

COASTAR Nationaal

Regionale en nationale opschaling COASTAR toepassingen



 enabling delta life

COASTAR Nationaal

Regionale en nationale opschaling COASTAR toepassingen

Auteur(s)

Liduin Bos - Burgering
Simon Buijs
Ilya America
Jeroen Klooster
Perry de Louw
Joost Delsman
Sija Stofberg
Klaasjan Raat
Rosalie Franssen
Jolijn Posma

Partners

KWR Watercycle Research Institute, NIEUWEGEIN
Arcadis, ASSEN
Allied Waters, NIEUWEGEIN
Provincie Zuid-Holland, 'S-GRAVENHAGE
Hoogheemraadschap van Rijnland, LEIDEN
Hoogheemraadschap Delfland
Evides Waterbedrijf, ROTTERDAM
Dunea N.V., ZOETERMEER
Oasen Drinkwater, GOUDA
Mos Grondmechanica , HELMOND
LTO Glaskracht Nederland, ZOETERMEER
Gemeente Westland, NAALDWIJK
Gemeente Rotterdam, ROTTERDAM
Gemeente Maassluis, MAASSLUIS
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 'S-GRAVENHAGE
Topsector Water, DELFT
Deltaprogramma Zoetwater

COASTAR Nationaal

Regionale en nationale opschaling COASTAR toepassingen




Opdrachtgever	Kennisprogramma COASTAR
Contactpersoon	Liduin Bos-Burgering
Trefwoorden	COASTAR toepassingen, brakwaterwinning, ondergrondse zoetwateropslag, zoetwatertekort, verzilting, zoet-zout, knelpunten, kansrijke kaarten, geschiktheidsanalyse, Deltaprogramma Zoetwater, nationale opschaling

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	31-05-2021
Projectnummer	11204487-001
Document ID	11204487-001-BGS-0005
Pagina's	132
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Liduin Bos - Burgering	
	Simon Buijs	
	Ilja America	
	Jeroen Klooster	
	Perry de Louw	
	Joost Delsman	
	Sija Stofberg	
	Klaasjan Raat	
	Rosalie Franssen	
	Jolijn Posma	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1	 Liduin Bos - Burgering	 Gu Oude Essink	 Otto de Keizer	
	Simon Buijs			
	Ilja America			
	Jeroen Klooster			
	Perry de Louw			
	Joost Delsman			
	Sija Stofberg			
	Klaasjan Raat			
	Rosalie Franssen			
	Jolijn Posma			

Management Samenvatting

Potentiele bijdrage ondergrond aan zoetwaterschaarste in beeld

In deze studie zijn kansrijkheidskaarten ontwikkeld welke snel inzicht geven in wat de kansrijkheid is van ondergrondse opslag van zoetwater en brakwaterwinning van grondwater op regionaal en nationaal niveau. Hierbij is ook extra gekeken naar potentiële effecten, zowel positief als negatief, van deze toepassingen en bijkomende kosten.

Waarom zijn kansrijkheidskaarten van belang?

In het Nederlandse kustgebied hebben we te maken met verschillend knelpunten waaronder droogte, wateroverlast, bodemdaling, verzilting, uitputting en overvraging van de beschikbare watervoorraden in het huidige klimaat en bij klimaatverandering, bevolkingsgroei en de te verwachte verandering in de zoetwatervraag per hoofdregio in de toekomst. De mate waarin de zoetwatervraag en -schaarste zal toenemen verschilt per regio en per functie (peilhandhaving, doorspoeling en beregening). In het kader van het Deltaprogramma Zoetwater zijn de zogenoemde zoetwaterdoelen opgesteld. Deze zijn in lijn met de aanbevelingen van de Beleidstafel Droogte (2019), om te zorgen dat Nederland voor 2050 weerbaar zal zijn tegen zoetwatertekorten. De ontwikkelde kansrijkheidskaarten geven ruimtelijk inzicht in hoe de ondergrond kan worden ingezet om de (toekomstige) zoetwatervoorraad te vergroten. Hiermee bieden we een oplossing voor de aanwezige knelpunten nu en in de toekomst.

Kansen, effecten en kosten

In de kansrijkheidskaarten zijn 3 verschillende aspecten meegenomen, namelijk 1) Geohydrologische geschiktheid, 2) Effecten en 3) Kosten. Op basis van bestaande cases zijn alle drie de aspecten gevalideerd.

Geohydrologische geschiktheid

De gebieden met potentie en gebieden die geschikt zijn voor ondergrondse opslag van zoetwater en brakwaterwinning zijn in kaart gebracht door middel van een geohydrologische geschiktheidsanalyse waarbij geohydrologische eigenschappen van de ondergrond als leidraad zijn gebruikt.

Effecten

Of een gebied potentie heeft voor het toepassen van ondergrondse zoetwateropslag en/of brakwaterwinning is niet alleen afhankelijk van de geohydrologische geschiktheid van de bodem. Ook de mogelijke positieve en negatieve bijeffecten die kunnen optreden bij implementatie spelen een belangrijke rol. Denk hierbij bijvoorbeeld aan interferentie met bestaande wko systemen, risico op verandering van de grondwaterstand, risico op opbarsting van de deklaag, risico op bodemdaling als minder gewenste bijeffecten, maar denk bijvoorbeeld ook aan structurele vergroting van de zoetwatervoorraad (beide toepassingen) en een afname van zout/brakke kwelflux als positieve en zeer gewenste bijeffecten.

Kosten

Vervolgens zijn de effecten en baten economisch gewaardeerd per toepassing, waarbij ingezoomd is op specifieke cases. Bij de effecten is gekeken naar de investeringskosten (CAPEX) en kosten beheer, onderhoud en exploitatie (OPEX). De baten zijn bekeken per sector: drinkwater, water voor beregening, bevloeiing en productieproces, bodem, waterbeheer, ecologie en energie. In het geval van de Urban Water Buffer Rotterdam liggen de investeringskosten ($>0,50 \text{ €/m}^3$) hoger dan de kosten voor beheer en onderhoud ($0,20\text{-}0,50 \text{ €/m}^3$). Voor de drie andere cases (ASR Hoorn, Waterbank Westland en Dinteloord) zijn de

investeringskosten vergelijkbaar met de beheer en onderhoudskosten (0,10-0,20 €/m³). Voor alle brakwaterwinning-cases (Middelburg- Tempel-polder, de waterleidingduinen van Dunea, de Noordplaspolder, de Haarlemmermeerpolder en de Horstermeerpolder) zijn de beheer- en onderhoudskosten vergelijkbaar aan de investeringskosten (0,20-0,50 €/m³) uitgedrukt in euro's per m³.

Hoe zetten we de kansrijke kaarten in?

De ontwikkelde methode en kaarten kunnen helpen bij het inzichtelijk maken waar de mogelijke knelpunten liggen en, hoe en waar COASTAR toepassingen ingezet kunnen worden voor het weerbaar maken van Nederland voor zoetwatertekorten op regionale en landelijke schaal. De kaarten kunnen hierbij gebruikt worden als gesprekskaart met de verschillende betrokken gebiedspartijen. Tevens geven de kaarten een eerste orde schatting van de effecten die kunnen optreden en de baten, de investeringskosten en kosten voor beheer en onderhoud waarmee rekening dient te worden gehouden bij toepassing van brakwaterwinning grondwater en/of ondergrondse opslag van zoetwater. Op regionaal en nationaal niveau geeft de geohydrologische geschiktheidskaart inzicht in waar de gebieden liggen met de hoogste potentie voor de toepassingen. De cases dienen hierbij als illustratie voor andere toekomstige locaties in de geschikte gebieden.

Technische Samenvatting

In het kader van het Deltaprogramma Zoetwater zijn de zogenoemde zoetwaterdoelen opgesteld. Deze zijn in lijn met de aanbevelingen van de Beleidstafel Droogte (2019), om te zorgen dat Nederland voor 2050 weerbaar zal zijn tegen zoetwatertekorten. In deze studie is gekeken naar hoe ondergrondse opslag van zoetwater en brakwaterwinning van grondwater kan bijdragen aan het vergroten van de (toekomstige) zoetwatervoorraad en zo kan meewerken aan het weerbaar maken van Nederland richting 2050. Dit is gedaan door te kijken naar inzet van de ondergrond via ondergrondse opslag van zoetwater en brakwaterwinning van grondwater, op lokaal, regionaal en nationaal niveau.

Om de relevantie van de COASTAR maatregelen inzichtelijk te maken zijn op basis van bestaande studies de huidige en toekomstige knelpunten in de zoetwaterbeschikbaarheid in de Nederlandse kustprovincies in kaart gebracht. Dit betreft droogte, wateroverlast, bodemdaling, verzilting, uitputting en overvraging van de beschikbare watervoorraden in het huidige klimaat en bij klimaatverandering, bevolkingsgroei en de te verwachte verandering in de zoetwatervraag per hoofdregio in de toekomst. De mate waarin de zoetwatervraag en -schaarste zal toenemen verschilt per regio en per functie (peilhandhaving, doorspoeling en beregening).

In deze studie is op drie aspecten naar geschiktheid of kansrijkheid gekeken:

1. Geohydrologische geschiktheid

De ondergrond in Nederlandse kustprovincies is niet per definitie overal geschikt voor ondergrondse opslag van zoetwater en/of voor brakwaterwinning. De gebieden met potentie en gebieden die geschikt zijn voor deze toepassingen zijn in kaart gebracht door middel van een geohydrologische geschiktheidsanalyse waarbij geohydrologische eigenschappen van de ondergrond als leidraad zijn gebruikt. Voor het samenstellen van de geohydrologische geschiktheidskaarten is een toolbox ontwikkeld.

2. Effecten

Of een gebied potentie heeft voor het toepassen van ondergrondse zoetwateropslag en/of brakwaterwinning is niet alleen afhankelijk van de geohydrologische geschiktheid van de bodem. Ook de mogelijke positieve en negatieve bijeffecten die kunnen optreden bij implementatie spelen een belangrijke rol.

Bij zoetwateropslag:

- speelt het risico op interferentie van het geïnfiltreerde water met andere watervoerende pakketten door gaten in de kleilagen. Deze interferentie zorgt voor een verminderd rendement van het terug te winnen zoetwater vanuit de aanwezige zoete grondwatervoorraad.
- Ook bepaalt de dikte van het afdekkende Holocene klei/veenpakket de mate waarin opbarsting kan gaan optreden bij het injecteren van het zoete water in de ondergrond.

Bij brakwaterwinning:

- speelt het risico op verandering van de grondwaterstand in het gebied; dit kan gewenst of ongewenst zijn.
- Daarnaast zorgt het winnen van brakwater in kwelgebieden voor een afname in de zout/brakke kwelflux (meestal gewenst en berekend met behulp van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM)),

- kan extra bodemdaling optreden door een verlaging van de grondwaterstand (in gebieden die al gevoelig zijn voor bodemdaling),
- kan er interferentie met bestaande open bodemenergie systemen (wko's) ontstaan en
- kan het zorgen voor een toename in de beschikbare hoeveelheid zoetwater en/of zoutwater (berekend met behulp van het LHM).

3. Economische waardering

Vervolgens zijn de effecten en baten economisch gewaardeerd per toepassing, waarbij ingezoomd is op specifieke cases. Bij de effecten is gekeken naar de investeringskosten (CAPEX) en kosten beheer, onderhoud en exploitatie (OPEX). De baten zijn bekeken per sector: drinkwater, water voor beregening, bevloeiing en productieproces, bodem, waterbeheer, ecologie en energie.

De geohydrologische geschiktheidsanalyses, de effectanalyses en de economische waardering van de toepassingen zijn uitgewerkt op drie schaalniveaus: 1) voor heel Nederland, 2) ingezoomd op Midden-West Nederland en 3) op case niveau. Tegelijkertijd zijn de cases gebruikt om de landelijke opschaling van de geschiktheid voor beide toepassingen te valideren op basis van eerdere studies. De cases voor ondergrondse opslag van zoetwater zijn: Dinteloord, Waterbank Westland, Hoorn en de Urban Waterbuffer (UWB) in Rotterdam. Voor brakwaterwinning is ingezoomd op de Middelburg- Tempel-polder, de waterleidingduinen van Dunea, de Noordplaspolder, de Haarlemmermeerpolder en de Horstermeerpolder. Alle resultaten zijn gecombineerd tot een kansrijke kaart per toepassing.

Voor alle geanalyseerde cases kan worden geconcludeerd dat bij ondergrondse zoetwateropslag het wateraanbod zal toenemen en de zoutvracht met name in de polders zal afnemen. In het geval van de UWB Rotterdam liggen de investeringskosten ($>0,50 \text{ €/m}^3$) hoger dan de kosten voor beheer en onderhoud ($0,20\text{-}0,50 \text{ €/m}^3$). Voor de drie andere cases (ASR Hoorn, Waterbank Westland en Dinteloord) zijn de investeringskosten vergelijkbaar met de beheer en onderhoudskosten ($0,10\text{-}0,20 \text{ €/m}^3$). Voor alle brakwaterwinning-cases zijn de beheer- en onderhoudskosten vergelijkbaar aan de investeringskosten ($0,20\text{-}0,50 \text{ €/m}^3$) uitgedrukt in euro's per m^3 .

Eindconclusie

De ontwikkelde methode en kaarten kunnen helpen bij het inzichtelijk maken waar de mogelijke knelpunten liggen en, hoe en waar COASTAR toepassingen ingezet kunnen worden voor het weerbaar maken van Nederland voor zoetwatertekorten op regionale en landelijke schaal. De kaarten kunnen hierbij gebruikt worden als gesprekskaart met de verschillende betrokken gebiedspartijen. Tevens geven de kaarten een eerste orde schatting van de effecten die kunnen optreden en de baten, de investeringskosten en kosten voor beheer en onderhoud waarmee rekening dient te worden gehouden bij toepassing van brakwaterwinning grondwater en/of ondergrondse opslag van zoetwater. Op regionaal en nationaal niveau geeft de geohydrologische geschiktheidskaart een indicatie van waar de gebieden liggen met de hoogste potentie voor de toepassingen. De cases dienen hierbij als illustratie voor andere toekomstige locaties in de geschikte gebieden.

Inhoud

	Management Samenvatting	5
	Technische Samenvatting	7
1	Inleiding	12
1.1	Doelstellingen Deltaprogramma Zoetwater en COASTAR	12
1.2	Regionale en nationale opschaling	12
1.3	Leeswijzer	12
2	COASTAR toepassingen	14
2.1	Algemeen	14
2.2	Ondergrondse opslag van zoetwater via verticale ASR	15
2.3	Brakwaterwinning	15
3	Waarom COASTAR	16
3.1	Algemeen	16
3.2	Huidige knelpunten in de zoetwaterbeschikbaarheid	16
3.2.1	Algemeen	16
3.2.2	Verziltting van grond- en oppervlaktewater	18
3.2.3	Droogte en wateroverlast	19
3.2.4	Bodemdaling	24
3.2.5	Uitputting/overvraging van oppervlaktewatervoorraden	25
3.3	Toekomstige verandering in knelpunten	25
3.3.1	Algemeen	25
3.3.2	Bevolkingsgroei	25
3.3.3	Verziltting van grond- en oppervlaktewater	29
3.3.4	Bodemdaling	31
3.3.5	Verandering in de zoetwatervraag per hoofdregio	32
3.3.5.1	Voorzieningsgebied IJsselmeer	32
3.3.5.2	Voorzieningsgebied Benedenrivieren	33
3.3.5.3	Voorzieningsgebied Bovenrivieren	34
3.3.5.4	Voorzieningsgebied Zuid-Westelijke Delta	35
3.3.6	Klimaatverandering	35
3.3.6.1	Sociaaleconomische veranderingen	37
3.3.6.2	Klimatologische veranderingen	39
3.4	Oplossingsrichting aanvulling toekomstige groei in de watervraag	40
4	Methodebeschrijving	41
4.1	Algemeen	41
4.2	Geohydrologische geschiktheid	41
4.2.1	Algemeen	41
4.2.2	Ondergrondschematisering op basis van LHM	42
4.2.3	Ondergrondse opslag van zoetwater via verticale ASR	44

4.2.3.1	Factoren ondergrondse opslag zoetwater	44
4.2.3.2	Score geohydrologische geschiktheidskaart ondergrondse opslag zoetwater	46
4.2.4	Brakwaterwinning	47
4.2.4.1	Factoren brakwaterwinning	47
4.2.4.2	Score geohydrologische geschiktheidskaart brakwaterwinning	48
4.2.5	Toolbox geohydrologische geschiktheid	49
4.3	Geohydrologische effecten en risico's	49
4.3.1	Algemeen	49
4.3.2	Opzet modelscenario's voor inschatting geohydrologische effect brakwaterwinning	50
4.3.3	Ondergrondse opslag van zoetwater via verticale ASR	51
4.3.3.1	Risico op interferentie door gaten in kleilagen	52
4.3.3.2	Dikte van het klei/veenpakket	52
4.3.4	Brakwaterwinning	53
4.3.4.1	Risico op verlaagde of verhoogde grondwaterstanden	53
4.3.4.2	Risico op paalrot (in stedelijk gebied)	56
4.3.4.3	Verandering in zoute/brakke kwelflux	57
4.3.4.4	Effect op verzilting en het benodigde doorspoeldebiet	58
4.3.4.5	Risico op extra bodemdaling	60
4.3.4.6	Risico op interferentie met bestaande (open) bodemenergiesystemen	60
4.3.4.7	Potentiele opbrengst	61
4.4	Economische waardering van de effecten	61
4.4.1	Ondergrondse opslag van zoetwater via verticale ASR	62
4.4.2	Brakwaterwinning	62
5	Resultaten	66
5.1	Algemeen	66
5.2	Landelijk	66
5.2.1	Ondergrondse opslag zoetwater	66
5.2.2	Brakwaterwinning	69
5.3	Regionaal	73
5.3.1	Ondergrondse opslag zoetwater	73
5.3.2	Brakwaterwinning	76
5.4	Cases	78
5.4.1	Ondergrondse opslag zoetwater	78
5.4.1.1	Dinteloord (suikerfabriek)	78
5.4.1.2	Waterbank Westland	78
5.4.1.3	Hoorn	81
5.4.1.4	Urban Waterbuffer	81
5.4.1.5	Kansrijkeidskaart Ondergrondse opslag zoetwater	83
5.4.2	Brakwaterwinning	86
5.4.2.1	MT-polder	86
5.4.2.2	Dunea Duinen	91
5.4.2.3	Noordplaspolder	95
5.4.2.4	Haarlemmermeerpolder	100
5.4.2.5	Horstermeerpolder	103
5.4.2.6	Kansrijkeidskaart Brakwaterwinning	105
6	Synthese	108
6.1.1	Nut van de kanskaart	108
6.1.2	Ondergrondse opslag zoetwater	108
6.1.3	Brakwaterwinning	109

6.1.4	Vooruitblik	110
7	Literatuur	111
A	Bijlagen	115
A.1	Ondergrondse opslag zoetwater – Landelijke factoren geohydrologische geschiktheid	116
A.2	Brakwaterwinning – Landelijke factoren geohydrologische geschiktheid	124

1 Inleiding

1.1 Doelstellingen Deltaprogramma Zoetwater en COASTAR

Binnen het Deltaprogramma Zoetwater zijn de zogenoemde zoetwaterdoelen opgesteld. Deze vijf doelen zijn erop gericht om Nederland weerbaar te maken tegen zoetwatertekort voor 2050 en sluiten aan bij de aanbevelingen van de Beleidstafel Droogte uit 2019. Deze betreffen:

1. Gezond en evenwichtig watersysteem;
2. Cruciale gebruiksfuncties beschermen;
3. Water effectief en zuinig gebruiken;
4. Waterkennis, -kunde en -innovaties ontwikkelen;
5. Concurrentiepositie waterafhankelijke sectoren verbeteren.

De aanpak voor het bereiken van deze doelen en wat “weerbaar” precies is verschilt per regio of gebied. Een gebiedsgerichte aanpak is daarom cruciaal, waarbij alle betrokken partijen aan tafel zitten. Bij alle vijf de doelen moet er een koppeling gemaakt worden met de ruimtelijke inrichting van een gebied. Hierbij kan gekeken worden naar een gebiedsgericht maatregelenpakket waarbij bij de veranderingen in de ruimtelijke inrichting rekening wordt gehouden met het in balans brengen van watervraag en waterbeschikbaarheid (DPZW, 2020).

Met name in de kustgebieden kan COASTAR meehelpen om te zorgen dat Nederland weerbaar is tegen watertekort in 2050. COASTAR richt zich op grootschalige zoetwatervoorziening door slim gebruik van de ondergrond. Zoetwateropslag in de ondergrond overbrugt het verschil in tijd en ruimte tussen watervraag en wateraanbod. Tegelijkertijd bestrijdt COASTAR de toenemende verzilting door brak grondwater af te vangen en in te zetten voor de productie van zoetwater. Samen met verschillende partners ontwikkelen we COASTAR toepassingen, van idee naar pilots naar toepassingen. Met zorg en respect voor de bodem en de omgeving. COASTAR kan hiermee bijdragen aan zoetwaterdoelen 1 t/m 4.

1.2 Regionale en nationale opschaling

In het kader van het COASTAR programma is een viertal cases (A1. Brakwaterwinning polders, A2. Brakwaterwinning kust(duinen), A3. Waterbank Westland, A4. Urban Water Buffer Rotterdam) op lokaal niveau onderzocht, waarbij kennisontwikkeling en de mogelijkheid tot het uitvoeren van een pilot tot doel waren gesteld. Om naast deze lokale studies iets te kunnen zeggen over de bredere geschiktheid voor de toepassing van brakwaterwinning en ondergrondse opslag van zoetwater in de kustprovincies, is in de voorliggende studie gekeken naar hoe de kennis uit de lokale studies (cases) opgeschaald kan worden naar een hoger schaalniveau (regionaal en nationaal) met de focus op de kustgebieden. Hierbij zijn de cases vervolgens weer gebruikt ter illustratie voor andere gebieden met potentie voor de COASTAR toepassingen.

1.3 Leeswijzer

We beginnen deze rapportage met de uitleg van de twee COASTAR toepassingen: ondergrondse opslag van zoetwater en brakwaterwinning, in hoofdstuk 2. Vervolgens kijken we naar de huidige knelpunten in de zoetwaterbeschikbaarheid, hoe deze knelpunten mogelijk gaan veranderen in de toekomst en hoe ondergrondse opslag van zoetwater en brakwaterwinning naar verwachting kunnen voorzien in het vergroten van de zoetwatervoorraad en de verwachte toename in verzilting kunnen tegengaan, in hoofdstuk 3. Om te onderzoeken waar ondergrondse opslag van zoetwater en brakwaterwinning potentieel toegepast kunnen gaan worden is allereerst gekeken naar de geohydrologische geschiktheid

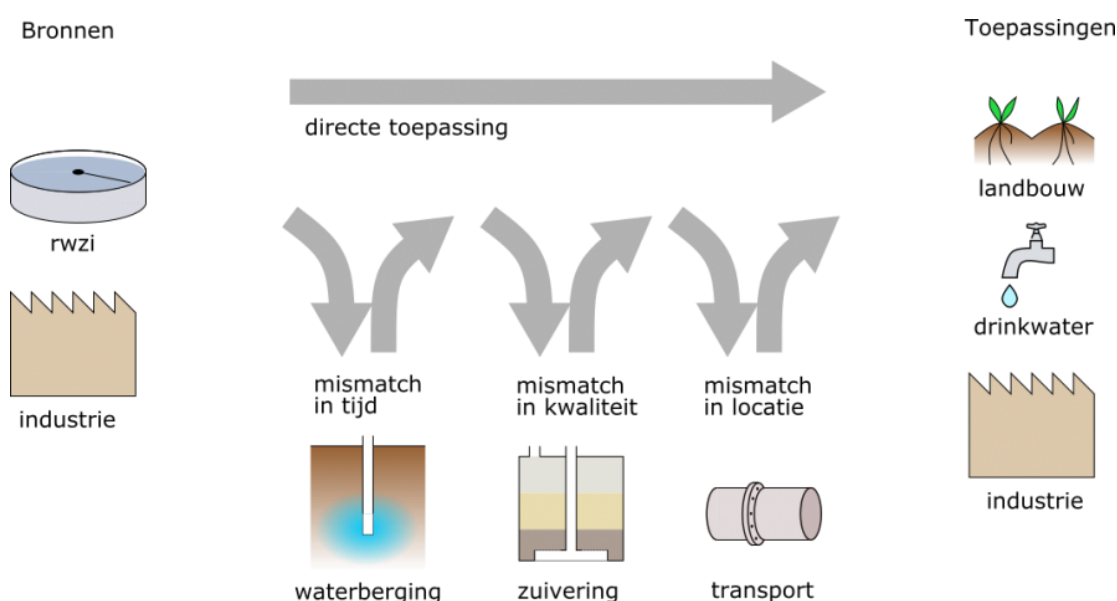
van de Nederlandse kustprovincies. De gebruikte methode om dit in kaart te brengen is beschreven in paragraaf 4.2. Naast de geohydrologische geschiktheid is, zowel op landelijk als op lokaal niveau, gekeken naar de effecten die kunnen optreden bij het implementeren van beide toepassingen en wat hierbij de kosten en baten kunnen zijn op lokaal niveau (de onderliggende methode staat beschreven in paragraaf 4.3 en 4.4). Het resultaat van deze analyses is per toepassing samengevat in een geohydrologische geschiktheidskaart op landelijk en regionaal (Midden-West Nederland) niveau (paragraaf 5.2 en 5.3) en in een kansrijke kaart, waarbij de geohydrologische geschiktheid is gecombineerd met de effecten, kosten en baten op case niveau (paragraaf 5.4). Als laatste komen al deze aspecten bij elkaar in de “Synthese” in hoofdstuk 6.

2 COASTAR toepassingen

2.1 Algemeen

Om de verwachte watertekorten te voorkómen en/of te mitigeren, kunnen overheden en gebruikers zich richten op waterbesparing en efficiëntie door innovatieve oplossingen en alternatieve zoetwaterwinning. Voorbeelden van oplossingen zijn: waterbesparing, strategisch inzetten van oppervlaktewater, inzetten strategische (grondwater)reserves en/of de inzet van brak grondwater (van der Aa et al., 2015). Daarnaast kunnen oplossingen gevonden worden in het tijdelijk verhogen van grondwaterstanden. Op deze manier kan meer water als grondwater vastgehouden worden. De hoeveelheid grondwaterverhoging hangt af van het landgebruik op de betreffende percelen (Hoogvliet et al., 2014).

Voor drinkwater geldt dat er al allerlei alternatieve technieken zijn die wereldwijd gebruikt worden. Vooruitgang in de ontwikkeling van (zuiverings)technieken maakt het mogelijk om gebruik te maken van steeds meer typen bronnen voor drinkwater en overig zoetwater. Uit onderzoek van Stofberg et al. (2019) blijkt dat de volgende alternatieve bronnen relatief geschikt zijn voor drinkwater: brak (en zout) grondwater, water uit waterstof in de industrie, neerslag, RWZI-effluent, luchtvochtigheid, restwater uit de voedingsindustrie, zeewater en uitslagwater. Figuur 2.1 geeft van deze toepassingen een schematisch overzicht. De brakke ondergrond kan in dit kader een extra bron vormen voor het vergroten van de zoetwatervoorraad voor toepassingen in de landbouw, drinkwatersector en industrie en vormt daarbij ook medium waar extra waterberging in kan plaatsvinden.



Figuur 2.1 Schematische weergave van mogelijke toepassingen van restwater. Restwaterstromen, zoals afstromend hemelwater, rwzi-effluent of industrieel effluent kunnen direct, of indirect (na bijvoorbeeld berging in de ondergrond, extra zuivering of transport) worden toegepast voor bijvoorbeeld landbouw (beregening of sub-irrigatie), drinkwater of industrieel proceswater (STOWA, 2021).

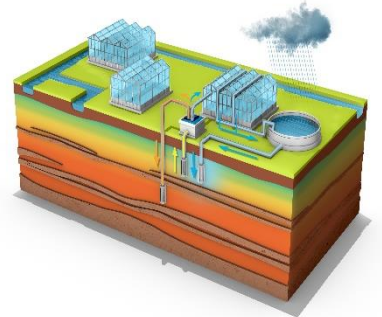
COASTAR-toepassingen zoals brakwaterwinning in de polders en het ontwikkelen van een waterbank in Westland kunnen dus bijdragen om de zoetwatervoorraad te vergroten, niet alleen ten behoeve van drinkwater. Hoeveel additioneel zoetwater precies kan worden bespaard, hangt af van locatie specifieke omstandigheden.

In deze studie zijn twee soorten COASTAR toepassingen beschouwd, namelijk:

1. Ondergrondse opslag van zoetwater via verticale ASR en
2. Brakwaterwinning.

2.2 Ondergrondse opslag van zoetwater via verticale ASR

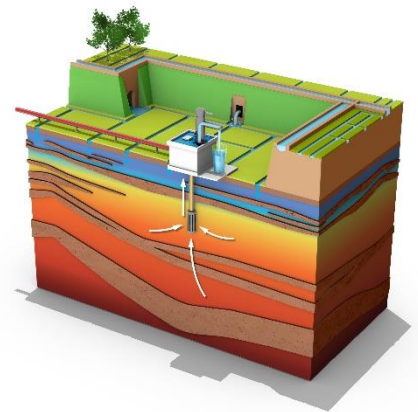
Met ASR wordt in deze context verticale ASR (aquifer storage and recovery) bedoeld: dit is een toegepaste techniek voor ondergrondse opslag van zoetwater door het injecteren van zoetwater tijdens periodes met een zoetwateroverschot via een verticale put en het onttrekken van het geïnjecteerde zoetwater in perioden met een zoetwatervraag via dezelfde put (Figuur 2.2). Deze vorm van ASR wordt in West-Nederland al veelvuldig toegepast. Zelfvoorziening in zoetwater is hierdoor het hele jaar door mogelijk. Voorbeelden hiervan zijn op Nieuw-Prinsenland (Dinteloord), waarbij afvalwater van de Suikerunie wordt hergebruikt als gietwater voor het nabijgelegen glastuinbouwgebied en in Waddinxveen waar hemelwater ondergronds wordt opgeslagen. Onder de juiste condities blijkt dit concept te realiseren, is het beheersbaar en tevens economisch rendabel.



Figuur 2.2 Voorbeeld van ondergrondse opslag van zoetwater

2.3 Brakwaterwinning

Brakwater kan een zeer geschikte bron van zoetwater zijn door de afwezigheid van antropogene verontreinigingen en beschikbaarheid van kosteneffectieve ontziltingstechnieken. Door het gewonnen brakwater te ontzilten via “reverse osmosis” (RO), oftewel omgekeerde osmose, vormt het een duurzame zoetwaterbron in de vorm van energieverbruik en reststromen (Figuur 2.3). Als brakwater op strategische locaties kan worden gewonnen kan daarnaast ondiep, zoet grondwater en oppervlaktewater goed tegen brak grondwater beschermd worden doordat zoute kwel wordt tegengegaan. Hierdoor zal de doorspoelbehoefte van het oppervlaktewatersysteem verminderen. Na eerdere pilots voor Vitens en Brabant Water wordt brakwaterwinning vanaf 2018 al grootschalig (2 miljoen m³ per jaar) toegepast op het winveld Noordburgum (Vitens). Meer informatie over strategische brakwaterwinning is te lezen in Stofberg et al. (2018).



Figuur 2.3 Schematische weergave brakwaterwinning

3 Waarom COASTAR

3.1 Algemeen

Het is al kort benoemd, maar de zoetwatervoorziening in Nederland, nu en in de toekomst, staat onder druk als gevolg van een toenemende verzilting en een kans op een droogte, met name in het binnenland (Philip et al., 2020). Met COASTAR onderzoeken we of de ondergrond gebruikt kan worden als oplossing voor deze problematiek waarbij ingezet wordt op het creëren van een robuuste zoetwatervoorziening en droogtebestrijding in de Nederlandse kustgebieden in aanvulling op de watervraag die vanuit het oppervlaktewater voorzien kan worden. Hierbij is het van belang dat wordt gekeken naar de huidige en toekomstige watervraag en wateraanbod en hoe we ervoor kunnen zorgen dat deze termen in balans zijn met elkaar. De watervraag representeert hoeveel oppervlaktewater moet worden aangevoerd om poldersloten, boezems en kanalen op peil te houden (watervraag voor peilbeheer), te voorzien in de potentiële beregeningsvraag en de waterkwaliteit in polders, boezems en kanalen op orde te houden (doorspoelvraag). Neerslag, verdamping, kwel, wegzijging en interne levering (horizontaal) zijn hierin al verdisconteerd. Een tekort betekent dat peilen uitzakken (met als gevolg veenaafbraak, bodemdaling), de waterkwaliteit achteruit gaat, en/of een tekort ontstaat voor beregening (met gewasopbrengstderving tot gevolg). Onder wateraanbod verstaan we de hoeveelheid water dat beschikbaar is vanuit het oppervlaktewater en/of andere bronnen waarmee men tegemoet probeert te komen aan de watervraag. Het verschil tussen watervraag en wateraanbod vanuit het oppervlaktewatersysteem bepaald het oppervlaktewatertekort.

In dit hoofdstuk beschrijven we de huidige knelpunten die spelen in de Nederlandse kustgebieden en identificeren we welke factoren hierbij van invloed zijn. Daarnaast maken we een uitstapje naar de toekomst en geven een schets van welke impact de veranderingen in het Nederlandse kustgebied hebben op o.a. de watervraag en het wateraanbod in de toekomst. Tegelijkertijd kijken we naar de vraag “Welke rol kan COASTAR spelen in deze (veranderende) zoetwatervraag en -aanbod?”.

3.2 Huidige knelpunten in de zoetwaterbeschikbaarheid

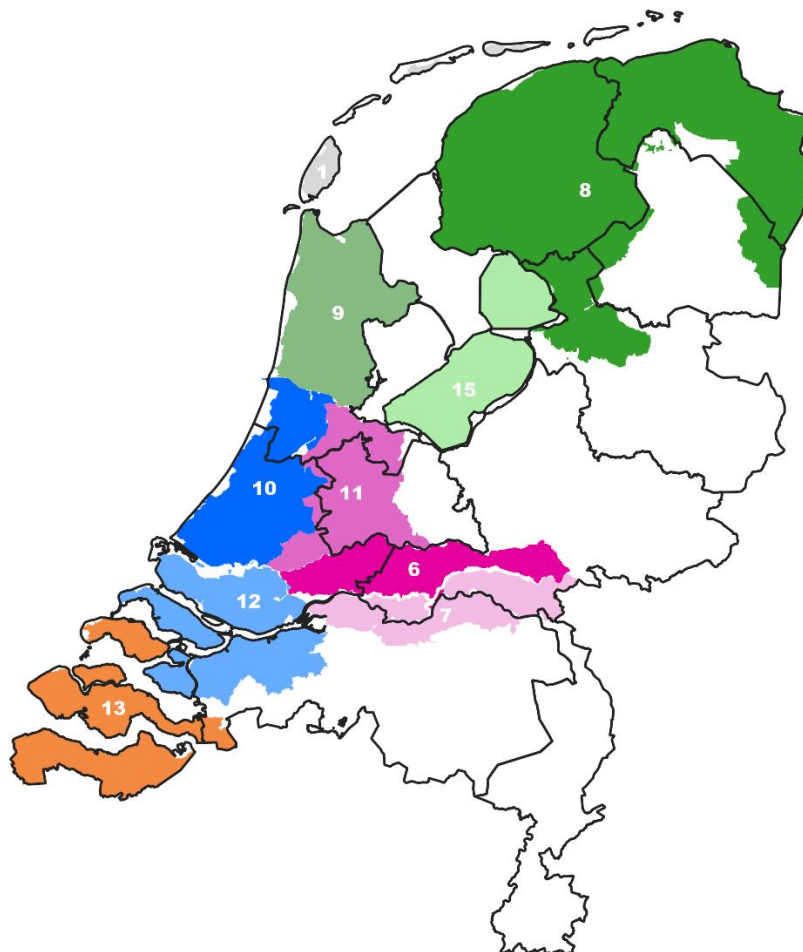
3.2.1 Algemeen

Een knelpunt ontstaat op het moment dat de watervraag groter is dan het wateraanbod in een bepaalde regio. Nederland is opgedeeld in 5 hoofdregio's ingedeeld naar voorzieningsgebied en in 17 deelregio's op basis van watersysteemkenmerken (Mens et al., 2019). Voor deze studie kijken we alleen naar de knelpunten in de hoofd- en deelregio's in het kustgebied (zie Figuur 3.1).

Knelpunten die in het Nederlandse kustgebied geïdentificeerd zijn per hoofdregio (met bijbehorende deelregio's; zie Figuur 3.1 in Mens et al. (2019)) betreft:

- I. Voorzieningsgebied IJsselmeer (9.Noord-Holland Noord, 15.IJsselmeerpolders, 8.Fries-Gronings kustgebied) :
 - a. Neerslagtekort
 - b. Peil IJsselmeer
- II. Voorzieningsgebied Benedenrivieren (10.Midden-West Nederland (extern verzilt), 12.Zuid-West Nederland (met aanvoer)):
 - a. Neerslagtekort
 - b. Verzilting
- III. Voorzieningsgebied Bovenrivieren (11.Midden-West Nederland (niet extern verzilt), 6.Rivierengebied – Noord, 7.Rivierengebied – Zuid):

- a. Neerslagtekort
 - b. Afvoer
- IV. Voorzieningsgebied Zuid-Westelijke Delta (13.Zuid Westelijk estuariumgebied (zonder aanvoer)):
- a. Verzilting
 - b. Geen aanvoer



Figuur 3.1 Een selectie van de regio's relevant voor deze studie die zijn ingedeeld op basis van watersysteemkenmerken ten behoeve van de knelpuntenanalyse (Mens et al., 2019). 1=Waddeneilanden, 6=Rivierengebied – Noord, 7=Rivierengebied – Zuid, 8=Fries-Gronings kustgebied, 9=Noord-Holland Noord, 10=Midden-West Nederland (extern verzilt), 11=Midden-West Nederland (niet extern verzilt), 12=Zuid-West Nederland (met aanvoer), 13=Zuid Westelijk estuariumgebied (zonder aanvoer) en 15=IJsselmeerpolders (op basis van Figuur 2.1 in Mens et al. (2019)).

De disbalans in watervraag en aanbod wordt vaak veroorzaakt door een combinatie van deze knelpunten:

- *Verzilting van grond- en oppervlaktewater* als gevolg van zoutinrusie door zeespiegelstijging en interne verzilting als gevolg van brakke/zoute wellen (knelpunt IIb en IVa), wat o.a. zorgt voor een toename in de doorspoelbehoefte;
- *Droogte* als gevolg van een gebrek aan neerslag (knelpunt Ia, IIa en IIIa), verminderde of geen rivieraanvoer (knelpunt IIIb en IVb) en toename in het totale debiet van grondwateronttrekkingen;
- *Uitputting/overvraging van watervoorraden* door een gebrek aan aanvoer vanaf de rivieren of vanuit het IJsselmeer (knelpunt Ib).

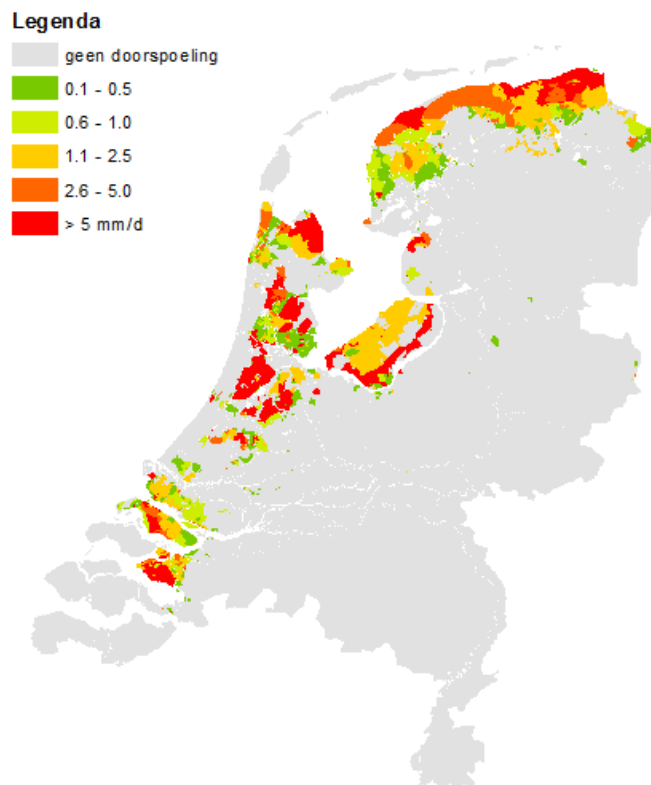
Daarnaast speelt in verschillende gebieden ook bodemdaling (Stouthamer et al., 2020). Dit is het gevolg van o.a. grondwaterstands daling door een toename in het totale debiet van grondwateronttrekkingen, een toenemende verdamping en daaraan gerelateerde interne verzilting. De huidige bodemdalingstrend kan vertraagd of gestopt worden door te zoeken naar oplossingen die 1) de grondwaterstand niet verder laat dalen of zelfs laat stijgen en 2) de interne verzilting tegengaan. Doordat extra bodemdaling voorkomen moet proberen te worden, lichten we deze verder toe in dit hoofdstuk.

In de volgende paragrafen lichten we de oorzaken die ten grondslag liggen aan de knelpunten één voor één toe.

3.2.2 Verzilting van grond- en oppervlaktewater

Oppervlaktewater

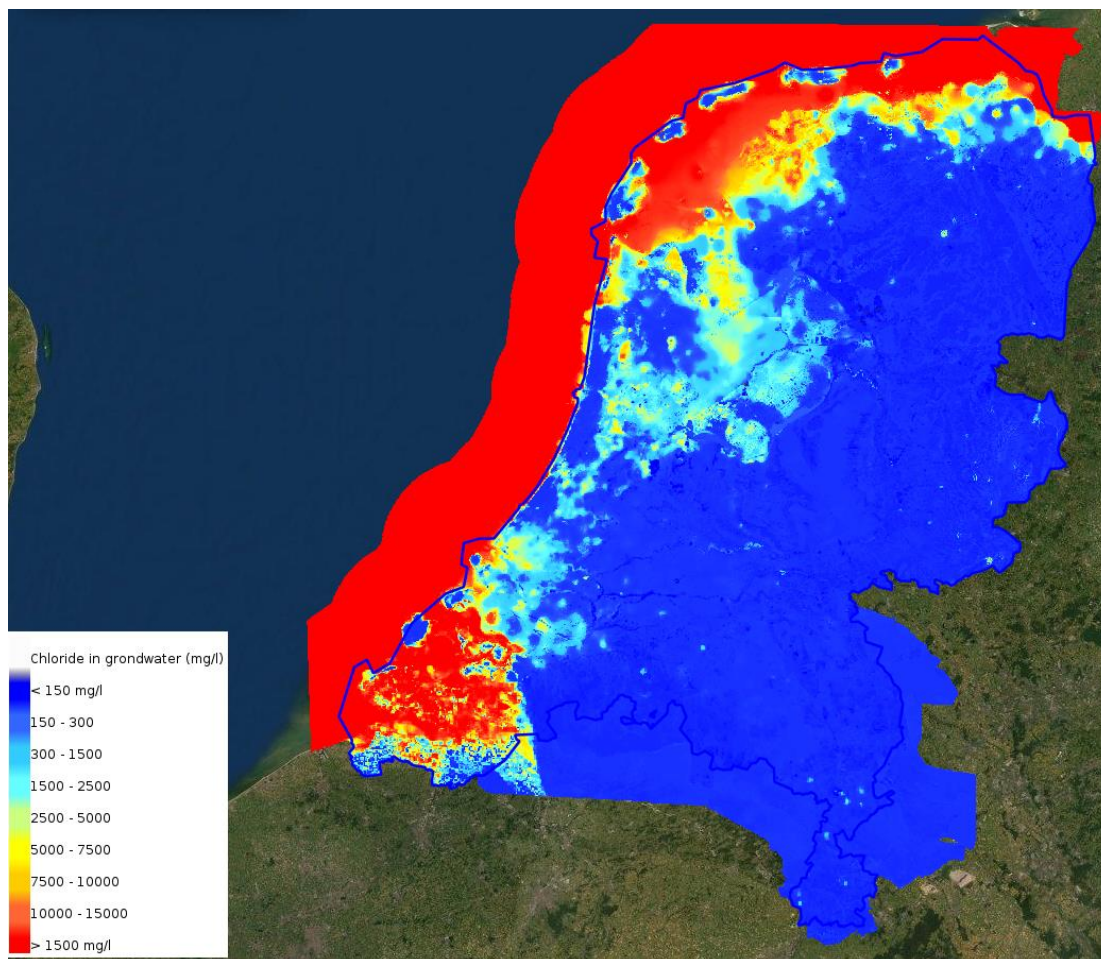
In laag Nederland worden verschillende polders doorgespoeld om zoute kwel te verdunnen en zo o.a. zoetwaterafhankelijke landbouw mogelijk te maken (Delsman en Kramer, 2017). Daarnaast is het ook van belang voor het stedelijke gebied dat de waterkwaliteit op orde blijft, zodat er ook hier gebruik gemaakt kan worden van het oppervlaktewater voor bijvoorbeeld de beregening van beplanting (Klimaat-effectatlas, 2020). Het huidige doorspoeldebiet van verschillende polders is recent onderzocht. De gebieden die op basis van een theoretische doorspoelbehoefte doorgespoeld zouden kunnen worden om verzilting tegen te gaan zijn getoond in Figuur 3.2 (Delsman en Kramer, 2017). De rood gekleurde gebieden hebben potentieel de grootste doorspoelbehoefte (> 5 mm/dag) om een chlorideconcentratie van 250 mg/l of minder te kunnen bereiken, dit komt o.a. voor in de Haarlemmermeerpolder en langs de randmeren van de Flevopolder.



