niet kansrijk'. Daarnaast zijn nog enkele detailgegevens zoals grondwaterstanden en waterkwaliteitsbepalingen nodig voor het definitieve ontwerp van het systeem. Na realisatie zal de monitoring focussen op het aantonen van de effecten en de opbrengst van de maatregel.

Het is niet bekend of tot een diepte van ongeveer 15 meter onder het maaiveld storende lagen voorkomen. Door middel van vier boringen kunnen eventuele klei- of veenlagen in kaart worden gebracht. Na het zetten van 4 spoelboringen tot een diepte van 15 meter onder maaiveld

kunnen peilbuizen worden geplaatst met een diep filter. Op dezelfde locaties worden ook peilbuizen geplaatst met een filter in het ondiepe freatische grondwater. Er is gekozen om de peilbuizen in de akkerranden te plaatsen zodat deze niet in de weg staan bij bewerking van het land. Deze peilbuizen worden uitgerust met grondwater dataloggers zodat grondwaterstanden automatisch kunnen worden gemeten. Daarnaast kan in de diepe peilbuizen door middel van een boorgatmeting de exacte dikte van de zoetwaterlens worden bepaald. Het is hiervoor van belang dat alleen gebruik wordt gemaakt van peilbuizen zonder metalen onderdelen.



Figuur 4.19. Locaties van boringen en peilbuizen.

Met behulp van de boorbeschrijvingen van de ondiepe peilbuizen wordt het definitieve ontwerp van het systeem voor de kreekruuginfiltratie opgesteld in samenwerking met een erkend draineur. Op basis van ervaring kunnen zij de optimale diepteligging en drainafstand van het infiltratiedrainage systeem bepalen. Op basis van de boorbeschrijvingen, grondwaterstandsmetingen en boorgatmetingen kan worden bepaald welke lengte aan diepdrainage nodig is voor het gewenste onttrekkingsdebiet.

In de winterperiode moet enkele keren de waterbron (de beek aan de zuidzijde) bemonsterd worden voor analyse van de waterkwaliteit. Hierbij wordt niet alleen gekeken naar het zoutgehalte (immers moet alleen zoet water geïnfiltreerd worden) maar ook naar het volledige pakket van macro-ionen zoals calcium, bicarbonaat en verontreinigende stoffen. Op basis van deze metingen kan worden bepaald of 1) het water van voldoende kwaliteit is voor infiltratie, 2) of er een gevaar is voor verstopping van de drains, en 3) kan de waterkwaliteit worden ingeschat van het water dat uiteindelijk weer onttrokken zal worden uit de kreekrug.

Metten en monitoren na realisatie

Na realisatie van het kreekrug systeem worden de grondwaterstandsmetingen in de peilbuizen voortgezet. Daarnaast wordt 1 keer per jaar een boorgatmeting uitgevoerd zodat de ontwikkeling van de zoetwaterlens kan worden gevolgd. Debieten worden gemeten bij zowel de infiltratie- als onttrekkingspomp. Jaarlijks wordt de waterkwaliteit van het onttrokken water

uit de kreekkrug bemeten, bijvoorbeeld middels pakketten 'Volledig' van Inagro en GMS/LMS pakket water (tot op drinkwaterniveau) in een erkend labo. Deze metingen geven inzicht in de waterkwaliteitsveranderingen in de kreekkrug en zijn daarnaast nodig in verband met de bestemming drinkwater voor vee.

4.5.3 Begroting

De kosten voor de aanleg van een systeem voor actieve kreekruginfiltratie zijn beschreven in paragraaf 4.4. Voor het systeem bij Bedrijf 2 met een grootte van 2 hectare en een watervraag van 3416 m³/jaar worden de kosten voor aanleg geschat op €34.540,00. De lopende kosten voor monitoring waterkwaliteit en onderhoud zijn €1.744,20 per jaar. De energiekosten worden geschat op 0,15 €/m³ en de heffing voor het onttrekken van ondiep grondwater is momenteel €0,1094 per m³. De totale kosten komen dan neer op €1,57 per m³.