Figuur 3.2 Berekende theoretische doorspoelbehoefte om een streefconcentratie van 250 mg/l in het polderwater te bereiken (Klijn et al., 2012; Delsman en Kramer, 2017)

Grondwater

Naast het oppervlaktewater speelt verzilting van het grondwater ook een belangrijke rol in de Nederlandse kustgebieden. Door Delsman et al. (2020) is op basis van alle beschikbare chloride-concentratiegegevens een vernieuwde NHI zoet-zout schematisering opgesteld. Waarbij de mediane waarde van chloride concentratie van het ondiepe grondwater in grote delen van de kustregio's meer dan 1500 mg/l bedraagt (zie Figuur 3.3). Dit voorkomen geeft een eerste indicatie voor waar de toepassing brakwaterwinning tot de mogelijkheden behoort om tegemoet te komen aan de zoetwatervraag in de Nederlandse kustgebieden en tevens de verzilting van het grondwater als gevolg van zowel interne als externe verzilting (als gevolg van zeespiegelstijging) kan tegen gaan (zie ook paragraaf 3.3.3 voor de verwachte toekomstige verzilting van het grondwater).

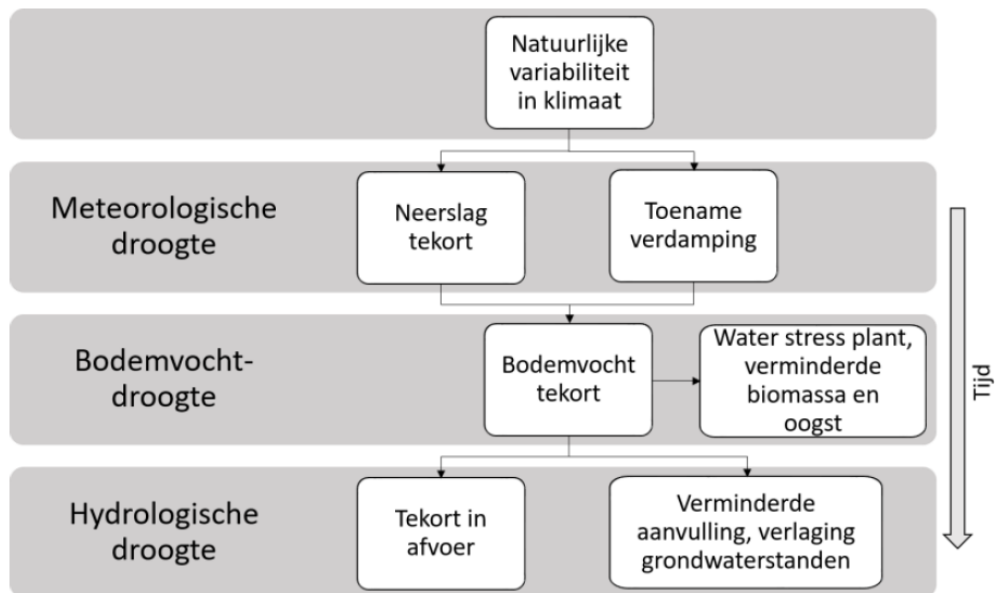


Figuur 3.3 Schematisering van de mediane waarde van de chloride concentratie in het grondwater (mg/l) in het ondiepe grondwater (Delsman et al., 2020).

3.2.3 Droogte en wateroverlast

Droogte

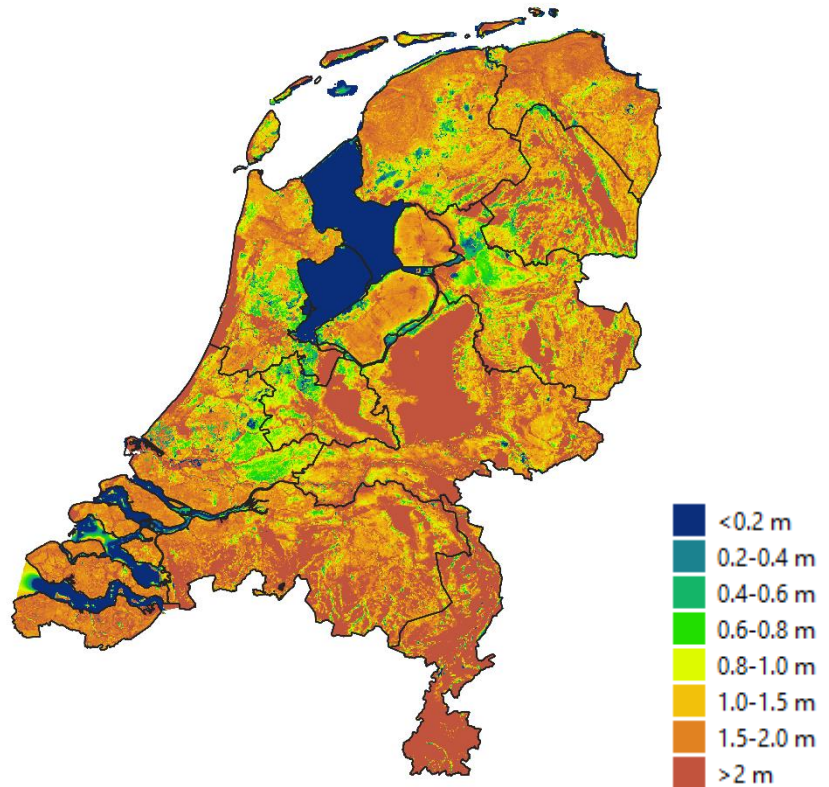
Onder droogte verstaan we een uitzonderlijk droge lang aanhoudende periode waardoor een evenwichtsstoornis ontstaat in de hydrologie van een gebied. Onder droogte worden drie categorieën onderscheiden: meteorologische droogte, bodemvocht droogte en hydrologische droogte (zie Figuur 3.4; Eertwegh et al., 2019).



Figuur 3.4 Schematisch overzicht van de voortplanting van droogte door de verschillende droogtecompartimenten. Bron: Eertwegh et al. (2019) - Figuur ontleend aan Stahl (2001) en Van Loon et al. (2012).

Net als bij wateroverlast kan ook droogte voor schade zorgen aan bijvoorbeeld gewassen, maar ook aan huizen als gevolg van bodemdaling door veenoxidatie. Tevens kan een periode van droogte onomkeerbare schade aanbrengen aan natuur.

De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) kan gebruikt worden om de gebieden te identificeren die gevoelig zijn voor een hydrologische droogte. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met de situatie dat de gevoeligheid van een gebied voor droogte niet altijd op te maken is uit de GLG. Het type ondergrond en het landgebruik spelen een belangrijke rol in de mate van gevoeligheid. Figuur 3.5 laat de GLG zien welke bepaald is over de periode april 1998 t/m april 2006.



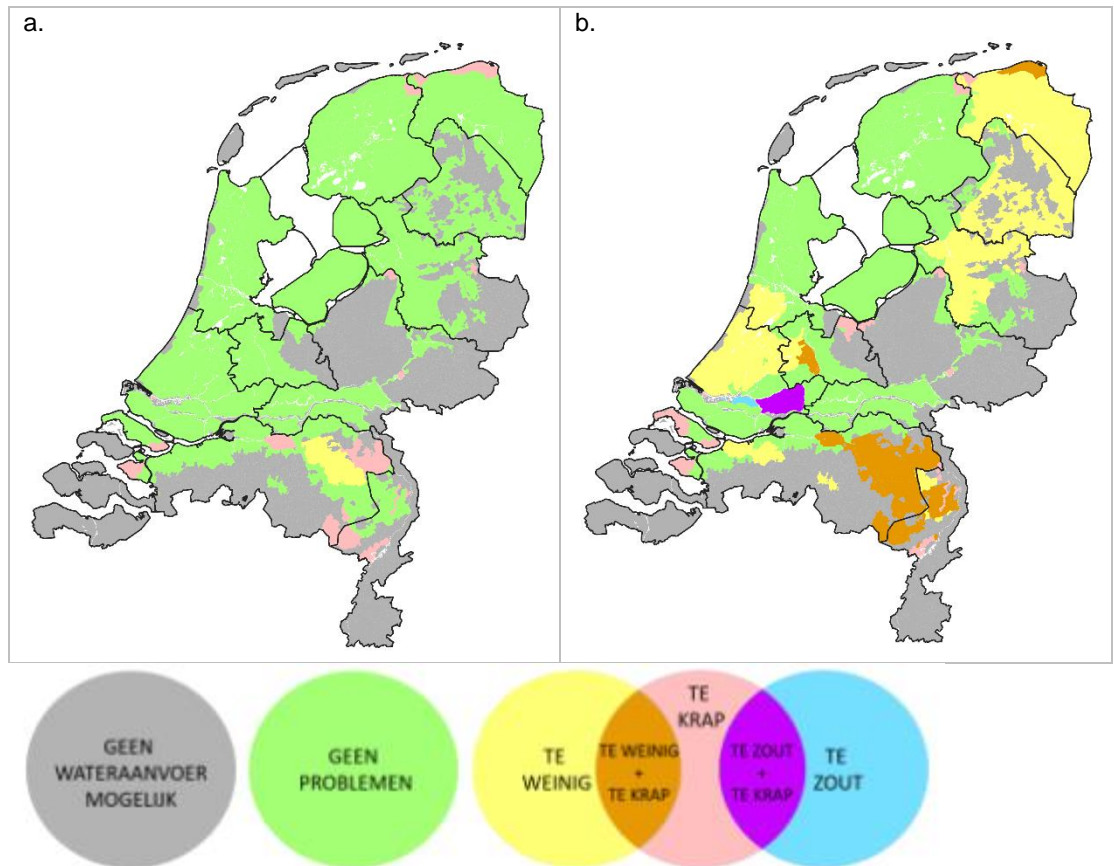
Figuur 3.5 GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) t.o.v. maaiveld gebaseerd op LHM 4.0 en bepaald over de periode april 1998- april 2006.

Vooraf gebieden die afhankelijk zijn van neerslag komen in de problemen met hun watervoorziening bij droogte. Dit betreft o.a. de hoge zandgronden (zoals de kustduinen) waar tijdens droogte beekpeilen zakken of waar beken zelfs volledig droogvallen en waar beregning vanuit oppervlaktewater en grondwater noodzakelijk is om gewasschade te beperken met als gevolg dat de oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand verder dalen en daarmee het verschil tussen watervraag en -aanbod verder toeneemt. Toch zakt bij droogte de grondwaterstand ook in gebieden waar wel wateraanvoer via het oppervlaktewater (middels bijvoorbeeld actief peilbeheer) plaatsvindt, doordat rivierpeilen zakken en neerslag voornamelijk valt in de vorm van piekbuien wat onvoldoende het grondwater kan aanvullen (Eertwegh et al., 2019). Ook zijn er gebieden waar variatie in grondwaterstanden door het jaar heen niet gewenst is. Dit is bijvoorbeeld het geval in de veenweide gebieden. Een daling van de grondwaterstand veroorzaakt extra veenoxidatie, CO₂ uitstaat en bodemdaling (zie ook paragraaf 3.2.4). Een klein verschil tussen GHG en GLG kan dit al veroorzaken ondanks dat het gebied ogenschijnlijk nat lijkt door de relatief ondiepe grondwaterstanden in zowel de zomer als de winter (Klimaat-effectatlas, 2020). Door droogte zou de verzilting in de kustgebieden mogelijk toe kunnen nemen doordat er (oud) zout/brak grondwater door verminderde tegendruk omhoog kan komen.

Figuur 3.6 laat de gevoeligheid zien van de verschillende regio's voor tekorten in het oppervlaktewater. Deze kaart is gemaakt op basis van de referentie situatie berekend met het Nationaal Water Model (NWM) voor een gemiddeld droog jaar en een extreem droog jaar. In dit model wordt de waterverdeling vanuit het hoofwatersysteem bepaald voor 3 hoofddoelen: peilbeheer, doorspoelen (zie ook paragraaf 3.2.2) en gebruik voor verschillende sectoren en gebruikers (voornamelijk beregning). Tekorten kunnen ontstaan indien onvoldoende oppervlaktewater beschikbaar is om aan de totale watervraag te voldoen in een regio, na voorziening vanuit neerslag, kwel en interne uitwisseling van oppervlaktewater. We onderscheiden hierbij 3 typen tekorten:

- te weinig, waarbij onvoldoende water beschikbaar is vanuit het hoofdwatersysteem;
- te zout, waarbij de waterkwaliteit onvoldoende is in het hoofdwatersysteem;
- te krap, waarbij onvoldoende capaciteit beschikbaar is van het regionale inlaatwerk of doorvoersysteem (zoals boezems, sloten en vaarten).

Het kan zijn dat meerdere typen tekorten vóórkomen in één regio, deze zijn aangegeven met een aparte kleur (Klimaat-effectatlas, 2020).

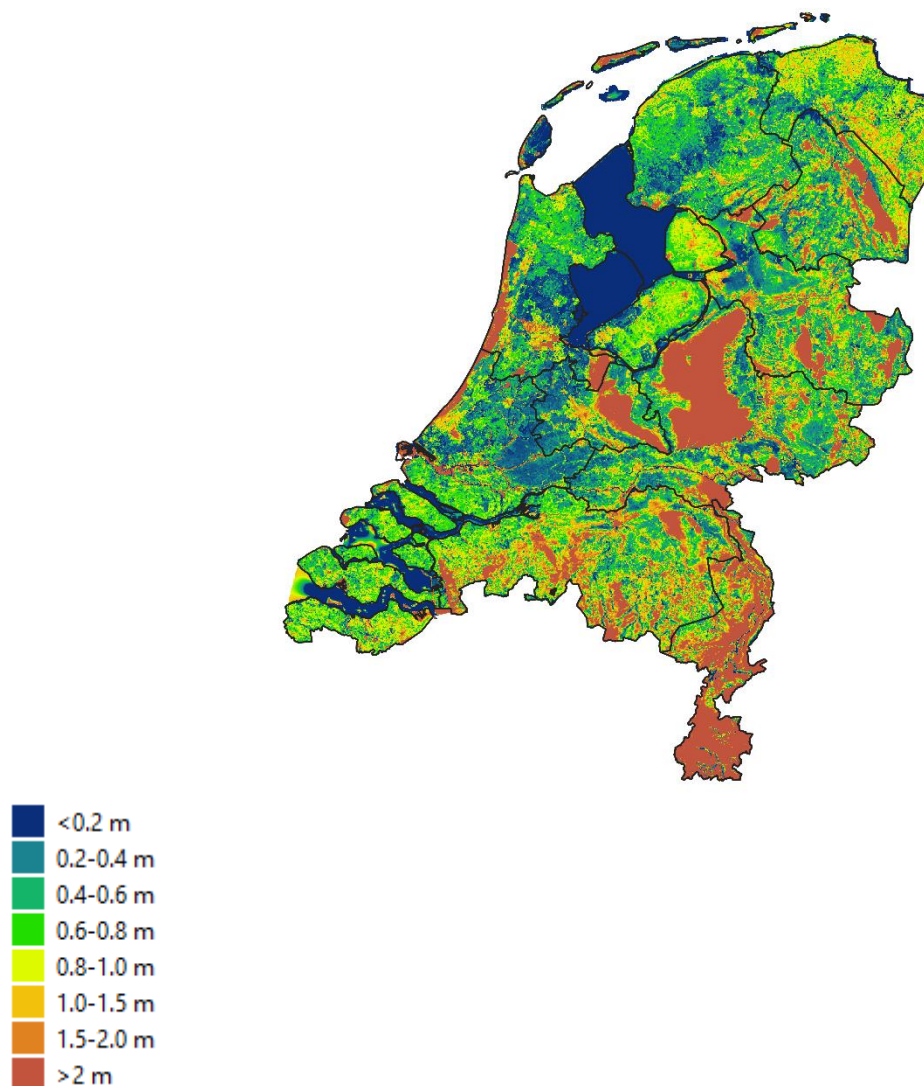


Figuur 3.6 Verwachte tekort oppervlaktewater per district voor (a) een gemiddeld droog jaar en (b) een extreem droog jaar onder de huidige klimatologische omstandigheden (referentiescenario) berekend met het NWM (Klimaat-effectatlas, 2020 i.s.m. Deltares).

Tijdens een gemiddeld droge zomer (Figuur 3.6a) zijn er, naast enkele gebieden in zuidoost Nederland, maar enkele kleine gebieden in de Nederlandse kustprovincies waarvoor een “te krap” tekort is berekend: twee gebieden in het Noorden: rondom het Lauwersmeer (provincie Friesland en Groningen) en de Eemsmond (provincie Groningen) en twee gebieden in het Zuidwesten van Nederland, namelijk Tholen (provincie Zeeland) en het meest oostelijke deel van Goeree-Overflakkee (provincie Zuid-Holland) (Klimaat-effectatlas, 2020). Onder extreem droge omstandigheden ziet dit beeld er heel anders uit (Figuur 3.6b). Nu kleuren ook gebieden langs de Nederlandse kust geel en roze. Een aanzienlijk deel van Midden-West-Nederland ontvangt onder deze omstandigheden te weinig water en is er tussen Utrecht en Gouda zelfs onvoldoende capaciteit beschikbaar om het water dat er wel is te verdelen over het regionale oppervlaktewater systeem. In Groningen zien we hetzelfde gebeuren, maar dan met een “te weinig” en “te krap” tekort in de regio Eemsmond. Waarbij we in het gemiddeld droge scenario geen tekorten zagen ontstaan als gevolg van de waterkwaliteit, treden die tekorten nu wel op in de Lek (te zout) en alles benedenstrooms van Hagestein (te zout en te krap) (Klimaat-effectatlas, 2020).

Wateroverlast

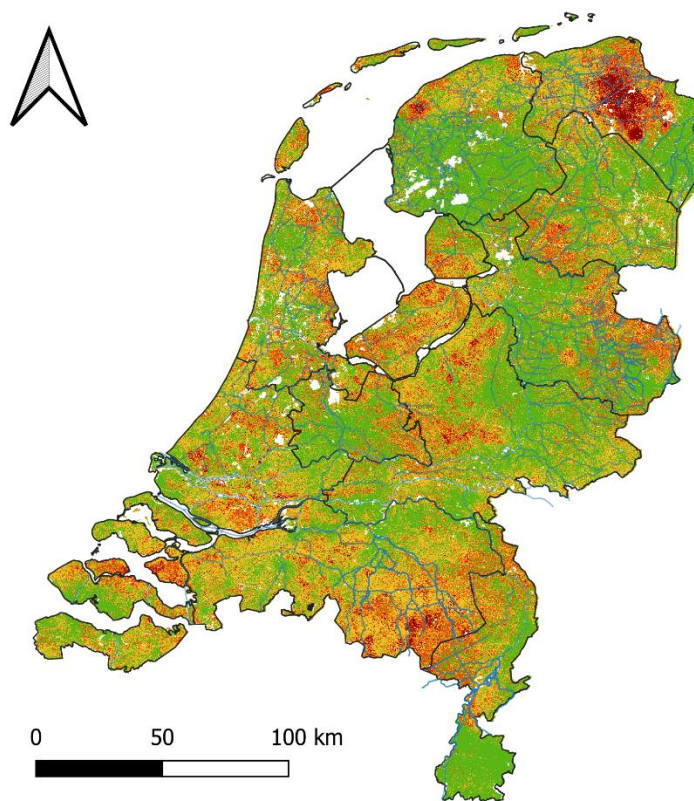
Wateroverlast kan vóórkomen door een combinatie van piekbuien en een toename in verhard oppervlak en kan voor schade zorgen aan landbouwgewassen en aan bebouwd terrein. Om wateroverlast te voorkomen wordt het overtollige water op veel plaatsen direct afgevoerd via riolering of via sloten en boezems. Figuur 3.7 laat de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) zien ten opzichte van maaiveld voor heel Nederland, bepaald over de periode april 1998 t/m april 2006. De GHG wordt doorgaans in de wintermaanden bereikt. Gebieden die gevoelig zijn voor wateroverlast zijn blauw/groen gekleurd wat betekent dat de grondwaterstand minder dan 60 cm onder maaiveld staat. Vooral gebieden met diepe polders en de veenweide gebieden zijn gevoelig voor wateroverlast door de ondiepe grondwaterstanden onder natte omstandigheden. Ondanks de veelal diepe grondwaterstanden in de stedelijke gebieden als gevolg van verhard oppervlak en drainage systemen, kunnen deze gebieden toch last krijgen van wateroverlast tijdens met name piekbuien als gevolg van dat het water niet snel genoeg kan worden afgevoerd via de straatriolering en/of de poldersystemen en gemalen het water onvoldoende kunnen verwerken waardoor sloten buiten hun oevers kunnen treden (Klimaat-effectatlas, 2020).



Figuur 3.7 GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) t.o.v. maaiveld gebaseerd op LHM 4.0 en bepaald over de periode april 1998- april 2006.

3.2.4 Bodemdaling

Het optreden van bodemdaling kan verschillende oorzaken hebben in Nederland, namelijk gaswinning en lage grondwaterstanden. In Midden-West Nederland zien we dat vooral lage grondwaterstanden en het ophogen van slappe grond van invloed zijn op de voorkomende bodemdaling. Zoals gezegd bij het knelpunt “droogte” treedt in het geval van lage grondwaterstanden veenoxidatie op doordat het veen niet meer volledig verzadigd is met water en daardoor in aanraking komt met zuurstof. Ook wordt het maaiveld regelmatig opgehoogd wat zorgt voor een extra belasting van de ondergrond wat resulteert in bodemdaling op met name slappe gronden. Slappe gronden komen voor in het grootste deel van het Nederlandse kustgebied en rondom de rivieren. Het actief onttrekken van grondwater kan het bodemdalingsproces versnellen (Klimaat-effectatlas, 2020). Figuur 3.8 geeft een indicatie van de bodemdaling die heeft plaatsgevonden in Nederland tot en met oktober 2018.



Bodemdaling

- Weinig daling
- Continue significante daling vanaf mei '15 to okt '18
- Significante daling (meer dan voorafgaande periode)
- Veel daling

Figuur 3.8 Indicatie van bodemdaling op basis van radar satelliet beelden over de periode oktober 2016 tot oktober 2018 (Klimaat-effectatlas, 2020 i.s.m. Deltares, TNO en WUR). De groene kleur laat weinig tot geen bodemdaling zien. De rode kleur geeft eenzelfde structurele significante bodemdaling weer (ongeveer 2 tot 6 mm per jaar) weer als de periode ervoor (mei '15 – mei '18). De oranje kleur geeft nieuwe gebieden die in de periode oktober 2016 tot 2018 significant zijn gedaald en erbij gekomen zijn door mogelijk de hete zomer 2018. De bruine gebieden laten veel daling zien (meer dan 6 mm).

In dit figuur is te zien dat een aanzienlijk deel van Nederland te maken heeft met significante bodemdaling. Wel moet worden opgemerkt dat deze kaart beperkt gevalideerd is en dat het aanbeveling verdient deze kaart te vergelijken met de gebiedservaringen in een bepaalde regio (Klimaat-effectatlas, 2020).

3.2.5 Uitputting/overvraging van oppervlaktewatervoorraden

Tijdens droge omstandigheden staan de huidige watervoorraden regelmatig onder druk. Voor bijvoorbeeld de regio West-Nederland is een deel voor het handhaven van een vast waterpeil afhankelijk van de buffer in de randmeren rondom de Flevopolder. Bij te lage aanvoeren door gebrek aan water in deze randmeren kan de veiligheid van de dijken in gevaar komen (HDSR, 2020).

In Nederland dient het IJsselmeer als één van de zoetwaterbuffer voor o.a. drinkwater en peilhandhaving. Bij droogte kan hier een knelpunt ontstaan doordat er meer water nodig is dan vanuit het IJsselmeer beschikbaar gesteld kan worden (20 cm buffer). Dit kan deels ondervangen worden door extra aanvoer vanuit de IJssel mogelijk te maken om de buffer te behouden en op de langere termijn te zorgen voor het vergroten van de 20 cm buffer naar 50 cm buffer in het gehele IJsselmeergebied (STOWA, 2014).

Deze maatregelen zijn goed voor het vergroten van de oppervlaktewaterbuffer in Nederland bij waterschaarste, maar leveren vaak onvoldoende op om de buffer in de ondergrond te behouden. Regionale maatregelen daarentegen kunnen wel helpen om de daling van de grondwaterstanden te beperken maar hebben weinig effect op de totale watervraag vanuit de regio's aan het hoofdwatersysteem (STOWA, 2014).

3.3 Toekomstige verandering in knelpunten

3.3.1 Algemeen

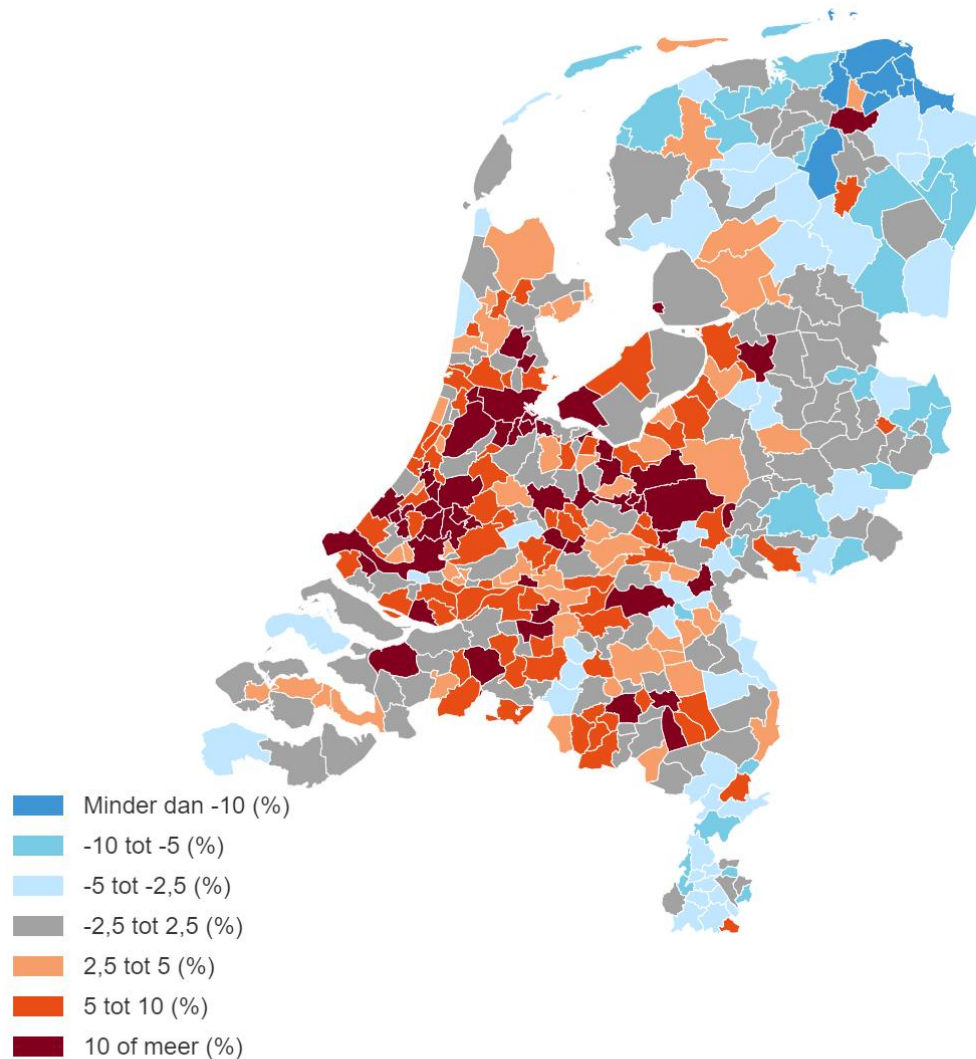
Er zijn verschillende factoren die van invloed zijn op hoe de knelpunten voor de zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland kunnen gaan veranderen in de (nabije) toekomst.

- De verwachte bevolkingsgroei en bijbehorende verstedelijking, met name in het Westen van Nederland, kan hier bovenop nog voor een extra stressfactor zorgen op de zoetwaterbeschikbaarheid. Waarbij veranderingen in landgebruik en economie een grote rol spelen;
- Daarnaast zullen de toenemende mate van interne verzilting van grond- en oppervlaktewater en de verwachte toename in bodemdaling extra druk geven op het systeem;
- Naast de invloed op de zeespiegelstijging, speelt de klimaatverandering een grote rol in het vóórkomen en de frequentie van oppervlaktewatertekorten als gevolg van o.a. veranderingen in landgebruik en economische veranderingen en is daarnaast ook van invloed op de drinkwaterkwaliteit.

In de volgende paragrafen lichten we deze factoren verder toe.

3.3.2 Bevolkingsgroei

Naast de impact die klimaatverandering heeft op de zoetwaterbeschikbaarheid en -kwaliteit, kan de toenemende bevolkingsgroei voor een extra stressfactor zorgen op de hoeveelheid beschikbaar zoetwater. Het CBS verwacht tussen 2018 en 2035 voor een groot deel van Nederland een toename in de bevolkingsgroei (zie Figuur 3.9). Hier splitsen we per (kust)provincie uit wat de verwacht bevolkingstoename zal zijn in de komende 15-20 jaar.



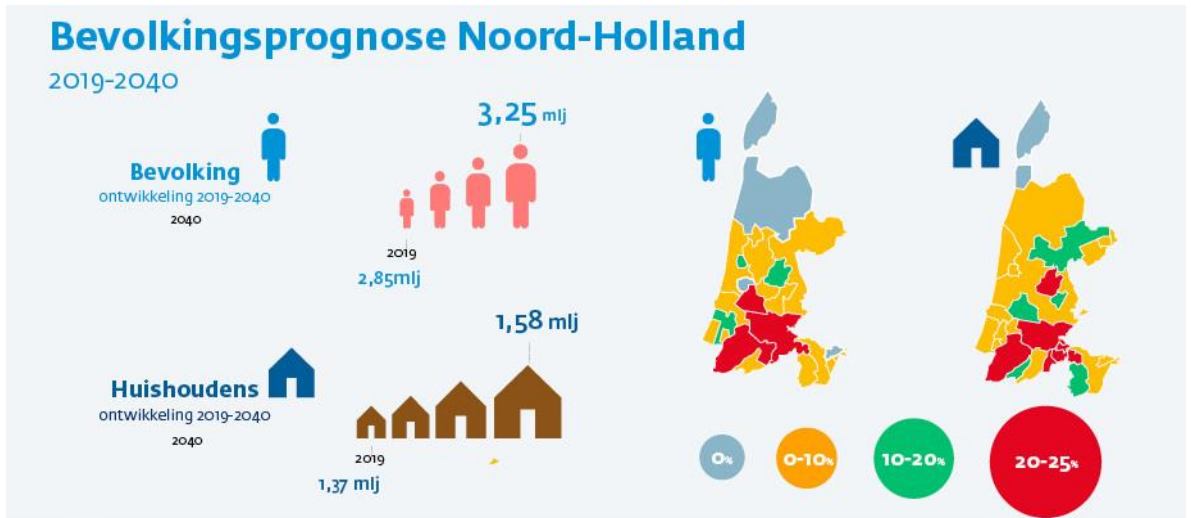
Figuur 3.9 Bevolkingsgroeioprognose tussen 2018 en 2035 (CBS, 2019)

Zuid-Holland

De provincie Zuid-Holland verwacht dat er tussen 2010 en 2030 ongeveer 230.000 nieuwe woningen nodig zullen zijn. Hiervan zijn er inmiddels 80.000 gebouwd. Daarnaast moeten er tussen 2030 en 2040 nog zo'n 60.000 extra woningen bijgebouwd worden. Dit komt dus op 290.000 woningen in de komende 20 jaar (Zuid-Holland, 2020). Daarnaast ligt de verwachte bevolkingsgroei rond de 0.4 miljoen (van 3.7 naar 4.1 miljoen) tot 2040 (CBS, 2020).

Noord-Holland

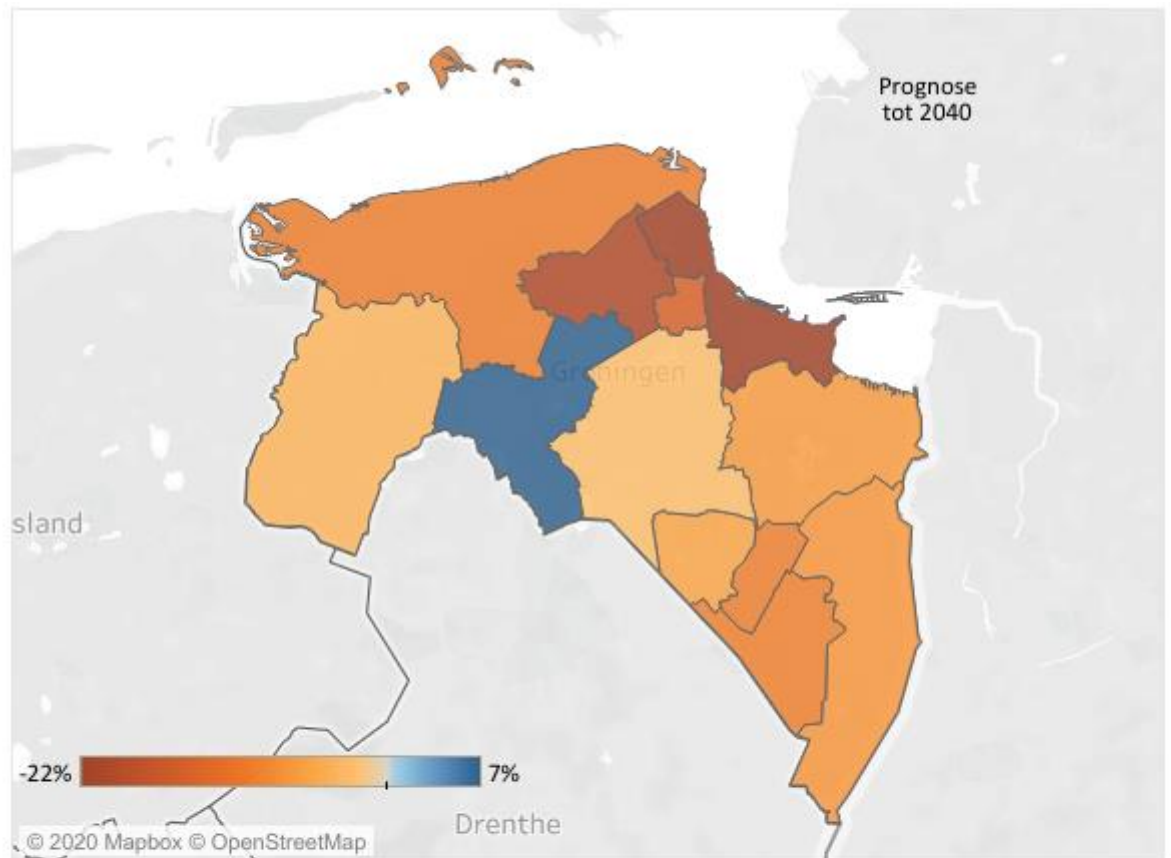
In de provincie Noord-Holland wordt ook een toename verwacht in het aantal huishoudens (van 1.37 miljoen naar 1.58 miljoen) en het aantal inwoners (van 2.85 miljoen naar 3.25 miljoen) tussen 2019 en 2040. Hierbij ligt het zwaartepunt van de groei op de grotere steden en in de Haarlemmermeerpolder met een verwachte groei van 20-25% ten opzichte van de situatie in 2019 (Noord-Holland, 2019). Dit is schematisch weergegeven in Figuur 3.10.



Figuur 3.10 Bevolkingsprognose provincie Noord-Holland

Groningen

De verwachte bevolkingsgroei in de provincie Groningen ligt hoofdzakelijk gecentreerd rondom Groningen stad met een verwacht groei van 10.2% tussen 2018 en 2035. In de rest van de provincie verwacht men juist een daling van de totale bevolking of dat het min of meer gelijk blijft aan de huidige situatie. Zie ook Figuur 3.9 (CBS, 2019) en Figuur 3.11. Over de hele provincie bezien wordt een afname van de totale bevolking verwacht van 2.1% tot en met 2040 en -4.7% tot en met 2050 (SPB Groningen, 2020).



	Groningen (PV)	Nederland
2030	-0.1%	3.8%
2040	-2.1%	6.0%
2050	-4.7%	6.6%

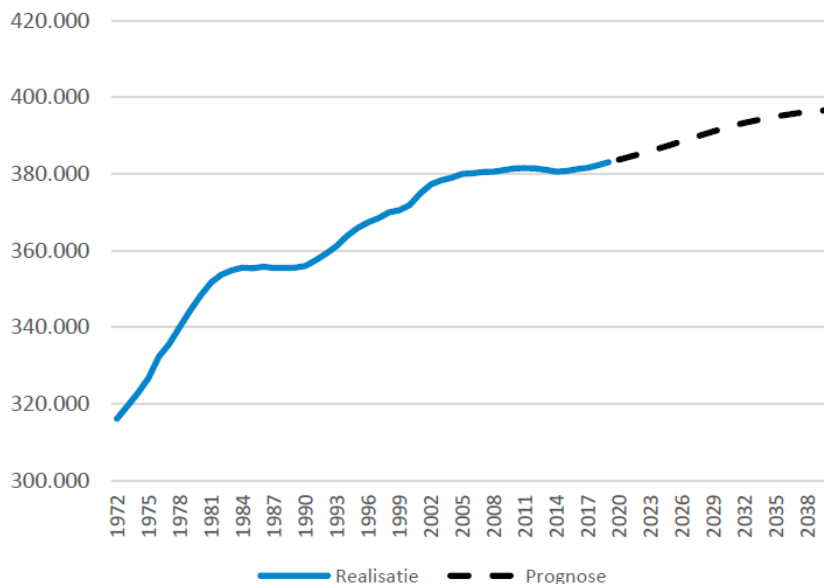
Figuur 3.11 Bevolkingsprognose in de provincie Groningen uitgesplitst per regio; verwachte bevolkingsgroei en krimp tot 2040 (SPB Groningen, 2020)

Friesland

Zoals te zien is in Figuur 3.9 wordt er een daling in de bevolkingsgroei verwacht in een groot deel van Friesland met uitzondering van de regio rondom Leeuwarden, waarbij een lichte groei van zo'n 4% wordt verwacht tot 2035. Het zwaartepunt komt hierbij wel in en rondom de stad Leeuwarden zelf te liggen (CBS, 2020).

Zeeland

In de provincie Zeeland wordt een lichte toename verwacht van het bevolkingsaantal tot iets minder dan 400.000 in 2040, zie Figuur 3.12. De ruimtelijke verdeling van deze lichte groei is te zien in Figuur 3.9. Wel zal de groei langzaam afnemen na 2026 (Zeeland, 2019).



Figuur 3.12 Bevolking provincie Zeeland 1972-2040 (Zeeland, 2019)

Flevoland

Voor de provincie Flevoland wordt ook een toename verwacht in het bevolkingsaantal, namelijk van 423.171 in 2020 tot 568.342 in 2050. Waarbij de verwachte jaarlijkse groei zal liggen tussen de 5100 en de 5625 inwoners. De woningvoorraad zal hiermee ook toenemen met een verwachte groei van 172.164 woningen in 2020 naar 252.105 woningen in 2050 (Flevoland, 2020). De regio Almere, Lelystad en Urk kunnen de grootste groei verwachten in deze provincie, zie Figuur 3.9.

Utrecht

De verwachte groei in de provincie Utrecht ligt op zo'n 220.000 tussen 2020 en 2040 (van 1.355.470 naar 1.577.510 in 2040). Ook in deze provincie zal het zwaartepunt meer komen te liggen op de (grotere) steden, zoals Utrecht en Woerden (Utrecht, 2020). Voor een ruimtelijke verdeling van deze verwachte groei zie Figuur 3.9.

Verandering in bevolkingsgroei en zoetwatervraag

Doordat in de meeste provincies het zwaartepunt van de bevolkingsgroei verder verschuift naar de (grote) steden en voornamelijk de randstad alleen maar drukker zal worden, verschuift ook het zwaartepunt van de zoetwatervoorziening. Men moet in deze gebieden extra rekening houden met een toenemende druk op de zoetwatervoorziening in de toekomst. Aan de hand van de in deze paragraaf beknopt uitgelegde groei of afname, kan een inschatting gemaakt worden van de verandering in de zoetwatervraag per gebied. Het is mogelijk dat er eerder een overvraging van de huidige watervoorraden zal plaatsvinden als gevolg van bevolkingsgroei en dat de druk op de huidige drinkwaterinfrastructuur meer moet focussen op de toenemende druk in de (grote) steden.

3.3.3 Verzilting van grond- en oppervlaktewater

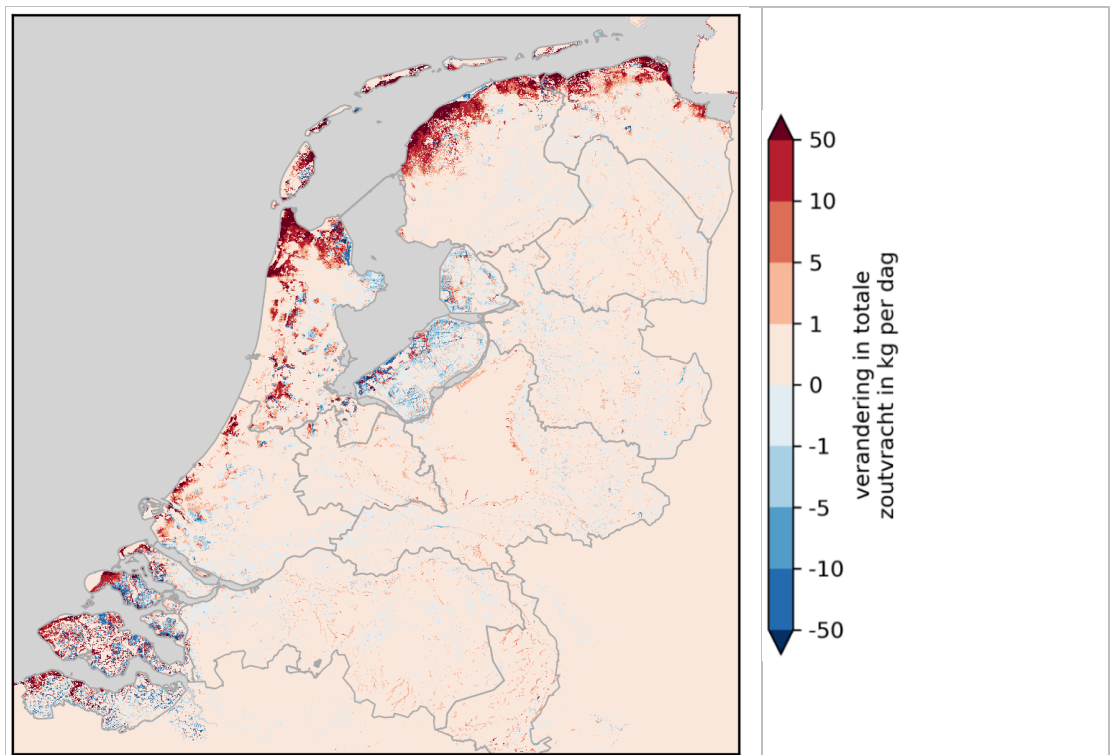
Oppervlaktewater

De mate van verzilting in het Nederlandse oppervlaktewater in de toekomst is afhankelijk van hoe de fluctuaties in rivierafvoeren eruit zullen komen te zien. Naar verwachting neemt de kans op lage afvoeren, met name in de zomer, toe in de komende decennia doordat het smeltwater afkomstig vanuit de Alpen in hoeveelheid zal afnemen en er een toename in droge perioden in het zomer halfjaar verwacht wordt.

Zoals geschetst in paragraaf 3.3.6 is de verwachting dat, als gevolg van klimaatverandering, meer regio's te maken zullen krijgen met de verzilting van het oppervlaktewater als gevolg van gebrek aan aanvoer via het hoofdwatersysteem door droogte en dat daarmee de doorspoelvraag vanuit de polder zal toenemen met zo'n 20% (berekend op basis van het Warm 2050 klimaatscenario) (Mens et al., 2019). Met name in de gebieden tussen Rotterdam, Dordrecht, Gouda en Utrecht (benedenstrooms van Hagestein) zal naar verwachting de verzilting toenemen (Klimaat-effectatlas, 2020).

Grondwater

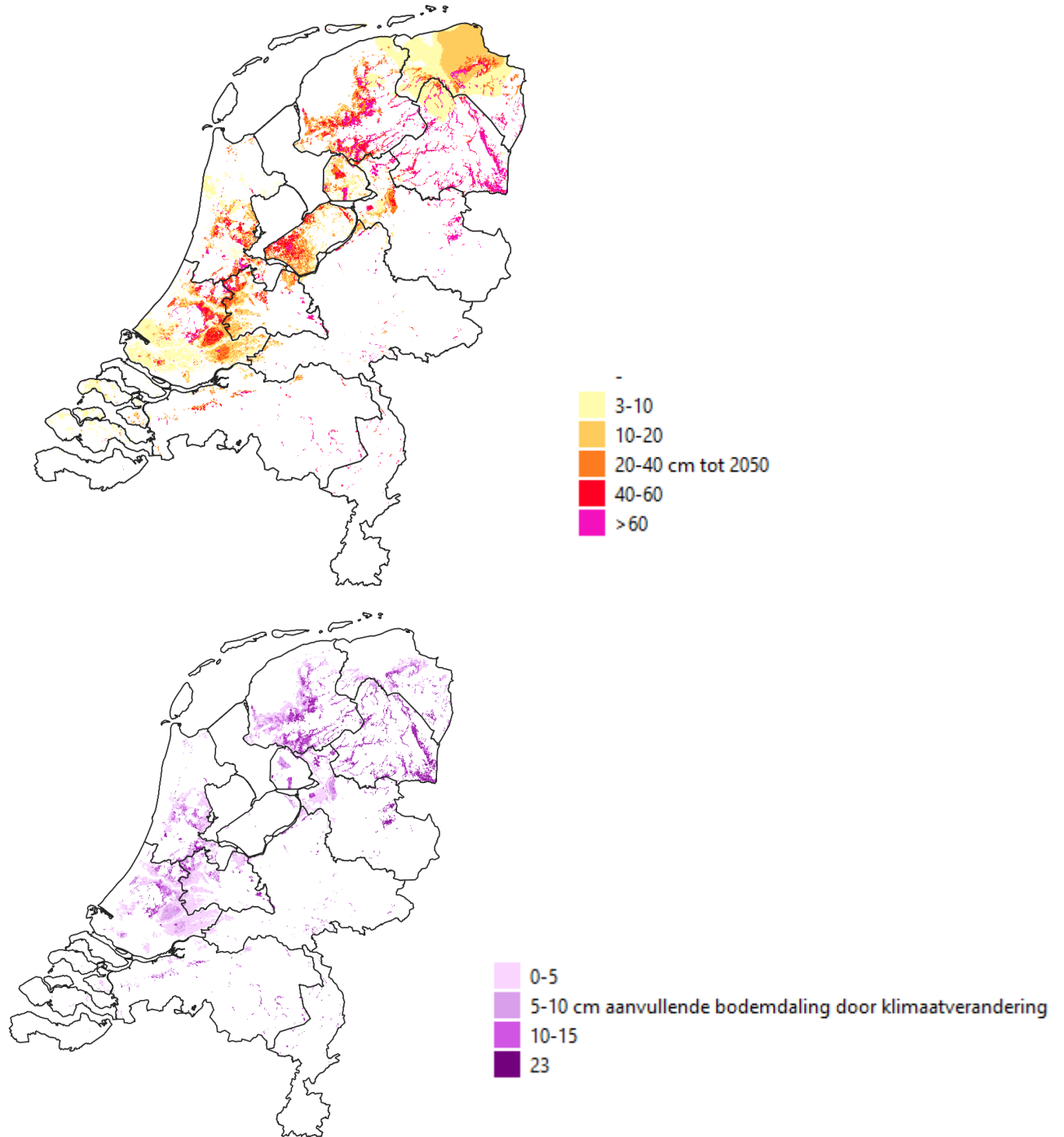
De Nederlandse Delta verkeert nog niet volledig in een dynamisch evenwicht wat betreft de verzilting van het grondwater. Doordat zouttransport in de ondergrond een langzaam proces is, zal ook in de komende decennia autonome verzilting plaatsvinden. De verplaatsing en verdeling van het zoute grondwater wordt daarbij beïnvloed door activiteiten in het landgebruik, welke in het verleden zijn gebeurd, zoals het droogleggen van meren, veenafgravingen, peilbeheer en bodemdaling (Oude Essink et al., 2010). In de zomer van 2020 is een de NHI zoet-zout verdeling geactualiseerd en zowel in 2D als in 3D beschikbaar gemaakt. Hierbij is ook onderzocht wat het mogelijke effect is van klimaatverandering op de verzilting in Nederland en wat de invloed is van de autonome verzilting. In het IJsselmeergebied is de verandering in autonome verzilting groot, wat mogelijk te verklaren is door wat er in het verleden gebeurt is in dit gebied. Daarnaast is het verschil berekend in totale zoutvrucht in 2100 tussen het WH klimaatscenario (inclusief socio-economische veranderingen) en het scenario "autonome ontwikkeling". Dit geeft een indicatie voor welk deel van de verzilting toe te schrijven is aan zeespiegelstijging als gevolg van de klimaatverandering. Een ruimtelijke verdeling van deze verandering in totale zoutvrucht is weergegeven in Figuur 3.13. De invloed van de zeespiegelstijging op de verzilting is zichtbaar langs de kust en met name in de kwelgebieden, waar een rode kleur de gebieden met een toename in zoutvrucht en dus verzilting laat zien (Delsman et al., 2020).



Figuur 3.13 Verskil in de totale zoutvrucht (diffuse kwel + wellen) in kg/ha per dag in 2100, tussen het modelscenario 'klimaatscenario' en 'autonome ontwikkeling' (Delsman et al., 2020).

3.3.4 Bodemdaling

In de komende decennia wordt extra bodemdaling verwacht ten opzichte van wat er al aan bodemdaling heeft plaatsgevonden over de afgelopen jaren (zie paragraaf 3.2.4). Figuur 3.14 (boven) laat de verwachte bodemdaling zien tussen 2016 en 2050 onder het huidige klimaat en indien er geen bodemdalingbeperkende maatregelen worden getroffen. Gebieden waarin de totale bodemdaling in deze periode minder is dan 3 cm, zijn niet weergegeven.



Figuur 3.14 Bodemdalingsprognose 2016-2050 voor de huidige situatie (boven) en de aanvullende bodemdaling (onder) die te verwachten is door klimaatverandering gebaseerd op het WH scenario (Klimaat-effectatlas, 2020 i.s.m. Deltares, TNO en WUR).

De prognose is gebaseerd op de resultaten van een bodemdalingsmodel waarbij de volgende processen zijn meegenomen:

- Bodemdaling door gaswinning;
- Bodemdaling door ontwatering van klei en veengronden, wat leidt tot:
 - Krimp (rijping) van ontwaterde klei- en veengrond en oxidatie van organische stof;
 - Compactie van de onderliggende bodem.
- Bodemdaling als gevolg van zoutwinning in Noordwest Nederland. Mogelijke effecten van de zoutwinning zijn beschreven door Pauw et al. (2012) en De Louw en Oude Essink (2006).

De bodemdaling als gevolg van gaswinning is o.a. terug te zien in de provincie Groningen, echter is hierbij in de berekening nog geen rekening gehouden met de versnelde afbouw van de gaswinning in deze regio en gaat nog uit van circa maximaal 15 cm aan geraamde bodemdaling door gaswinning. In de andere gebieden waar bodemdaling wordt verwacht, is de bodemdaling veelal het gevolg van ontwatering van klei- en veengebieden.

Daarnaast is op basis van het WH klimaatscenario een prognose gemaakt van de aanvullende bodemdaling als gevolg van klimaatverandering. Figuur 3.14 (onder) laat deze toename zien ten opzichte van het huidige klimaat indien geen maatregelen worden getroffen om de bodemdaling tegen te gaan. Vrijwel alle gebieden die gevoelig zijn voor bodemdaling zien we terug op deze kaart; de klei- en veengebieden (Klimaat-effectatlas, 2020).

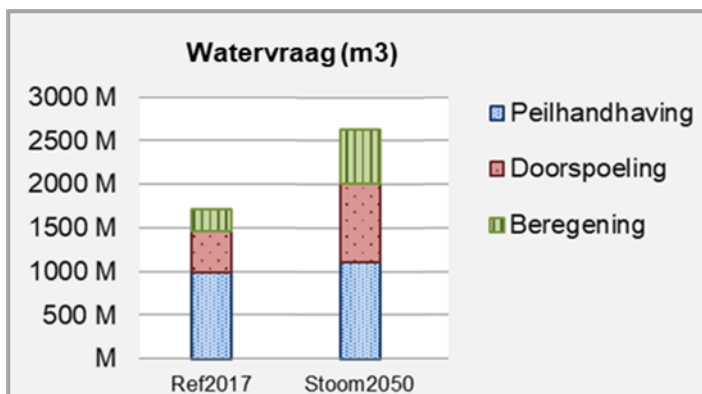
3.3.5 Verandering in de zoetwatervraag per hoofdregio

Al de genoemde veranderingen in voorgaande paragrafen leiden tot een toe- of afname in de zoetwatervraag. Per hoofdregio bekijken we deze verandering in watervraag voor het Stoom scenario ten opzichte van de referentie situatie.

3.3.5.1 Voorzieningsgebied IJsselmeer

De deelregio's in het IJsselmeergebied zijn alle voor de oppervlaktewaterlevering afhankelijk van het IJsselmeer en het Markermeer. De belangrijkste watervrager in het IJsselmeergebied wisselt per deelregio. In het Fries-Gronings kustgebied wordt het meeste water gevraagd voor het peilbeheer en daarna voor doorspoeling. In Noord-Holland Noord is het meeste water nodig voor doorspoeling, gevolgd door het peilbeheer. In de IJsselmeerpolders, daarentegen, is de grootste watervrager de beregening (Ter Maat et al., 2014).

Voor het gehele IJsselmeergebied (dit bevat ook de deelregio's rondom de IJssel en het Drents Plateau, welke voor deze studie verder buiten beschouwing worden gelaten) neemt de totale watervraag toe met 50% (Stoom scenario), wat neer komt op een toename van bijna 1000 miljoen m³ (van zo'n 1750 miljoen m³ naar ongeveer 2600 miljoen m³) in het zomer halfjaar. Hierbij neemt de watervraag voor doorspoeling en beregening uit oppervlaktewater het hardst toe (Mens et al., 2019). Zie ook Figuur 3.15.



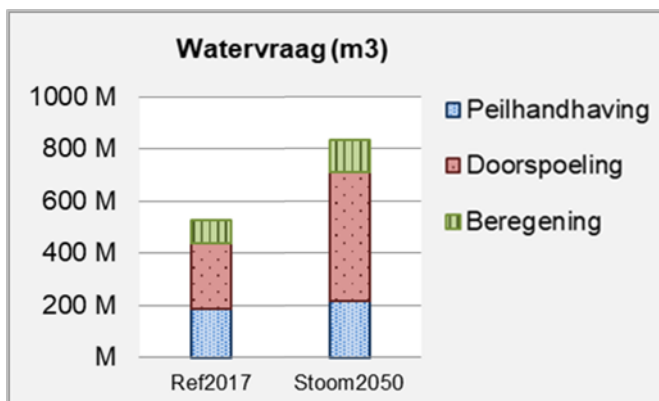
Figuur 3.15 Watervraag IJsselmeergebied in miljoen m³ in het zomerhalfjaar opgesplitst in watervraag voor het peilbeheer, doorspoeling en beregening uit het oppervlaktewater. De watervragen zijn weergegeven voor een situatie die eens in de 50 jaar voorkomt (1976) voor de referentie situatie en scenario Stoom voor het zichtjaar 2050 (Mens et al., 2019).

Daarnaast zal er tijdens perioden van droogte de grondwaterstanden verder uitzakken dan in het huidige klimaat het geval is, namelijk met 10-15 cm ten opzichte van de gemiddeld laagste grondwaterstanden die nu bereikt worden tijdens een droge periode. Ook zal de buffervoorraad van het IJsselmeer lang niet altijd meer toereikend genoeg zijn om in de watervraag te kunnen voorzien en zal er eerder gekort moeten worden op doorspoeling en beregening uit oppervlaktewater (Mens et al., 2019).

3.3.5.2 Voorzieningsgebied Benedenrivieren

Het voorzieningsgebied Benedenrivieren kan opgedeeld worden in twee deelregio's: 1) Midden-West Nederland (extern verzilt) wat grotendeels afhankelijk is van rivierwater voor de zoetwatervoorziening waarbij peilbeheer en doorspoeling de belangrijkste watervragers zijn en 2) Zuid-West Nederland (Zuid-Hollandse eilanden, West-Brabant, Tholen), waar doorspoeling de belangrijkste regionale watervraag is in het gebied en wat voor een groot deel afhankelijk is van het Hollandsch Diep, het Volkerak-Zoommeer en het Brielse Meer voor de oppervlaktewatervoorziening.

Door een verwachte toename in het beregende areaal in deze regio in het scenario Stoom met 18% en een toename in de beregeningsgift, als gevolg van een warmer klimaat, neemt de beregeningsvraag aan het grondwater toe met zo'n 25% bij een herhalingsstijd van 20 jaar en de vraag uit het oppervlaktewater verdubbelt zelfs (zie Figuur 3.16). Echter wordt voor deze regio niet de grootste verandering verwacht in de watervraag voor peilbeheer en beregening, maar in het benodigde water voor doorspoeling: 100% toename. De totale watervraag voor deze regio neemt toe met zo'n 240 miljoen m³ (van ongeveer 550 miljoen m³ naar ruim 800 miljoen m³) in het zomer halfjaar (Mens et al., 2019).



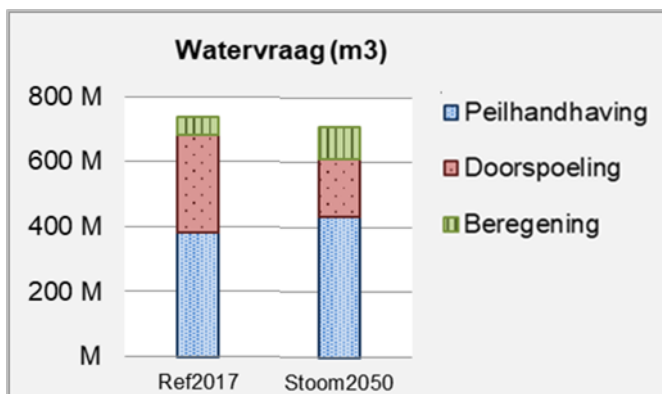
Figuur 3.16 Watervraag voorzieningsgebied Benedenrivieren in miljoen m³ in het zomerhalfjaar opgesplitst in watervraag voor het peilbeheer, doorspoeling en beregening uit het oppervlaktewater. De watervragen zijn weergegeven voor een situatie die eens in de 50 jaar voorkomt (1976) voor de referentie situatie en scenario Stoom voor het zichtjaar 2050 (Mens et al., 2019).

Daarnaast zal het vaker voorkomen, als gevolg van sterke klimaatverandering, dat we te maken krijgen met lage afvoeren (van eens in de 10 naar eens in de 2 jaar), waardoor de kans op externe verzilting toe zal nemen. Tegelijkertijd zal ook de duur toenemen dat een dergelijke verziltingsgebeurtenis, van weken naar maanden (Mens et al., 2019).

3.3.5.3 Voorzieningsgebied Bovenrivieren

Het voorzieningsgebied Bovenrivieren is opgedeeld in 3 deelregio's: Rivierengebied-Zuid, Rivierengebied-Noord en Midden West-Nederland (niet extern verzilt), waarbij we de laatste twee deelregio's voor een deel rekenen tot het Nederlandse kustgebied in deze studie. Deze regio's zijn van hun oppervlaktewater afhankelijk van wateraanvoer over de grote rivieren en hieraan gekoppelde kanalen. In Rivierengebied-Zuid en -Noord vindt geen doorspoeling plaats van het regionale oppervlaktewatersysteem. In Midden West-Nederland gebeurt dit wel, maar alleen in het boezemsysteem en niet in de peilgebieden.

De verwachting in het Stoom scenario is dat er een grote toename van de watervraag ten behoeve van het peilbeheer en beregening zal gaan plaatsvinden (zie Figuur 3.17). De eerst genoemde wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door klimatologische veranderingen (toename in verdamping en afname van de hoeveelheid neerslag), terwijl de beregeningsvraag veranderd door een toename in het potentieel beregend areaal. Ook de watervraag om in de doorspoelbehoefte te voorzien zal toenemen met 100%. De toename in de totale watervraag is echter niet terug te zien, omdat de doorspoelvraag voor de elektriciteitscentrale bij Utrecht (Amsterdam Rijnkanaal) afneemt door een toename in het rendement van de centrale en daarmee samenhangende verlaging van de hoeveelheid energie die verdwijnt met het koelwater, wat juist zorgt voor een afname in de totale watervraag in deze regio (Mens et al., 2019).



Figuur 3.17 Watervraag voorzieningsgebied Bovenrivieren in miljoen m³ in het zomerhalfjaar opgesplitst in watervraag voor het peilbeheer, doorspoeling en beregening uit het oppervlaktewater. De watervragen zijn weergegeven voor een situatie die eens in de 50 jaar voorkomt (1976) voor de referentie situatie en scenario Stoom voor het zichtjaar 2050 (Mens et al., 2019).

De veranderingen hebben ook impact op de grondwaterstand. Doordat er extra onttrokken zal worden ten behoeve van drinkwater, industrie en landbouw, zakken de zomergrondwaterstanden verder uit dan onder de huidige klimatologische omstandigheden het geval is. Deze daling geeft een extra risico op bodemdaling (Mens et al., 2019).

3.3.5.4 Voorzieningsgebied Zuid-Westelijke Delta

Voor deze regio is een andere aanpak gekozen om de watervraag in kaart te brengen binnen de knelpuntenanalyse (Mens et al., 2019), omdat het gebied geen wateraanvoer heeft en het gekenmerkt wordt door een veelal brak dan wel zout grondwatersysteem (Van Baaren et al., 2018). In de kleigronden kan een dunne regenwaterlens voorkomen bovenop het zoute grondwater en in de zandige kreekruggen zijn zoetwatervoorraden aanwezig van enkele tientallen meters diep. Beregening vanuit grondwater mag alleen plaatsvinden vanuit de zoetwatervoorraden onder de kreekruggen. Daarom is er voor de Deltascenario's niet gekeken naar de oppervlaktewatervraag maar naar de waterbalans en zoutbalans in de wortelzone (Mens et al., 2019).

De verwachting is dat bij een sterke klimaatverandering (Stoom scenario) het totale beregeningsareaal in de Zuid-Westelijke Delta zal verdubbelen. Daarnaast zal ook de beregeningsfrequentie veranderen als gevolg van een toename in het aantal droge periode en de duur van een droge periode. Dit vertaalt zich door in een verdriedubbeling van de watervraag voor beregening vanuit het grondwater (van ruim 12 miljoen m³ naar zo'n 28 miljoen m³), wat te verklaren is doordat in het huidige klimaat (de referentie situatie) in de meest droge omstandigheden (herhalingstijd van eens in de 50 jaar) er al maximaal beregend wordt. Voor beregening vanuit oppervlaktewater zal naar verwachting een vergelijkbare toename optreden (Mens et al., 2019).

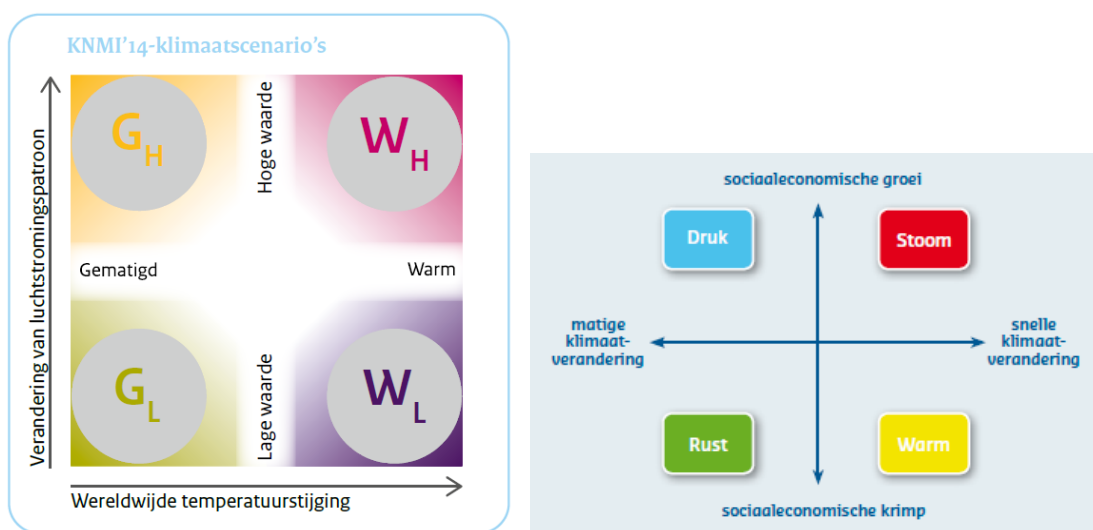
Als gevolg van de verwachte sociaaleconomische en klimatologische veranderingen, in het extreemste scenario, en de hieraan gerelateerde verwachte toename in de watervraag, zorgen ervoor dat de (interne en externe) verzilting in de toekomst verder zal toenemen en de watervoorraden onder kreekruggen zullen afnemen. De huidige knelpunten zullen dus verergeren (Mens et al., 2019).

3.3.6 Klimaatverandering

Aansluitend bij de uitkomsten van de beleidstafel Droogte gepresenteerd aan de Tweede Kamer eind 2019, kunnen we in de komende jaren en decennia een toenemende druk verwachten op de drinkwatervoorziening en de drinkwaterbronnen als gevolg van klimaatverandering en daarbij horende toenemende watervraag en afname van de

waterkwaliteit (Van Nieuwenhuizen, 2019). Vooral in perioden met droogte kan op de knelpunten een zoetwatertekort ontstaan, doordat bij lage afvoeren de verdunning van (punt)lozingen door o.a. RWZI's en AWZI's afneemt met een hogere concentratie van de geloosde stoffen tot gevolg en een afnemende waterkwaliteit (Sjerps en Zwolsman, 2016). Niet alleen in droge perioden kunnen problemen ontstaan met de waterkwaliteit, ook bij extreme afvoer als gevolg van piekbuien in Nederland of bovenstreams, kan zorgen voor extra emissies zorgen. Hierbij is het mogelijk dat via afspoeling de geloosde stoffen het oppervlaktewater bereiken zonder dat het door een RWZI is heen geloodst (Brunsch et al., 2018; Clevers et al., 2019). Zoals genoemd in paragraaf 3.2.3 is de verwachting dat we steeds vaker te maken zullen krijgen met piekbuien waarmee het risico op een verslechterde waterkwaliteit zal toenemen indien er geen maatregelen worden genomen.

Naast de invloed op emissies door lage afvoeren, heeft klimaatverandering ook invloed op het vóórkomen van tekorten van beschikbaar oppervlaktewater ten behoeve van peilbeheer, doorspoeling en beregening.



Figuur 3.18 Links: KNMI '14 scenario's (KNMI, 2015), rechts: Deltascenario's (Wolters et al., 2018)

Voor de Deltascenario's zijn met het NWM verschillende scenario's doorgerekend waarbij een combinatie is gemaakt tussen klimatologische en sociaaleconomische veranderingen. Om inzicht te krijgen in hoe de watervraag in de toekomst kan gaan veranderen als gevolg van de genoemde factoren (temperatuurstijging, landgebruiksveranderingen en economische veranderingen) kijken we in deze studie naar het referentiescenario (zonder veranderingen) en het Stoom scenario (W_H klimaatscenario met sociaaleconomische groei, zie ook Figuur 3.18). Alle verwachte veranderingen (sociaaleconomisch en klimatologisch) die meegenomen zijn in het Stoom scenario ten opzichte van de referentiesituatie zijn samengevat in Box 3.1.

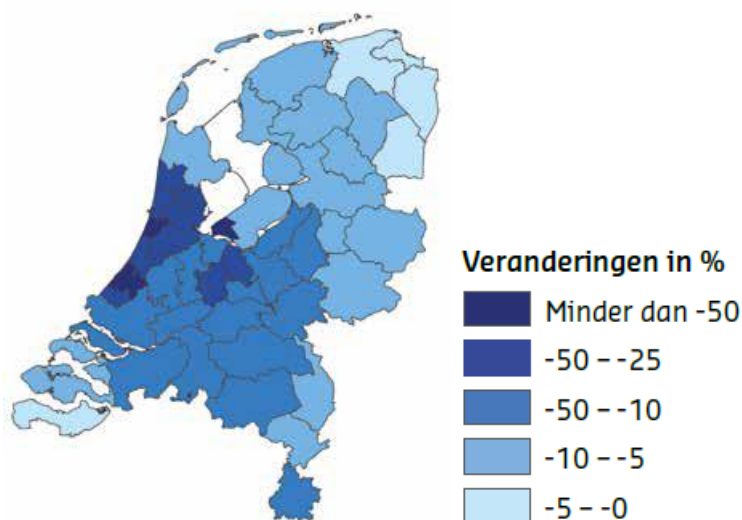
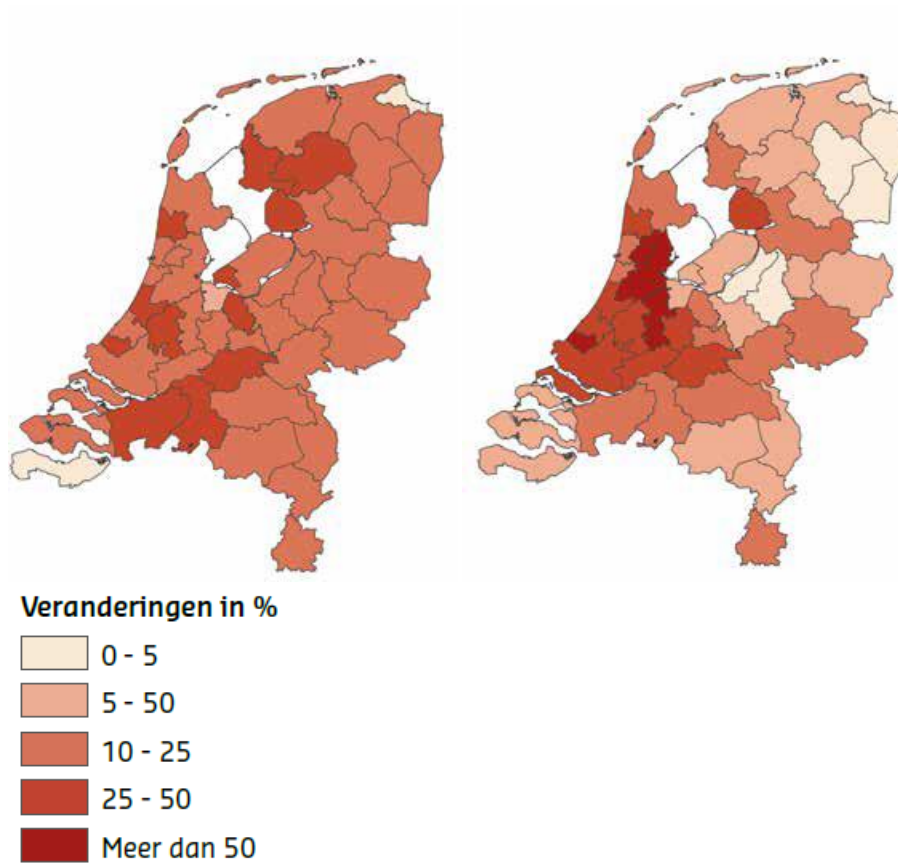
Box 3.1 Samenvatting van de verwachte veranderingen in het klimaat (bij inzet W_H klimaatscenario) en sociaaleconomische groei (Stoom scenario) ten opzichte van de referentie periode, voor het zichtjaar 2050 (KNMI, 2015; Wolters et al., 2018).

Sociaaleconomische veranderingen: <ul style="list-style-type: none"> • Sterke, verspreide verstedelijking in lage dichtheden met name in de Randstad met weinig ruimte voor groen; • Meer intensivering en schaalvergroting van landbouw, meer focus op kostenreductie via schaalvergroting. Areaal neemt sterk af, met 11%. Potentieel beregend areaal neemt sterk toe, met 55%; • Natuurareaal neemt toe met 13%, recreatief gebruik is daarin belangrijk; • Meer en grootschaliger binnenscheepvaart; • Toename vervoer over water geremd door klimaatverandering; • Snelle transitie naar hernieuwbare bronnen voor elektriciteitsproductie; • Voor overige energievoorziening slechts beperkte energietransitie en langdurige afhankelijkheid van fossiele brandstoffen; • Sterke stijging van vraag naar drink- en proceswater; • Veel grotere opgaven voor waterveiligheid; • Veel grotere opgaven voor zoetwatervoorziening; • Rivierafvoeren variëren veel meer dan in de Referentie2017. 	Klimatologische veranderingen		W_H	
	Winter	Neerslag	+17.0%	
		Gemiddelde temperatuur (°C)	+2.7	
	Zomer	Gemiddelde neerslag	-13.0%	
		Potentiele verdamping	+11.0%	
		Gemiddelde temperatuur (°C)	+2.3	
		Zeespiegelstijging	m +NAP	0.43
			Stijging t.o.v 1995	+40 cm

3.3.6.1 Sociaaleconomische veranderingen

Voor de sociaaleconomische veranderingen is binnen het NWM uitgegaan van het WLO'15 scenario. Hierin is een inschatting gemaakt van de veranderingen in o.a. landgebruik, bodemdaling, doorspoeling en onttrekkingen in de toekomst. Deze veranderingen zijn vertaald naar modelinvoer middels de gegeven verhaallijnen en aangepaste landgebruikskarten, ontwikkeld door PBL en de Vrije Universiteit Amsterdam (Claassens et al., 2017; Manders en Kool, 2015).

De verwachte veranderingen in landgebruik zijn weergegeven in Figuur 3.19 voor het stedelijk gebied, de landbouw en de natuur. De verwachte verandering in stedelijk gebied wordt voornamelijk veroorzaakt door een sterke bevolkingsgroei (zie voor meer gedetailleerde informatie over de bevolkingsgroei per provincie paragraaf 3.3.2). Als gevolg van de bevolkingsgroei en economische groei zal er meer gebouwd gaan worden in de groene omgeving en de landbouwproductie zal verhoogd worden wat zorgt voor een verhoogde druk op natuur. Wel zullen de huidige natuurgebieden grotendeels behouden blijven en meer verweven worden met de andere landgebruikstypen (Wolters et al., 2018).



Figuur 3.19 Relatieve veranderingen in areaal voor: stedelijk gebied (links boven), natuur (rechtsboven) en landbouw (links onder) in 2050 voor het Stoom scenario ten opzichte van de referentie (Wolters et al., 2018)

De afname in het totale areaal landbouwgebied en tegelijkertijd de intensivering van de landbouw zorgt voor alle hoofdregio's in een toename in het totaal beregend areaal. Per hoofdregio ziet deze toename ten opzichte van de referentiesituatie er als volgt uit:

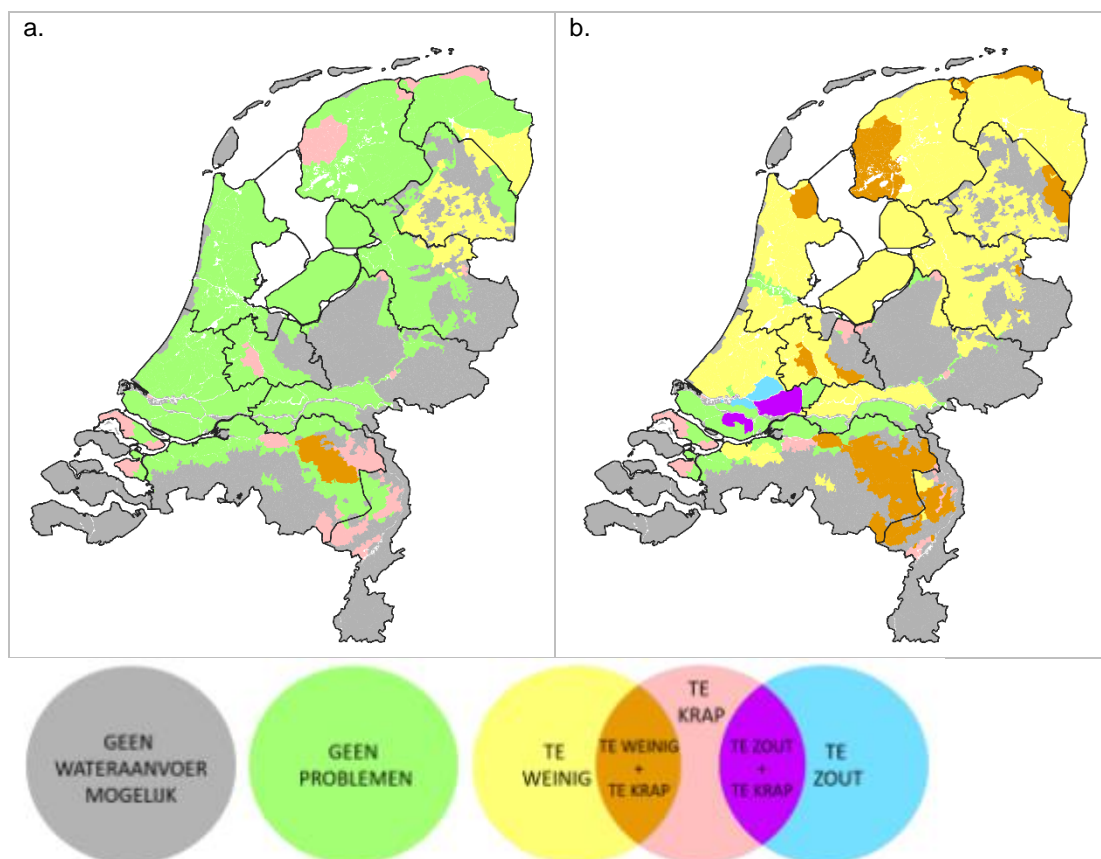
- I. Voorzieningsgebied IJsselmeer:
 - Een totale toename van 81% in beregend areaal (82% uit oppervlaktewater en 77% uit grondwater); wat neerkomt op een stijging van 166.000 ha naar 300.000 ha beregend areaal.
- II. Voorzieningsgebied Benedenrivieren:

- Een totale toename van 55% in beregend areaal (61% uit oppervlaktewater en 40% uit grondwater); wat neerkomt op een stijging van 47.000 ha naar 73.000 ha beregend areaal.
- III. Voorzieningsgebied Bovenrivieren:
- Een totale toename van 18% in beregend areaal (17% uit oppervlaktewater en 25% uit grondwater); wat neerkomt op een stijging van 60.000 ha naar 70.000 ha beregend areaal.
- IV. Voorzieningsgebied Zuid-Westelijke Delta:
- Een totale toename van 115% in beregend areaal (108% uit oppervlaktewater en 127% uit grondwater); wat neerkomt op een stijging van 14.000 ha naar 31.000 ha beregend areaal.

In het Stoom scenario wordt uitgegaan van een wereldwijde hoge economische groei. Dit leidt tot een grotere vraag naar fossiele brandstoffen (kolen, olie en gas) en daarmee schaarste van voornamelijk eenvoudig winbare brandstoffen, met een prijsverhoging tot gevolg van deze brandstoffen. De keerzijde hiervan is dat de moeilijk exploiteerbare brandstoffen economisch rendabel worden wat er op haar beurt weer voor zorgt dat fossiele brandstoffen de primaire bron voor de energievoorziening blijft. Daarnaast gaat de technologische ontwikkeling hard waarbij automatisering en robotisering doorgang vinden in veel productiesystemen en diensten (Wolters et al., 2018).

3.3.6.2 Klimatologische veranderingen

Figuur 3.18 toont in het linker plaatje een schematisch overzicht van de klimaatscenario's zoals gedefinieerd door het KNMI (KNMI, 2015) en in het rechter plaatje de Deltascenario's waarbij voor het Druk en het Rust scenario het G_L klimaatscenario is genomen en voor het Warm en Stoom scenario het W_H klimaatscenario (Wolters et al., 2018). Daarbij is berekend wat het effect van een warmer klimaat zou kunnen zijn op de oppervlaktewater tekorten onder gemiddeld droge en extreem droge omstandigheden (zie Figuur 3.20). De basis voor dit figuur is het Warm scenario. Economische groei en veranderingen in landgebruik (o.a. toename beregend landbouwareaal) zorgt voor een sterkere toename in watervraag tot gevolg (Stoom scenario), waardoor de oppervlaktewatertekorten groter zullen zijn dan dit figuur laat zien. Onder extreem droge omstandigheden treden bijna overal in Nederland tekorten op, met uitzondering van een groot deel van het gebied rondom de Waal, het Hollandsch Diep en de Haringvliet en het gebied rondom het Noordzeekanaal en het IJ.



Figuur 3.20 Verwachte tekort oppervlaktewater per district voor (a) een gemiddeld droog jaar en (b) een extreem droog jaar onder toekomstige klimatologische omstandigheden (Warm scenario 2050) berekend met het NWM (Klimaat-effectatlas, 2020 i.s.m. Deltares).

3.4 Oplossingsrichting aanvulling toekomstige groei in de watervraag

De verwachting is dat de knelpunten zullen gaan veranderen in de toekomst, wat onder andere resulteert in een grotere zoetwatervraag in de Nederlandse kustgebieden. In aanvulling hierop kan er gekeken worden naar de COASTAR-toepassingen. Wel kan deze toepassing gevolgen hebben voor het lokale watersysteem. Daarnaast moeten de toepassingen betaalbaar en realistisch implementeerbaar zijn. Samenwerking met andere stakeholders in de watercyclus wordt dan veel belangrijker dan in de huidige situatie. Dit laat onderzoek van Hofman-Caris et al. (2019) ook zien. Daarnaast kan het gebruik van alternatieve zoetwaterbronnen en/of het strategisch omgaan met zoetwaterbeschikbaarheid gevolgen hebben voor de omgeving. Met name wanneer het gaat om aanpassing van waterstanden in oppervlaktewateren of grondwaterstanden. De verwachte verandering in watervraag en -aanbod vallen mogelijk samen met onder andere de ontwikkeling van nieuwe industriegebieden. Hieronder valt ook de vestiging van nieuwe datacenters in de Nederlandse kustprovincies. We verwachten dat COASTAR hier een aanvullende bron kan zijn voor de verwachte toenemende vraag naar hoogwaardige zoete water.

Als eerste stap in de verkenning naar grootschalige implementatie van de COASTAR-toepassingen kijken we in de hierop volgende hoofdstukken naar de geschiktheid van de ondergrond en de mogelijke effecten, kosten en baten die komen kijken bij de implementatie.

4 Methodebeschrijving

4.1 Algemeen

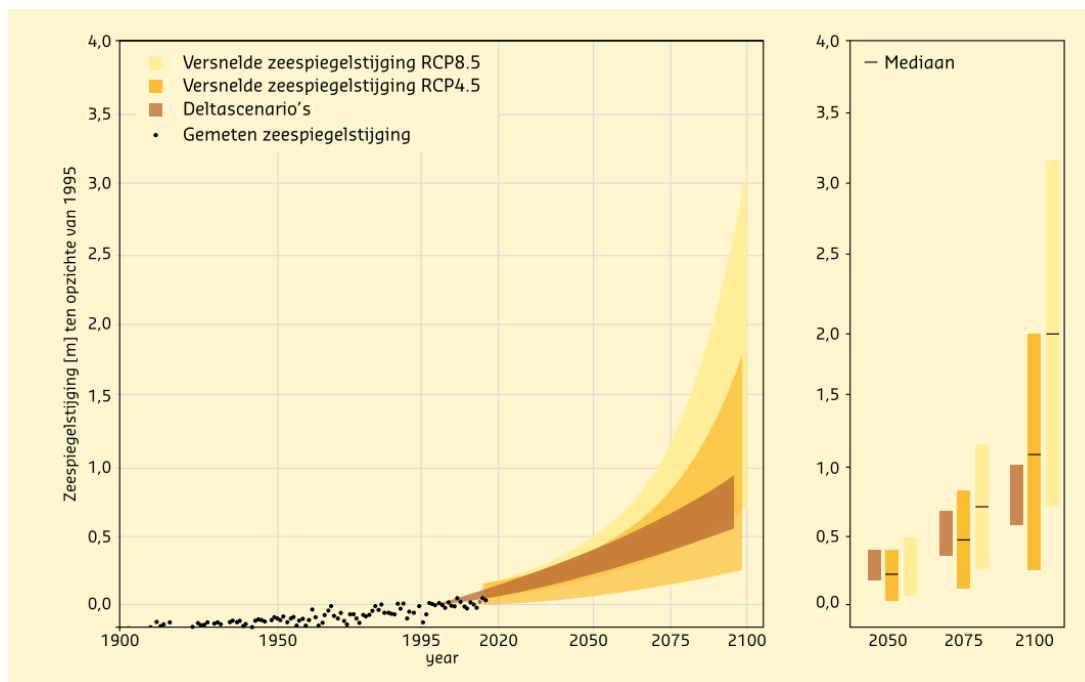
In dit hoofdstuk lichten we de methoden toe die gebruikt zijn om de geohydrologische geschiktheid (paragraaf 4.2), de effecten (paragraaf 4.3), kosten en baten (paragraaf 4.4) te bepalen van de ondergrond voor de toepassing van ondergrondse opslag van zoetwater en brakwaterwinning.

4.2 Geohydrologische geschiktheid

4.2.1 Algemeen

De eigenschappen van de ondergrond bepalen in hoge mate de toepasbaarheid van concepten voor ondergrondse opslag van zoetwater en brakwaterwinning. Daarom bestaat de eerste stap voor het bepalen van de geschiktheid van de concepten door te kijken naar de ondergrondkenmerken en de chloride-verdeling. De uitkomst daarvan is in landsdekkende geohydrologische geschiktheidskaarten verwerkt. De aanpak die is gebruikt bouwt voort op de FWOO-methode (Fresh Water Options Optimizer) (Hoogvliet et al., 2014). Hierbij wordt een concept zo eenvoudig en transparant mogelijk getoetst aan een aantal factoren, waaraan vervolgens een score wordt toegekend. De combinatie van deze factoren leiden tot een beoordeling van de geohydrologische geschiktheid voor het toepassen van een type COASTAR toepassing.

Er dient te worden opgemerkt dat de resulterende kaarten een globaal beeld geven van de fysische geschiktheid op basis van landsdekkende informatie. Daarnaast zijn de factoren en bijbehorende scores arbitrair op basis van “expert judgement” gekozen, waardoor een net andere grens kan leiden tot een andere geschiktheid. Hiermee moet rekening gehouden worden bij het toepassen van de kaarten. Zo dienen ze dan ook te worden geïnterpreteerd en gebruikt. Op lokale schaal is vaak nauwkeuriger informatie beschikbaar op basis waarvan de fysische geschiktheid beter kan worden bepaald én waarbij meerdere relevante factoren kunnen worden meegenomen. Daarbij komt dat de kaarten zullen veranderen over de tijd heen als gevolg van processen en activiteiten die een verandering in grondwaterstromingspatronen veroorzaken: zeespiegelstijging in met name het kustgebied, waarbij de invloed in Zeeland beperkt is terwijl in de Kop van Noord-Holland de invloed duidelijker merkbaar zal zijn (Oude Essink et al., 2010 (Provincie Zuid-Holland); Van Baaren et al., 2016 (Zeeland); Haasnoot et al., 2018, 2020 (Nederland)), toename Warmte-Koude Opslag grondwateronttrekkingen in relatie tot de energietransitie (Bloemendal et al., 2014), bodemdaling, veranderingen grondwateronttrekkingen bijvoorbeeld te DSM Delft-Noord, verandering in concentraatlozing initiatieven zoals bijvoorbeeld in het Westland, aanpassing polderpeilen, etc. De kaarten kunnen daarom alleen gebruikt worden tot de middellange termijn waarbinnen in elk geval de zeespiegelstijging nog beperkt is (mogelijk tot 2060-2070 het geval, zie Figuur 4.1). Ook is de grenswaarden van de factoren vastgesteld op basis van expert judgement. Een net andere grens leidt tot een andere geschiktheid.



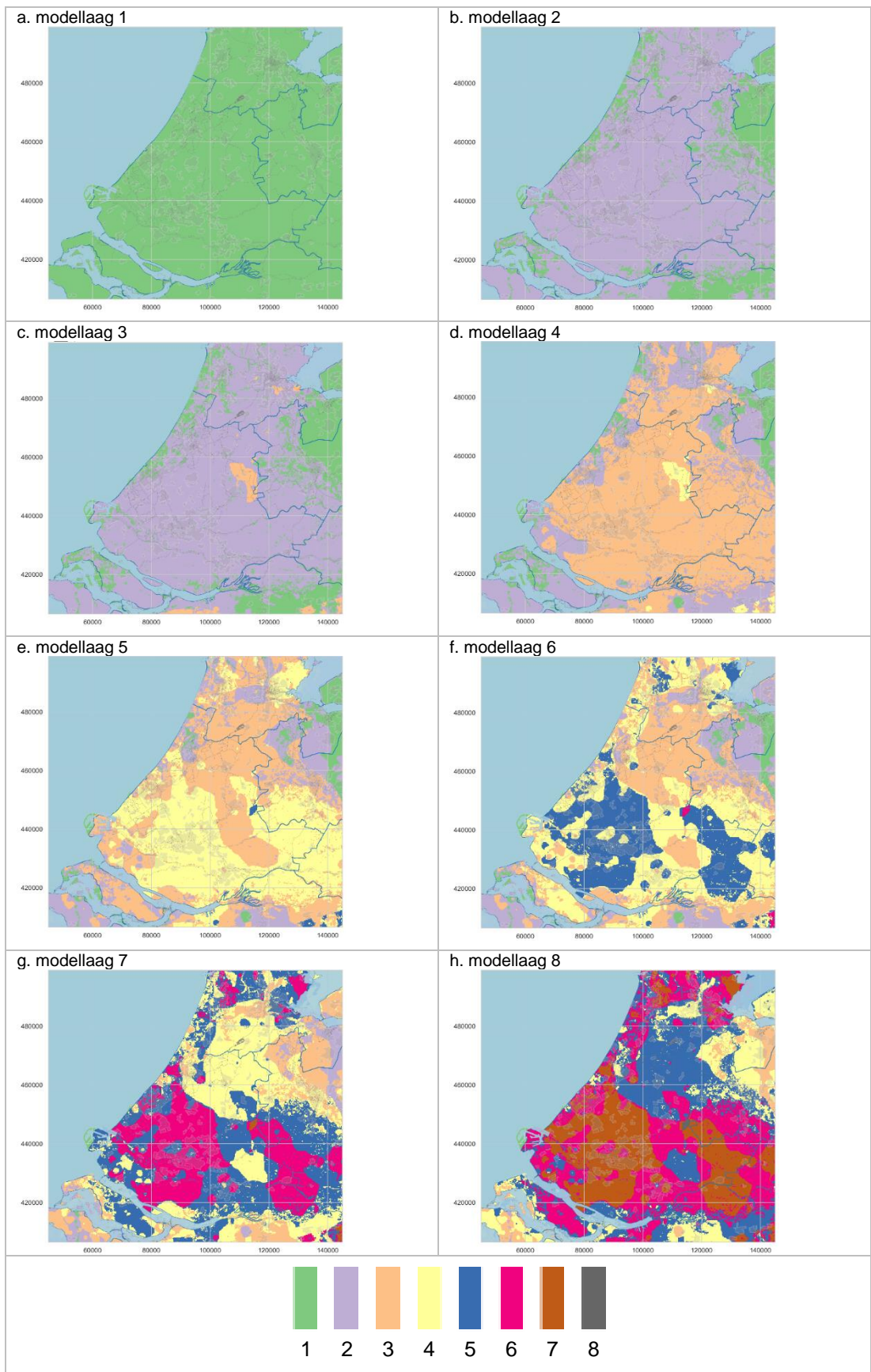
Figuur 4.1 Gebruikte zeespiegelscenario's volgens KNMI'14 (Deltascenario's) en de projecties van Le Bars et al. (2017) (RCP4.5 en RCP8.5), alsmede de metingen t.o.v. 1995 (Baart et al., 2017). De projecties zijn specifiek voor de Nederlandse kust, en wijken dus iets af van de publicatie. De bandbreedte is weergegeven voor de onderwaarde (p5) en de bovenwaarde (p95), ook voor 2050, 2075 en 2100 aan de rechterkant van de figuur. De middenwaarde (p50) is aangegeven met een zwarte lijn. De Deltascenario's hebben geen middenwaarde. De metingen zijn ook t.o.v. de stand in 1995. Toen stond de zeespiegel 0,04 m tov NAP (Haasnoot et al., 2018)

In de volgende paragrafen wordt per oplossing beschreven hoe de daarvoor geldende geohydrologische geschiktheidskaart is gemaakt.