Het vooronderzoek voor actieve kreekruginfiltratie bij Bedrijf 2 bouwt voort op de onderzoeksresultaten van het FRESHM Vlaanderen project (helikoptervluchten). Zowel voor als na aanleg zijn er kosten voor monitoring. Verder moet er rekening worden gehouden met eventuele kosten in het vergunningstraject.

4.5.4 Discussie implementatie *Potentiele neveneffecten*

De toepassing van actieve kreekruginfiltratie kan effect hebben op de omgeving. De hieronder beschreven potentiële neveneffecten gelden voor zowel het voorgestelde systeem bij Bedrijf 2 als de voorgestelde grondwaterverhoging op Bedrijf 1.

- De basis van de werking van actieve kreekruginfiltratie ligt in het verhogen van de grondwaterstanden. Door het verhogen van het grondwater in een perceel kan (grond)wateroverlast op omliggende percelen ontstaan. Bij de aanleg kan dit voorkomen worden door het aanbrengen van trapsgewijze peilopzet met een hoge opzet in het midden en geen opzet van het grondwater aan de randen van het perceel. Bovendien, worden deze effecten op de omgeving als klein ingeschat en zijn ze te verwaarlozen als de percelen worden gescheiden door een sloot.
- Door het opzetten van de oppervlaktewaterpeilen van de sloten rondom het perceel kan de hoeveelheid zoetwater dat uit het perceel naar de sloten stroomt worden verkleind. Hierdoor wordt de efficiëntie van het kreekkrug systeem vergroot maar neemt het risico op vernatting voor het aangrenzende perceel toe. Het opzetten van oppervlaktepeilen moet daarom in nauwe samenspraak met de omgeving gebeuren en is niet overal mogelijk.
- Door het verhogen van de grondwaterstand in het perceel kan in de omgeving de zoute kwel toenemen. Uit de praktijk blijkt dat dit neveneffect vaak geen negatieve uitwerking heeft, bijvoorbeeld doordat slechts een kleine hoeveelheid extra zoute kwel in een sloot terecht komt die toch al zout is.
- Door een verhoging van de grondwaterstand kan de zoutlast in de omringende sloten toenemen (indien in huidige situatie ook al sprake is van zoute kwel). Deze effecten worden als klein ingeschat en kunnen teniet worden gedaan door opzetten van de oppervlaktewaterpeilen (zie voorgaande). Ook het vervangen van zout grondwater door zoet water door infiltratie leidt tijdelijk tot een (kleine) toename van de zoutlast.
- Voor het infiltreren van water is een waterbron nodig. Uitgangspunt in het beschreven kreekkrug systeem voor Bedrijf 2 is dat deze waterbron (de zuidelijke beek)

beschikbaar is en dat het is toegestaan om water (in de winter) te onttrekken. Hoewel dit op het moment geen probleem lijkt -er wordt in het winterhalfjaar reeds zoet water de polder uitgedempt- kan dit leiden tot watertekorten als op grote schaal infiltratiesystemen worden aangelegd.

- Door het infiltreren van water zal het grondwater in het perceel verzoeten en de zoetwatervoorraad groeien. Echter kan er verzilting van deze zoetwatervoorraad optreden wanneer te veel water uit de kreekrug wordt onttrokken. Het is daarom van belang om alleen op een duurzame manier water te onttrekken. Dat is middels een horizontale diep drain en niet te grote pompgebieden.

Vergunningen en heffingen

Het huidige vergunningskader is vooral geschreven op maat van grote infiltratiesystemen (rubriek 54 in VLAREM) en dient aangepast te worden om kleinschaliger infiltratiesystemen praktisch uitvoerbaar te maken. Voor actieve kreekruginfiltratie zijn de volgende vergunningen nodig:

- Captatievergunning voor de onttrekking van oppervlaktewater
- Vergunning voor het kunstmatig aanvullen van grondwater
- Vergunning voor de onttrekking van (ondiep) grondwater

Het infiltratiewater moet voldoen aan de milieukwaliteitsnormen voor grondwater welke in Bijlage 2.4.1 van VLAREM zijn gespecificeerd. Dit zijn zowel landelijk als per grondwaterlichaam bepaalde minimale eisen aan onder andere concentraties van fysische-chemische parameters en toxische stoffen.