4.2.2 Ondergrondschematisering op basis van LHM

Om de factorbepaling voor de geohydrologische geschiktheid van ondergrondse opslag van zoetwater en brakwaterwinning goed te kunnen begrijpen, is het van belang om te weten waar de onderliggende data vandaan komt en hoe dit is opgebouwd. Als uitgangspositie voor de geohydrologische eigenschappen is de ondergrondschematisering van het LHM4.0 model genomen. Dit model bevat 8 modellagen in de verticaal en is gebaseerd op de beschikbare ondergrondinformatie uit REGIS II en GeoTOP (zie voor meer informatie t.a.v. de opbouw van het model, de rapportage van Hunink et al. (2020)). REGIS II is een hydrogeologische schematisering van de ondergrond gebaseerd op de geologische formaties zoals beschikbaar gesteld in het DGM II (zie voor meer informatie <https://www.dinoloket.nl/toelichting-ondergrondmodellen>).

Watervoerende pakketten kunnen strekken over verschillende formaties afhankelijk van het wel of niet vóórkomen van slechter doorlatende formaties. Hierdoor komt het voor dat ook in het LHM model, waar verschillende formaties zijn samengevoegd op basis van geohydrologische kenmerken (doorlatendheden, weerstanden, en ligging), een watervoerend pakket zich kan uitstrekken over meerdere modellagen. Om dit inzichtelijk te maken zijn per modellaag de aanwezige watervoerende pakketten getoond in Figuur 4.2.



Figuur 4.2 Nummer watervoerende pakket (wvp) in LHM 4.0 laagschematisering (zie voor meer informatie over dit model: <http://nhi.nu/nl/index.php/documentatie/nhi-lhm/v40/>)

Per modelcel (vakje van 250x250 m) is gekeken hoeveel de weerstand is over de verschillende modellagen. Indien deze kleiner is dan 100 dagen dan horen de specifieke modellagen tot hetzelfde watervoerende pakket. Bijvoorbeeld: indien de weerstand over modellaag 1 en 2 kleiner is dan 100 dagen dan horen modellaag 1 en 2 beide bij watervoerend pakket 1. Is de weerstand over deze modellagen groter dan 100 dagen dan hoort modellaag 1 bij wvp1 en modellaag 2 bij wvp2.

4.2.3 Ondergrondse opslag van zoetwater via verticale ASR

Of de ondergrond geschikt is voor de toepassing van ondergrondse opslag van zoetwater hangt af van de volgende factoren:

- Achtergrondstroming van het grondwater: een snelle horizontale grondwaterstroming zorgt voor afstroming van het geïnjecteerde zoete water;
- Chlorideconcentratie van het grondwater: wanneer het grondwater zout is dan drijft het geïnjecteerde zoete water al snel omhoog door het dichtheidsverschil;
- Opbarstrisico: bij gebrek aan tegendruk van bovenaf kan grondwater doordringen tot aan het maaiveld;
- Doorlatend vermogen van de ondergrond: bij een laag doorlatend vermogen kan er te langzaam water geïnjecteerd en onttrokken worden.

Deze factoren zijn als uitgangspunt genomen voor het maken van de geohydrologische geschiktheidskaarten.

4.2.3.1 Factoren ondergrondse opslag zoetwater

Factor A: Achtergrondstromingsnelheid

De horizontale stroomsnelheid van het grondwater is van belang voor afdriving van het geïnjecteerde, opgeslagen zoetwater. Een te hoge horizontale stroomsnelheid van het grondwater leidt tot afdriving van het zoete grondwater en een verminderd rendement.

Uit het LHM is de gemiddelde horizontale stroomsnelheid berekend van de watervoerende pakketten, gebruikmakend van de volgende vergelijking:

$$v = \frac{\sqrt{\left(\frac{BDGFFF}{dikte \cdot celgrootte}\right)^2 + \frac{BDGFRF}{dikte \cdot celgrootte}^2}}{porositeit},$$

waarbij BDGFFF de flux (m³/d) is langs de y-assen (rijen) aan de zuidgrens van elke cel, en BDGFRF de flux (m³/d) is langs de x-assen (kolommen) aan de oostgrens van elke cel. Voor de porositeit is een uniforme waarde van 0.3 genomen zoals in de studie van Delsman et al. (2020). Om de stroomsnelheid in m/jaar te bepalen, is de berekende flux (m³/d) nog omgezet met behulp van de dikte van de LHM laag en de celgrootte. Hoe hoger de stroomsnelheid hoe lager het rendement is door het afstromen van het geïnjecteerde water. Zoals in de FWOO-studie (Hoogvliet et al., 2014) hanteren wij de grens van 10 m/jaar.

Factor B: Rendementsverlies door opdrijving

Opdrijving ontstaat door het verschil in dichtheid tussen zoet water en zout water. Het zoute water heeft een hogere dichtheid waardoor het zoete water erop gaat drijven. Bij een laag debiet is het rendementsverlies door opdrijving groter dan bij een hoog debiet. We hebben het minimale debiet berekend voor voldoende rendement (60%) met de methode van Bakker (2010). Deze methode gaat uit van algemene eigenschappen van de ondergrond in combinatie met operationele parameters (duur, debiet). Deze methode berekent het minimale debiet voor voldoende rendement (60%) met deze formule:

$$Q_{min} \geq D kaH^2 ,$$

waarbij Q het minimale debiet dat nodig is voor genoeg rendement, D een dimensieloze constante die een maat is voor het rendement, k de horizontale doorlatendheid, α de ratio van het dichtheidsverschil en H de dikte van het watervoerend pakket (Bakker, 2010). Zuurbier et al. (2013) heeft voor een case studie te Westland-Oostland (Zuid-Holland) bepaald dat $D \geq 14.3$ een rendement van meer dan 60% oplevert. Uit de formule volgt dat bij een te hoge zoutconcentratie het minimale debiet benodigd voor voldoende rendement te hoog wordt. Voor meer achtergrond over de werking en geschiktheid van de methode zie (Zuurbier et al., 2013).

Om te komen tot deze haalbaarheidsfactor is gebruik gemaakt van:

- Dikte en hydraulische conductiviteit per watervoerend pakket op basis van LHM4.0-ondergrondschematisatie (Hunink et al., 2020).
- Chlorideconcentraties per watervoerend pakket op basis van de LHM zoet-zout chlorideverdeling (Delsman et al., 2020).

Factor C: Opbarstrisiko

Opbarsting van de deklaag treedt op wanneer de grond niet zwaar genoeg is om de druk van het grondwater te weerstaan. Er is een vergroot risico op opbarsting wanneer plaatselijk de stijghoogte in het onderliggende watervoerende pakket wordt verhoogd door het injecteren van zoetwater. De deklaag kan dan onvoldoende tegendruk bieden op de opwaartse druk die ontstaat door het extra geïnfiltreerde water. Tijdens het opbarsten van de bodem ontstaan er preferente stroombanen waardoor het diepere en vaak zoutere grondwater door omhoog stroomt, naar de sloot of het maaiveld.

Het risico op opbarsting voor de provincie Zuid-Holland is bepaald door Erkens et al. (2018) op basis van het gewicht van de deklaag en de grondwaterdruk in het 1^e WVP. Dezelfde methode is gebruikt voor het bepalen van de opbarsting voor het hele kustgebied (Griffioen et al., 2002).

Het opbarstrisiko wordt hier gedefinieerd als een index die de verhouding weergeeft tussen:

- de neerwaartse druk die correspondeert met het totale grondgewicht van de deklaag (op basis van GeoTOP);
- en de opwaartse druk van het grondwater aan de basis van de deklaag.

Als de verhouding lager is dan 1.0 dan is de neerwaartse litostatische druk lager dan de grondwaterdruk en is de kans op opbarsting groot. In dit onderzoek is uitgegaan van een grenswaarde van 1.2 voor het eerste watervoerende pakket. Hier is uitgegaan van een veiligheidsfactor van 20%.

Om te komen tot de index, is gebruikt gemaakt van:

- het grondgewicht van de deklaag op basis van GeoTOP;
- de grondwaterdruk in het eerste watervoerende pakket onder de deklaag.

Bij het grondgewicht is uitgegaan van het grondgewicht van de sloten, aangezien daar de grootste kans is op opbarsting.

Factor D: Doorlaatvermogen (kD)

Het pakket moet doorlatend genoeg zijn om voldoende water te kunnen onttrekken. Hiervoor is de ondergrondschematisering van het LHM gebruikt. We hebben onderscheid gemaakt tussen grootschalige en kleinschalige onttrekkingen. Voor grootschalige onttrekkingen is een groter doorlatend vermogen nodig om voldoende water te kunnen onttrekken dan voor kleinschalige onttrekkingen. Bij grootschalige onttrekkingen (>180.000 m³/jaar) is ervoor gekozen om de grens te trekken bij een minimale kD van 200 m²/dag omdat dit kostentechnisch, wat betreft het aantal benodigde putten het meest rendabel is. Voor kleinschalige onttrekkingen (bijvoorbeeld voor toepassing bij een glastuinbouwbedrijf) is de grens getrokken bij een kD-waarde van minimaal 100 m²/dag.

Daarnaast is naast het doorlatend vermogen ook de doorlatendheid een beperkende factor. Hiervoor hebben we de grens bij <5 m/d getrokken.

4.2.3.2 Score geohydrologische geschiktheidskaart ondergrondse opslag zoetwater

De weging van de verschillende factoren en de bepaling van de geschiktheid is in de onderstaande tabellen weergegeven. Eerst wordt per factor onderscheid gemaakt of het voor kleinschalig, of voor grootschalig of voor beide geschikt is. Opdrijving (dichtheidsverschillen) en achtergrondstroming bepalen of een klein systeem ook toepasbaar is. Daarna worden deze factoren samengevoegd voor de totale geschiktheidskaart.

Factor	Criteria	Score	Criteria	Score
A. Achtergrondstroming	Horizontale stroomsnelheid < 10m/j	1	Horizontale stroomsnelheid >= 10m/j	0
B. Opdrijving	Qmin <50.000 m3/jaar	1 (klein en grootschalig)	Q 50.000 – 2.500.000 m3/jaar	2 (alleen grootschalig)
	Q >2.500.000 m3/jaar	0		
C. Opbarstrisico	Opbarstindex >1.2	1	Opbarstindex <= 1.2	0
D. Doorlatend vermogen	kD >= 100m2/d	1 (kleinschalig)	kD > 200 m2/d	2 (klein en grootschalig)
	kD < 100 m2/d	0	Doorlatendheid k < 5m/d	0

A	B	C	D	Geschiktheid
1	1	1	2	Geschikt (klein en groot)
1	2	1	2	Geschikt (grootschalig)
1	1	1	1	Geschikt (klein)
0	1	1	2	Mogelijk geschikt (klein en groot)
0	2	1	2	Mogelijk geschikt (groot)
0	1	1	1	Mogelijk geschikt (klein)
	B=0	C=0	D=0	Niet geschikt

Wanneer de achtergrondstroming te hoog is dan wordt de geohydrologische geschiktheidskaart geclassificeerd als “mogelijk geschikt”. Wanneer of de opdrijving of het opbarstrisico te groot is, of het doorlatend vermogen te klein wordt de geschiktheidskaart geclassificeerd als “niet geschikt”.

De geschiktheid voor ondergrondse opslag van zoetwater is afhankelijk van meer parameters dan alleen de geohydrologische en hydrochemische karakteristieken van ondergrond. Operationele parameters zoals duur van injectie-, opslag-, en terugwinperioden en pompdebieten spelen een grote rol (Ward et al., 2007; K. G. Zuurbier et al., 2013). Ook het putontwerp beïnvloedt het rendement. Bij het beoordelen van de geschiktheid op perceelniveau moet daarom altijd een analyse worden uitgevoerd van de lokale situatie waarbij de verschillende factoren in samenhang worden beschouwd. Binnen Kennis voor Klimaat is voor de Hotspot Haaglanden een uitgebreide kwantitatieve, ruimtelijk analyse gemaakt voor de haalbaarheid van ASR. Hierbij zijn ook operationele parameters beschouwd (Zuurbier et al., 2013).

4.2.4 Brakwaterwinning

Voor het bepalen van de geohydrologische geschiktheid voor brakwaterwinning maken we onderscheidt tussen grootschalige en kleinschalige toepassing. Bij grootschalige toepassing wordt bijvoorbeeld gedacht aan brakwaterwinning in hele polders (ordegrootte 300.000 m³/jaar). Bij kleinschalige toepassing wordt gedacht aan toepassing op bedrijfsniveau. Als in de hierop volgende stukken wordt gesproken van “brakwaterpakket”, wordt het deel van het aanwezige watervoerende pakket bedoeld met een minimale chloride concentratie van 1000 mg/l (oftewel brak).

De volgende geohydrologische factoren zijn bepalend voor de geohydrologische geschiktheid van brakwaterwinning:

- Gemiddelde chloride-concentratie in het brakwaterpakket: er moet een brakwaterpakket aanwezig zijn;
- Dikte brakwaterpakket: het brakwaterpakket moet dik genoeg zijn om winning rendabel te maken;
- Doorlatend vermogen: bij een laag doorlatend vermogen kan er te langzaam water onttrokken worden;
- Maximale diepte brakwaterpakket: wanneer het brakwaterpakket te diep zit is brakwaterwinning niet rendabel.

Deze factoren zijn als uitgangspunt genomen voor het maken van de geohydrologische geschiktheidskaarten.

4.2.4.1 Factoren brakwaterwinning

Factor A: Gemiddelde chloride-concentratie in het brakwaterpakket

Een gemiddelde Cl-concentratie van meer dan 1000 mg/l is een gebruikelijke grens voor de landbouwsector waarboven het water als brak verondersteld wordt. Als bovengrens is 10.000 mg/l gekozen; vanaf deze waarde is het water te zout om nog als brakwater beschouwd te worden. Hoe lager het zoutgehalte, hoe makkelijker en goedkoper ontzilting is. Hierom is er gekozen voor een tussengrens van 5000 mg/l. Grondwater met een chloride-concentratie tussen de 1000-5000 mg/L wordt als geschikt beschouwd in dit onderzoek en grondwater met een chloride-concentratie tussen de 5000-10.000 mg/l als mogelijk geschikt. Grondwater < 1000 mg/l wordt als zoet bestempeld en is daarom niet geschikt voor brakwaterwinning.

Voor het bepalen van de chloride-concentratie is gebruik gemaakt van de chloride-concentratie verdeling van het LHM zoet-zout (Delsman et al., 2020).

Factor B: Dikte brakwaterpakket

Het brakwaterpakket moet voldoende dik zijn om geschikt te zijn voor een stabiele en rendabele brakwaterwinning. Hoe dikker het brakwaterpakket is, hoe geschikter het is voor brakwaterwinning. Voor het vaststellen van de grenswaarden is gekeken naar het doorlatend vermogen (kD) van de ondergrond (zie Factor C) en het minimale debiet wat per jaar onttrokken moet kunnen worden om rendabel te kunnen zijn. Bij grootschalige onttrekkingen denken we aan ca. 300.000 m³/jaar verdeeld over meerdere putten. Bij kleinschalige onttrekkingen aan toepassing bij (glas)tuinbouw. We hanteren in dit onderzoek een minimale dikte voor kleinschalige onttrekking van 10 m en voor grootschalige onttrekkingen van 20 m.

De dikte van het brakwaterpakket is bepaald door per locatie te kijken naar de totale dikte van de LHM modellagen waarbij de mogelijk aanwezige scheidende lagen geen grotere weerstand hebben dan 100 dagen.

Factor C: Doorlatend vermogen

Het pakket moet doorlatend genoeg zijn om voldoende water te kunnen onttrekken. Hiervoor is de ondergrondschematisering van het LHM gebruikt. We hebben onderscheid gemaakt

tussen grootschalige en kleinschalige onttrekkingen. Voor grootschalige onttrekkingen is een groter doorlatend vermogen nodig om voldoende water te kunnen onttrekken dan voor kleinschalige onttrekkingen. Bij grootschalige onttrekkingen is ervoor gekozen om de grens te trekken bij een minimale kD van 500 m²/dag, omdat dit kostentechnisch, wat betreft het aantal benodigde putten het meest rendabel is. Voor kleinschalige onttrekkingen (bijvoorbeeld voor toepassing bij een tuinbedrijf) is de grens getrokken bij een kD-waarde van minimaal 100 m²/dag.

Daarnaast is ook de doorlatendheid een beperkende factor. Hiervoor hebben we de grens bij <5 m/d getrokken.

Factor D: Maximale diepte bovenkant brakwaterlaag

Het brakwaterpakket moet binnen een technisch haalbare diepte liggen voor brakwaterwinning. De kosten worden hoger ten opzichte van het benodigde volume naarmate een put dieper wordt geïnstalleerd. We hanteren hiervoor de grens van 50 m diepte voor kleinschalige onttrekkingen en 190 m diepte voor grootschalige onttrekkingen. Het vóórkomen van een brakwaterlaag is bepaald met behulp van de chloride-verdeling van LHM zoet/zout.

4.2.4.2 Score geohydrologische geschiktheidskaart brakwaterwinning

De weging van de verschillende factoren en de bepaling van de geschiktheid is in de onderstaande tabellen weergegeven. Eerst wordt per factor onderscheid gemaakt of het voor kleinschalig, grootschalig of voor beide geschikt is. Daarna worden deze factoren samengevoegd voor de totale geschiktheidskaart.

Categorie	Criteria	Score	Criteria	Score
A. Cl-concentratie	Gemiddelde Cl-concentratie brakwaterpakket 1000 – 5000 mg/l	2	Gemiddelde Cl-concentratie brakwaterpakket < 1000 mg/l	0
	Gemiddelde Cl-concentratie brakwaterpakket 5000 – 10000 mg/l	1	Gemiddelde Cl-concentratie brakwaterpakket > 10.000 mg/l	0
B. Dikte brakwaterpakket	Dikte 10-20 m (kleinschalig)	1	Dikte < 10 m	0
	Dikte > 20 m (kleinschalig + grootschalig)	2		
C. Doorlatend vermogen	kD > 100 m ² /d (kleinschalig)	1	kD < 100 m ² /d	0
	kD > 500 m ² /d (kleinschalig + grootschalig)	2		
D. Maximale diepte bovenkant brakwaterlaag	Diepte < 50 m (kleinschalig + grootschalig)	1	Diepte > 190 m	0
	Diepte 50- 190 m (grootschalig)	2		

A	B	C	D	Geschiktheid
2	2	2	2	Geschikt (groot)
2	>0	>0	1	Geschikt (klein)
2	2	2	1	Geschikt (beide)
1	2	2	2	Mogelijk geschikt (groot)
1	>0	>0	1	Mogelijk geschikt (klein)
1	2	2	1	Mogelijk geschikt (beide)
A = 0	Of B=0	Of C=0	Of D=0	Niet geschikt

Een chlorideconcentratie van het brakwaterpakket tussen de 1000-5000 mg/l wordt voor de geohydrologische geschiktheid geclassificeerd als “geschikt” en een chlorideconcentratie tussen 5000-10.000 mg/l als “mogelijk geschikt”. Wanneer het brakwaterpakket niet dik genoeg is, het doorlatend vermogen te laag of het brakwaterpakket te diep ligt, wordt het als “niet geschikt” geclassificeerd.

4.2.5 Toolbox geohydrologische geschiktheid

De toolbox die is ontwikkeld in het kader van dit project bestaat uit datasets, tools om de geohydrologische geschiktheid te berekenen, en tools om de kaarten te visualiseren. De toolbox is vrij beschikbaar en wordt door middel van versiebeheer up-to-date gehouden (<https://gitlab.com/deltares/imod/coastar-kansrijkeidskaarten/>).

4.3 Geohydrologische effecten en risico's

4.3.1 Algemeen

In deze paragraaf beschrijven we de positieve en negatieve effecten van de twee COASTAR toepassingen op landelijk niveau. Hierbij is voor een aantal geohydrologische effecten gebruik gemaakt van het LHM (v4.0) om een inschatting te maken van de mate waarin een effect kan voorkomen.

- Toepassing ondergrondse opslag zoetwater:
 - Risico op interferentie door gaten in kleilagen;
 - Risico op vernatting of verdroging bij afwezigheid dikke deklaag;
 - Vergroten van de zoetwatervoorraad/lens.
- Toepassing brakwaterwinning:
 - Risico op verhoging of verlaging van de grondwaterstand;
 - Risico op paalrot (in stedelijk gebied);
 - Verandering in zoute/brakke kwelflux;
 - Effect op verzilting en het benodigde doorspoeldebiet;
 - Risico op extra bodemdaling;
 - Risico op interferentie met bestaande open bodemenergie systemen (OBES).

Voor de toepassing brakwaterwinning is bovenop de genoemde effecten, ook gekeken naar 1 of meerdere van de volgende variabelen:

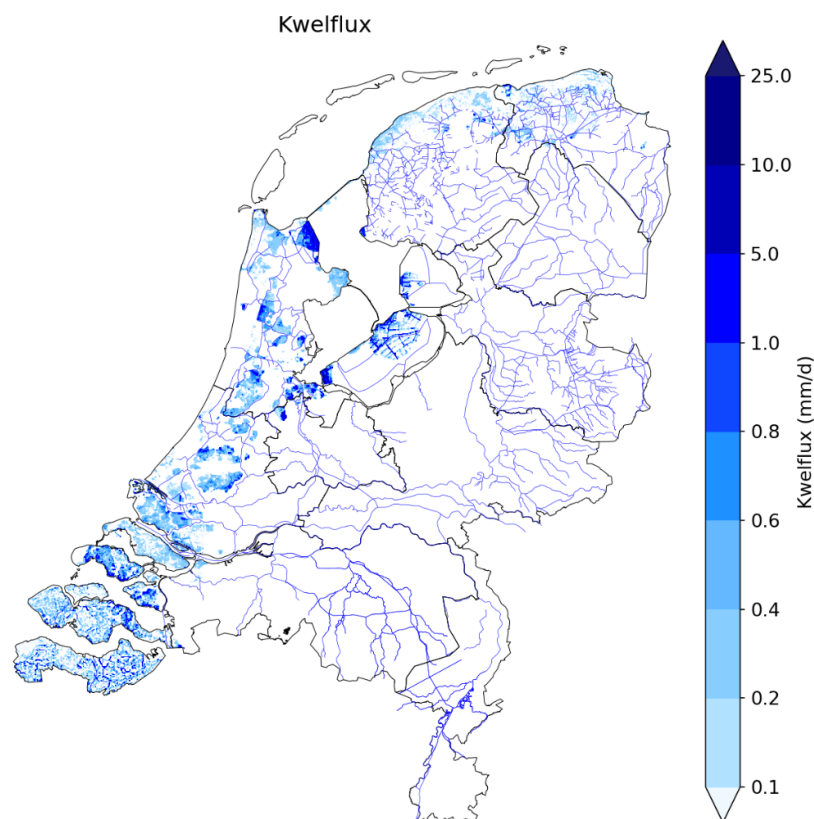
- de potentiële opbrengst (aantal m³ per dag);
- de afstand tot de zee (in km) voor afvoer van het concentraat;
- het meest geschikte watervoerende pakket voor brakwaterwinning.

Daarnaast hebben we voor elk effect als gevolg van de toepassing ondergrondse opslag van zoetwater en de toepassing brakwaterwinning, een koppeling proberen te maken met de (toekomstige verandering in) knelpunten zoals geschetst in paragraaf 3.2 en 3.3.

4.3.2 Opzet modelscenario's voor inschatting geohydrologische effect brakwaterwinning

Om een inschatting te kunnen maken van de mogelijke geohydrologische effecten van brakwaterwinning, is een tweetal scenario's doorgerekend met het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) versie 4.0 en zijn de gemiddeld laagste en gemiddeld hoogste grondwaterstand, de benodigde doorspoeling en de (brakke) kwelflux vergeleken met de referentiesituatie (zonder onttrekking van brakwater en concentraatinjectie), zie Tabel 4.1. Dit model heeft een horizontale resolutie van 250 m x 250 m en een verticale resolutie van 8 modellagen. Voor meer informatie over de lagenopbouw van het LHM zie paragraaf 4.2.2 en Hunink et al. (2020).

Figuur 4.3 toont de kwelflux die in potentie kan worden afgevangen van brak grondwater, en daarmee ook de locaties van de gebieden waar de COASTAR-maatregel 'drinkwater uit brakke kwel' is toegepast. Het afvangen van het brakke grondwater wordt in het model gedaan via een onttrekking op iedere model cel waar volgens het model brakke kwel voorkomt (zoals getoond in Figuur 4.3). Onttrekkingen vinden plaats in modellaag 4 in het LHM model en injectie in modellaag 7. Afhankelijk van de locatie komt modellaag 4 overeen met het derde watervoerende pakket (wvp3) en modellaag 7 met het 5^e of 6^e wvp (wvp6). Echter kan het lokaal voorkomen dat modellaag 4 overeenkomt met wvp1, wvp2 of wvp4 en modellaag 7 met wvp4 (zie Figuur 4.4). Er wordt wel altijd geïnfiltrerd in een dieper pakket dan waaruit onttrokken is in het betreffende scenario. Alle scenario's zijn doorgerekend voor de jaren 1991 t/m 2006.

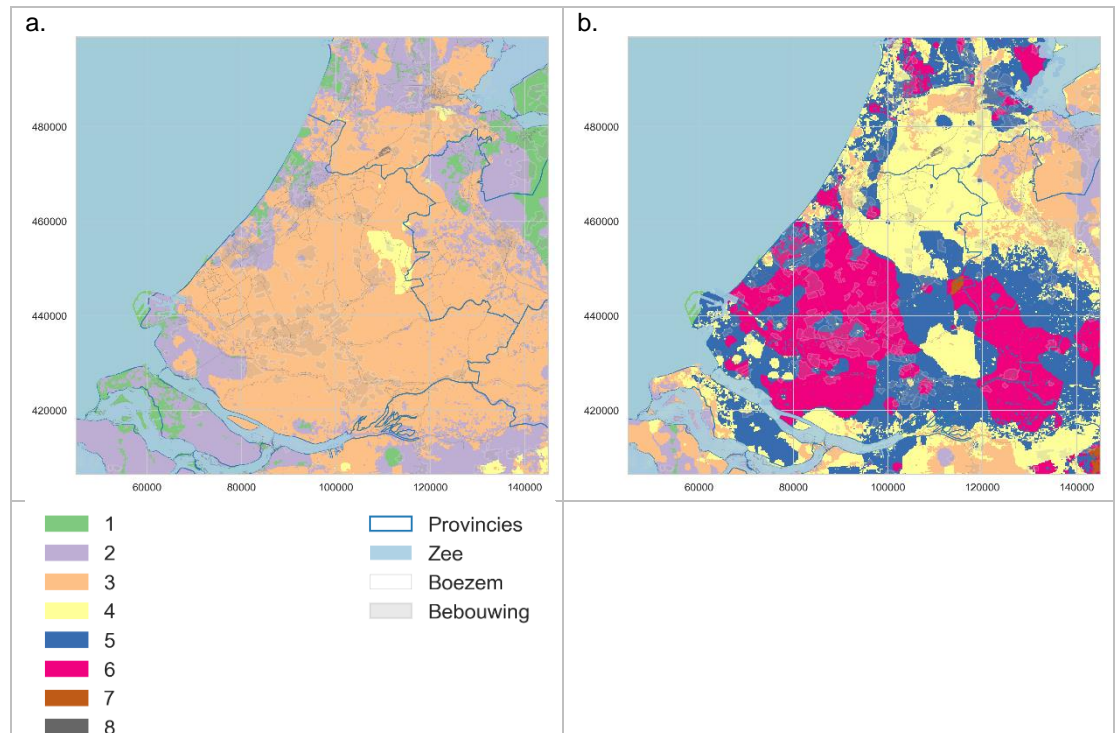


Figuur 4.3 Op basis van het LHM (v4.1) berekende voorkomen van brakke kwel in de Nederlandse kustprovincies. De brakke kwel is uitgedrukt in mm per dag. De donkerder blauw de groter de potentiële brakke kwel flux.

In de praktijk is het niet mogelijk om de totale kwelflux af te vangen en/of 100% daarvan als concentraat weer te injecteren. Daarom is gekozen om alleen naar het effect te kijken bij het onttrekken van 50% van de brakke kwelflux per model cel en tot maximaal 50% van dit onttrekkingsdebiet aan concentraat terug te brengen in diepere watervoerende pakketten. Om tot een betere inschatting te komen van de gevoeligheid van het systeem op de verhouding tussen onttrekkingsdebiet en concentraatinjectie is het aan te bevelen om een extra gevoeligheidsanalyse uit te voeren.

Tabel 4.1 Overzicht LHM (v4.0) scenario's voor het in kaart brengen van de effecten als gevolg van het afvangen van brak grondwater en/of concentraatinfiltratie

Scenario	Onttrekkingsdebiet	Debiet concentraatinjectie (% van onttrekkingsdebiet)
1	Gelijk aan helft kwelflux	0
2	Gelijk aan helft kwelflux	50
Referentie	-	-



Figuur 4.4 De watervoerende pakketten die gekoppeld zijn aan de specifieke modellaag in LHM4.0 (zie voor meer informatie over dit model: <http://nhi.nu/nl/index.php/documentatie/nhi-lhm/v40/>) waar in de scenario's met brakwaterwinning uit onttrokken wordt (modellaag 4) en het concentraat in wordt geïnfilteerd (modellaag 7). In a) zijn de aanwezige watervoerende pakketten getoond in modellaag 4 en in b) de watervoerende pakketten die geschematiseerd zijn in modellaag 7 in de Provincie Zuid-Holland

4.3.3 Ondergrondse opslag van zoetwater via verticale ASR

Het toepassen van ondergrondse zoetwateropslag kan invloed hebben (zowel positief als negatief) op de omgeving, zowel boven als onder de grond. Hierbij hebben we gekeken naar:

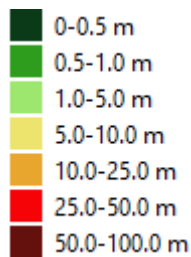
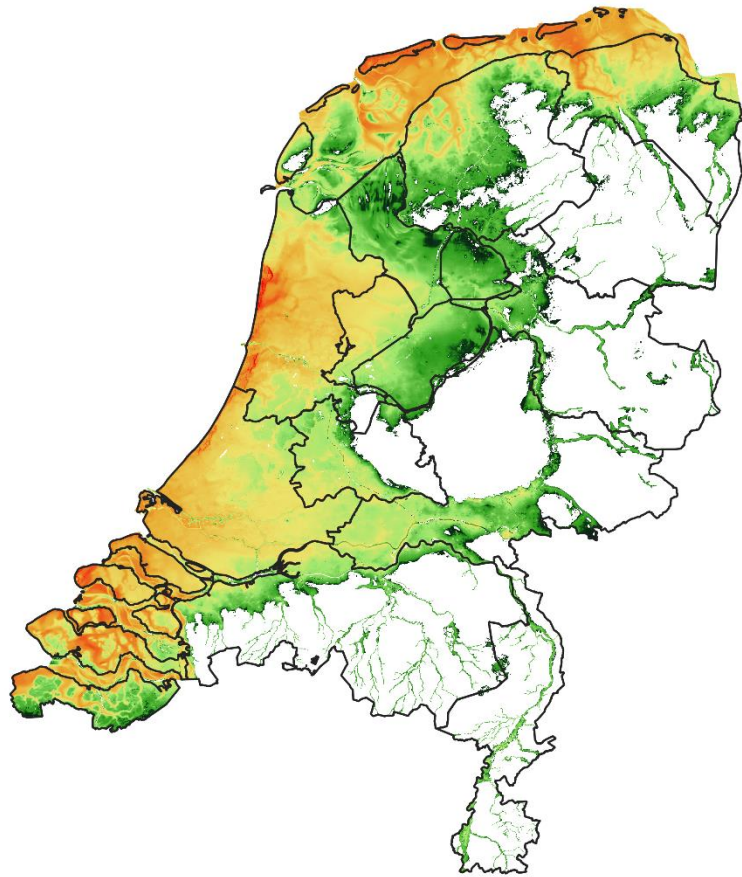
- Risico op interferentie door gaten in kleilagen;
- Dikte van het klei/veenpakket omdat dit invloed kan hebben op een merkbare vernatting/verdroging aan het maaiveld.

4.3.3.1 Risico op interferentie door gaten in kleilagen

Wanneer er gaten in de kleilagen van dieper waterscheidende lagen zitten, kan er interferentie optreden waarbij grondwater makkelijker tussen verschillende watervoerende pakketten kan bewegen. Hier is in deze studie naar gekeken, maar dit is per locatie en gebied verschillend en het is daarom erg lastig hier op nationaal niveau iets over te zeggen. Om er achter te komen of de efficiëntie van de toepassing van ondergrondse opslag van zoetwater is afgenomen door eventuele interferentie door gaten in de kleilagen, zal er vooral op lokaal niveau onderzoek moeten worden gedaan. Hierbij zou gebruik gemaakt kunnen worden van GEOTOP om de kans op aanwezigheid van kleilagen in de ondiepe grondlagen te kunnen vaststellen per locatie.

4.3.3.2 Dikte van het klei/veenpakket

Bij aanwezigheid van een dik klei/veenpakket is het risico op vernatting en verdroging (en zetting) aan het maaiveld bij de toepassing van zoetwateropslag minder of niet merkbaar en heeft daarom een positief effect (Hoogvliet et al., 2014). Figuur 4.5 laat de dikte van het klei/veenpakket zien welke bepaald is op basis van GeoTOP v4.1: hoe roder de kleur, des te dikker het pakket op die locatie en hoe groter de kans dat ondergrondse opslag van zoetwater succesvol toegepast kan worden en kan bijdragen aan het vergroten van de zoetwatervoorraden in de Nederlandse kustprovincies om te kunnen voldoen aan de groeiende zoetwatervraag. Om beter inzicht te krijgen op hoe groot het effect is aan maaiveld van de dikte van het klei/veenpakket bij toepassing van ondergrondse opslag van zoetwater, wordt aanbevolen om extra modelberekeningen uit te voeren. Dit paste niet in de scope van deze studie.



Figuur 4.5 Dikte van het klei/veenpakket (in meters) bepaald op basis van LHM4.1 waarbij GeoTOP v1.4 is gebruikt.

4.3.4 Brakwaterwinning

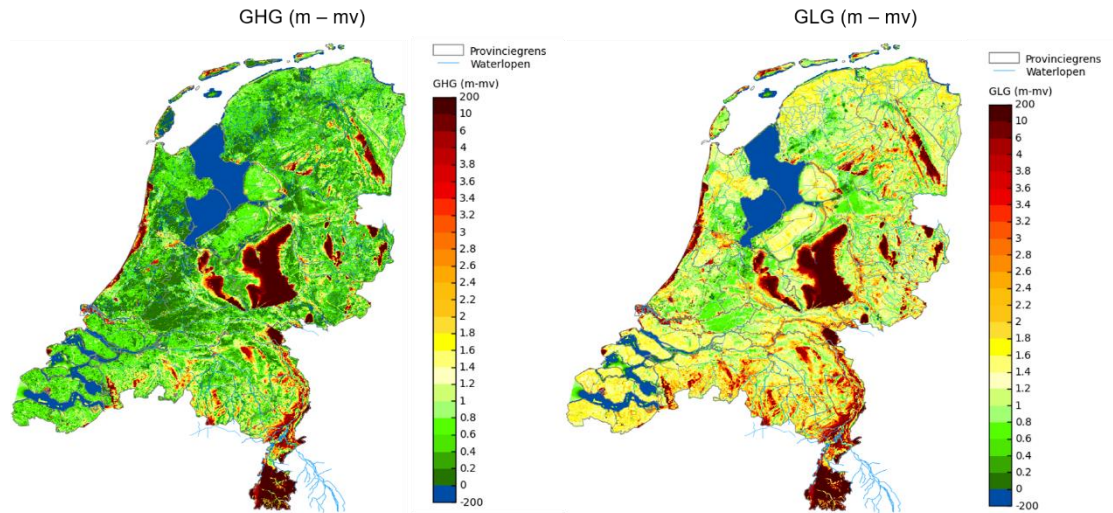
Het toepassen van brakwaterwinning kan invloed hebben (zowel positief als negatief) op de omgeving, zowel boven als onder de grond. Hierbij hebben we gekeken naar:

- Risico op verhoging of verlaging van de grondwaterstand;
- Risico op paalrot (voor stedelijk gebied);
- Verandering in zoute/brakke kwelflux;
- Effect op verzilting en het benodigde doorspoeldebiet;
- Risico op extra bodemdaling;
- Risico op interferentie met bestaande (open) bodemenergy-systemen.

4.3.4.1 Risico op verlaagde of verhoogde grondwaterstanden

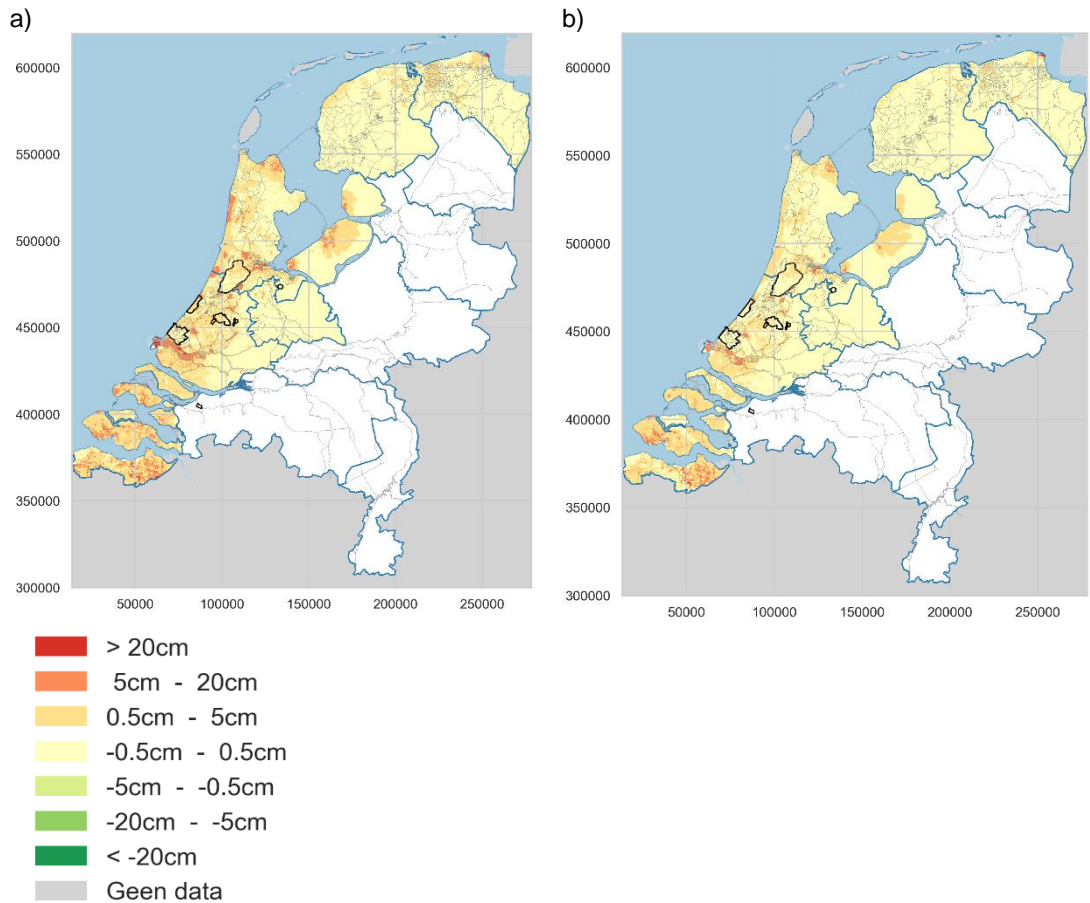
De toepassing van brakwaterwinning (afvangen van brak grondwater), het infiltreren van concentraat of een combinatie van beide kan tot een verhoogde (grondwateroverlast) of verlaagde (grondwateronderlast) grondwaterstand leiden in het freatisch pakket.

Voor ieder scenario is de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) berekend ten opzichte van maaiveld over de periode 1998 t/m 2006 voor heel Nederland. Deze resultaten zijn vergeleken met de referentiesituatie (Figuur 4.6); zonder het afvangen van brak grondwater en/of het infiltreren van concentraat. Aangezien deze studie zich richt op de provincies waar brakwater kan voorkomen in de ondergrond is ervoor gekozen om alleen te kijken naar de provincie Zeeland, Zuid-Holland, Utrecht, Noord-Holland, Flevoland, Friesland en Groningen.

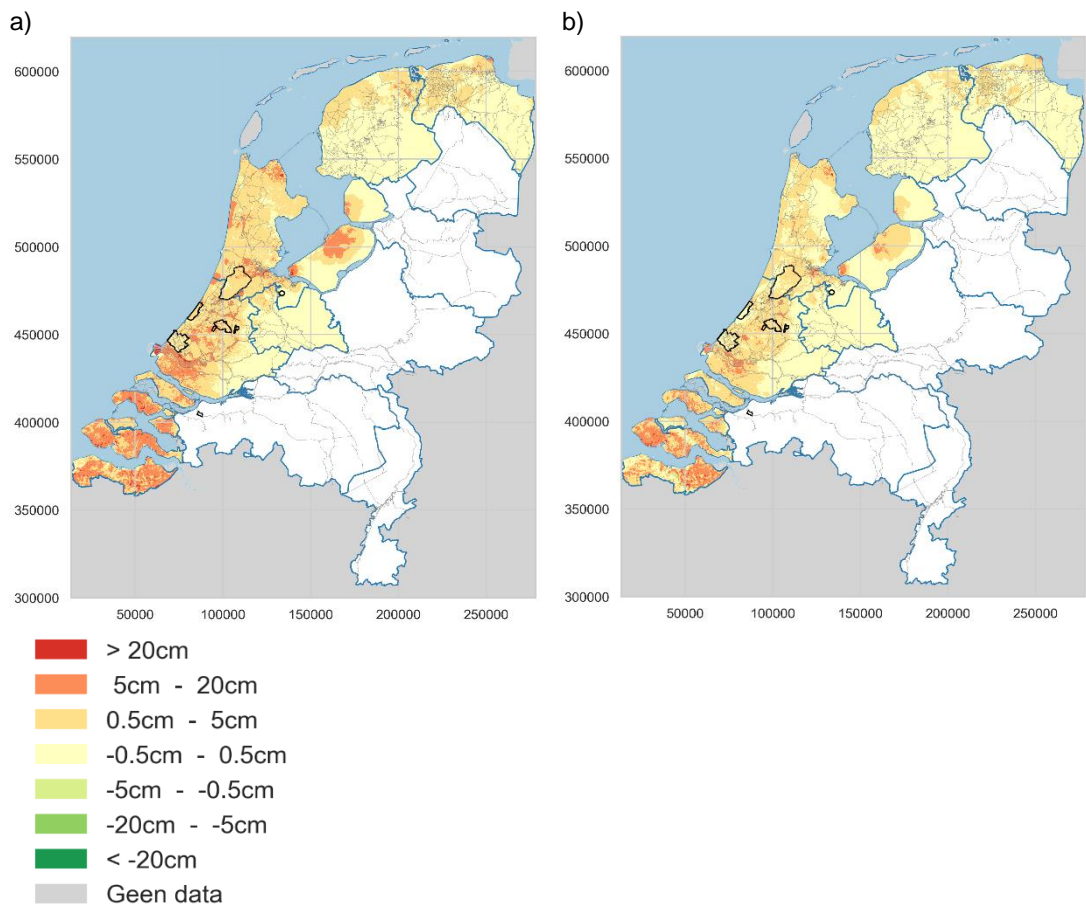


Figuur 4.6 GHG (links) en de GLG (rechts) voor LHM 4.0 voor de referentiesituatie. GHG en GLG bepaald over de periode april 1998- april 2006.

Figuur 4.7 en Figuur 4.8 tonen de mate van kans op verandering in de grondwaterstand in de provincies waar brakwater kan voorkomen in de ondergrond. Deze kansen zijn gebaseerd op verandering in de berekende GHG en GLG ten opzichte van de referentiesituatie, als gevolg van de aanpassingen in de twee scenario's (Tabel 4.1). De rode kleuren tonen een kans op een verlaging van de grondwaterstand en de groene kleuren tonen een kans op een verhoging. De verschillende risico-categorieën zijn ingedeeld aan de hand van veranderingen in de berekende GHG en GLG ten opzichte van de referentiesituatie. Aangenomen wordt dat geen risico zal optreden wanneer de verandering in GHG en GLG minder is dan 0.5 cm. Weinig risico treedt op wanneer er een verandering in GHG en GLG plaatsvindt tussen 0.5 cm en 5.0 cm. Een verandering in GHG en GLG tussen 5.0 cm en 20.0 cm kan leiden tot een matig risico, en een groot risico kan ontstaan wanneer de verandering in GHG en GLG groter is dan 20.0 cm. Of een verandering in GHG en/of GLG daadwerkelijk leidt tot een risico is afhankelijk van o.a. de GHG/GLG zelf (bij relatief lage grondwaterstanden zullen veranderingen in verhouding minder effect hebben), het landgebruik, de bestemming van het gebied en de huidige hydrologische situatie in het gebied. In sommige gevallen kan een verandering juist gewenst zijn. Aanbevolen wordt om daarom per situatie en gebied extra onderzoek te doen om vast te stellen of het risico op een verhoging of verlaging van de grondwaterstand wat berekend is, daadwerkelijk een risico zal vormen voor het betreffende gebied.