Voor zowel de onttrekking van oppervlaktewater als grondwater moeten heffingen worden betaald. In het licht van deze proef wordt aanbevolen om deze heffingskosten nader te bekijken.

4.5.5 Werkwijze en stappenplan

Voor de aanleg van actieve kreekruginfiltratie kunnen de volgende stappen worden onderscheiden:

1. Monitoring oppervlaktewaterkwaliteit.
De beschikbaarheid van infiltratiewater dient zo vroeg mogelijk te worden vastgesteld.
2. Bijeenkomst met overheden (o.a. polderbesturen) m.b.t. vergunningen en heffingen.
Hierbij worden de stappen richting vergunningen bepaald. Daarnaast is het voor de uiteindelijke kostenberekening van belang om te bepalen welke heffingen betaald moeten worden (onttrekken oppervlaktewater en/of onttrekken grondwater).
3. Aanvraag vergunningen, te denken aan:
 - a. Onttrekken oppervlaktewater in de winterperiode
 - b. Infiltreren oppervlaktewater d.m.v. peilgestuurde drainage
 - c. Onttrekken (zelf geïnfiltreerd) ondiep grondwater
4. Uitvoeren metingen op perceelniveau ter bepaling nul-situatie en definitief ontwerp (Paragraaf 4.5.2).
5. Definitief ontwerp en kostenberekening kreekruginfiltratie.
Op basis van de uitkomsten uit bovenstaande stappen 1 t/m 3.
 - a. Het definitieve ontwerp van het kreekruginfiltratie-systeem, inclusief exacte ligging en diepte van de infiltratiedrains wordt gemaakt in samenwerking met een draineur.
 - b. Het definitieve ontwerp van het diepdrain/onttrekkingssysteem wordt gemaakt in samenwerking met een hydrogeoloog.

- c. Het definitieve ontwerp van het pomp en regelsysteem t.b.v. de infiltratie wordt gemaakt in samenwerking met een procestechnoloog.
6. Aanleg van het actieve kreekruuginfiltratie-systeem.
Installeren van de infiltratiedrains, diepdrainage, pompen, regelsturing, elektronicavoorziening en leidingwerk.
7. Monitoring na aanleg.
8. Evaluatie en rapportage

4.5.6 Conclusies en aanbevelingen

De belangrijkste conclusies zijn:

- Kreekruuginfiltratie heeft de potentie om op een duurzame manier in een deel van de waterbehoefte in het westelijke kustgebied te voorzien.
- Voor twee pilootgebieden is op perceelniveau gekeken naar de potentie van kreekruuginfiltratie.
- Op één van de bedrijven welke op de rand van een kreekrug ligt is de potentie nog onduidelijk en ligt er een onderzoeksvraag. Op het andere bedrijf is de potentie hoog en hiervoor is een ontwerp, kostenberekening en stappenplan opgesteld.
- De geschatte kostprijs van kreekruuginfiltratie is hoog bij een kleine watervraag, bij aanleg van een groter systeem met een hogere watervraag wordt de prijs aantrekkelijk (zie bijvoorbeeld Tabel 4.17). Bij een watervraag van meer dan 3000 m³ wordt de kuubprijs lager dan die van leidingwater, wat voor agrariërs de kostprijs-referentie is.
- Belangrijke parameters in de kostprijs berekening zijn de aanschafkosten, afschrijvingstermijn en onderhoud van de infiltratiepomp en de benodigde lengte aan diepdrainage voor de onttrekking.
- Heffingen zijn een belangrijke kostenpost.
- Actieve kreekruuginfiltratie levert een betrouwbare waterbron op en kan meerdere waterbronnen vervangen en daardoor de watervoorziening duurzamer en constanter maken. Door te meten en monitoren op perceelniveau kan het meest efficiënte ontwerp worden gemaakt en kunnen de effecten van het systeem worden bepaald.
- Een aanpassing van het wetgevend kader is nodig om infiltratie via kleinere systemen praktisch mogelijk te maken.

De volgende aanbevelingen worden opgesomd:

- Voor definitieve bepaling van de kostprijs van kreekruuginfiltratie moeten extra metingen op een perceel worden gedaan, offertes worden aangevraagd en is het betrekken van een draineur van belang.
- Het vergunningstraject moet helder en zo simpel mogelijk worden vormgegeven. Overheden en ondernemers kunnen hier mee aan de slag gaan.
- Door het niet heffen van heffingen op zowel het onttrekken van oppervlakte water ten behoeve van infiltratie in de winterperiode als op het onttrekken van zelf-geïnfiltereerd grondwater kan de kostprijs van kreekruuginfiltratie aantrekkelijker worden gemaakt.
- Aanbevolen wordt om samenwerking tussen agrariërs te zoeken zodat grotere systemen met een lagere kostprijs per m³ water kan worden behaald.
- Als werkwijze wordt aanbevolen zoals beschreven in paragraaf 4.5.5.

5 Referenties

Antea Belgium, (2018). Waterbehoefte, -gebruik en -aanbod analyse van de kuststreek. Bestek nummer: 0100/2017/033. Identificatienummer 4225893012. November 2018.

Baeteman C, (2005). Geologische kaart van België 1/25.000. Profieltypenkaart van de Holocene kustafzettingen. De Panne-Oostduinkerke, Nieuwpoort-Leke, Middelkerke-Oostende. Belgische Geologische Dienst, Brussel.

Baeteman C, (2008). De Holocene geologie van de Belgische kustvlakte. Geological Survey of Belgium Professional Paper 2008/2 – N.304.

Baeteman,C. (2011) Ontstaan en evolutie van de IJzer- en Handzamevallei. Belgische Geologisch Dienst.

Bolle, I., Lebbe, L., & De Breuck, W. (1991). Salt-water encroachment in the Western Belgian coastal plain. In W. De Breuck (Ed.), Hydrogeology of salt water intrusion : a selection of SWIM papers : a report of the Commission on Hydrogeology of Salt Water Intrusion of the International Association of Hydrogeologists/ (Vol. 11, pp. 345–357). Hannover.

Bossu J, (1982). Vlaanderen in oude kaarten – drie eeuwen cartografie. Lannoo.

De Louw, P.G.B., van Berchum, A, Buma, J, Doornenbal, P, Lorwa, M, Oude Essink, G, Pauw, P, Provoost, Y, Visser, M, (2016). A self-flowing seepage system to protect a freshwater lens from local sea level rise. Pages 67-70 from: Werner, A.D. (ed.) (2016), Proceedings of the 24th Salt Water Intrusion Meeting and the 4th Asia-Pacific Coastal Aquifer Management Meeting, 4-8 July, 2016, Cairns, Australia.

De Louw, P.G.B., P.T.M. Vermeulen, R.J. Stuurman, J. Reckman, Waterconservering en peilbeheer in het BeNeLux-middengebied. Deelrapport 3: Bepaling van de effecten van waterconservering. TNO-rapport NITG 01-055-B.

Delsman et al., (2019). TOPSOIL Airborne EM kartering van zoet en zout grondwater in Vlaanderen (FRESHM Vlaanderen). Deelopdrachten 1, 2, en 3. Deltares-rapport 11200306-000-BGS-0011. Deltares, Universiteit Gent, De Watergroep, TNO, SkyTEM.

Farasyn D, (2006). De Historische Polders van Oostende, 1584-1810. Oostendse Historische Publicaties 15, Stadsarchief Oostende.