Figuur 4.7 Risico op verhoging of verlaging van de grondwaterstand, gebaseerd op verandering van GHG ten opzichte van de referentie situatie (Figuur 4.6) als gevolg van het afvangen van 50% van de brakke kwelflux en a) geen concentraatinjectie en b) 50% van de afgevangen kwelflux als concentraat injecteren in diepere watervoerende pakketten. GHG bepaald over de periode april 1998 – april 2006. De provincies Drenthe, Overijssel, Gelderland, Noord-Brabant en Limburg zijn gemaskeerd, omdat de focus van deze studie op de kustprovincies ligt.



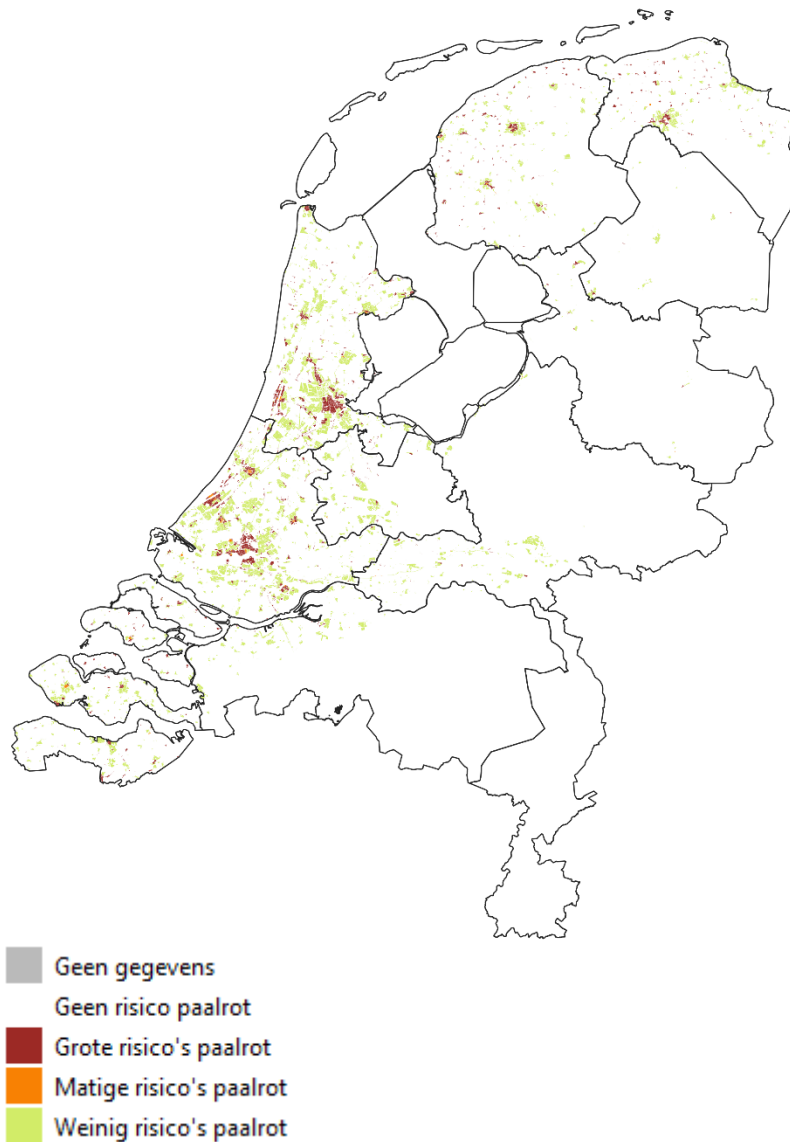
Figuur 4.8 Risico op verhoging of verlaging van de grondwaterstand, gebaseerd op verandering van GHG ten opzichte van de referentie situatie (Figuur 4.6) als gevolg van het afvangen van 50% van de brakke kwelflux en a) geen concentraatinjectie en b) 50% van de afgevangen kwelflux als concentraat injecteren in diepere watervoerende pakketten. GHG bepaald over de periode april 1998 – april 2006. De provincies Drenthe, Overijssel, Gelderland, Noord-Brabant en Limburg zijn gemaskeerd, omdat de focus van deze studie op de kustprovincies ligt.

Figuur 4.7 en Figuur 4.8 laten zien dat er in veel gebieden een verlaging van de grondwaterstand optreedt wanneer brakwaterwinning wordt toegepast. Het risico op een verlaging is kleiner wanneer daarbij concentraatinjectie wordt toegepast (Figuur 4.7b en Figuur 4.8b). Dit laat zien dat een halvering van het onttrekkingsdebiet samen met een concentraatinjectie die gelijk is aan een kwart van de kwelflux, tot de minste verandering in de grondwaterstand (i.e., GHG en GLG) leidt. In deze situatie geldt dat er voor de meeste gebieden weinig tot geen risico is op verlaging bij toepassing van brakwaterwinning en dat het verlaging en/of verhoging van de grondwaterstand geen limiterende factor zal spelen bij de toepassing van brakwaterwinning. Wel is het van belang om per locatie te kijken naar de lokale omstandigheden en is het uitvoeren van een detailstudie vaak noodzakelijk om de werkelijk verwachte effecten in kaart te kunnen brengen voordat overgegaan kan worden naar de pilotfase en vervolgens naar de daadwerkelijke implementatie.

4.3.4.2 Risico op paalrot (in stedelijk gebied)

Een groot risico op verdroging komt overeen met een verlaging van de grondwaterstand (i.e., GHG en GLG) van meer dan 20 cm (Klimaat-effectatlas, 2020). Dit betekent dat de grondwaterstand 20 cm dieper onder maaiveld komt te liggen dan in de uitgangssituatie (zie ook paragraaf 4.3.4.1). Dit kan gevolgen hebben voor het landgebruik, o.a. in het stedelijk gebied.

Figuur 4.9 laat zien welke stedelijke gebieden kwetsbaar zijn voor paalrot wanneer houten paalfunderingen langdurig of permanent bloot komen te liggen. Deze kaart is gebaseerd op de huidige en verwachte bodemdaling (zie ook de paragrafen 3.2.4 en 3.3.4) en de grootte van de kwel- of infiltratieflex (Hoogvliet et al., 2012).

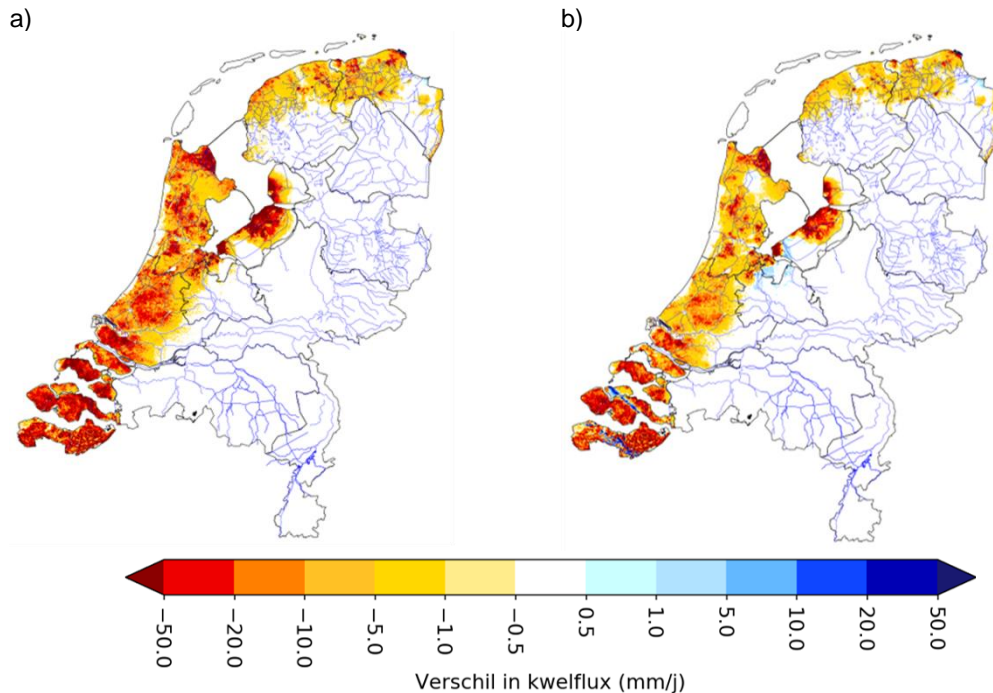


Figuur 4.9 Buurten waarin risico's van paalrot in meer of mindere mate voorkomen (klimaat-effectatlas, 2020)

4.3.4.3 Verandering in zoute/brakke kwelflux

De mogelijke verandering in kwelflux door het afvangen van brak grondwater en het infiltreren van concentraat is voor de twee scenario's afgebeeld in Figuur 4.10 (a. zonder concentraat injectie en b. met concentraatinjectie: 50% van de afgevangen kwelflux wordt als concentraat geïnjecteerd). De kwelreductie is het grootst in de provincies Zeeland en Flevoland. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de onttrekkingen zijn geplaatst in het 1e watervoerende pakket, welke als gevolg van de ondiepe geologisch basis ook vrij ondiep ligt in vergelijking met andere gebieden in Nederland. Daarnaast is de kwelreductie groter wanneer het onttrekkingsdebiet groter is, en kleiner wanneer concentraatinjectie wordt toegepast. Verder valt het op dat de kwelreductie effect heeft rondom de gebieden waar onttrokken wordt. De verhoogde onttrekking van brakwater leidt dus tot een vermindering in zoutvrucht, waardoor gewassen minder zoutschade zullen ondervinden en oppervlaktewater minder snel verzilt.

Hiermee kan brakwaterwinning bijdragen aan het voorkomen of het verminderen van de verzilting van grond- en oppervlaktewater.



Figuur 4.10 Verandering in de kwelflux (mm/j) als gevolg van het afvangen van 50% van de brakke kwelflux en a) geen concentraatinjectie en b) 50% van de afgevangen kwelflux als concentraat injecteren in diepere watervoerende pakketten. Gele/rode kleuren geven een afname van de kwel weer. De provincies Drenthe, Overijssel, Gelderland, Noord-Brabant en Limburg zijn gemaskeerd, omdat de focus van deze studie op de kustprovincies ligt.

4.3.4.4 Effect op verzilting en het benodigde doorspoeldebiet

In laag Nederland worden verschillende polders doorgespoeld om zoute kwel te verdunnen en zo zoetwaterafhankelijke landbouw mogelijk te maken. Het huidige doorspoeldebiet van verschillende polders is recent onderzocht (Delsman, 2017). De COASTAR toepassing brakwaterwinning leidt tot een afname van de zoutvracht naar polders. Naar verwachting neemt daarmee ook het benodigde doorspoeldebiet af, immers: er is minder zout om te moeten verdunnen.

De verandering in het benodigde doorspoeldebiet ten opzichte van de huidige situatie is bepaald door uit te gaan van de berekende LHM oppervlaktewater- en zoutbalans voor het groeiseizoen (1 april – 1 oktober) van het droge jaar 2003, waarbij de benodigde doorspoeling als volgt is berekend:

$$Q_{\text{doorspoel}} = Q_{\text{lsw}} \frac{C_{\text{lsw}} - C_{\text{uitgangssituatie}}}{C_{\text{uitgangssituatie}} - C_{\text{boezem}}}$$

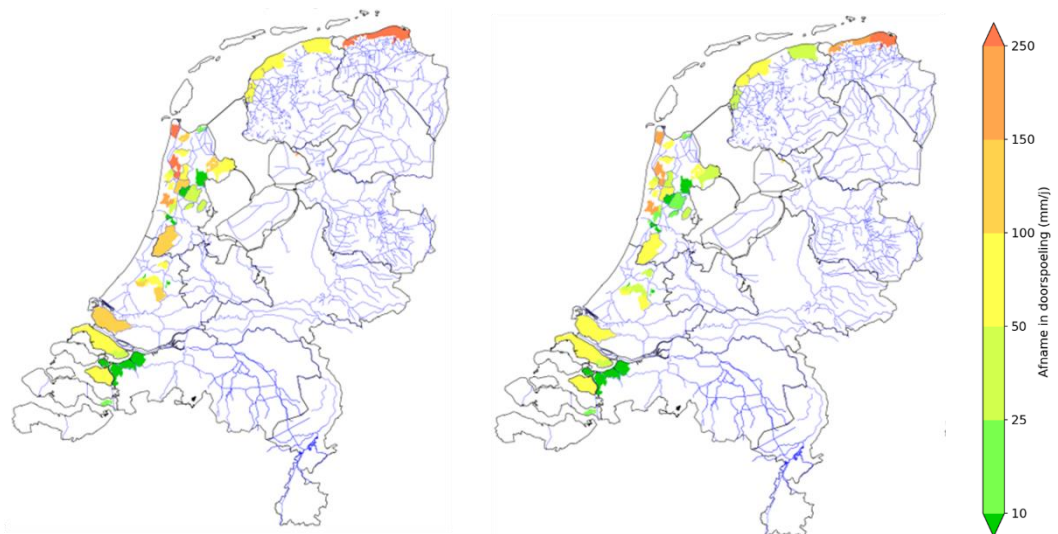
met:

- Q_{lsw} de opgetelde positieve termen (+ eventueel inlaatwater bij peilbeheer)
- C_{lsw} de concentratie voor doorspoelen (opgetelde zoutvracht / Q_{lsw})
- $C_{\text{uitgangssituatie}}$ de gewenste eindconcentratie
- C_{boezem} de aangenomen concentratie in de boezem

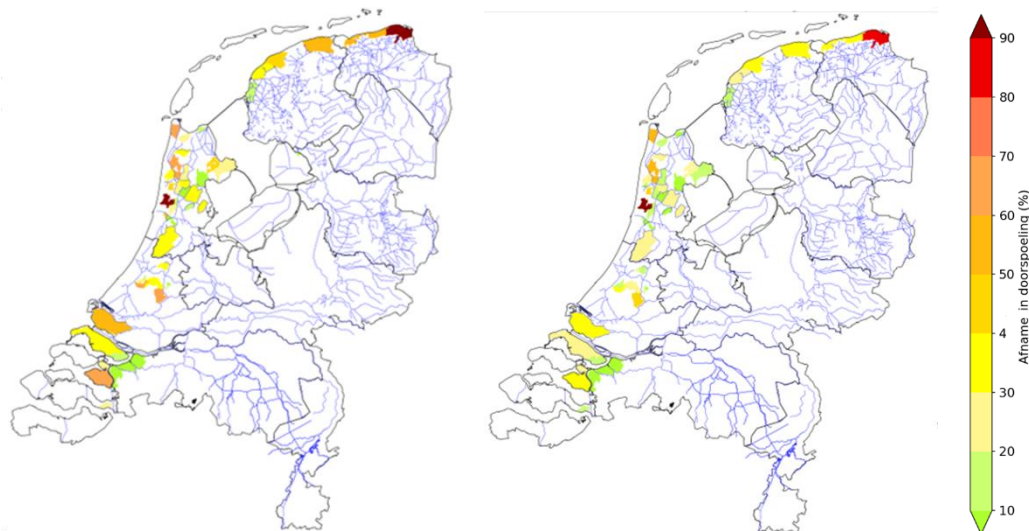
De benodigde doorspoeling is berekend voor de uitgangssituatie, en voor twee verschillende scenario's van brakwaterwinning. Hierbij is de aanname gedaan dat de concentratie chloride

in het oppervlaktewater gelijk wordt gehouden aan de uitgangssituatie. Bij afnemende zoutvracht naar het oppervlaktewater is er bij gelijkblijvende concentratie dan minder doorspoeling nodig.

De verandering in het benodigde doorspoeldebiet ten opzichte van de huidige situatie is per scenario afgebeeld in Figuur 4.11. Figuur 4.12 laat het procentuele verschil in het benodigde doorspoeldebiet zien. In beide figuren komen de doorspoelgebieden, en met name de diepere polders, naar voren. Gebieden waar de zoutvracht wel afneemt, maar die in de huidige situatie niet worden doorgespoeld, zoals grote delen van Zeeland (geen zoetwater beschikbaar) en Flevoland (zoete kwel vanuit de Veluwe), kennen logischerwijs geen effect. De situatie zonder concentraatinjectie laat de grootste afnames in doorspoeldebieten zien, wat wordt veroorzaakt door de grotere kwelreductie in dit scenario dan in het scenario met concentraatinjectie (zie Figuur 4.10). Hierdoor is de zoutvracht afgenomen, waardoor gewassen minder zoutschade zullen ondervinden, en hoeft er dus minder zout verdund te worden. Het onttrekken van brakwater leidt dus tot een verminderde doorspoelbehoefte in de meeste diepe polders en daarmee is er minder zoet water nodig voor de doorspoeling van sloten, boezemkanalen en vaarten. Hierdoor blijft er meer zoet oppervlaktewater beschikbaar voor peilbeheer, beregening en drinkwatervoorziening.



Figuur 4.11 Afname in doorspoeldebiet (mm/j) voor gemiddelde groeiseizoen (1 april – 1 oktober) van het jaar 2003 als gevolg van het afvangen van 50% van de brakke kwelflux en a) geen concentraatinjectie en b) 50% van de afgevangen kwelflux als concentraat injecteren in diepere watervoerende pakketten, ten opzichte van uitgangssituatie.



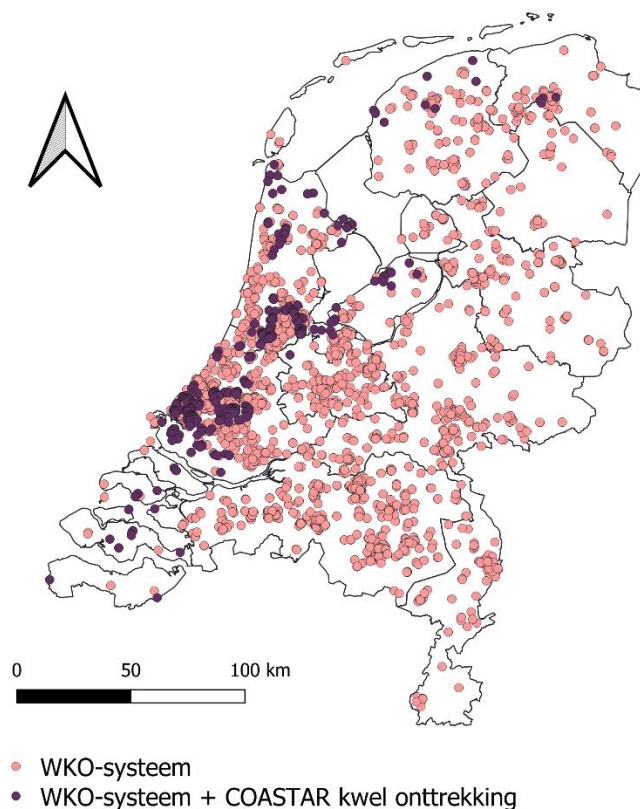
Figuur 4.12 Procentuele afname in doorspoeling voor gemiddelde groeiseizoenen (1 april – 1 oktober) van het jaar 2003 als gevolg van het afvangen van 50% van de brakke kwelflux en a) geen concentraatinjectie en b) 50% van de afgevangen kwelflux als concentraat injecteren in diepere watervoerende pakketten, ten opzichte van uitgangssituatie.

4.3.4.5 Risico op extra bodemdaling

Brakwaterwinning kan het risico op verlaging van de grondwaterstand vergroten (Figuur 4.7 en Figuur 4.8) waardoor krimp, oxidatie, en samendrukken van (slappe) grond kan leiden tot bodemdaling. Figuur 3.8 (in paragraaf 3.2.4) geeft op basis van radarbeelden een indicatie van bodemdaling voor stedelijke en landelijke gebieden over de periode oktober 2016 tot oktober 2018. Wanneer we de huidige bodemdaling vergelijken met de risico's op verlaging van de grondwaterstand, dan zien we dat gebieden zoals Tholen, Walcheren, Zuid Beveland, Schouwen-Duivenland, het Groene Hart, Zuid-Kennemerland, Regio Alkmaar, Almere, het noorden van Zuid-Flevoland en het westen van de Noordoostpolder een groter risico hebben op een versterkte bodemdaling bij toepassing van brakwaterwinning. In het scenario waar naast het onttrekken van brakke kwel ook concentraatinjectie wordt toegepast, is het risico op verlaging van de grondwaterstand het kleinst en daarmee ook het risico op een versterkte bodemdaling.

4.3.4.6 Risico op interferentie met bestaande (open) bodemenergiesystemen

In Nederland wordt sinds een aantal jaren warmte-koudeopslag (WKO) systemen gebruikt om op een duurzame manier gebouwen te verwarmen en/of te koelen. De open systemen voor WKO onttrekken water uit een geschikte grondwaterlaag en injecteren dat vervolgens weer terug in dezelfde laag. Het is belangrijk om voldoende afstand te houden tussen WKO-installaties en (drink)waterwinningen, omdat (bescheiden) temperatuursveranderingen in het grondwater die door WKO-systemen veroorzaakt worden, aanleiding kunnen geven tot verandering van de eventueel aanwezige ziektekiemen in het grondwater en bij hogere temperaturen ook de samenstelling van opgeloste stoffen (van Beelen et al., 2011). Dit komt ook de efficiëntie van bodemenergiesystemen niet ten goede. Figuur 4.13 toont de huidige open WKO-systemen in Nederland, waarbij de donker gekleurde punten de WKO-systemen laten zien die samenvallen met locaties waar potentieel brakwater gewonnen zou kunnen worden (zie ook Figuur 4.3 in paragraaf 4.3.2). Op deze locaties is er risico op interferentie. Brakwaterwinning kan op deze locaties waarschijnlijk niet of minder efficiënt worden toegepast. Dit zal met name in het glastuinbouw gebied van Zuid-Holland en in Amsterdam voor problemen kunnen zorgen. Doordat er minder brakke kwel kan worden afgevangen in het zuiden van Zuid-Holland, zal het risico op verzilting vergroten onder veranderende klimatologische omstandigheden en als gevolg van autonome verzilting, waardoor er meer zoet water nodig is om de negatieve effecten hiervan te bestrijden.



Figuur 4.13 Locaties van huidige WKO-systemen in Nederland (uit: wkotool.nl). De donker gekleurde punten tonen de locaties die interferentie kunnen veroorzaken met een brakwaterwinning.

4.3.4.7 Potentiele opbrengst

Om een indicatie te kunnen geven van de potentiële opbrengst aan zoetwater bij het afvangen van brakwelwater, is per gebied de totale brakke kwel flux berekend.

4.4 Economische waardering van de effecten

In een economische analyse drukken we de (fysieke) effecten van projecten of maatregelen waar mogelijk uit in termen van economische kosten en baten. Dit is de economische waardering van de effecten.

Er is in het geval van de beoordeling van COASTAR op nationaal niveau *geen* formele maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) uitgevoerd. De hiervoor benodigde informatie met betrekking tot scope en implementatie van COASTAR toepassingen, inclusief bijbehorende kosten en effecten is namelijk niet beschikbaar op landelijk schaalniveau. Om die reden is ervoor gekozen om een economische analyse uit te voeren, waarbij het doel is om een *indicatie* te geven van de mogelijke maatschappelijke kosten en baten.

Hiertoe is gebruik gemaakt van cases die binnen het COASTAR-programma zijn uitgewerkt, waarvoor op het desbetreffende ruimtelijke schaalniveau wel een MKBA is uitgevoerd. Deze informatie wordt uitsluitend gebruikt ter illustratie van de effecten. Er wordt geen (nationaal) saldo of netto contante waarde van COASTAR-toepassingen berekend.

Bij het waarderen van de verschillende effecten wordt gebruikt gemaakt van de Algemene Leidraad MKBA en de verschillende MKBA-werkwijzers, waaronder de MKBA Werkwijzers Natuur en Milieu (Klooster et al., 2018). Sommige effecten hebben feitelijk al een economische waardering, omdat ze zijn uitgedrukt in marktprijzen (bijvoorbeeld investeringen, onderhoudskosten of kostprijs van water). Bij andere effecten is dit niet het geval en moet

daarom een alternatieve waarderingsmethode gebruikt worden, bijvoorbeeld vermeden kosten, hedonische prijzen (zoals vastgoedwaarde) of stated preference (uitgesproken voorkeuren). Indien ook zo'n alternatieve monetaire waardering niet mogelijk is, worden de effecten kwalitatief gewaardeerd.

4.4.1 **Ondergrondse opslag van zoetwater via verticale ASR**

De kosten en baten van de toepassing van COASTAR met betrekking tot de ondergrondse opslag van zoetwater (via verticale ASR) worden geïllustreerd aan de hand van de volgende cases:

- *Waterbank Westland*: Het Westland is voornamelijk geschikt voor grootschalige ondergrondse opslag, waarbij over het hele gebied zo'n 3-6 miljoen m³/jaar aan ontzilt brak grondwater beschikbaar gemaakt kan worden om in een deel van de zoetwatervraag van het gebied te voorzien. Hiermee wordt tevens beoogd te voorkómen dat het grondwater verder verzilt (Stofberg et al., 2020).
- *Urban Waterbuffer Rotterdam (UWB)*: De wijk Spangen had, ondanks de aanwezigheid van een gescheiden rioolstelsel, bij hevige neerslag last van water op straat. Daarnaast hadden wijkbewoners de wens om de openbare ruimte te vergroenen. Met voetbalclub Sparta was er ook een eindgebruiker aanwezig die veel drinkwater gebruikte, met name voor de beregening van het kunstgrasveld. Met de UWB wordt hemelwater, dat valt op het stadion en op het verharde oppervlak daaromheen, opgevangen in een tijdelijke buffer onder een Johan Cruyffcourt. Er kan 50 mm neerslag direct worden opgevangen. Het vervuilde afstromende hemelwater wordt gezuiverd middels een natuurlijk zuiveringssysteem, en vervolgens geleidelijk (24-48 uur) geïnfiltreerd in het eerste watervoerend pakket (max 30.000 m³/jaar). Het opgeslagen hemelwater wordt later teruggewonnen voor het beregenen van het kunstgrasveld van Sparta en voor verkoeling via de waterzuil op het plein naast het stadion (Dartee en Kok, 2020).

4.4.2 **Brakwaterwinning**

De kosten en baten van de toepassing van COASTAR met betrekking tot brakwaterwinning wordt geïllustreerd aan de hand van de volgende cases:

- *De Middelburg en Tempelpolder (MT-polder)*, gelegen in het Groene Hart, tussen Bodegraven, Reeuwijk, Boskoop en Gouda. Deze polder ligt ongeveer drie meter lager dan de omgeving. Een groot deel van de polder is in gebruik voor landbouw (melkveehouderij en sierteelt). Oasen zoekt voor haar leveringszekerheid en de dekking van de verwachte toekomstige drinkwatervraag extra productiecapaciteit in het gebied ten noorden van Gouda door middel van het winnen van brak grondwater onder de MT-polder. Er is een aantal hydrologische scenario's geanalyseerd. Deze zijn nader toegelicht in de rapportage Brakwaterwinning Middelburg- en Tempelpolder: Geohydrologische modellering en batenberekening. De scenario's lopen uiteen wat betreft onttrokken debiet (1,25 – 4 miljoen m³ per jaar), zoetwater productie (0,625 – 2 miljoen m³ per jaar, recovery van 50%), al dan niet infiltratie van concentraat na ontzilting en de diepte van onttrekking en infiltratie (per watervoerend pakket (WVP) (Posma et al., 2020).
- *Dunea* is een drinkwaterbedrijf met als belangrijkste bronnen twee oppervlaktewaterlichamen; de Afgedamde Maas en de Lek. Dunea voorziet een forse stijging van de afzet van drinkwater in het jaar 2025. Deze stijging is gerelateerd aan een verwachte forse toename van de bevolking in het gehele leveringsgebied (zie ook paragraaf 3.3.2). Daarnaast zijn met de huidige klimaatveranderingen de bestaande bronnen kwetsbaar gebleken. Lage afvoeren door beperkte regenval zorgen voor een toename van zout concentraties (Lek) en verontreinigingen zoals gewasbeschermingsmiddelen en medicijnresten vanuit de RWZI-lozingen (Lek, Afgedamde Maas). Ook zijn industriële (calamiteuze) lozingen van persistente, zeer zorgwekkende stoffen een zorg. De pyrazool affaire en de lozing van GenX zijn hier voorbeelden van. Het ingenomen water vanuit deze oppervlaktelichamen wordt

getransporteerd met behulp van pompen en pijpleidingsystemen langs twee afzonderlijke routes (redundantie). Deze routes liggen onder percelen die niet in eigendom zijn van Dunea, in een zeer intensief gebruikt stuk Nederland. Daarmee wordt zij geregeld geconfronteerd met de plicht om de routing te veranderen zodat ontwikkelinitiatieven kunnen plaatsvinden. Dit is kostbaar en verhoogt de kwetsbaarheid van het pijpleidingsstelsel. Dit heeft Dunea doen besluiten om een derde alternatieve bron te gaan zoeken die los staat van de oppervlaktewaterinname. Afgelopen jaren is de aandacht onder andere gegaan naar brakgrondwater als bron. Dit is een zekere (volume) en veilige (kwaliteit) bron die aanwezig is onder het eigen grondgebied van Dunea. In het kader van COASTAR zijn voor en met Dunea twee cases uitgewerkt, namelijk:

- Brakwaterwinning in de *duinen*: Dunea beheert drie duingebieden tussen Monster en Katwijk, die deel uitmaken van Nationaal Park Hollandse Duinen: Solleveld, Meijndel en Berkheide. Deze drie gebieden zijn van groot belang voor het zuiveren van drinkwater. Het brakke water bevindt zich onder de huidige zoetwatervoorraden die Dunea op dit moment gebruikt voor haar drinkwaterproductie. Door het brakke water op te pompen en bij de huidige pompstations op te werken tot drinkwaterkwaliteit wordt maximaal gebruik gemaakt van bestaande omgeving en infrastructuur van Dunea (Boonekamp et al., 2020).
- Reductie van zoute kwel als gevolg van de toepassing van brakwaterwinning voor drinkwaterproductie in de landinwaarts gelegen *Noordplaspolder* zou een gunstig effect kunnen hebben op andere gebieden binnen Rijnland, omdat het brakke doorspoelwater dat normaal gesproken in de boezem terechtkomt elders tot zoutschade kan leiden (onder andere in de omgeving van Boskoop, waar de teelten gevoelig en kapitaalintensief zijn). Ongeveer 8% van de chloridebelasting op de boezem van Rijnland is afkomstig uit de Noordplaspolder (De Louw et al., 2004). Polder de Noordplas kan daarom in beginsel een geschikte locatie zijn voor brakwaterwinning, omdat de brakke kwelproblematiek als probleem wordt ervaren voor een groter gebied, namelijk een groot deel van Rijnland. Een nadeel van deze locatie is de relatief grote afstand tot Katwijk, waardoor grote investeringen noodzakelijk zijn om het zoute concentraat naar zee te transporteren (Posma en Klooster, 2018)

In Tabel 4.2 is een overzicht opgenomen van de effecten (kosten en baten) die in deze economische analyse aan de orde komen. De kosten zijn gerelateerd aan benodigde investeringen, exploitatie en onderhoud. De baten van COASTAR zijn gerelateerd aan de directe of afgeleide effecten van de instandhouding respectievelijk verbetering van de zoetwatervoorziening voor verschillende functies en/of sectoren.

Effecten	Waarderingsmaatstaf	Specificatie
Kosten		
Investeringskosten	€	Verwachte investeringskosten.
Kosten beheer, onderhoud en exploitatie	€	Verwachte gemiddelde (<i>meer/minder</i>) kosten voor exploitatie, beheer en onderhoud.
Baten		
Drinkwater	€ / Kwalitatief	<ul style="list-style-type: none"> • Leveringszekerheid (spreiding bronnen) • Verandering kostprijs water
Water voor beregening, bevoeiing en productieproces	€	<ul style="list-style-type: none"> • Leveringszekerheid (spreiding bronnen) • Vestigingsklimaat • Verandering productiekosten en/of omzet vanwege: <ul style="list-style-type: none"> ○ Verandering kostprijs water; ○ Verandering zoutschade vanwege verzilting, opbarstingen etc. ○ Verandering droogteschade ○ Verandering natschade ○ beperking andere functies vanwege waterwingebied
Bodem	€ / kwalitatief	<ul style="list-style-type: none"> • Verandering in schade vanwege impact op bodemdaling • Ondergrond als factor in oplossingen voor waterbeheer
Waterbeheer	€ / kwalitatief	<ul style="list-style-type: none"> • Verandering kosten waterberging • Verandering kosten stedelijke wateroverlast • Verandering kosten doorspoelen en inzet gemalen • Verandering kosten voor mitigerende maatregelen om de (grond)waterkwaliteit te verbeteren • Verandering risico opbarsting deklaag, instabiliteit kades • Voorbeeldvorming omgaan met zoute kwelgebieden en strategische grondwatervoorraden
Ecologie	€ / Kwalitatief	<ul style="list-style-type: none"> • Verandering kosten natuurbeheer

Energie	Kwalitatief	<ul style="list-style-type: none"> • Interactie met WKO: “co-existentie” met WKO in het eerste watervoerende pakket
----------------	-------------	--

Tabel 4.2 Overzicht effecten economische analyse COASTAR nationaal niveau

In de economische analyse worden deze effecten nader belicht. Aan de hand van de cases die in het kader van COASTAR zijn ontwikkeld, geven we een *illustratie* van de effecten.

5 Resultaten

5.1 Algemeen

Aan de hand van de verschillende factoren zijn voor de twee toepassingen, ondergrondse opslag zoetwater en brakwaterwinning, geohydrologische geschiktheidskaarten opgesteld. Deze zijn per LHM-laag samengesteld wat resulteert in een geohydrologische geschiktheidskaart per LHM-laag. In de uiteindelijke geohydrologische geschiktheidskaart zijn alle lagen samengevoegd en is gekeken naar de laag waar de toepassing het meest kansrijk is. Per toepassing zijn kaarten gemaakt voor heel Nederland en is ingezoomd op Midden-West Nederland. Daarnaast is op case niveau per toepassing gekeken naar de mogelijke effecten, kosten en baten die verwacht kunnen worden. Tegelijkertijd zijn de cases gebruikt om de landelijke opschaling van de geschiktheid voor beide toepassingen te valideren.

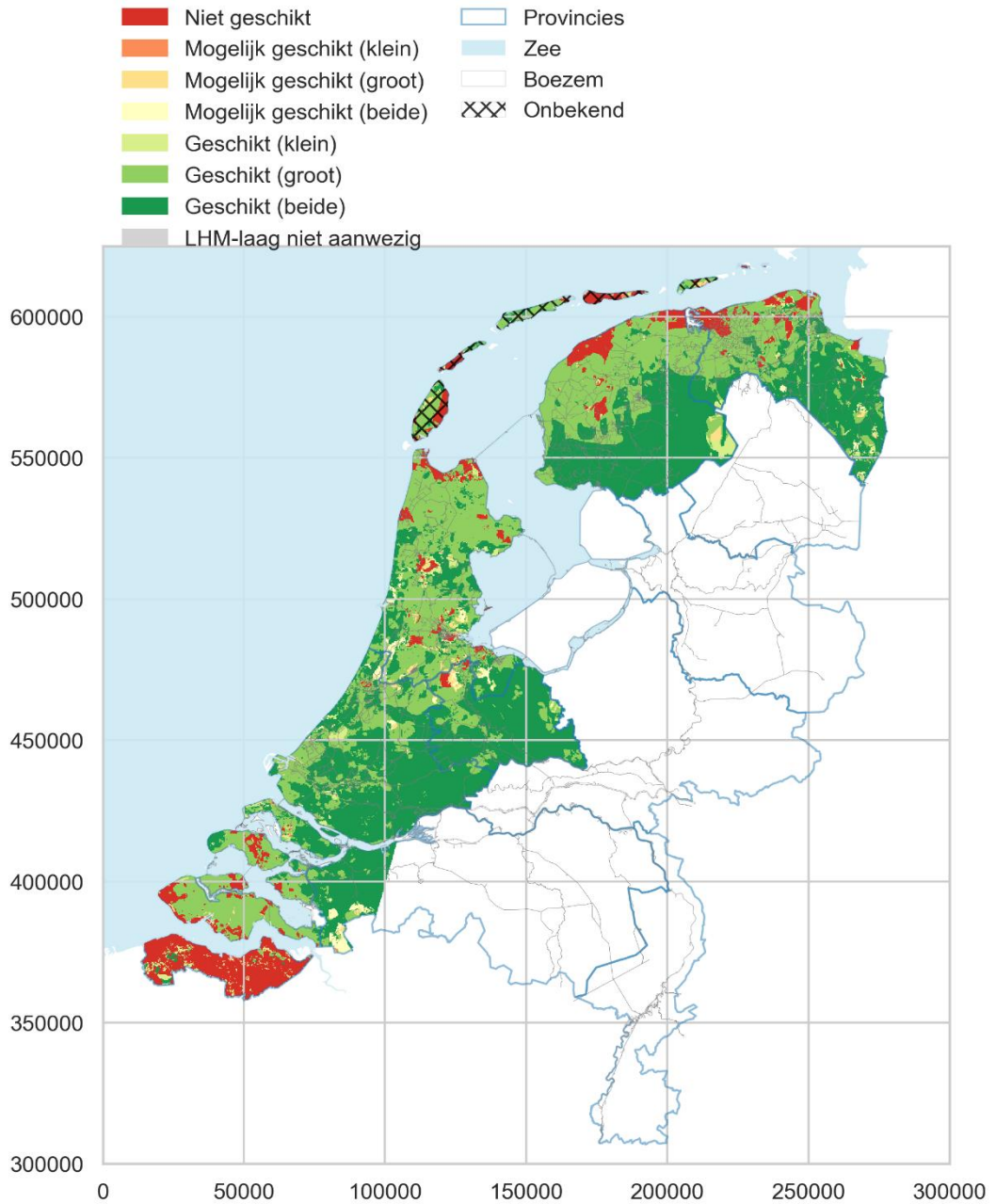
In dit hoofdstuk zoomen we steeds een stukje verder in en maken hiermee inzichtelijk wat de toepassing van brakwaterwinning en ondergrondse opslag van zoetwater betekent op de landelijke schaal (paragraaf 4.1), op regionaal niveau (paragraaf 4.2) en op de lokale schaal (paragraaf 4.3).

5.2 Landelijk

5.2.1 Ondergrondse opslag zoetwater

De bepaalde geohydrologische geschiktheid voor de toepassing van ondergrondse opslag van zoetwater (via verticale ASR) is weergegeven in Figuur 5.1 voor het hele Nederlandse kustgebied. Hierbij zijn alle LHM-lagen samengevoegd en is per cel gekeken naar de laag waar de ondergrond het meest geschikt is voor de opslag van zoet water. De onderliggende factoren en de geschiktheidskaart van LHM-laag 2 is te zien in Figuur 5.2. Hierbij valt de ongeschiktheid voor ondergrondse opslag van zoetwater op basis van het doorlaatvermogen op in Friesland en Groningen. Dit is het gevolg van een laag doorlaatvermogen, doordat deze modellaag vrij dun is (+/- 5 m). Kijken we naar de dieper gelegen lagen dan zijn deze op basis van het doorlaatvermogen wel geschikt voor ondergrondse opslag van zoetwater. De overige geschiktheidskaarten van alle afzonderlijke LHM-lagen staan in de bijlage A1.

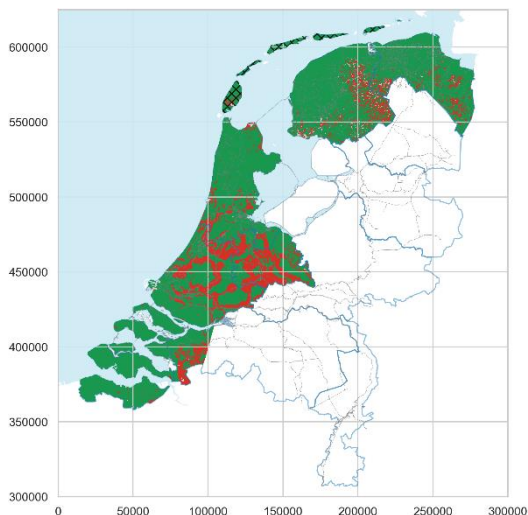
De geschiktheid voor ondergrondse opslag van zoetwater wordt in deze opzet onder andere belemmerd door het risico op opdrijving door te brak grondwater (Figuur 5.2b). Daarnaast zijn er gebieden die niet geschikt zijn door een te laag doorlaatvermogen, zoals in delen van Zeeland en Noord-Nederland (Figuur 5.2d).



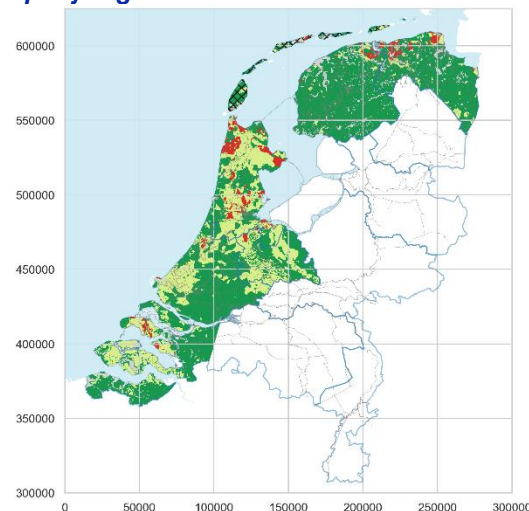
Figuur 5.1 Geohydrologische geschiktheidskaart voor ondergrondse opslag van zoetwater voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinatenstelsel.

LHM-laag 2

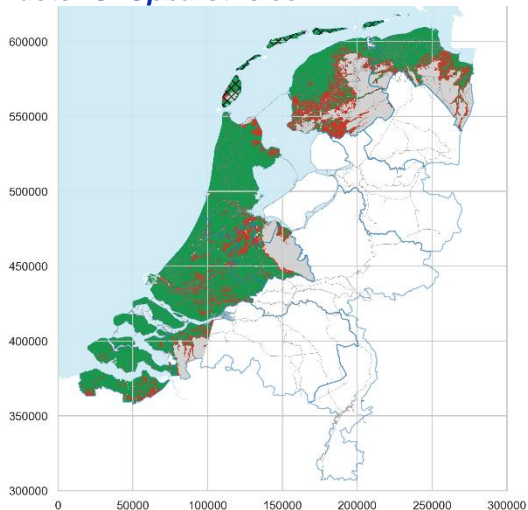
Factor A: Achtergrondstroming



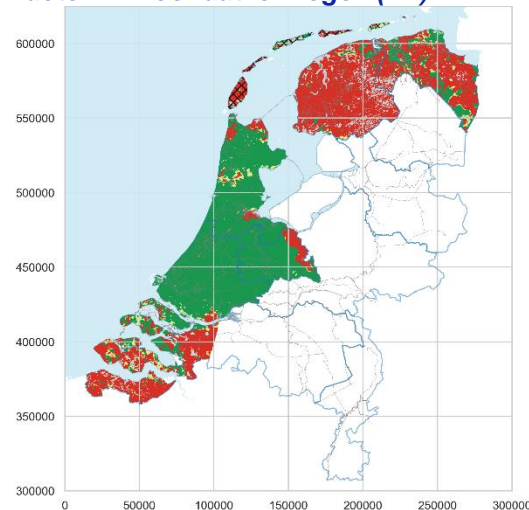
Factor B: Rendementsverlies door opdroging



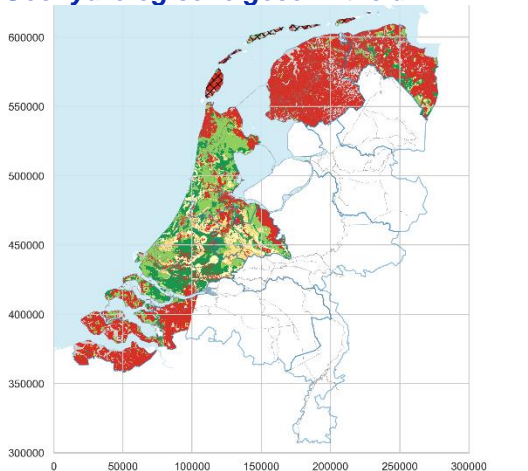
Factor C: Opbarstrisco



Factor D: Doorlaatvermogen (kD)



Geohydrologische geschiktheid



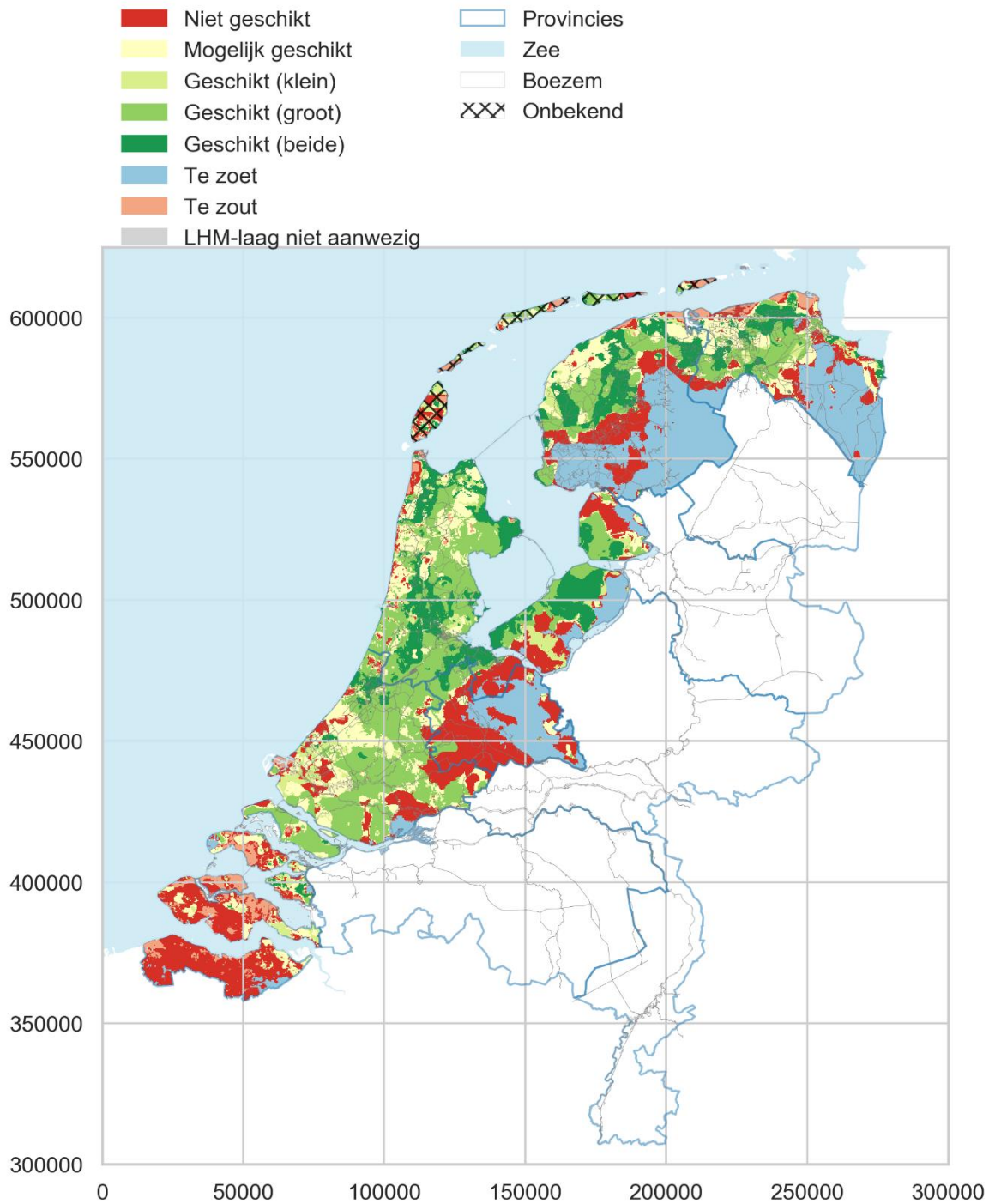
- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt (groot)
- Mogelijk geschikt (beide)
- Geschikt (klein)
- Geschikt (groot)
- Geschikt (beide)
- LHM-laag niet aanwezig
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

Figuur 5.2 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 2 voor ondergrondse opslag van zoetwater voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

5.2.2 Brakwaterwinning

De bepaalde geohydrologische geschiktheid voor de toepassing van brakwaterwinning is weergegeven in Figuur 5.3 voor het hele Nederlandse kustgebied. In het 1^e watervoerend pakket is alleen in de kuststrook een brakwaterpakket aanwezig met voldoende dikte (zie bijlage A2 Figuur 7.9b). In dieper gelegen pakketten zijn landinwaarts wel brakwaterpakketten te vinden (zie bijlage A2 Figuur 7.10b t/m Figuur 7.14b). Over het algemeen is de grootste beperkende factor het voorkomen van een brakwaterpakket (Figuur 5.4a) en een voldoende dik brakwaterpakket (Figuur 5.4b). Het doorlatend vermogen is voornamelijk rond Zeeland en in Noord-Nederland een beperkende factor.