Germany: Heinz Heise.Mathys M, (2009). The Quaternary geological evolution of the Belgian Continental Shelf, southern North Sea. Ph.D. thesis, UGent.

Lebbe, L., De Breuck, W. & Bolle, I.(1983). Salt water encroachment in the western Belgian coastal plain. Proc. 8th Salt Water Intrusion Meeting, Bari, pp 285-298.

Lebbe, L. & K Pede (1986). Salt-fresh water flow underneath old dunes and low polders influenced by pumpage and drainage in the western Belgian coastal plain. Proc. 8th Salt Water Intrusion Meeting. pp199-220.

Oude Essink, G., Pauw, P., Van Baaren, E., Zuurbier, K., De Louw, P., Veraart, J., McAteer, E., Van Der Schoot, M., Groot, N., Cappon, H., Waterloo, M., Hu-a-ng, K., Groen, M., (2018). Valoriseren kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening, GO-FRESH.

Pauw, P.S., Van Baaren, E.S., Visser, M. De Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., 2015, Increasing a freshwater lens below a creek ridge using a controlled artificial recharge and drainage system: a case study in the Netherlands, *Hydrogeology Journal*.

Termote J, (2016). Waterlopen in West-Vlaanderen. Jaarboek 2016, Koninklijke West-Vlaamse Gidsenkring vzw.

Van Bakel, J.M.M., Van den Eertwegh, G.A.P.H., Massop, H. Th. L., Brandsma, J. (2013). Klimaatadaptieve drainage. Landelijke geschiktheid van conventionele, samengestelde peilgestuurde en klimaatadaptieve drainage. FutureWater rapport 118.

Van Bakel, J.M.M., P.G.B. de Louw, L. Stuyt, L. Tolk, J. Velstra, M. Hoogvliet, (2014). Methode voor het bepalen van de potentie voor het toepassen van lokale zoetwateroplossingen: Fresh Water Options Optimizer – Fase 1. Stowa rapportnummer 2014-16. KvK rapportnummer KvK118/2014.

Van Camp, M., Martens, K. & Walraevens, K. (2002). GWEN: Integrated water-supply and nature development plan for the Belgian West-coast – Hydrogeologic aspects focusing on the covered mudflats close to the French-Belgian border. 17th Salt Water Intrusion Meeting, Delft, 2002. Proceedings 461-468.

Vandenbohede A, (2014). Quartair van de Kustvlakte en polders van de Westerschelde. In: Dassargues A, Walraevens K (ed.), 2014. Watervoerende lagen en grondwater in België / Aquifères et eaux outerraines en Belgique, Gent, Academia Press, 5-15 (ISBN 978-90-382-2364-3).

Vandenbohede A, Hinsby K, Courtens C, Lebbe L, (2011). Flow and transport model of a polder area in the Belgian coastal plain: example of data integration. *Hydrogeology Journal*, 19(8), 1599-1615.

Van Pul, P, (2018). Waterbouwkunde in de IJzervlakte (1590-1915). Uitgeverij De Schorre. Vlaamse Overheid (2016). Digitale bodemkaart van het Vlaams Gewest. Vlaamse overheid, Departement Omgeving, Vlaams Planbureau voor Omgeving (VPO)

VMM (2008). Grondwater in Vlaanderen: het Kust- en Poldersysteem. Vlaamse Milieumaatschappij. Aalst. 93 p.

Zeeuwts, L, (1991). Hydrogeologie en hydrochemie van de IJzervlakte tussen de Frans-Belgische grens en Avekapelle-Pervij ze (Westelijke kustvlakte). PhD Thesis Universiteit Gent: Gent. XIII, 380 + annexes pp.

Zuurbier, K. G., Kooiman, J. W., Maas, B., Groen, M. M. A., & Stuijzand, P. J. (2014). Enabling successful aquifer storage and recovery using horizontal directional drilled wells (HDDWs) in coastal aquifers. *Journal of Hydrologic Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000990](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000990).