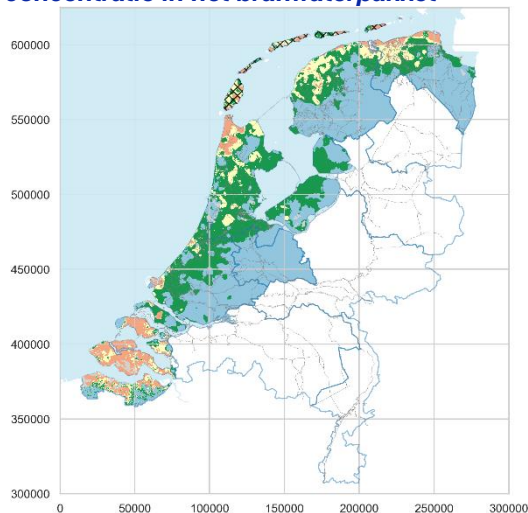
Bij de gebieden die mogelijk geschikt zijn (geel) is de chloride-concentratie aan de hoge kant. De mogelijk geschikte gebieden liggen in diepere watervoerende pakketten, omdat daar het brakwaterpakket in voldoende dikte aanwezig is. Daarnaast is er voor gekozen om gebieden die “te zoet” dan wel “te zout” geïnclassificeerd zijn voor de toepassing van brakwaterwinning, een aparte kleur te geven in de kaart. “Te zoete” gebieden zijn lichtblauw gekleurd en “te zoute” gebieden lichtrood. Figuur 5.5 geeft extra inzicht in de minimale diepte van vóórkomen van het brakwaterpakket indien het volgens de analyse geschikt is voor de toepassing van brakwaterwinning. Op basis hiervan is eenvoudiger om te bepalen of een gebied potentieel meer geschikt is voor kleinschalige winningen (tot 50 m diepte) of juist voor grootschalige toepassingen (tot 200 m diepte).



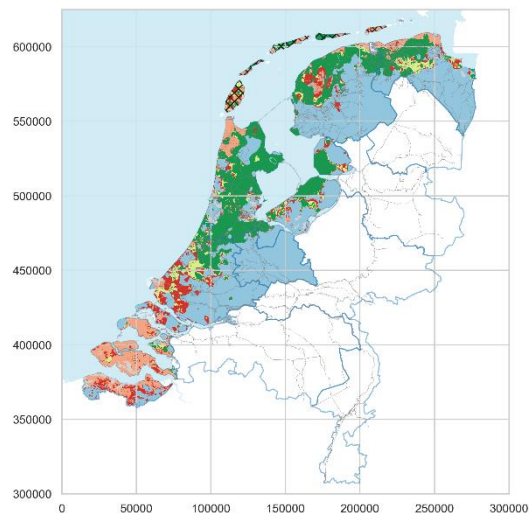
Figuur 5.3 Geohydrologische geschiktheidskaart voor brakwaterwinning toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 4

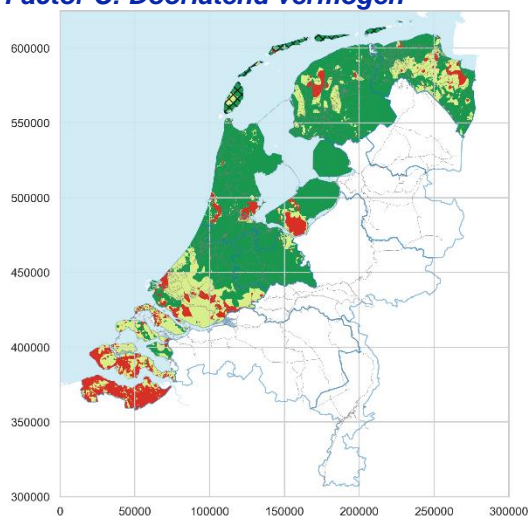
Factor A: Gemiddelde chloride-concentratie in het brakwaterpakket



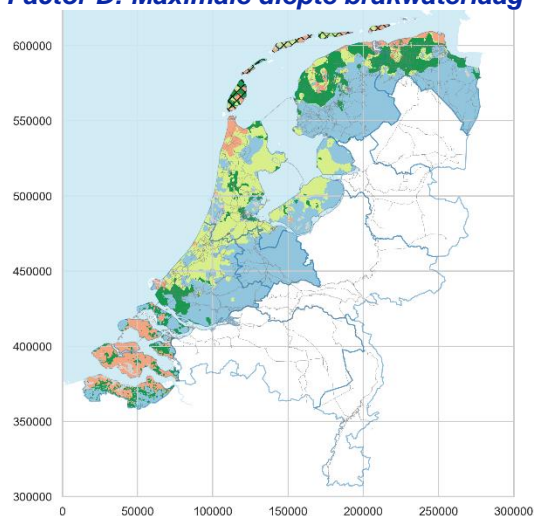
Factor B: Dikte brakwaterpakket



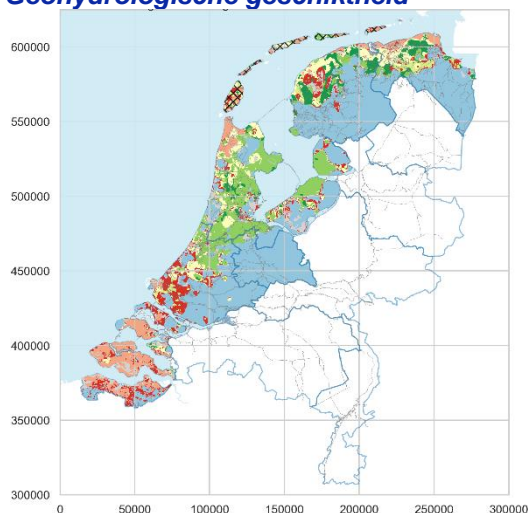
Factor C: Doorlatend vermogen



Factor D: Maximale diepte brakwaterlaag

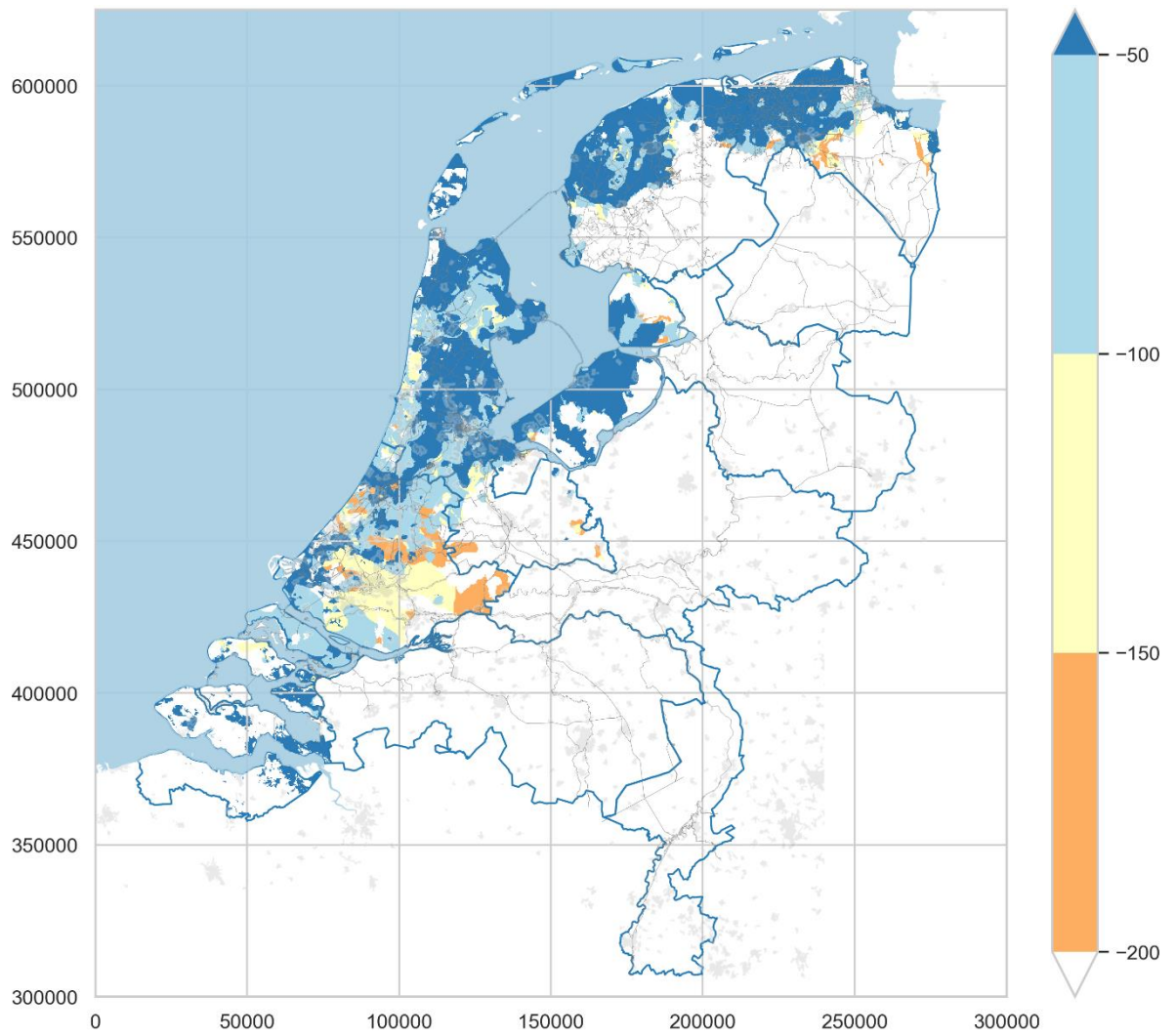


Geohydrologische geschiktheid



- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt
- Geschikt (klein)
- Geschikt (beide)
- Te zoet
- Te zout
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

Figuur 5.4 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 4 voor brakwaterwinning toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.



Figuur 5.5 Minimale diepte geschiktheid Brakwaterwinning (m onder NAP)

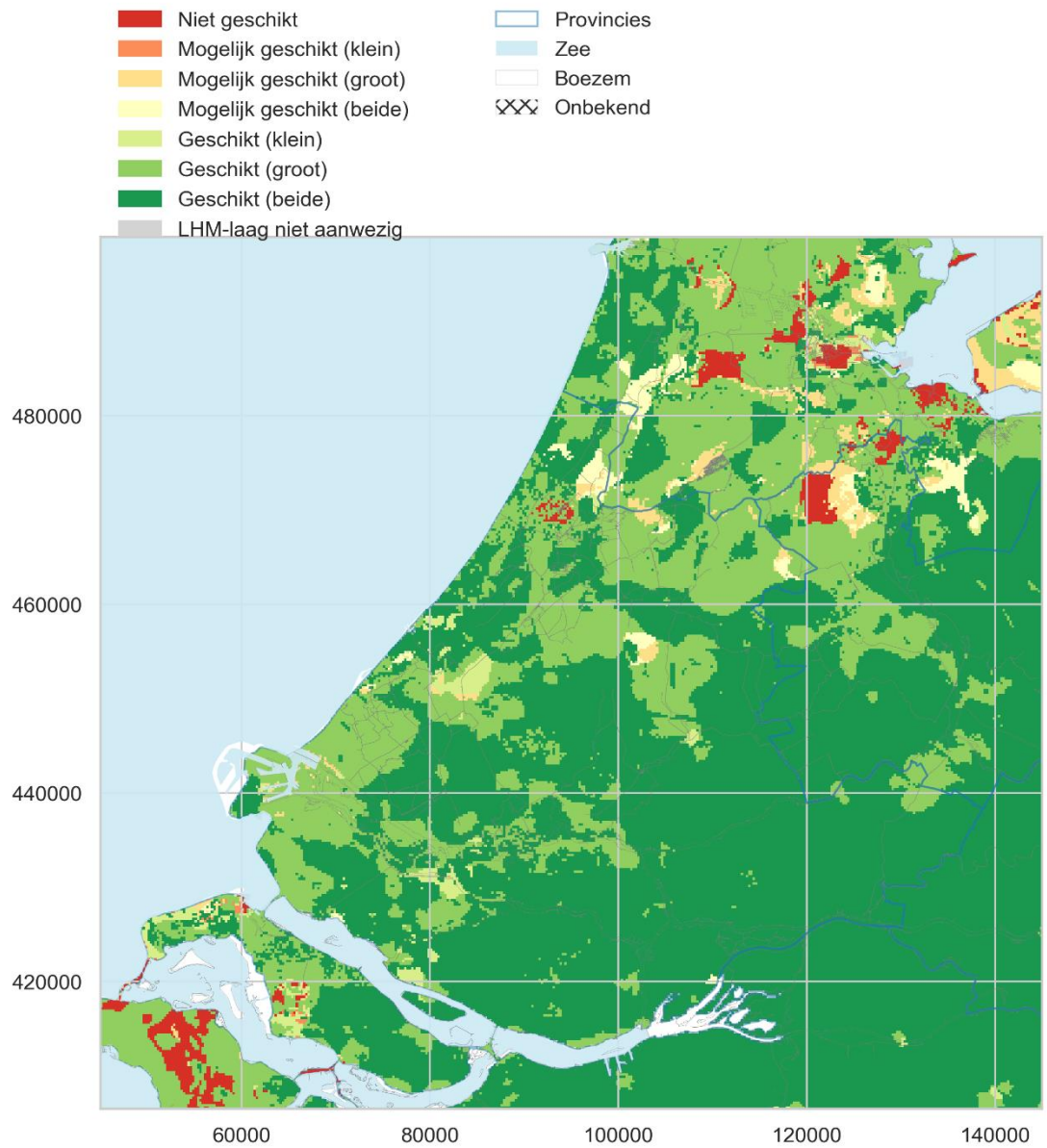
5.3 Regionaal

5.3.1 Ondergrondse opslag zoetwater

De bepaalde geohydrologische geschiktheid voor de toepassing van ondergrondse opslag van zoetwater (via verticale ASR) voor Midden-West Nederland is weergegeven in Figuur 5.6. Dit is een uitsnede van de landelijke kaart. De geschiktheidskaart voor LHM-laag 2 inclusief onderliggende factoren wordt weergegeven in Figuur 5.7.

De geschiktheid voor ondergrondse opslag van zoetwater wordt in deze opzet in het eerste watervoerend pakket onder andere belemmerd door een te hoog opbarstrisico (Figuur 5.7c). Wanneer er een verhoogd opbarstrisico wordt voorspeld is de locatie niet geschikt voor ondergrondse opslag van zoetwater. Daarnaast zorgt een te hoge horizontale stroomsnelheid in het 1^e watervoerend pakket dat ondergrondse opslag van zoetwater slechts mogelijk geschikt is (Figuur 5.7a). In onderliggende watervoerende pakketten is ondergrondse opslag van zoetwater wel geschikt (Figuur 5.6).

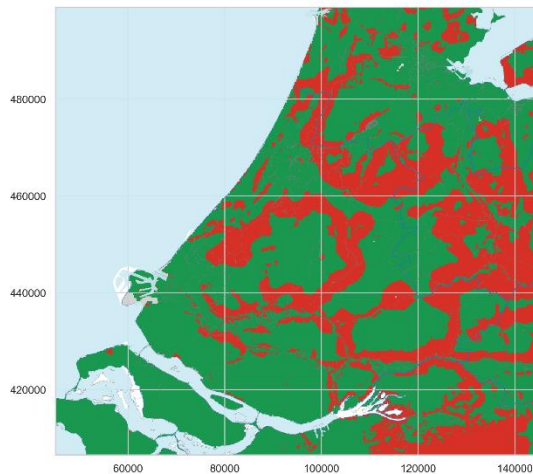
Door hoge chlorideconcentraties in combinatie met een dik pakket is er dichterbij de kust voornamelijk alleen grootschalige opslag van zoetwater mogelijk (Figuur 5.7b). Door hoge debieten wordt het risico op opdrijving beperkt. Rondom Rotterdam is het doorlatend vermogen van de ondergrond kleiner waardoor deze regio vooral geschikt is voor kleinschalige ondergrondse opslag van zoetwater (Figuur 5.7d).



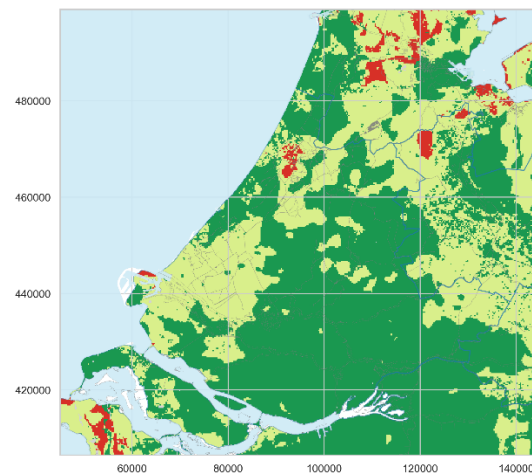
Figuur 5.6 Geohydrologische geschiktheidskaart voor ondergrondse opslag van zoetwater ingezoomd op de provincie Zuid-Holland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 2

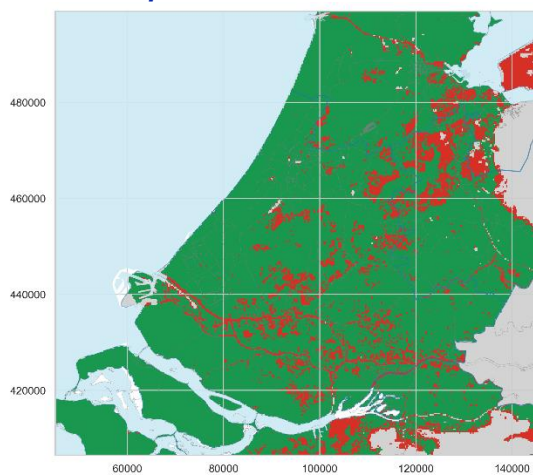
Factor A: Achtergrondstroming



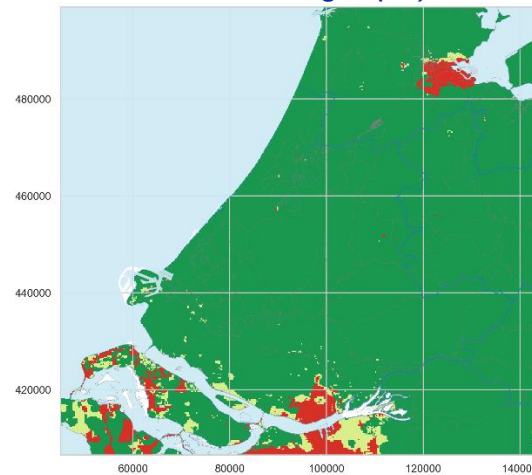
Factor B: Rendementsverlies door oprijving



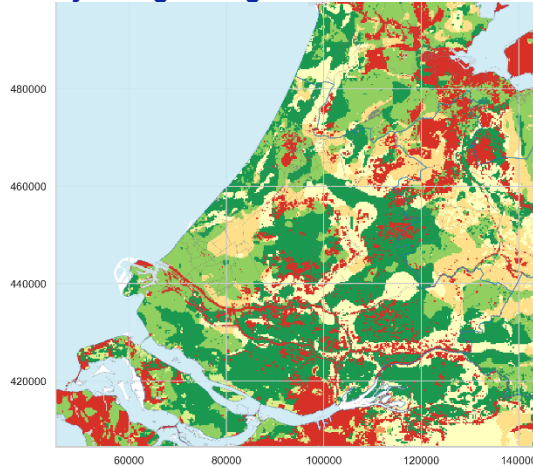
Factor C: Opbarstrisico



Factor D: Doorlaatvermogen (kD)



Geohydrologische geschiktheid

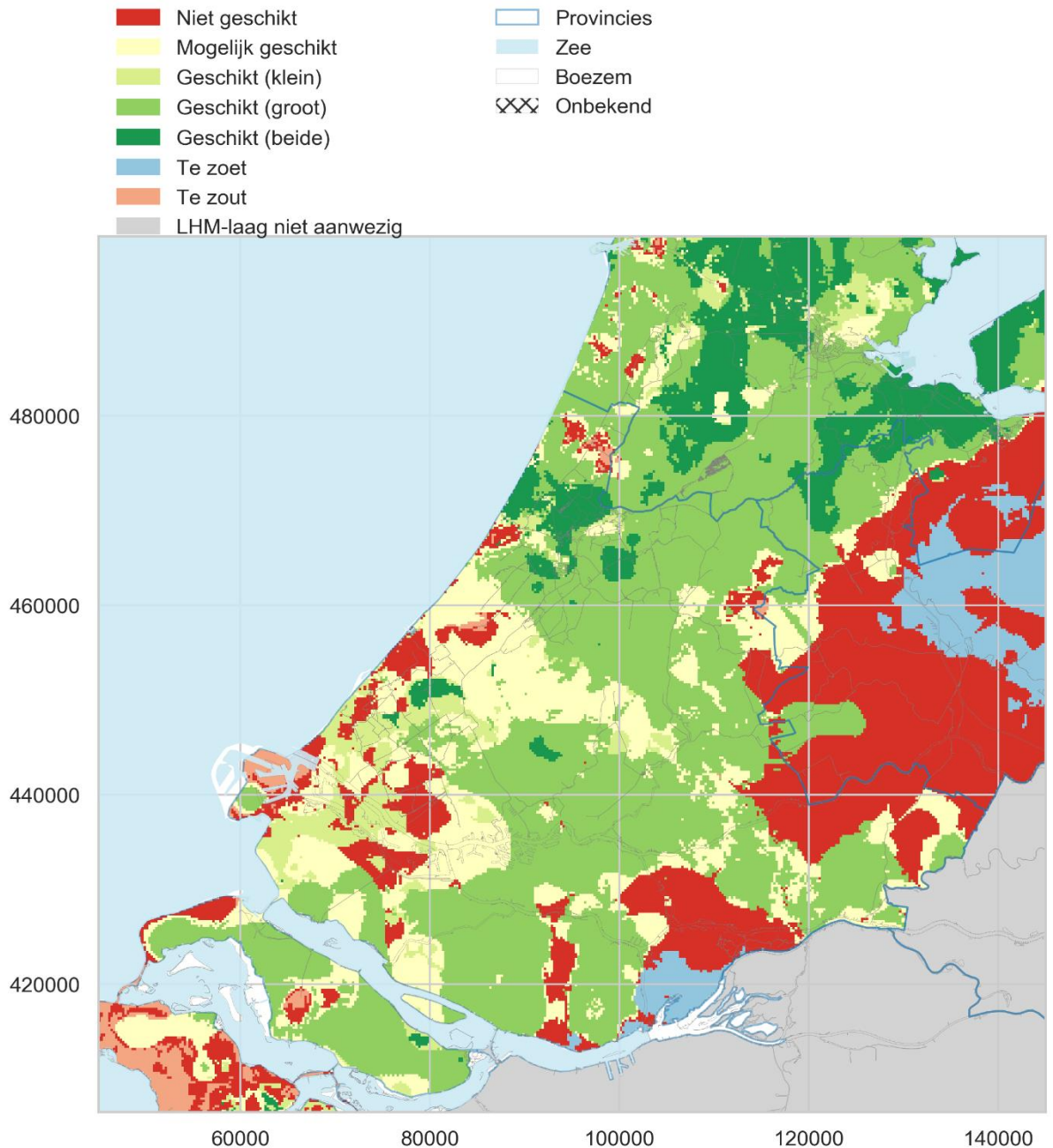


- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt (groot)
- Mogelijk geschikt (beide)
- Geschikt (klein)
- Geschikt (groot)
- Geschikt (beide)
- LHM-laag niet aanwezig
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

Figuur 5.7 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 2 voor ondergrondse opslag van zoetwater ingezoomd op de provincie Zuid-Holland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

5.3.2 Brakwaterwinning

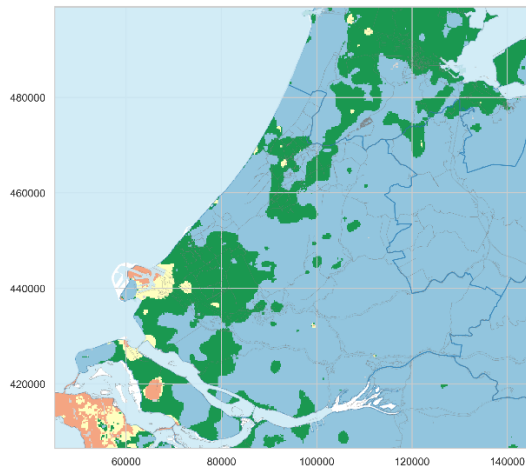
De geohydrologische geschiktheid voor de toepassing van brakwaterwinning voor Midden-West Nederland is weergegeven in Figuur 5.8. Dit is een uitsnede van de landelijke kaart. In het 1^e watervoerend pakket (Figuur 5.9) is alleen in de kuststrook een brakwaterpakket aanwezig met voldoende dikte. Tussen Den Haag en Rotterdam is het pakket echter niet dik genoeg voor grootschalige brakwaterwinning. In dieper gelegen pakketten zijn landinwaarts wel brakwaterpakketten te vinden. In Zuid-Holland is voornamelijk voor grootschalige brakwaterwinning veel mogelijkheden.



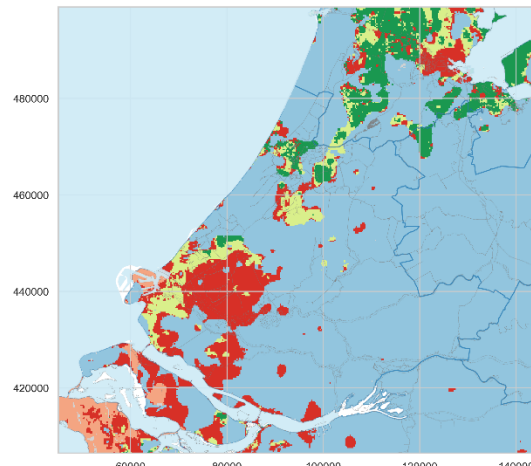
Figuur 5.8 Geohydrologische geschiktheidskaart voor brakwaterwinning toepassingen ingezoomd op de provincie Zuid-Holland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 2

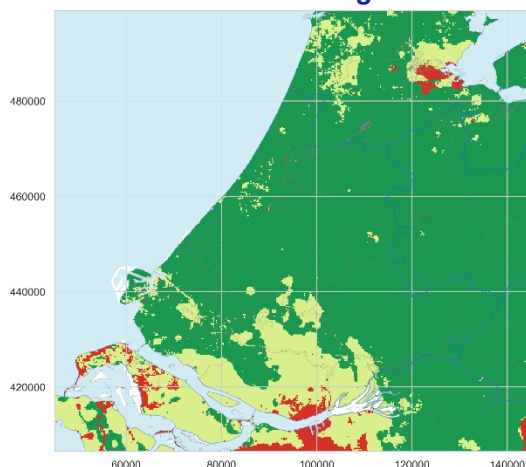
Factor A: Gemiddelde chloride-concentratie in het brakwaterpakket



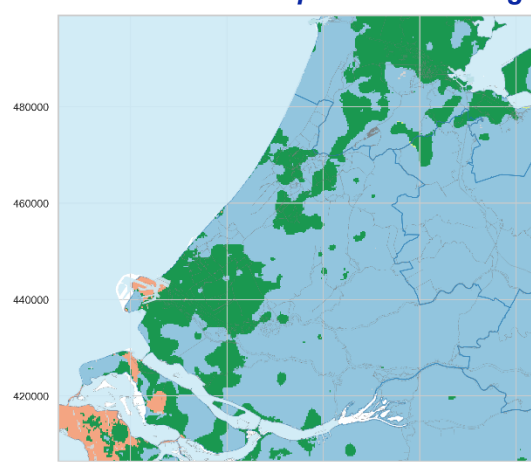
Factor B: Dikte brakwaterpakket



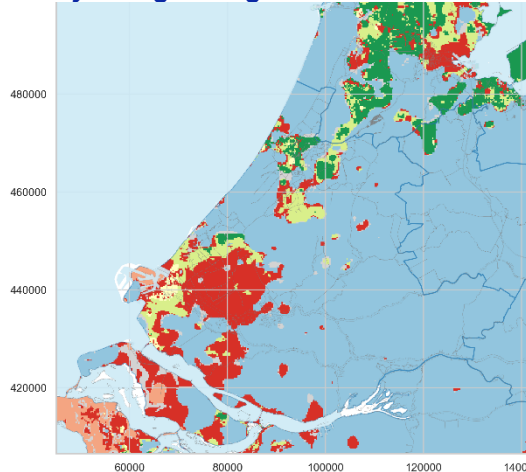
Factor C: Doorlatend vermogen



Factor D: Maximale diepte brakwaterlaag



Geohydrologische geschiktheid



- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt
- Geschikt (klein)
- Geschikt (beide)
- Te zoet
- Te zout
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

Figuur 5.9 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 2 voor brakwaterwinning toepassingen ingezoomd op de provincie Zuid-Holland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

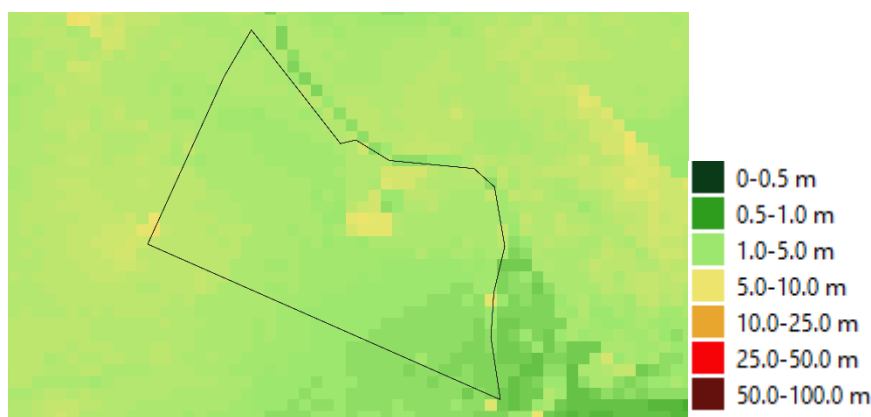
5.4 Cases

5.4.1 Ondergrondse opslag zoetwater

5.4.1.1 Dinteloord (suikerfabriek)

Bij Dinteloord staat een suikerfabriek waarbij proceswater gezuiverd kan worden om als gietwater te dienen voor het nabijgelegen glastuingebied AFC Nieuw Prinsenland. In 2017 kon per ASR put 25.000 m³/jaar teruggewonnen worden ten behoeve van het benodigde gietwater (Zuurbier en Ros, 2017). In totaal zijn er in 2018 acht putten gerealiseerd en is het totale debiet wat teruggewonnen kan worden verder opgeschaald naar 300.000 m³/jaar. Daarmee komt er per uur zo'n 200 m³ beschikbaar per tuinder (Glastuinbouwwaterproof, 2018).

Bij de suikerfabriek in Dinteloord is het 1^e watervoerende pakket het meest geschikt voor de ondergrondse opslag van zoetwater ongeveer tussen de 10 m en 30 m beneden NAP. Dit geldt voor zowel klein- als grootschalige opslag. De meest geschikte diepte vanaf waar een ASR put het beste geplaatst kan worden is 15 m beneden NAP (Zuurbier en Ros, 2017). De dikte van het klei/veenpakket bij Dinteloord is gemiddeld 6.0 meter (zie Figuur 5.10) wat een minimaal risico geeft op merkbare effecten aan het maaiveld bij toepassing van ondergrondse waterberging. Het risico op interferentie door gaten in kleilagen is gering, omdat de Waalre klei welke aanwezig is onder het zandpakket (WVP1) een afsluitende laag is van 10-20 meter dik (Zuurbier en Ros, 2017).



Figuur 5.10 Dikte van het klei/veenpakket [m] bij Dinteloord

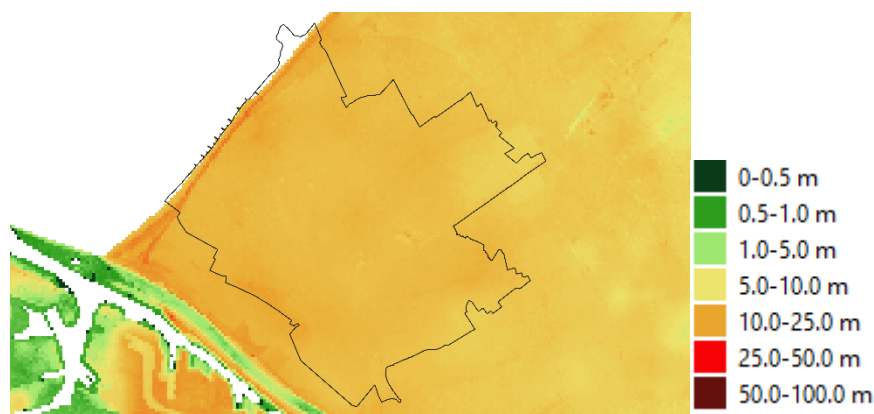
Validatie

De geohydrologische geschiktheidskaarten gaan uit van landelijke data. Wanneer we deze kaarten vergelijken met de studie van Zuurbier en Ros (2017) komen we tot dezelfde conclusie, namelijk dat de ondergrond geschikt is voor ondergrondse opslag via ASR.

5.4.1.2 Waterbank Westland

Het Westland is voornamelijk geschikt voor grootschalige ondergrondse opslag, waarbij over het hele gebied zo'n 3-6 miljoen m³/jaar aan ontzilt brak grondwater beschikbaar gemaakt kan worden om in een deel van de zoetwatervraag van het gebied te voorzien. Om te voorkomen dat het grondwater verder verzilt mede als gevolg van het grondwater dat onttrokken wordt voor gietwater en het zoutere concentraat wat in de diepere lagen weer geïnfilteerd wordt, kan ondergrondse opslag van zoet hemelwater worden toegepast. Echter is uit eerdere studies gebleken dat dit voor het Westland onvoldoende rendabel is, omdat maar een klein percentage van het opgeslagen zoetwater teruggewonnen kan worden. Daarom is in dit gebied een combinatie van hemelwaterinfiltratie en het toepassen van ontzilting (via Reverse Osmose) nodig om verzilting tegen te gaan en om voldoende zoetwater beschikbaar te hebben (Stofberg en Zuurbier, 2018). Daarbij is het niet eenvoudig aan te geven hoeveel zoetwater er daadwerkelijk teruggewonnen kan worden, omdat dit lokaal sterk kan verschillen en afhankelijk

is van de hoeveelheid zoetwater die erin gestopt is. De diepte vanaf waar de ondergrond het meest geschikt is voor ondergrondse opslag van zoetwater is vanaf 20 m beneden NAP. De dikte van het klei/veenpakket in het Westland is gemiddeld 19.5 meter (zie Figuur 5.11).



Figuur 5.11 Dikte van het klei/veenpakket [m] in het Westland

Kosten

- CAPEX: De CAPEX (alsmede de bijbehorende technische OPEX) wordt mede bepaald door de herkomst en volumes van de infiltratie (aantal deelnemende tuinders, aanvullende infiltratie van afstromend water van daken van omliggende woonwijken en/of bedrijfspanden) en de keuzes t.a.v. individuele versus meer collectieve organisatie van putten en installaties.
- OPEX technisch: hiervoor geldt eenzelfde redeneerlijn als voor de CAPEX.
- OPEX beheer waterbank: deze kostenpost is afhankelijk van de organisatievorm van de waterbank. De organisatievorm kan variëren van één waterbankorganisatie voor het gehele gebied tot meerdere waterbankorganisaties o.b.v. bijvoorbeeld een geografische of bedrijfscluster opsplitsing. Daarbij moeten ook keuzes gemaakt worden om het als tuinders in eigen hand te houden (coöperatieve gedachte) versus uitbesteden aan een externe partij. De verwachting is dat overwegend het coöperatiemodel gekozen zal worden (Stofberg et al., 2020).

Investeringskosten (CAPEX)	Variant		
	Basis	€ 27-52 mln.	
	Basis+industrie	€ 55-62 mln.	Hoge kosten voor het realiseren van ondergrondse buffercapaciteit
	Clusters	€ 52-56 mln.	Hoge kosten voor leidingwerk
Kosten technisch beheer, onderhoud en exploitatie levensduur (OPEX)	Idem als bij CAPEX	€ 71 mln. (basis) € 27 mln. (basis+industrie) € 30 mln. (clusters)	Verwachte gemiddelde kosten voor de technische exploitatie, beheer en onderhoud.
Kosten beheer waterbank (OPEX)	Coöperatieve vorm	€ 0,1 mln./jaar	Verwachte gemiddelde kosten voor inrichting en beheer van de waterbank.

Baten

De effecten (baten) van zoetwateropslag in het Westland (Waterbank) zijn op hoofdlijnen weergegeven in de onderstaande tabel (Stofberg et al., 2020).

Effecten (baten)	Specificatie
Drinkwater	<ul style="list-style-type: none"> • Geen effect verwacht.
Water voor beregening, bevloeiing en productieproces	<ul style="list-style-type: none"> • Leveringszekerheid en vestigingsklimaat: de zoetwateropslag via de waterbank vergroot de leveringszekerheid (spreiding zoetwaterbronnen) en draagt tevens bij aan het vestigingsklimaat voor de tuinbouwsector in het Westland. Dit is namelijk een manier om op langere termijn osmose te kunnen gebruiken, een belangrijke component van de gietwatervoorziening voor een groot deel van de tuinders. • Productiekosten: de totale productiekosten stijgen tot naar verwachting € 1 – €1,23 euro/m³. Anderzijds hoeft door de afname van verzilting het grondwater minder ontzilt te worden, waardoor de tuinder in beginsel lagere RO kosten heeft. Deze kostenbesparing is waarschijnlijk marginaal.
Bodem	<ul style="list-style-type: none"> • Bodemdaling: In een situatie met Waterbank wordt t.o.v. de referentie minder uitzakking verwacht van de stijghoogte in de zomer, dit is een (beperkt) positief effect.
Waterbeheer	<ul style="list-style-type: none"> • Waterbeheer: Door de inzet van Waterbank Westland neemt waterberging in de bassins van de tuinders toe doordat een deel van het bassinwater wordt geïnfiltreerd. Dit is een positief effect, zeker gezien het feit dat in de toekomst door klimaatverandering meer extreme neerslaggebeurtenissen worden verwacht. De bassins kunnen worden ingezet om piekbuien op te vangen en hiermee de polderwatergangen te ontlasten. Meerdere polders binnen Westland hebben een te lage afvoer-bergingscapaciteit. Dit betekent dat bij een extreme neerslagsituatie water op straat ontstaat, omdat er een tekort is aan retentie en afvoer van hemelwater kan plaatsvinden. Doordat er meer berging in de bassins beschikbaar is bij inzet van de Waterbank zal dit leiden tot een hogere afvoer-bergingscapaciteit in de polders van Westland. <i>Indicatief</i> kan de Waterbank voorzien in een deel van de wateropgave van HH Delfland (in totaal circa 350.000 m³). Het Westland aandeel hiervan is circa 20%. De indicatieve geldwaarde van bespaarde investeringen voor het voorzien in de wateropgave door de Waterbank is € 1,5 - 6 mln. • Wateroverlast: de wateroverlast door inundatie vanuit oppervlaktewater neemt door de Waterbank Westland af, doordat er minder water overstort op de polderwatergangen. Hierdoor zullen de watergangen in het Westland minder vaak inunderen. Dit is een positief effect in een situatie dat het bergingspotentieel van de Waterbank <i>additioneel</i> is t.o.v. de reguliere maatregelen in het kader van de Provinciale Verordening. In het geval er sprake is van inzet van de Waterbank als <i>vervangende</i> waterberging, is er geen effect te verwachten. • Grondwaterkwaliteit: De zoutvracht neemt af bij inzet van de Waterbank, dit genereert een beperkt positieve bate.
Ecologie	<ul style="list-style-type: none"> • Geen effect verwacht
Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Geen effect verwacht

Validatie

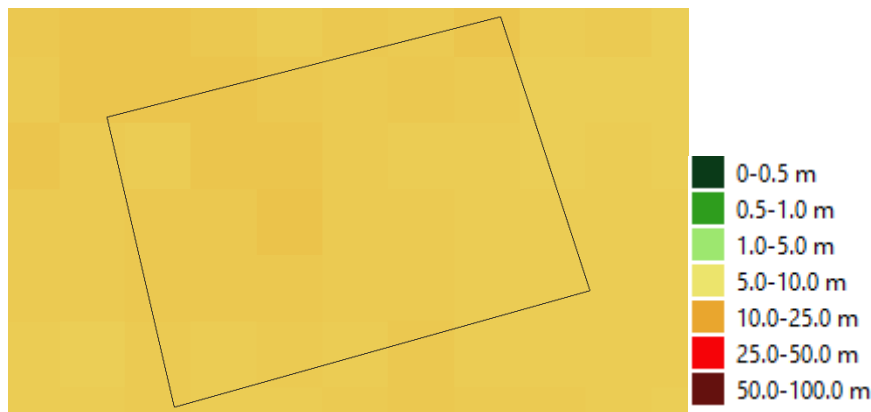
Wanneer de geohydrologische geschiktheidskaarten gebaseerd op landelijke data worden vergeleken met meer regionale studies (Doorn et al., 2013) dan komen beide studies tot dezelfde conclusies. De achtergrondstroming in het Westland rondom de winning van DSM kan van invloed zijn, al zal deze invloed afnemen omdat deze onttrekking gecontroleerd is afgebouwd in de afgelopen jaren (Roelofsen, 2010). Daarnaast is het Westland vooral

rendabel voor grote systemen. In dit onderzoek is men uitgegaan van infiltratie in het 1^e watervoerend pakket.

5.4.1.3 Hoorn

Bij het casestudiegebied in Hoorn is het 2^e WVP (vanaf 19 m beneden NAP) geschikt voor grootschalige ondergrondse opslag voor zoetwater. Uit een studie van PWN zou er gemiddeld genomen 500.000 m³/jaar aan zoetwater teruggewonnen kunnen worden uit de ondergrondse zoetwaterbel en maximaal zelfs tot 1.000.000 m³/jaar aan zoetwater (verkregen uit rechtstreeks contact met PWN). In 2020 en 2022 zal hier bij het distributiepompstation in Hoorn een pilot worden uitgevoerd om te onderzoeken of drinkwater ondergronds kan worden opgeslagen. Het doel van deze opslag is om als buffer te gebruiken op het moment dat het nodig is, bijvoorbeeld om bij een piek in de drinkwatervraag te kunnen voorzien in de extra drinkwatervraag bij droogte (PWN, 2020).

De dikte van het klei/veenpakket is bij Hoorn gemiddeld 16.5 meter (zie Figuur 5.12).



Figuur 5.12 Dikte van het klei/veenpakket [m] bij Hoorn.

5.4.1.4 Urban Waterbuffer

Zoals eerder beschreven in paragraaf 4.4.1 heeft de wijk Spangen door middel van de UWB gezorgd voor een vermindering van de wateroverlast bij piekbuien en een vergroening van de wijk. Ook het Sparta stadion maakt gebruik van deze toepassing, waarmee 50 mm neerslag direct kan worden opgevangen. Het vervuilde afstromende hemelwater wordt gezuiverd middels een natuurlijk zuiveringssysteem, en vervolgens geleidelijk (24-48 uur) geïnfiltrerd in het eerste watervoerend pakket (max 30.000 m³/jaar). Het opgeslagen hemelwater wordt later teruggewonnen voor het beregenen van het kunstgrasveld van Sparta en voor verkoeling via de waterzuil op het plein naast het stadion (Dartee en Kok, 2020).

Kosten

- De totale investering voor realisatie van de UWB Spangen bedroeg circa €1,2 mln. De retentiebuffer onder het Cruyff Court, waar tijdelijk 1.400m³ water kan worden vastgehouden, bepaalt bijna 70% van de totale kosten. Deze buffer is gedimensioneerd op het kunnen bieden van voldoende retentiecapaciteit om wateroverlast bij een bui die wat betreft intensiteit 1x per 10 jaar voor komt (T-10), te kunnen voorkomen voor het afgekoppelde 4 ha oppervlak en deze capaciteit na 48 weer volledig beschikbaar te hebben.
- Aan de hand van een levenscyclus kostenanalyse zijn de totale kosten van het UWB systeem over de gehele levensduur van 40 jaar inzichtelijk gemaakt. De OPEX en grootschalige onderhoudskosten zijn gezamenlijk circa € 0,48 mln. op basis van de gemaakte kosten in het eerste jaar van de pilot in Spangen. Teruggerekend naar jaarlijkse kosten komt dit neer op ongeveer € 0,012 mln. De belangrijkste kostendrijvers hierachter zijn de uitvoerige monitoring van het systeem in het kader van het TKI-onderzoek, de

infiltratievergunning en de hoge kosten voor regeneratie van de infiltratiebron na ongeveer 30 jaar (Dartee en Kok, 2020).

Investeringskosten (CAPEX)	€ 1,2 mln.	Verwachte investeringskosten.
Kosten beheer, onderhoud en exploitatie per jaar (OPEX)	€ 0,012 mln.	Verwachte gemiddelde kosten voor exploitatie, beheer en onderhoud.

Baten

De effecten (baten) van zoetwateropslag in de Urban Waterbuffer Rotterdam zijn op hoofdlijnen weergegeven in de onderstaande tabel (Dartee en Kok, 2020).

Effecten (baten)	Specificatie
Baten	
Drinkwater	<ul style="list-style-type: none"> • Leveringszekerheid: de UWB heeft een beperkte positieve bijdrage. Op basis van de 4ha afgekoppeld oppervlak kan de UWB Spangen jaarlijks minimaal 12.000m³ water leveren voor het Sparta stadion. Tegen de huidige drinkwaterprijs in Nederland (€0,91/m³) levert dit mogelijke baten van circa € 0,011 mln./jaar.
Water voor beregening, bevoeiing en productieproces	<ul style="list-style-type: none"> • Ruimtelijke kwaliteit: dit is een kenmerk van vestigingsklimaat, maar dan vooral in relatie tot de functie 'wonen'. De bovengrondse component van de UWB draagt bij aan een verbetering van de leefbaarheid van de wijk. Als benadering hiervan is een inschatting gemaakt van de stijging van de waarde van woningen met uitzicht op de UWB (circa € 0,5 mln.).
Bodem	<ul style="list-style-type: none"> • Bodemdaling: geen effect verwacht.
Waterbeheer	<ul style="list-style-type: none"> • Retentie en wateroverlast: Met de UWB kan tot een T-10 bui worden voorkómen dat het afgekoppelde 4ha oppervlak wateroverlast ondervindt. Bovendien wordt de volledige 1400m³ aan retentie binnen 48 uur weer beschikbaar gemaakt om een volgende regenbui aan te kunnen. Door het aanleggen van een UWB wordt dus wateroverlast voorkomen zonder dat hiervoor grote investeringen aan het vergroten van de capaciteit van het volledige centrale rioolstelsel noodzakelijk zijn. Op basis van een vuistregel die binnen de gemeente Rotterdam wordt gehanteerd om investeringen in extra retentiecapaciteit te beoordelen (€ 500/m³ extra retentiecapaciteit) komt de waarde van de UWB met 1400m³ retentiecapaciteit uit op € 0,7 mln.. Deze waarde komt min of meer overeen met de kosten van het krattenfilter. • Beperken overstort: Door de additionele retentiecapaciteit die met de UWB wordt toegevoegd, kan het centrale rioolstelsel worden ontlast en wordt het risico op ongewenste overstorten op het oppervlaktewater beperkt. Het verminderen van het aantal overstorten op oppervlaktewateren is een belangrijk streven in het beleid van gemeentes en waterschappen om de waterkwaliteit van de oppervlaktewateren te kunnen verbeteren. • Grondwaterkwaliteit: De watervraag van Sparta is kleiner dan het totale volume dat jaarlijks wordt geïnfiltreerd in het eerste watervoerend pakket. Hierdoor blijft hoogwaardig zoet water achter, waarmee de verdere verzilting van het brakke grondwater wordt voorkomen.
Ecologie	<ul style="list-style-type: none"> • Waterkwaliteit: De verbetering van waterkwaliteit vanwege een vermindering van de overstort zal positief uitwerken voor

	flora en fauna in en rondom het oppervlaktewater. De omvang hiervan is nog niet goed in te schatten.
Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Geen effect verwacht.

5.4.1.5 Kansrijke kaart Ondergrondse opslag zoetwater

De kansrijke kaart voor ondergrondse opslag van zoetwater is samengesteld op basis van de geohydrologische geschiktheidskaart (zie Figuur 5.1), de effectanalyses en economische waardering op case niveau zoals in voorgaande paragrafen beschreven

ASR Hoorn

Categorie	Indicator
Effecten	
Investeringskosten	
Kosten beheer en onderhoud	

UWB Rotterdam

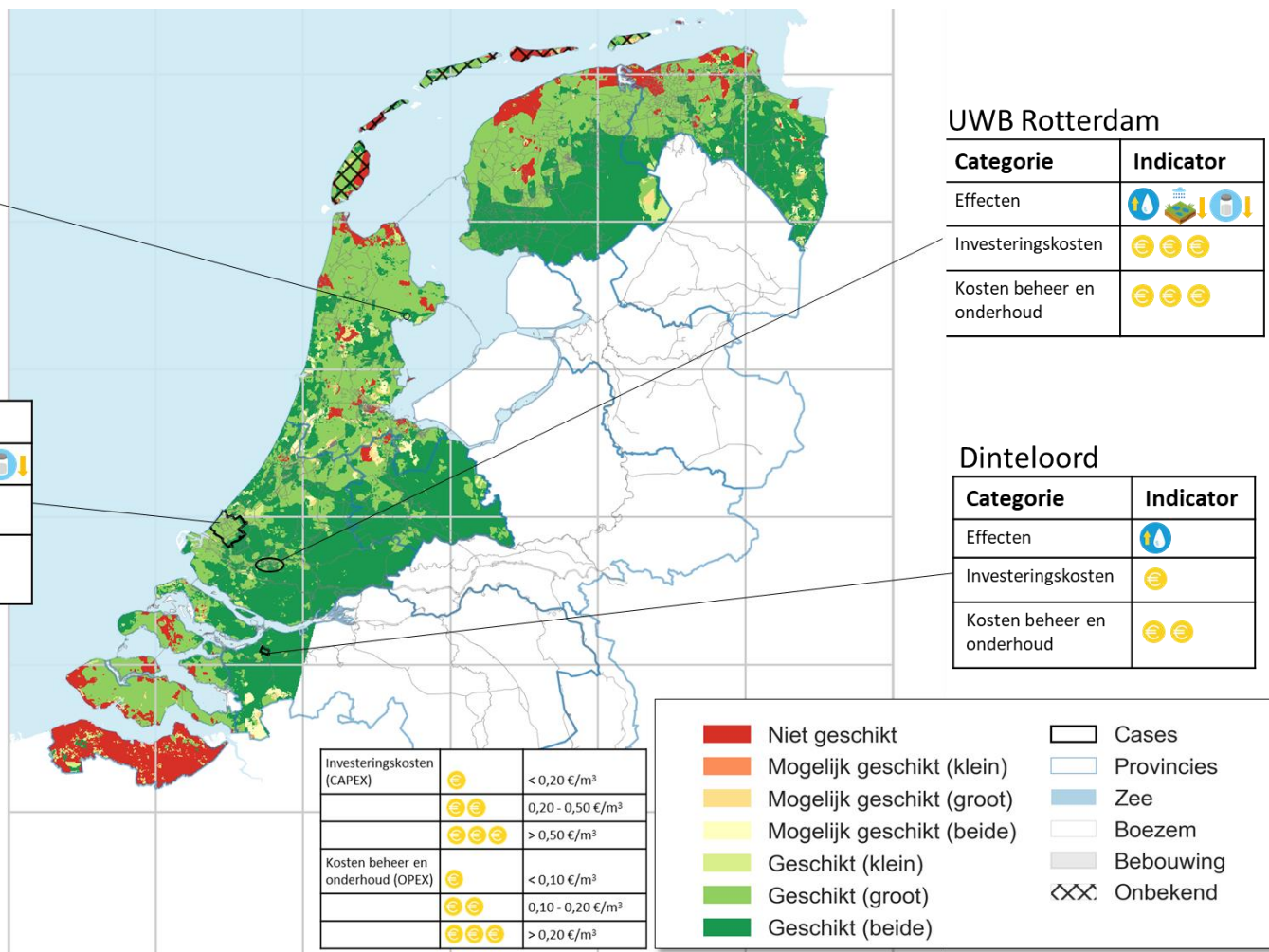
Categorie	Indicator
Effecten	
Investeringskosten	
Kosten beheer en onderhoud	

Westland


Categorie	Indicator
Effecten	
Investeringskosten	
Kosten beheer en onderhoud	

Dinteloord

Categorie	Indicator
Effecten	
Investeringskosten	
Kosten beheer en onderhoud	



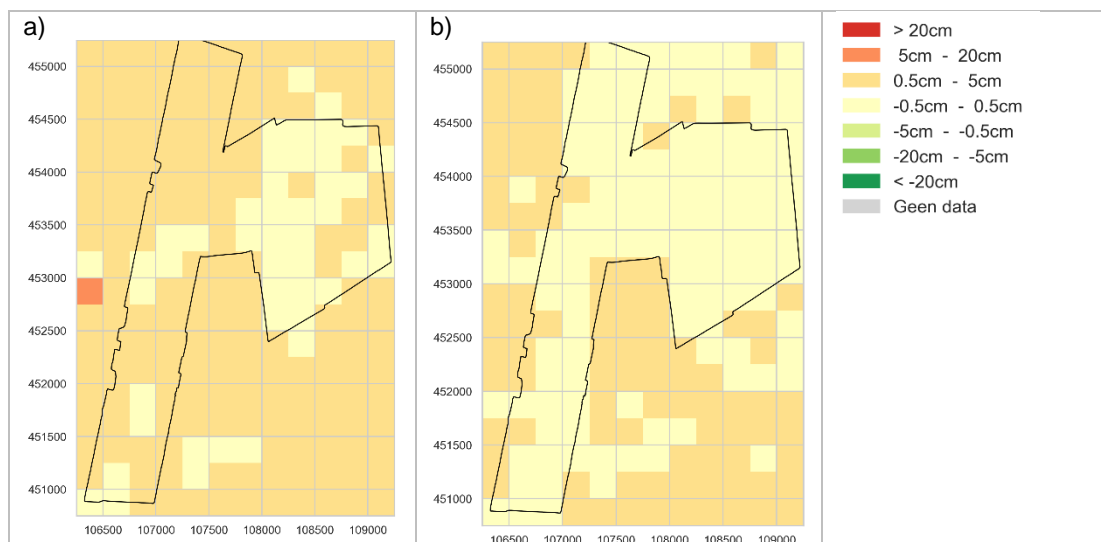
Beschrijving indicatoren kansrijkeidskaart

Knelpunt indicator	Beschrijving	Knelpunt indicator	Beschrijving
	Toename waterbeschikbaarheid		Interferentie met bestaande WKO systemen
	Afname waterbeschikbaarheid		Risico op paalrot door zakkende grondwaterstanden
	Afname zoutvracht		Kans op extra bodemdaling
	Kans op verlaging van de grondwaterstanden		Vermindering kans op bodemdaling
	Interferentie door gaten in de kleilaag		Afname wateroverlast
	Opbarstrisico		Toename wateroverlast

5.4.2 Brakwaterwinning

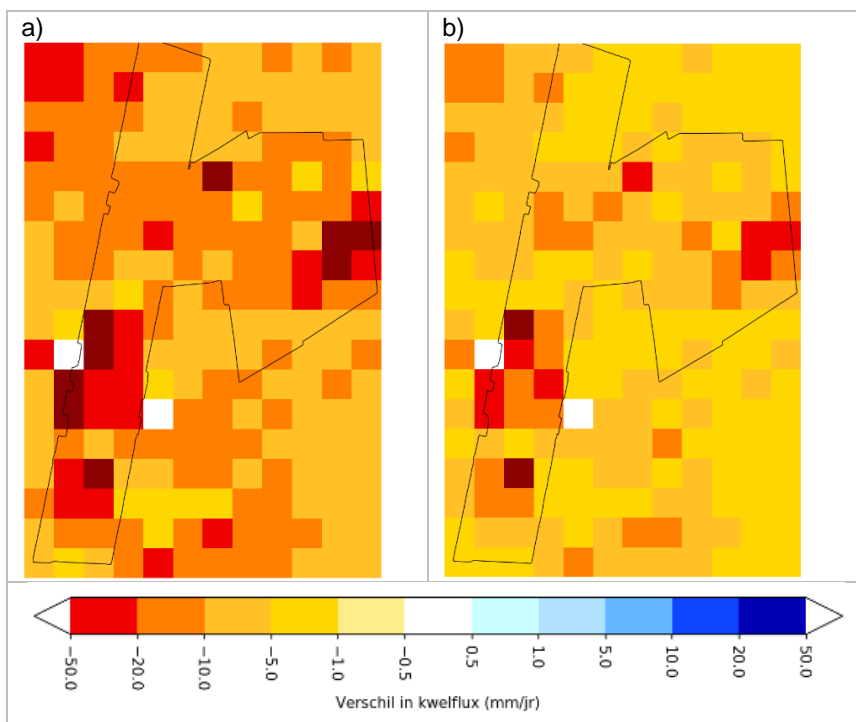
5.4.2.1 MT-polder

Brakwaterwinning is volgens de geschiktheidskaarten in de Middelburg-Tempel-polder is het meest geschikt op +/- 80 meter diepte (zie ook Figuur 5.5). Het risico op verlaging of verhoging van de grondwaterstand (op zowel GHG als GLG) als gevolg van het toepassen van brakwaterwinning is beperkt voor de MT-Polder. Figuur 5.13 toont een beperkte verlaging van de GLG bij het afvangen van 50% van de brakke kwelflux en in a) zonder infiltratie van het concentraat en in b) met concentraatinfiltratie (25% van de brakke kwelflux).



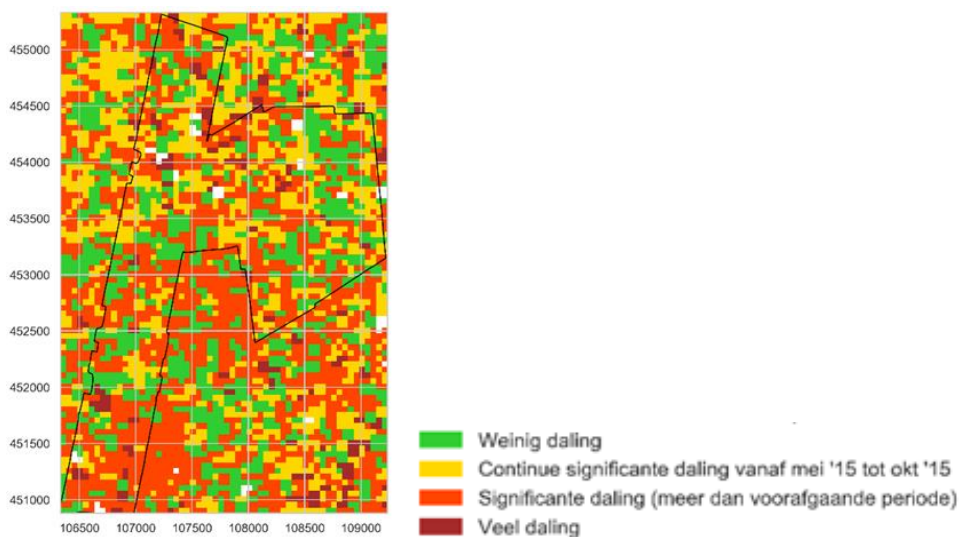
Figuur 5.13 Het effect op de grondwaterstand (GLG) van de toepassing van brakwaterwinning (50% van de kwelflux) met in a) zonder infiltratie van het concentraat en in b) met concentraatinfiltratie (25% van de kwelflux) ten opzichte van de referentiesituatie (zonder afvangen van brakke kwel) in de MT-polder.

Bij een brakwaterwinning gelijk aan de helft van de originele kwelflux, kan er dagelijks 1391 m³ (is gelijk aan zo'n 5 miljoen m³/jaar) onttrokken worden. Uit de studie naar de haalbaarheid van brakwaterwinning in de MT-polder is een maximum debiet van 456 m³/dag per put aangehouden, wat betekent dat er maximaal 3 putten met deze capaciteit aangelegd kunnen worden (Bootsma et al., 2020). Bij een het winnen van 1391 m³/dag zal er een beperkte afname in de kwelflux ontstaan, gemiddeld 5 tot 10 mm/jaar wat overeenkomt met 0.001 tot 0.03 mm/dag op een gemiddelde huidige kwelflux van 3 mm/dag (Figuur 5.14).



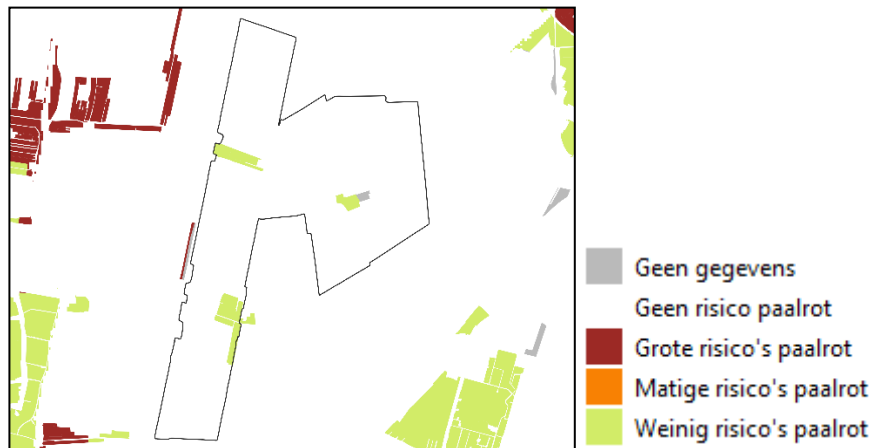
Figuur 5.14 Verandering in kwelflux [mm/jaar] met in a) zonder infiltratie van het concentraat en in b) met concentraatinfiltratie (25% van de kwelflux) ten opzichte van de referentiesituatie (zonder afvangen van brakke kwel) in de MT-polder.

De benodigde doorspoeling zal hierdoor afnemen met 0,007 mm/d (1,2%) ten opzichte van de referentie situatie. Door het beperkte risico op verlaging van de grondwaterstand in de MT-polder blijft het risico op een versterkte bodemdaling door brakwaterwinningen ook beperkt (Figuur 5.15) indien er uit het tweede watervoerende pakket onttrokken wordt. Bij onttrekking uit het eerste watervoerende pakket is wel bodemdaling te verwachten (Bootsma et al., 2020).



Figuur 5.15 Indicatie van bodemdaling op basis van radar satellietbeelden over de periode oktober 2016 tot oktober 2018 in de MT-polder. De groene kleur laat weinig tot geen bodemdaling zien. De gele kleur geeft eenzelfde structurele significante bodemdaling weer (ongeveer 2 tot 6 mm per jaar) weer als de periode ervoor (mei '15 – mei '18). De rode kleur geeft nieuwe gebieden die in de periode oktober 2016 tot 2018 significant zijn gedaald en erbij gekomen zijn door mogelijk de hete zomer 2018. De bruine gebieden laten veel daling zien (meer dan 6 mm) (Klimaat-effectatlas, 2020).

De gemiddelde afstand tot de zee is 16 km. Er bevinden zich geen OBES-systemen in de MT-polder en er is weinig risico op paalrot in de bebouwde gebieden van de polder (zie Figuur 5.16).



Figuur 5.16 Risico op paalrot in de MT-polder

Kosten

De investeringskosten van de verschillende scenario's voor brakwaterwinning in de MT-Polder lopen uiteen van €18,6 - € 41,9 miljoen met een onzekerheidsmarge van +40% en -25%. Daarbij hoort een jaarlijkse OPEX van €0,42- €0,76 miljoen. Zie ook onderstaande tabel (Posma et al., 2020).

De scenario's lopen uiteen wat betreft onttrokken debiet (1,25 – 4 miljoen m³ per jaar), zoetwater productie (0,625 – 2 miljoen m³ per jaar, recovery van 50%), al dan niet infiltratie van concentraat na ontzilting en de diepte van onttrekking en infiltratie (per watervoerend pakket (WVP)):

- Bij scenario B wordt het zoute concentraat niet geïnfiltreerd, maar via een leiding geloosd op zee.
- Bij scenario H wordt het zoute concentraat in het 2^e WVP geïnfiltreerd en bij scenario J en M in het 3^e WVP.
- Scenario B en H onttrekken allebei uit watervoerend pakket 1. Het verschil in CAPEX zit in de kosten voor de leiding om het concentraat te lozen op zee. De kosten van de leiding zijn hoger dan de kosten voor meer infiltratieputten in scenario H. Verschil in OPEX komt door lagere energiekosten omdat er minder water op druk gebracht hoeft te worden voor de omgekeerde osmose. En daarnaast door lagere onderhoudskosten, omdat voor het leidingwerk geen onderhoud is meegenomen. Voor de pompputten is dit wel meegenomen.
- Het verschil in scenario H en J is de diepte van onttrekking en infiltratie. Voor Scenario J is zowel onttrekking (WVP 2) als infiltratie (WVP 3) een laag dieper dan scenario H (onttrekking WVP 1 en infiltratie WVP2). De kosten voor diepere putten zijn hoger en dat zien we terug in de hogere CAPEX en OPEX voor scenario J. De hogere OPEX komt naast hogere onderhoudskosten ook door hogere energie- en verbruikskosten voor de omgekeerde osmose omdat het zoutgehalte in WVP 2 hoger is.
- Het verschil tussen scenario J en M is dat voor scenario M de drinkwaterproductie twee keer zo groot is. Scenario M gaat gepaard met de hoogste CAPEX en de hoogste OPEX vanwege het groter aantal putten. Door schaalvoordelen nemen de kosten ten opzichte van scenario J echter iets minder dan naar rato toe.

Kosten	Scenario	€	Beschrijving
Investeringskosten - CAPEX (+ 40% /- 25%) (in €)	Scenario B	€ 41,9 mln.	Verwachte investeringskosten.
	Scenario H	€ 18,6 mln.	Idem
	Scenario J	€ 19,5 mln.	Idem
	Scenario M	€ 34,6 mln.	Idem
Kosten beheer, onderhoud en exploitatie - OPEX (in € per jaar)	Scenario B	€ 0,54 mln.	Verwachte gemiddelde kosten voor exploitatie, beheer en onderhoud.
	Scenario H	€ 0,42 mln.	Idem
	Scenario J	€ 0,46 mln.	Idem
	Scenario M	€ 0,76 mln.	Idem

Baten

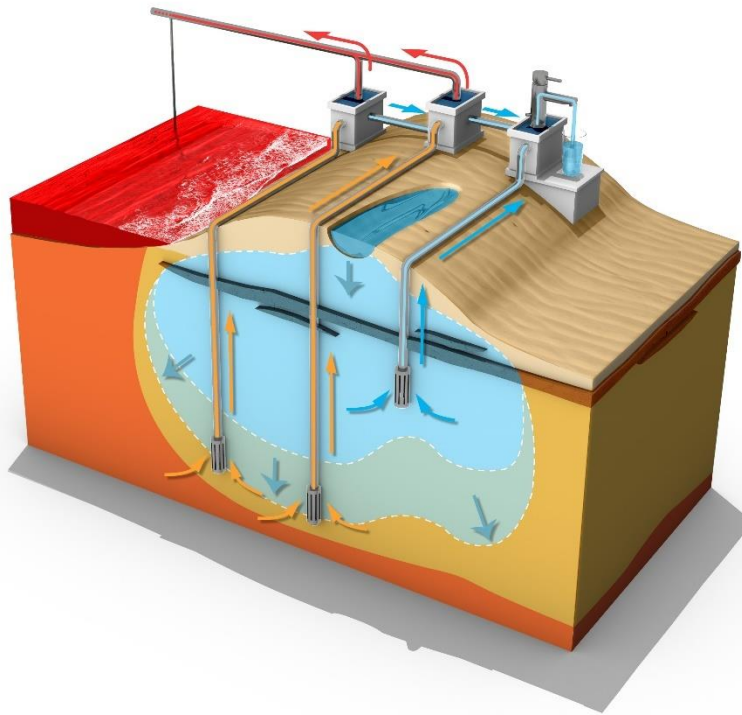
De baten van brakwaterwinning in de MT-Polder is op hoofdlijnen weergegeven in de onderstaande tabel (Posma et al., 2020).

Effecten	Specificatie
Drinkwater	<ul style="list-style-type: none"> • Leveringszekerheid - De drinkwatervraag gaat in de toekomst toenemen. Het spreiden van de winning over meer bronnen om in deze toenemende vraag te voorzien is voor Oasen van strategisch belang. Een additionele drinkwaterbron resulteert in een grotere leveringszekerheid. Deze waarde is echter niet gemonetariseerd. • Productiekosten drinkwater - Brakwaterwinning leidt tot verhoogde productiekosten voor een drinkwaterbedrijf van 260.000 – 687.500 euro per jaar. De hogere productiekosten door brakwaterwinning worden of door het drinkwaterbedrijf vertaald in een hogere verkoopprijs van drinkwater, waardoor in beginsel geen effect optreedt op de omzet van het drinkwaterbedrijf, of leiden tot minder omzet voor het drinkwaterbedrijf wanneer de verkoopprijs niet mee stijgt. Omgelagen over de 2 mln. m³ gewonnen drinkwater komt dit neer op een kostenverhoging van 0,19 tot 1,10 €/m³.
Vermeden kosten investering referentiesituatie	<ul style="list-style-type: none"> • In de referentiesituatie dienen additionele investeringen gedaan te worden om tegemoet te komen aan de toenemende drinkwatervraag (2 miljoen m³ per jaar). De scenario's brakwaterwinning leiden dus tot vermeden kosten voor het drinkwaterbedrijf Oasen. • Oasen heeft recentelijk voor de nieuwbouw van Zuiveringsstation (ZS) de Hooge Boom (in Kamerik) een Standaardsystematiek voor kostenraming (SSK) opgesteld. Deze wordt als proxy gehanteerd om de vermeden kosten in te schatten. • De vermeden kosten bestaan uit OPEX en CAPEX. De vermeden CAPEX varieert tussen €7,7 miljoen en €15,3 miljoen. De vermeden OPEX varieert tussen € 0,37 mln. en € 0,58 mln. per jaar.
Water voor beregning, bevoeiing en productieproces	<ul style="list-style-type: none"> • Schade aan land- en tuinbouw - Brakwaterwinning in de MT-Polder leidt tot een afname aan natschade bij alle scenario's, de kwel wordt immers afgevangen. De droogteschade neemt bij alle scenario's jaarlijks toe. De totale afname in schade in de MT-polder varieert tussen € 0,015 mln. en € 0,042 mln. per jaar. De afname in zoutschade in de MT-polder is niet berekend, maar in

	<p>nabijgelegen gebieden wel. Brakwaterwinning in de MT-polder leidt tot een afname in zoutschade in nabijgelegen gebieden f. De totale afname in zoutschade in overige gebieden varieert tussen € 0,066 mln. en € 0,016 mln. per jaar. Dit is een positieve baat.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Restricties agrariërs – Waarschijnlijk dient het gebied aangemerkt te worden als waterwinlocatie. Echter, de onttrekkings- en infiltratiediepte in de verschillende scenario's van brakwaterwinning in de MT-polder zijn dusdanig groot dat er geen nadelige effecten te verwachten zijn voor de huidige veeteelt, land- en tuinbouw. Dit geldt in ieder geval voor de scenario's met onttrekking uit het 1^e wvp. voor andere gebieden waarschijnlijk ook.
Bodem	<ul style="list-style-type: none"> • Bodemdaling - Brakwaterwinning in de MT Polder leidt waarschijnlijk tot additionele bodemdaling. Dit geldt met name voor de scenario's met onttrekking uit het 1^e wvp. Voor scenario's met een diepere onttrekking en infiltratie zijn de effecten waarschijnlijk marginaal en vergelijkbaar met de referentiesituatie. Bodemdaling kan leiden tot fysieke effecten op infrastructuur, waterbeheer, bebouwing, agrarisch areaal, het landschap en de natuurwaarden. Echter of bodemdaling ook daadwerkelijk optreedt en de grote van het effect is zeer onzeker. De bodemdaling die optreedt lijkt ook vrij lokaal op te treden, op de locatie van de waterwinputten. Vanwege de grote onzekerheidsmarge in hoeveelheden bodemdaling is in de MT-Polder niet ingezoomd op lokale effecten op specifieke gebouwen en infrastructuur.
Waterbeheer	<ul style="list-style-type: none"> • Waterbeheer - De voornaamste baten in relatie tot waterbeheer zitten in de eventueel verminderde inzet van het gemaal, omdat er minder zout water naar de boezem gemalen hoeft te worden. Deze baten zijn echter wel erg klein, bijna verwaarloosbaar: in de MT-Polder maximaal €1.900 per jaar. Peilbeheer is ook van belangrijke invloed op eventuele schade in de MT-Polder door brakwaterwinning, in eerste instantie in relatie tot opbarstrisico's. Keuzes ten aanzien van peilbeheer in de MT-Polder en in de omgeving zijn dus afhankelijk van vele factoren en vragen daarmee om complexe afwegingen. Vanwege de veenweidegebieden en de diepe droogmakerij zijn de gevolgen voor opbarstrisico's in de MT-Polder met daarbij de bodemdalingseffecten extra complex. Dit maakt een integrale afweging noodzakelijk. Het winnen van brakwater in de MT-Polder maakt besluitvorming nog complexer ten aanzien van de factor bodemdaling, omdat niet zeker is wat de exacte effecten op bodemdaling zijn en waar deze plaatsvinden. De verschillende scenario's in deze studie hebben geen invloed op de potentiële maatregelen. De bodemdaling gaat enkel iets sneller, waar het peilbeheer iets op aangepast kan worden. • Waterveiligheid - Een eventueel effect op de waterveiligheid is niet aan de orde, omdat de kades in de MT-polder relatief breed zijn.
Ecologie	<ul style="list-style-type: none"> • Natuur - Er zijn geen relevante effecten te verwachten op de natuurwaarde door brakwaterwinning.

5.4.2.2 Dunea Duinen

De toepassing van brakwaterwinning in de duinen van Dunea is anders dan bij toepassing in de diepe polders (zie Figuur 5.17). Het afvangen van het brakke water wat zich op de grens tussen de zoetwaterlens en het omliggende zoute water bevindt, gebeurt hoofdzakelijk om de zoetwaterlens in de duinen te laten groeien en is hiermee niet de primaire bron van de drinkwaterwinning. De modelscenario's hebben zich gericht op de brakke kwel en niet op het aanwezige brakke water wat niet kwelt. Als gevolg hiervan kunnen de modelscenario's niet ingezet worden bij het berekenen van het effect van brakwaterwinning op de grondwaterstand. Deze analyse is daarom buiten beschouwing gelaten voor deze case.



Figuur 5.17 De situatie in de duinen bij Dunea bij toepassing brakwaterwinning (gele pijplijnen) en het aanwezige zoete water in de zoetwaterlens in de duinen (blauwe kleuren) ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Via reverse osmose wordt het brakke water verwerkt tot zoetwater en vervolgens gemengd met het opgepompte zoete water uit de zoetwaterlens. Het concentraat wordt afgevoerd naar zee (rode pijplijn) (Illustratie gemaakt door Pepijn Bernhard).

De gemiddelde afstand tot de zee is 1,4 km. Er zijn 5 OBES-systemen te vinden in het duingebied (Figuur 5.18).



Figuur 5.18 Locaties waar open bodemenergiesystemen te vinden zijn nabij de duinen (WKOtool, 2020).

Het risico op paalrot in het duingebied blijft beperkt tot de randen van Wassenaar (zie Figuur 5.19).



Figuur 5.19 Risico op paalrot in de duinen.

In het referentiealternatief kan de groei van de drinkwaterafzet opgevangen worden met het huidige rivierwatersysteem, in combinatie met optimalisatie van het duinsysteem Berkheide waar een aanvullende investering reeds gepland is door het plaatsen van ASR winningsystemen, die tevens dienstbaar zijn aan het realiseren van strategische watervoorraad (zogenaamde overbruggingsvermogen).

Het beoogde volume dat geproduceerd moet gaan worden is circa 25 Mm³/jaar, dat is circa 30% van de verwachte drinkwatervraag in 2025. Daarvoor zal 50 Mm³/jaar brakwater gewonnen moeten worden, resulterend in een totaal volume concentraat van 25 Mm³/jaar. Er kan ook een kostenbesparing optreden doordat het gewonnen water uit de brakwateronttrekking zachter is. De huidige ontharding zou gecompenseerd kunnen worden door het bijmengen van het permeaat uit de brakwaterwinning met het zoete duinwater van de bestaande winning (Boonekamp et al., 2020).

Kosten

De kosten zijn bepaald voor de scenario's 4 (recovery 50%) resp. 4+ (hogere recovery, 62%). Dit zijn de scenario's die verhoudingsgewijs de minste omgevingseffecten teweeg zullen brengen (deze worden onderstaand besproken bij de 'baten'). In Tabel 5.1 zijn de CAPEX en

OPEX op hoofdlijnen gepresenteerd, alsmede de impact hiervan op de kosten van drinkwater per m³.

Scenario	RO recovery	CAPEX (+ 40%/- 25%)	Afschrijving	OPEX	Totaal (per jaar)	Totaal (per m ³)	
		€	€/j	€/j	€/j	€/m ³ onttrokken	€/m ³ drinkwater
4	50%	€ 198.148.000	€ 5.950.000	€ 5.161.000	€ 11.111.000	€ 0,30	€ 0,60
4+	62%	€ 214.432.000	€ 6.439.000	€ 5.349.000	€ 11.788.000	€ 0,32	€ 0,52

Tabel 5.1 Overzicht effecten economische analyse COASTAR nationaal niveau

Er kan ook een kostenbesparing optreden doordat het gewonnen water uit de brakwateronttrekking zachter is. De huidige ontharding zou gecompenseerd kunnen worden door het bijmengen van het permeaat uit de brakwaterwinning met het zoete duinwater van de bestaande winning (Arcadis, 2020).

Baten

De baten van brakwaterwinning in deze casus op hoofdlijnen weergegeven in de onderstaande tabel (Boonekamp et al., 2020).

Effecten	Specificatie
Drinkwater	<ul style="list-style-type: none"> • Leveringszekerheid - De drinkwatervraag gaat in de toekomst toenemen. Het spreiden van de winning over meer bronnen om in deze toenemende vraag te voorzien is voor Dunea van strategisch belang. Een additionele drinkwaterbron resulteert in een grotere leveringszekerheid. Deze waarde is niet gemonetariseerd. • Robuustheid: De winning van drinkwater bij Dunea hangt sterk samen met de inname van rivierwater. Deze inname is kwetsbaar. Het is dan ook noodzakelijk om een dusdanige voorraad zoetwater in het winnings- en productiegebied te hebben dat er een langere periode geproduceerd kan worden zonder inname vanuit de rivieren. Met de realisatie van brakwaterwinning wordt het systeem van brakwaterwinning dienstbaar aan dit doel. In periode van overproductie kan het gewonnen zoetwater uit brakwater teruggebracht worden in de zoetwatervoorraad waardoor deze toeneemt (strategische watervoorraad). In geval van een calamiteit kan er dan uit deze voorraad worden geput zonder (langdurige) negatieve effecten op de natuurwaarden. • Grondstoffengebruik: Het winnen van brakwater zorgt voor een productiewater die zachter is dan het productiewater direct uit de duinen. Door opmenging van beide waterstromen kan een ideale hardheid worden bereikt zonder chemische behandeling. Hierdoor worden chemicaliën en daarbij behorende kosten en CO₂ footprint bespaart. • Productiekosten drinkwater - Brakwaterwinning leidt tot een verwachte netto verhoging van de productiekosten voor het drinkwaterbedrijf van € 0,52-0,60 per m³ drinkwater. De hogere productiekosten door brakwaterwinning worden of door het drinkwaterbedrijf vertaald in een hogere verkoopprijs van drinkwater, waardoor in beginsel geen effect optreedt op de omzet van het drinkwaterbedrijf, of leiden tot minder omzet voor het drinkwaterbedrijf wanneer de verkoopprijs niet meestijgt.

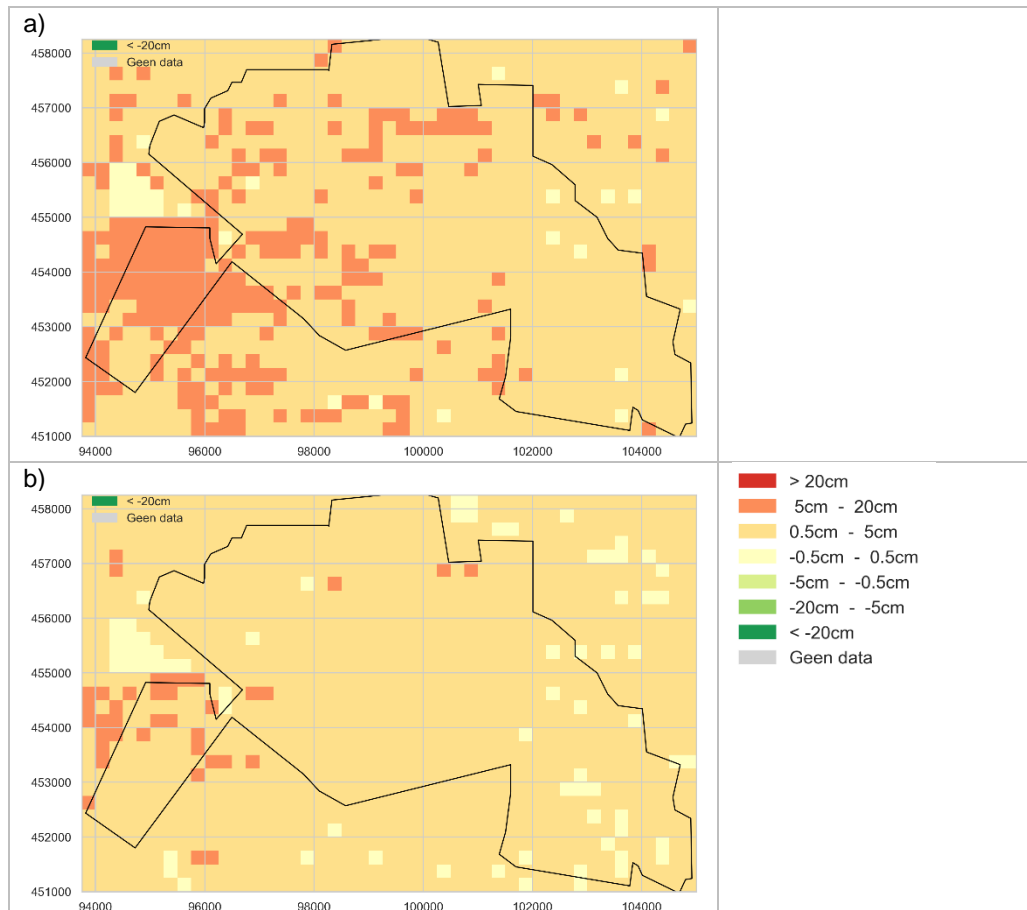
Water voor beregening, bevoeiing en productieproces	<ul style="list-style-type: none"> • Sportvelden, golfbanen, omwonenden: Door de winning van brakwater zal de zoetwatervoorraad toenemen. Dit houdt in dat er meer water beschikbaar komt in het bovenste watervoerend pakket waar stakeholders die binnen de grenzen van het wingebied liggen, hun water uit onttrekken.
Bodem	<ul style="list-style-type: none"> • Bodemverontreiniging: In het gebied aanpalend van het wingebied zijn enkele oude bodemverontreinigingen bekend. De onttrekking van brakwater heeft geen effect op de aanwezige vervuiling. • Grondwater: in alle scenario's van de brakwaterwinning kunnen significante verlagingen van het grondwaterpeil optreden, waaronder deels in kwetsbare natuurgebieden (duingebied). Daarnaast kan ook buiten het duingebied een significante verlaging van de grondwaterstand vóórkomen, waardoor negatieve effecten kunnen optreden ten aanzien van funderingen (zettingen), openbaar groen en landbouw. Met mitigerende maatregelen kan de impact op met name kwetsbare natuur worden beperkt.
Waterbeheer	<ul style="list-style-type: none"> • Waterbeheer: Het waterbeheer in het duingebied is erop gericht om de natuurwaarden van het duingebied te beschermen, de drinkwaterproductie te ondersteunen en de overlast voor activiteiten van stakeholders in en rondom het wingebied te beperken. De invloed van de brakwaterwinning zal hier geen afbreuk aan doen. • Waterveiligheid: Er wordt geen afbreuk gedaan aan de waterveiligheid omdat de lozing van het concentraat langs bestaande infra loopt en er geen dijklichamen of kustbescherming wordt aangetast.
Ecologie	<ul style="list-style-type: none"> • Natuur - Er zijn relevante effecten op de natuurwaarde door brakwaterwinning, met name in relatie tot de verwachte bodemdaling. Hierop is geanticipeerd door de onttrekking te reduceren en te verspreiden met de grootste onttrekking op die plekken waar geen of nauwelijks negatieve effecten zijn op de natuurgebieden. Op deze manier wordt maximaal profijt gehaald uit het winnen van brakwater met minimale effecten op natuur.
Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Warmte-koude opslag: In de omgeving van het drinkwatergebied zitten WKO systemen, met name in de dieper gelegen watervoerende pakketten, die negatief beïnvloedt kunnen worden door de brakwaterwinning. In de stedelijke gebieden rondom het duingebied Meijendel – Berkheide bevinden zich meerdere open WKO-systemen (met name bij Den Haag) op korte afstand van de beoogde brakwaterwinputten. Voor de WKO systemen die in de buurt van het wingebied liggen wordt geen significant negatief effect verwacht.

Validatie

In de duinen van Dunea wordt brakwaterwinning voornamelijk gebruikt om de huidige zoetwaterlens te vergroten. Dit betekent een andere aanpak voor het winnen van brakwater, waarbij andere eisen gesteld worden aan de onttrekking. Hierdoor was het lastig om de geohydrologische geschiktheidskaarten zoals in deze studie gepresenteerd te valideren op basis van eerdere studies.

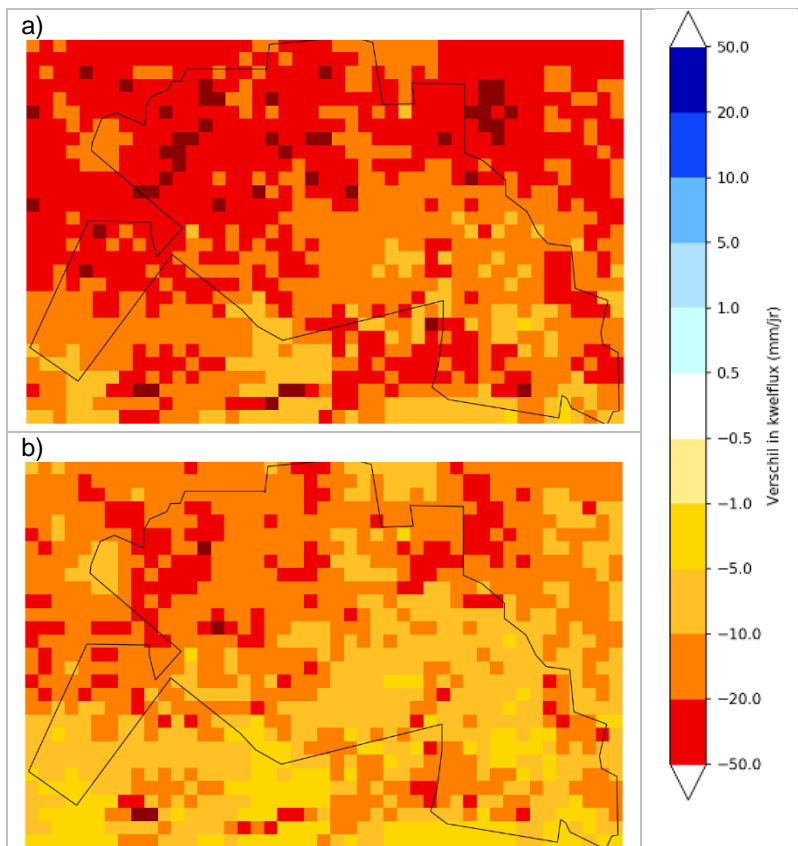
5.4.2.3 Noordplaspolder

In de Noordplaspolder is voor kleinschalige brakwaterwinning het eerste WVP geschikt. Vanaf het 2^e WVP (58 m -NAP) is het ook mogelijk om grootschalige brakwaterwinning toe te passen (zie Figuur 5.4 en in bijlage A2 Figuur 7.8 t/m Figuur 7.14). Het risico op een verandering van de grondwaterstand is klein in de Noordplaspolder; gemiddeld treedt er een verlaging op tussen de 0,5 en 5,0 cm in de droge periode (zie Figuur 5.20). In de wintermaanden blijft het risico op verlaging van de grondwaterstand beperkt in het zuidoosten van de Noordplaspolder, gemiddeld tussen de 0,5 en 0,5 cm. In de zomermaanden zijn er een aantal locaties (Figuur 5.20a), in met name het zuidwesten, waar het risico op daling van de grondwaterstand groter is, gemiddeld tussen de 5 en 20 cm, indien er geen infiltratie plaatsvindt van het concentraat.



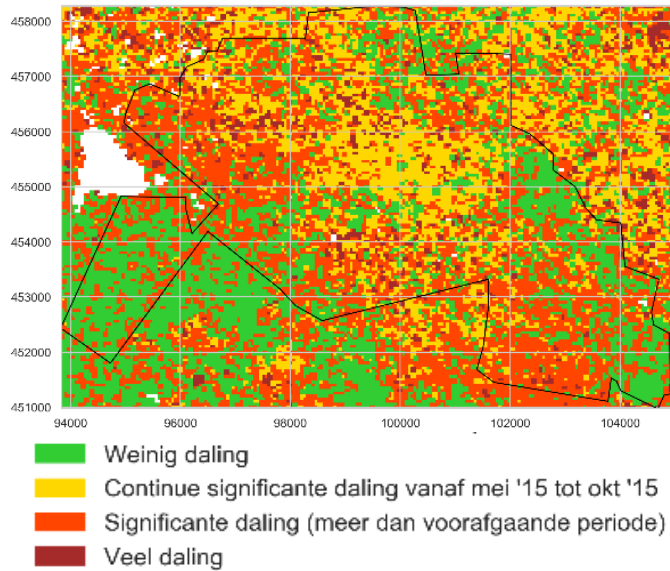
Figuur 5.20 Het effect op de grondwaterstand (GLG) van de toepassing van brakwaterwinning (50% van de kwelflux) met in a) zonder infiltratie van het concentraat en in b) met concentraatinfiltratie (25% van de kwelflux) ten opzichte van de referentiesituatie (zonder afvangen van brakke kwel) in de Noordplaspolder.

Bij een brakwaterwinning gelijk aan de helft van de originele kwelflux, kan er dagelijks 9648 m³ onttrokken. Hierdoor zal er een afname in de kwelflux ontstaan in met name het noordwesten van de Noordplaspolder, gemiddeld 20 tot 50 mm/jaar wat overeenkomt met gemiddeld 0.05 tot 0.14 mm/dag bij een huidige kwelflux van 0.5 mm/dag. De benodigde doorspoeling zal hierdoor afnemen met 0,083 mm/d (20,1%) ten opzichte van de referentie situatie.



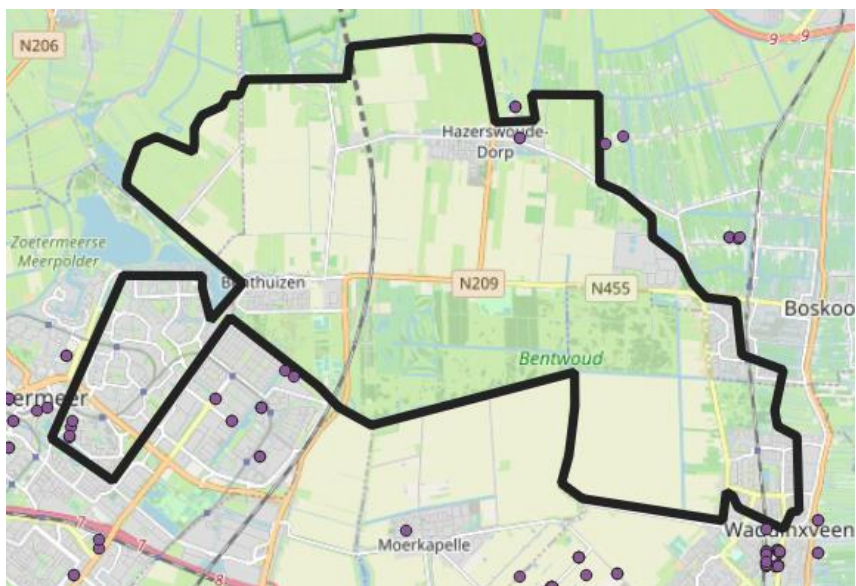
Figuur 5.21 Verandering in kwelflux [mm/jaar] met in a) zonder infiltratie van het concentraat en in b) met concentraatinfiltatie (25% van de kwelflux) ten opzichte van de referentiesituatie (zonder afvangen van brakke kwel) in de Noordplaspolder.

Het risico op verlaging van de grondwaterstand in het noorden van de Noordplaspolder kan de huidige bodemdaling versterken indien er ondiep, in het eerste watervoerende pakket, onttrokken wordt (Figuur 5.22). Aangezien het meest geschikte watervoerende pakket voor brakwaterwinning het tweede watervoerende pakket is zal de bodemdaling, net als in de studie van Bootsma et al. (2020) is bepaald voor de MT-polder, niet significant optreden.



Figuur 5.22 Indicatie van bodemdaling op basis van radar satellietbeelden over de periode oktober 2016 tot oktober 2018 in de Noordplaspolder. De groene kleur laat weinig tot geen bodemdaling zien. De gele kleur geeft eenzelfde structurele significante bodemdaling weer (ongeveer 2 tot 6 mm per jaar) weer als de periode ervoor (mei '15 – mei '18). De rode kleur geeft nieuwe gebieden die in de periode oktober 2016 tot 2018 significant zijn gedaald en erbij gekomen zijn door mogelijk de hete zomer 2018. De bruine gebieden laten veel daling zien (meer dan 6 mm) (Klimaat-effectatlas, 2020).

De gemiddelde afstand tot de zee is 19,5 km. Er bevinden zich een aantal OBES-systemen aan de randen van de Noordplaspolder (Figuur 5.23).



Figuur 5.23 Locaties waar open bodemenergiesystemen te vinden zijn nabij de Noordplaspolder (WKOtool, 2020).

Het risico op paalrot in de Noordplaspolder blijft beperkt tot enkele stukjes lintbebouwing (zie Figuur 5.24).



Figuur 5.24 Risico op paalrot in de Noordplaspolder

Kosten

In het referentiealternatief kan de groei van de drinkwaterafzet opgevangen worden met het huidige rivierwatersysteem, in combinatie met optimalisatie van het duinsysteem Berkheide. Er is mogelijk wel een investering nodig in het bestaande rivierwatersysteem om de groei van 85 naar 92 miljoen m³ drinkwater mogelijk te maken, een toename van 7 miljoen m³. Hoe hoog deze kosten zijn, is vooralsnog niet bekend. De investeringskosten van een nieuwe voorziening voor brakwaterwinning in de Noordplaspolder komen neer op circa € 94 miljoen. De aan de bovengenoemde investering gekoppelde beheer- en onderhoudskosten zijn €1,8 miljoen per jaar. Er kan ook een kostenbesparing optreden doordat het gewonnen water uit de brakwateronttrekking zachter is. De huidige ontharding zou gecompenseerd kunnen worden door het bijmengen van het permeaat uit de brakwaterwinning met het zoete duinwater van de bestaande winning (Posma en Klooster, 2018).

Kosten	€	Beschrijving
Investeringskosten - CAPEX (+ 40% /- 25%) (in €)	€ 94 mln.	Uitgaande van het scenario waar concentraat naar zee geleid wordt, bij een rente van 3% (scenario A2 uit KWR, 2018).
Kosten beheer, onderhoud en exploitatie - OPEX (in € per jaar)	€ 1,8 mln	Verwachte gemiddelde kosten voor exploitatie, beheer en onderhoud.
Besparing kosten ontharding i.v.m. opmenging duinwater met permeaat	€ 0,42 mln. -0,77 mln.	Besparing tussen € 0.11 en € 0.06 per m ³ drinkwater.

Baten

De baten van brakwaterwinning in de Noordplaspolder is op hoofdlijnen weergegeven in de onderstaande tabel (Posma en Klooster, 2018).

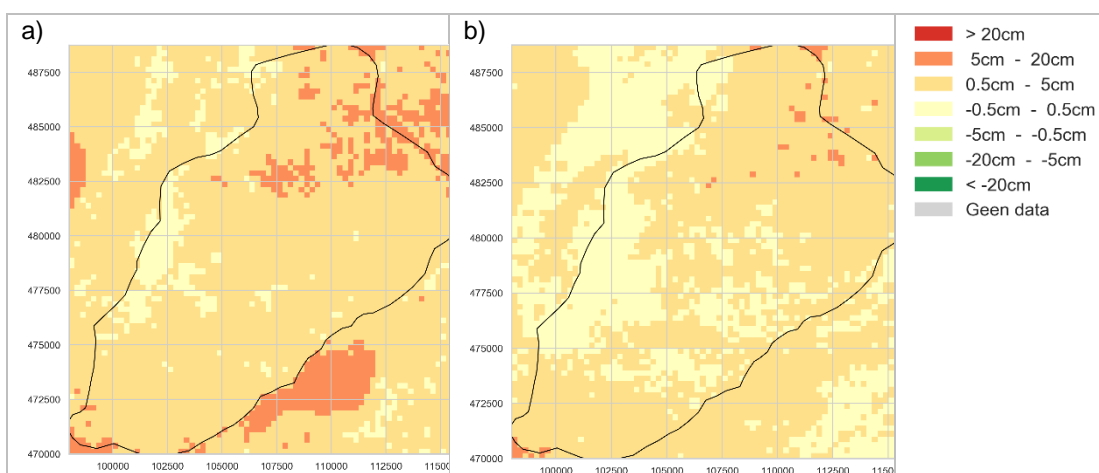
Effecten	Specificatie
Drinkwater	<ul style="list-style-type: none"> • Leveringszekerheid - Dunea zoekt tot 2025 ca. 7 miljoen m³ per jaar. Dit kan worden geleverd door het bestaande rivierwatersysteem. De potentiële brakwaterwinning in de Noordplaspolder is ongeveer 8 miljoen m³ per jaar. Hieruit kan circa 4 tot 5 miljoen m³ per jaar drinkwater worden geproduceerd. Brakwaterwinning in de Noordplaspolder draagt bij aan een stabiel productieregime, waarmee de drinkwatervoorziening ook stabiliseert. Brak grondwater is daarnaast een betrouwbare bron, vanwege de constante waterkwaliteit. • Productiekosten drinkwater - De kostprijs en verkoopprijs van water zou in verband met deze extra investeringen toenemen van €1,00 tot €1,31 per m³.
Water voor beregening, bevoeiing en productieproces	<ul style="list-style-type: none"> • Schade aan land- en tuinbouw - Brakwaterwinning leidt tot een verbetering van de zoetwatervoorziening op gebiedsniveau. Wanneer het zoute brijn afgevoerd wordt richting zee, neemt de zoutvracht met ongeveer 55% af. HHR hoeft minder kwelwater uit de Noordplaspolder te pompen naar de boezem tijdens een droog weer situatie. Door minder brak kwelwater naar de boezem te pompen wordt de boezem zoeter en zijn er dus ook minder verziltingsproblemen in de boezem. Dit is positief voor tuinders in het achterland die gebruik maken van het boezemwater in hun bedrijfsvoering (minder zoutschade). Stuyt et al (2013) berekenden met het model Eureyeopener hoeveel zoutschade er voorkómen zou worden als de Noordplaspolder direct op zee zou lozen en het brakke kwelwater uit de Noordplas de boezem van Rijnland niet meer verzilt. De besparing werd ingeschat op € 3,1 miljoen per jaar, wat een verlaging is van 12% ten opzichte van de referentiesituatie waarin wordt doorgespoeld. Het grootste deel van deze baten is terug te vinden in tuinbouwcluster Boskoop, waar de zoutschade met circa 40% kan worden verminderd.
Bodem	<ul style="list-style-type: none"> • N.a.
Waterbeheer	<ul style="list-style-type: none"> • Waterbeheer - Brakwaterwinning leidt tot een verbetering van de zoetwatervoorziening op gebiedsniveau. Het reduceert de hoeveelheid brak grondwater welke het oppervlaktewater bereikt (zoutvracht). Wanneer het zoute brijn afgevoerd wordt richting zee, neemt de zoutvracht met ongeveer 55% af. Hierdoor ontstaan de volgende baten: <ul style="list-style-type: none"> ○ HHR hoeft minder kwelwater uit de Noordplaspolder te pompen naar de boezem tijdens een droog weer situatie. Er zijn dus minder bemalingskosten doordat met een lagere capaciteit kan worden uitgemalen. ○ Door minder brak kwelwater naar de boezem te pompen wordt de boezem zoeter en zijn er dus ook minder verziltingsproblemen in de boezem. ○ HHR heeft minder bemalingskosten voor doorspoelen van de Noordplaspolder met zoetwater om verzilting in de polder te reduceren. • Waterveiligheid - De stijghoogte onder de deklaag van de Noordplaspolder wordt verlaagd, waardoor het ontstaan van nieuwe wellen kan worden voorkomen. Hierover is zijn geen kwantitatieve inzichten bekend.
Ecologie	<ul style="list-style-type: none"> • n.a.
Energie	<ul style="list-style-type: none"> • n.v.t.

Validatie

De geohydrologische kansrijke kaarten laten zien dat de Noordplas vooral geschikt is voor grootschalige brakwaterwinning. Eerder is voor de Noordplas onderzocht hoe de brakke kwel verminderd kan worden (De Louw et al., 2007). Uit dit onderzoek kwam destijds naar voren dat brakwaterwinning geohydrologisch goed mogelijk is, maar vanwege relatief hoge kosten niet als kansrijk werd gezien. Om de brakke kwel effectief tegen te gaan zou brakwaterwinning het meest effectief zijn op locaties waar de meeste (brakke) kwel plaatsvindt.

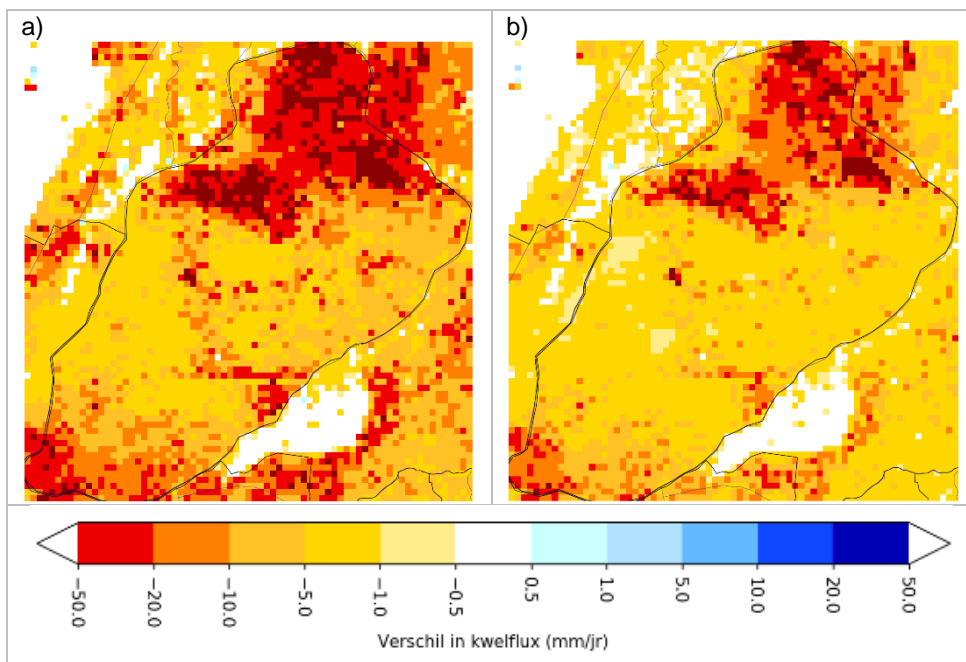
5.4.2.4 Haarlemmermeerpolder

In de Haarlemmermeerpolder is in het 1^e WVP op de meeste plaatsen brakwaterwinning mogelijk (zie bijlage A2 Figuur 7.8). Diepere watervoerende pakketten zijn alleen geschikt voor grootschalige brakwaterwinning (zie bijlage A2 Figuur 7.9 t/m Figuur 7.14). Het zuidwestelijke gedeelte van de polder is te zoet voor brakwaterwinning. Het risico op een verandering van de grondwaterstand is klein in de Haarlemmermeerpolder; gemiddeld treedt er een verlaging op van de GLG tussen de 0,5 en 5,0 cm (zie Figuur 5.25). Dit geldt voor beide scenario's, met en zonder concentraatinjectie. In de wintermaanden is er geen risico op een verandering van de grondwaterstand.



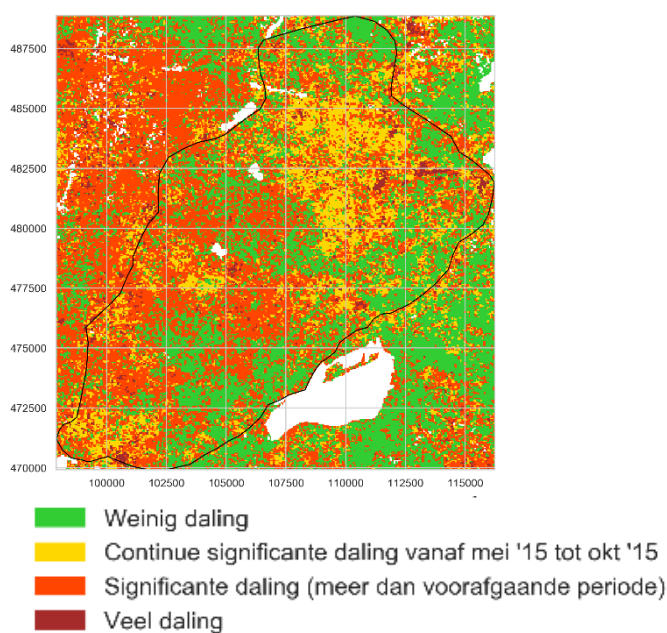
Figuur 5.25 Het effect op de grondwaterstand (GLG) van de toepassing van brakwaterwinning (50% van de kwel flux) met in a) zonder infiltratie van het concentraat en in b) met concentraatinfiltratie (25% van de kwel flux) ten opzichte van de referentiesituatie (zonder afvangen van brakke kwel) in de Haarlemmermeerpolder.

Deze tweedeling tussen noord en zuid is ook terug te zien in de verandering in kwel flux, zoals weergegeven in Figuur 5.26. In het noorden van de Haarlemmermeerpolder is de afname in kwel flux het grootst, gemiddeld 50 mm/jaar (= 0.14 mm/dag). In het zuiden blijft de afname beperkt met een gemiddelde afname tussen de 5 en 10 mm/jaar (= 0.001 tot 0.03 mm/dag).



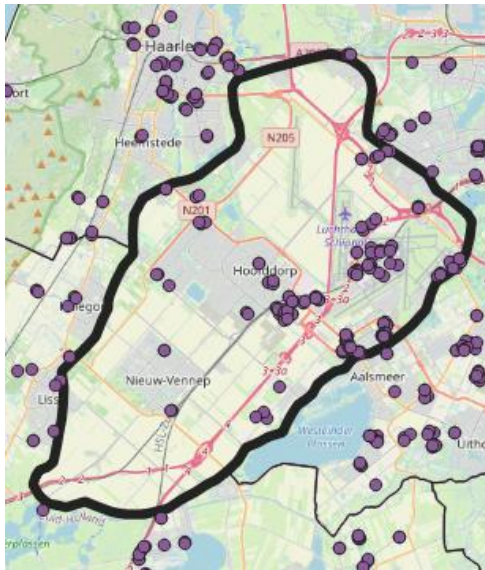
Figuur 5.26 Verandering in kwelflux [mm/jaar] met in a) zonder infiltratie van het concentraat en in b) met concentraatinfiltatie (25% van de kwelflux) ten opzichte van de referentiesituatie (zonder afvangen van brakke kwel) in de Haarlemmermeerpolder.

Bij een brakwaterwinning gelijk aan de helft van de originele kwelflux, wordt er dagelijks 22.398 m³ onttrokken. De benodigde doorspoeling zal hierdoor afnemen met 0,63 mm/d (22,7%) ten opzichte van de referentie situatie. In het noorden van de Haarlemmermeerpolder, waar het risico op een verlaging van de grondwaterstand iets groter is ten opzichte van het zuiden van de Haarlemmermeerpolder, is de huidige bodemdaling het meest beperkt (Figuur 5.27).



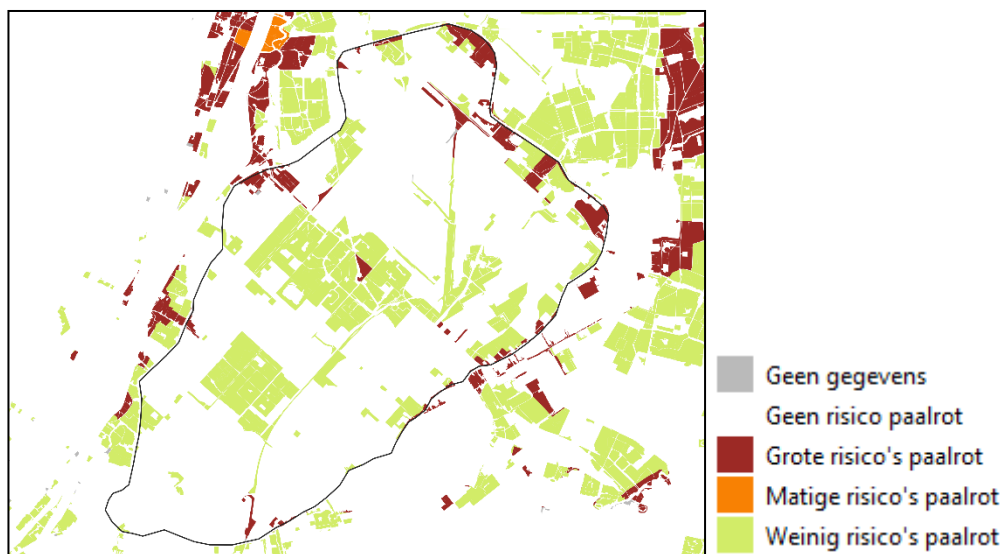
Figuur 5.27 Indicatie van bodemdaling op basis van radar satellietbeelden over de periode oktober 2016 tot oktober 2018 in de Haarlemmermeerpolder. De groene kleur laat weinig tot geen bodemdaling zien. De gele kleur geeft eenzelfde structurele significante bodemdaling weer (ongeveer 2 tot 6 mm per jaar) weer als de periode ervoor (mei '15 – mei '18). De rode kleur geeft nieuwe gebieden die in de periode oktober 2016 tot 2018 significant zijn gedaald en erbij gekomen zijn door mogelijk de hete zomer 2018. De bruine gebieden laten veel daling zien (meer dan 6 mm) (Klimaat-effectatlas, 2020).

De gemiddelde afstand tot de zee is 13,4 km. Clusteringen van OBES-systemen bevinden zich ten zuidoosten van Hoofddorp en rondom luchthaven Schiphol (Figuur 5.28).



Figuur 5.28 Locaties waar open bodemenergiesystemen te vinden zijn nabij de Haarlemmermeerpolder (WKOtool, 2020).

Het risico op paalrot in de Haarlemmermeerpolder is op enkele plekken aanwezig, voornamelijk langs de randen van de polder zoals de donkerrood gekleurde bebouwing aangeeft in Figuur 5.29.



Figuur 5.29 Risico op paalrot in de Haarlemmermeerpolder

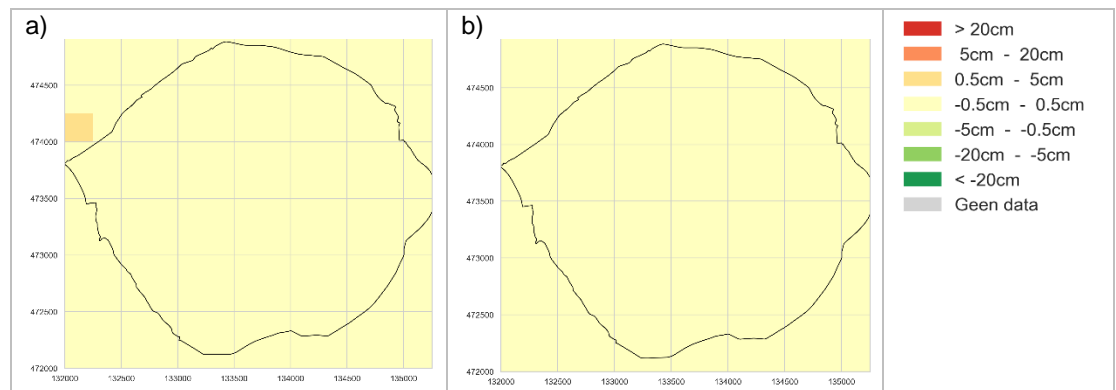
Validatie

Uit een meer gedetailleerde geohydrologische analyse voor brakwaterwinning in de Haarlemmermeer (Delsman et al., 2020) is brakwaterwinning het meest geschikt gebleken in het tweede watervoerende pakket. Dit komt overeen met de uitkomsten op basis van dezelfde landelijke gegevens als hier in deze studie wordt gebruikt. Ook kwam uit het onderzoek dat hierbij rond de 15 Mm³ per jaar kan worden gewonnen. De studie van Delsman et al. (2020) is gebaseerd op dezelfde data als de voorliggende studie, wat maakt dat vergelijkbare resultaten te verwachten zijn. Er zijn geen andere studies gevonden waarmee de resultaten goed vergeleken konden worden voor de Haarlemmermeerpolder.

5.4.2.5 Horstermeerpolder

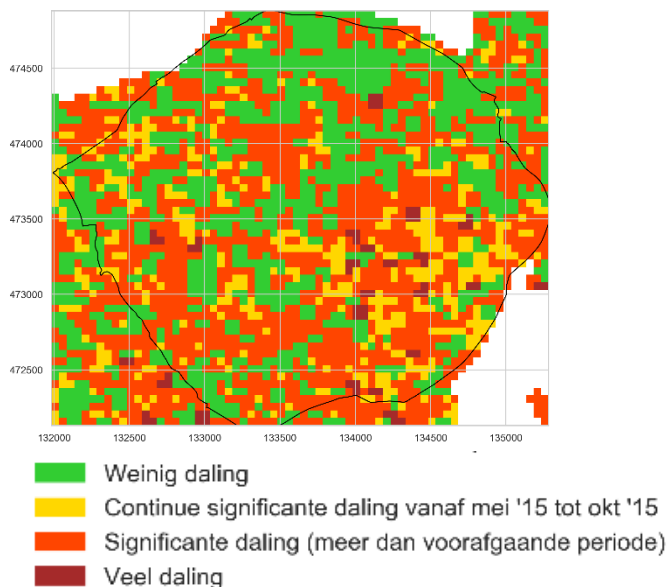
Het waterschap AGV is in de Horstermeerpolder, samen met de gemeente Amsterdam, een onderzoek gestart naar een slimmere manier om met het brakke kwelwater om te gaan. Met een pilot onderzoeken ze of het brakke kwelwater de polder uitgepompt kan worden en of het kan worden gezuiverd tot drinkwater. Het afvangen van het kwelwater biedt kansen voor schoner water in het gebied, een nieuwe drinkwaterbron en het verminderen van het doorspoelvolume. Tot eind 2021 loopt een pilot in de Horstermeerpolder.

Volgens de analyses in dit rapport is in de Horstermeerpolder in het 1^e WVP op de meeste plaatsen brakwaterwinning mogelijk. Diepere watervoerende pakketten zijn ook geschikt voor brakwaterwinning. Het risico op een verandering van de grondwaterstand is klein in de Horstermeerpolder; gemiddeld treedt er een verlaging op van de GLG tussen de 0,5 en 5,0 cm (zie Figuur 5.25). Dit geldt voor beide scenario's, met en zonder concentraatinjectie. In de wintermaanden is er geen risico op een verandering van de grondwaterstand.



Figuur 5.30 Het effect op de grondwaterstand (GLG) van de toepassing van brakwaterwinning (50% van de kwelflux) met in a) zonder infiltratie van het concentraat en in b) met concentraatinfiltratie (25% van de kwelflux) ten opzichte van de referentiesituatie (zonder afvangen van brakke kwel) in de Horstermeerpolder .

De kwelflux zoals we die berekenen in paragraaf 4.3.4.3 voldoet niet voor de Horstermeerpolder. Volgens het model dat gebruikt wordt is er in de Horstermeerpolder geen brakke kwelflux aanwezig. Het landelijke model voldoet in dit geval niet op dit case-niveau.



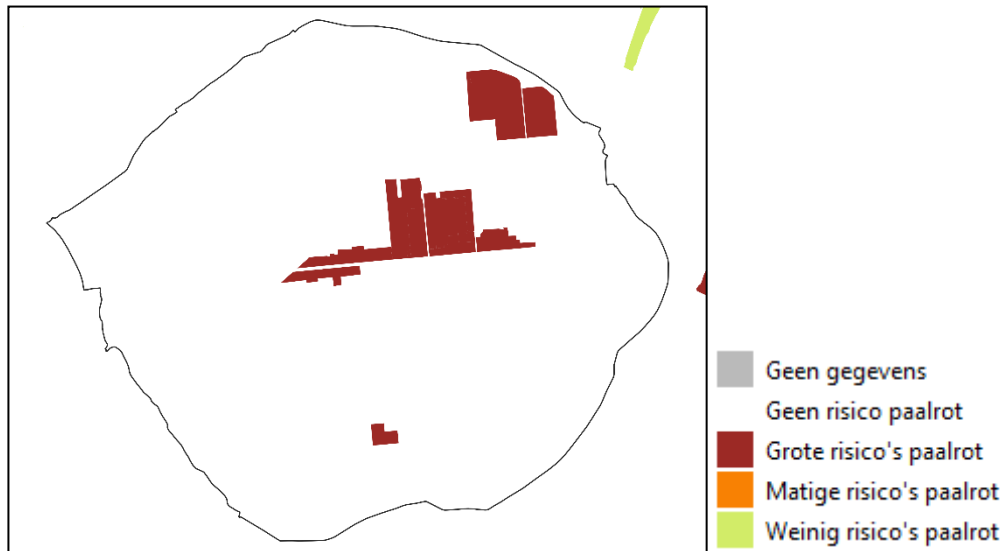
Figuur 5.31 Indicatie van bodemdaling op basis van radar satellietbeelden over de periode oktober 2016 tot oktober 2018 in de Horstermeerpolder. De groene kleur laat weinig tot geen bodemdaling zien. De gele kleur geeft eenzelfde structurele significante bodemdaling weer (ongeveer 2 tot 6 mm per jaar) weer als de periode ervoor (mei '15 – mei '18). De rode kleur geeft nieuwe gebieden die in de periode oktober 2016 tot 2018 significant zijn gedaald en erbij gekomen zijn door mogelijk de hete zomer 2018. De bruine gebieden laten veel daling zien (meer dan 6 mm) (Klimaat-effectatlas, 2020).

Er zijn geen open bodemenergiesystemen in de Horstermeerpolder. (Figuur 5.28).



Figuur 5.32 Locaties waar open bodemenergiesystemen te vinden zijn nabij de Horstermeerpolder (WKOtool, 2020).

Het risico op paalrot in de Horstermeerpolder is op enkele plekken aanwezig, voornamelijk aan de noordkant van de polder zoals de donkerrood gekleurde bebouwing aangeeft in Figuur 5.33.



Figuur 5.33 Risico op paalrot in de Haarlemmermeerpolder

5.4.2.6 Kansrijkeidskaart Brakwaterwinning

De kansrijkeidskaart voor ondergrondse opslag van zoetwater is samengesteld op basis van de geohydrologische geschiktheidskaart (zie Figuur 5.3) en de effect en kosten analyses op case niveau zoals in voorgaande paragrafen beschreven.

Zoals beschreven in de voorgaande paragrafen zijn de effecten die kunnen optreden wisselend per case. Daarnaast valt op dat zowel de investeringskosten (CAPEX) als de kosten voor beheer en onderhoud (OPEX) vergelijkbaar zijn voor alle cases: categorie 3 (0.20-0.50 €/m³).

Haarlemmermeerpolder

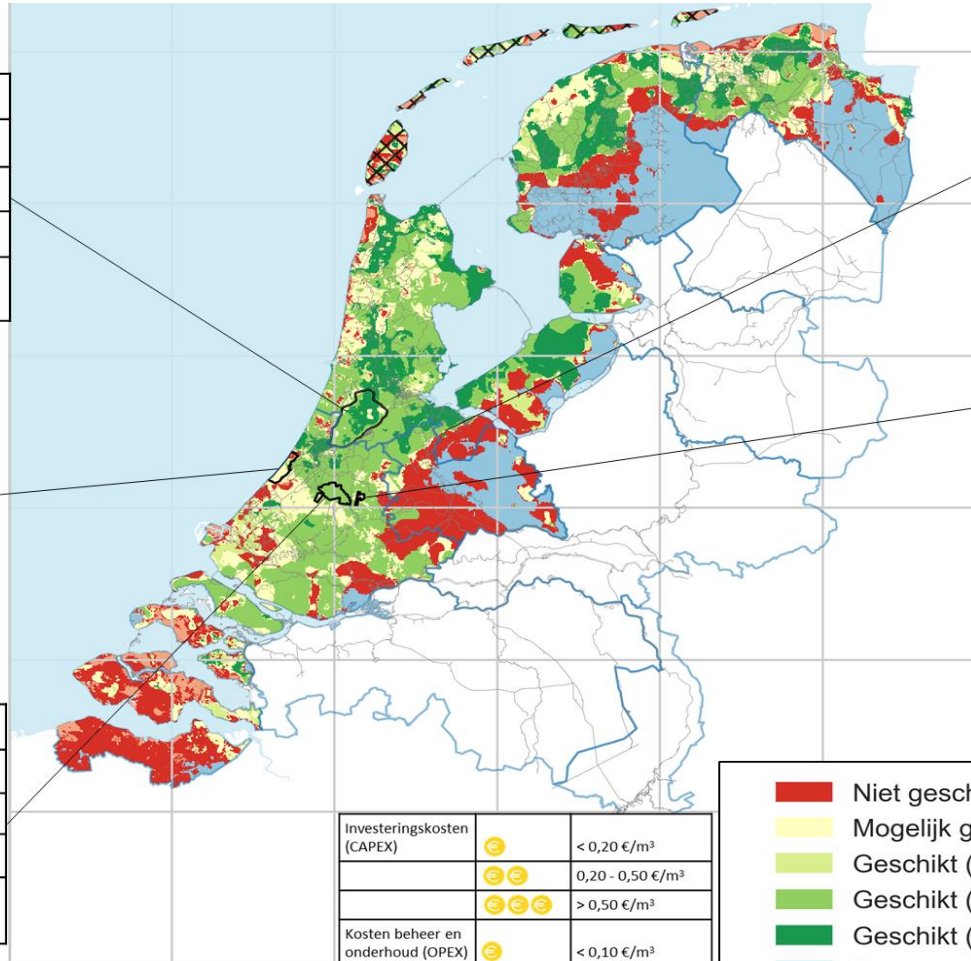
Categorie	Indicator
Effecten	
Diepte toepassing	-70 m
Investeringskosten	
Kosten beheer en onderhoud	

Dunea

Categorie	Indicator
Effecten	
Investeringskosten	
Kosten beheer en onderhoud	

Noordplas

Categorie	Indicator
Effecten	
Diepte toepassing	-58 m
Investeringskosten	
Kosten beheer en onderhoud	



Investeringskosten (CAPEX)		< 0,20 €/m³
		0,20 - 0,50 €/m³
		> 0,50 €/m³
Kosten beheer en onderhoud (OPEX)		< 0,10 €/m³
		0,10 - 0,20 €/m³
		> 0,20 €/m³

	Niet geschikt		Cases
	Mogelijk geschikt		Provincies
	Geschikt (klein)		Zee
	Geschikt (groot)		Boezem
	Geschikt (beide)		Onbekend
	Te zoet		
	Te zout		

Horstermeer

Categorie	Indicator
Effecten	
Diepte toepassing	-90 m

MT-polder

Categorie	Indicator
Effecten	
Diepte toepassing	-80 m
Investeringskosten	
Kosten beheer en onderhoud	

Beschrijving indicatoren kansrijkeidskaart

Knelpunt indicator	Beschrijving	Knelpunt indicator	Beschrijving
	Toename waterbeschikbaarheid		Interferentie met bestaande WKO systemen
	Afname waterbeschikbaarheid		Risico op paalrot door zakkende grondwaterstanden
	Afname zoutvracht		Kans op extra bodemdaling
	Kans op verlaging van de grondwaterstanden		Vermindering kans op bodemdaling
	Interferentie door gaten in de kleilaag		Afname wateroverlast
	Opbarstrisico		Toename wateroverlast

6 Synthese

6.1.1 Nut van de kansenkaart

De Nederlandse kustprovincies staan voor grote uitdagingen ten aanzien van het garanderen van voldoende zoetwater in droge perioden nu en in de toekomst. Door de inzet van de ondergrond als bron en opslagmedium van (zoet) water dragen de zogenaamde COASTAR-oplossingen bij aan het weerbaar maken van Nederland tegen zoetwatertekorten voor 2050. In deze studie is de potentie ondergrondse opslag van zoetwater via verticale ASR en voor brakwaterwinning voor alle Nederlandse kustprovincies onderzocht. De resulterende kansenkaarten geven een beeld van de kansen op landelijk en regionaal niveau.

Op basis van de knelpuntenanalyse uitgevoerd door Deltares in 2019 (Mens et al., 2019), zijn voor de voorliggende studie de geïdentificeerde knelpunten in de Nederlandse kustprovincies beschouwd. Daarnaast is gekeken hoe deze knelpunten in de toekomst zullen gaan veranderen onder het extreemste klimaatscenario (STOOM) en wat de gevolgen hiervan zijn voor de verhouding tussen zoetwatervraag en -aanbod in de specifieke regio's. In alle regio's zal de zoetwatervraag naar verwachting toenemen als gevolg van een toename in totaal beregend areaal, de bevolkingsgroei en toenemende verzilting van grond- en oppervlaktewater als gevolg van kwellend brakwater, toenemende bodemdaling, zakkende grondwaterstanden (interne verzilting), verminderde oppervlaktewateraanvoer en een stijgende zeespiegel (externe en interne verzilting). De mate waarin de watervraag zal toenemen verschilt per regio en per functie (peilhandhaving, doorspoeling en beregning). COASTAR toepassingen zijn van waarde om de interne verzilting tegen te gaan. Om verzilting van het oppervlaktewater tegen te gaan worden de betreffende waterlopen doorgespoeld met zoet oppervlaktewater.

De ontwikkelde methode en kaarten maken de mogelijke knelpunten inzichtelijk en hoe en waar COASTAR toepassingen ingezet kunnen worden voor het weerbaar maken van Nederland voor zoetwatertekorten op regionale en landelijke schaal. De kaarten zijn een waardevol instrument als gesprekskaart voor de verschillende betrokken gebiedspartijen. Tevens geven de kaarten een inschatting van de effecten die kunnen optreden en de baten, de investeringskosten en kosten voor beheer en onderhoud waarmee rekening dient te worden gehouden bij toepassing van brakwaterwinning en/of ondergrondse opslag van zoetwater. Op regionaal en nationaal niveau geeft de geohydrologische geschiktheidskaart een indicatie van waar de gebieden liggen met de hoogste potentie voor de toepassingen. De cases dienen hierbij als voorbeeld voor andere toekomstige locaties in de geschikte gebieden.

6.1.2 Ondergrondse opslag zoetwater

De mogelijke geohydrologische effecten bij toepassen ondergrondse opslag zoetwater worden sterk beïnvloed door het risico op interferentie door gaten in de kleilagen en de dikte van het klei/veenpakket. Het effect op de omgeving en onder de grond kan sterk verschillen per locatie en hierover is dan ook geen generieke uitspraak te doen op regionaal en landelijk niveau. Het is aan te bevelen om een modelstudie uit te voeren op mogelijke geohydrologische effecten van ondergrondse zoetwateropslag bij (lokale) vervolgstudies. Hierbij is de verwachting dat het water dat wordt opgeslagen in de ondergrond in perioden met een wateroverschot, kan worden gebruikt om in tijden van schaarste (voor ene deel) te voorzien in de watervraag. Voor de cases UWB Rotterdam en Westland nemen de zoutvracht, het risico op wateroverlast en het risico op bodemdaling naar verwachting af.

Naast bovengenoemde effecten hebben we gekeken naar verschillende (sociaal-) economische aspecten. De ondergrondse opslag van zoetwater vergroot de water leveringszekerheid. De verbeterde leveringszekerheid draagt bij aan het vestigingsklimaat voor

specifieke economische sectoren, zoals tuinbouwsector. Dit is namelijk een manier om op langere termijn osmose te kunnen gebruiken, een belangrijke component van de gietwatervoorziening voor de tuinbouwsector. In stedelijk gebied kan een ondergrondse waterbuffer bijdragen aan een verbetering van de leefbaarheid van de wijk (ook wel ruimtelijke kwaliteit genoemd). Als benadering hiervan is een inschatting gemaakt van de stijging van de waarde van woningen met uitzicht op de Rotterdamse UWB (circa € 500.000). Door de investeringen in ondergrondse opslag zullen de productiekosten stijgen. Echter op de langere termijn kan dit naar verwachting efficiënter blijken dan andere opties, zoals de mogelijkheid tot het aanleggen van grotere bassins, investeren in grond of water inkopen indien de huidige praktijk niet meer mag worden ingezet. Door de inzet van ondergrondse opslag wordt tevens een bijdrage geleverd aan de wateropgave (bergingsbehoefte) en het voorkómen van wateroverlast. Zo kan bijvoorbeeld in het Westland de Waterbank bijdragen in de wateropgave van HH Delfland van circa 350.000 m³. De geldwaarde van deze wateropgave bedraagt 50-200 €/m³, derhalve € 17,5 – 70,0 mln.

6.1.3 Brakwaterwinning

Voor de toepassing brakwaterwinning is een beknopte modelstudie uitgevoerd op landelijk niveau om het effect van de onttrekking op de grondwaterstand en de zoutvracht naar het grond- en oppervlaktewatersysteem te kunnen vaststellen. In vrijwel alle polders neemt de zoutvracht af als gevolg van de toepassing van brakwaterwinning; zowel in de situatie met concentraatinjectie in de dieper gelegen watervoerende pakketten als zonder concentraatinjectie. Verder zien we een toename in de hoeveelheid beschikbaar zoetwater, is er een beperkte kans op een verlaging van de grondwaterstand, een kleine kans op extra bodemdaling als gevolg van dalende grondwaterstanden door de onttrekkingen, en interferentie met bestaande open bodemenergie systemen (open WKO's). In enkele gevallen bij aanwezigheid van bebouwing met houten funderingspalen is er risico op paalrot als gevolg van dalende grondwaterstanden. In de uitgevoerde case analyses zien we dit alleen terug in de Horstermeerpolder.

Bij brakwaterwinning spelen ook sociaaleconomische aspecten. Zo gaat de drinkwatervraag in de toekomst toenemen. Het spreiden van de winning over meer bronnen om in deze toenemende vraag te voorzien is voor drinkwaterbedrijven van strategisch belang. Een additionele drinkwaterbron resulteert in een stabiel productieregime en daarmee grotere leveringszekerheid. Brakwaterwinning is daarnaast een betrouwbare bron, vanwege de constante waterkwaliteit en temperatuur. Brakwaterwinning leidt tot verhoogde productiekosten voor een drinkwaterbedrijf. De hogere productiekosten door brakwaterwinning worden of door het drinkwaterbedrijf vertaald in een hogere verkoopprijs van drinkwater, waardoor in beginsel geen effect optreedt op de omzet van het drinkwaterbedrijf, of leiden tot minder omzet voor het drinkwaterbedrijf wanneer de verkoopprijs niet mee stijgt. Brakwaterwinning leidt tot een afname aan natschade, de kwel wordt immers afgevangen. De zoutschade kan sterk verminderen. Dit is een positieve baat voor met name de agrarische sector. Brakwaterwinning kan leiden tot additionele bodemdaling met impact op infrastructuur, waterbeheer, bebouwing, agrarisch areaal, landschap en natuurwaarden. Echter of bodemdaling ook daadwerkelijk optreedt en de specifieke omvang van het effect is zeer onzeker en per locatie wisselend. Belangrijke baten kunnen optreden door een verbetering van de zoetwatervoorziening op gebiedsniveau. Brakwaterwinning reduceert de hoeveelheid brak grondwater die het oppervlaktewater bereikt (zoutvracht). Hierdoor hoeft minder kwelwater naar de boezem gepompt te worden tijdens een droog weer situatie. Er zijn dus minder bemalingskosten doordat met een lagere capaciteit kan worden uitgemaal. Door minder brak kwelwater naar de boezem te pompen wordt de boezem zoeter en zijn er dus ook minder verziltingsproblemen in de boezem. Er zijn ook minder bemalingskosten voor doorspoelen met zoetwater om verzilting te reduceren. Er zijn naar verwachting weinig of geen effecten te verwachten in relatie tot waterveiligheid.

6.1.4 Vooruitblik

De kansenkaarten geven snel inzicht in de potentie van de (COASTAR) oplossingen in een regio. Op basis van het verkregen inzicht kunnen kansrijke locaties worden geselecteerd en kan nader onderzoek naar mogelijkheden en effecten worden uitgevoerd. Op lokaal niveau is een detailstudie aan te bevelen voordat overgegaan kan worden naar een pilot of implementatie van de COASTAR toepassingen.

Het COASTAR programma stopt niet bij de studies die zijn uitgevoerd in 2019-2020. De voorliggende studie zal in 2021 toepassing vinden in de regio's Noord-Holland en Groningen waarbij de ontwikkelde methode zal worden aangepast op basis van specifieke gebiedskennis in beide regio's. Hierbij zal de focus in Noord-Holland komen te liggen op de drinkwatervoorziening en in Groningen op de groeiende watervraag in industriegebieden. Zie ook het volgende nieuwsbericht: <https://www.coastar.nl/kennisprogramma-coastar-breidt-uit-verkenning-naar-kansen-in-noord-holland/>. Daarnaast vinden COASTAR concepten hun weg naar gebieden buiten Nederland en in een recent gehonoreerd onderzoeksprogramma AquaConnect.

De kansenkaarten zijn vanaf heden een nuttig (COASTAR-)instrument om met stakeholders in binnen- en buitenland het gesprek op te starten over de mogelijkheden die de ondergrond biedt en daarmee een bijdrage te leveren aan een duurzame, robuuste en toekomstbestendige watervoorziening en waterbeheer.

- Baart, F., Rongen, G., Nicolai, R., & Vries, C. van de. (2017). *Sea-level monitor (Version v2017.04)*. Zenodo. <https://doi.org/http://doi.org/10.5281/zenodo.1065964>
- Bakker, M. (2010). Radial Dupuit interface flow to assess the aquifer storage and recovery potential of saltwater aquifers. *Hydrogeology Journal*, 18(1), 107–115. <https://doi.org/10.1007/s10040-009-0508-1>
- Beelen, P. van, Schijven, J. F., Husman, A. M. de R., N.G.F.M. van der Aa, & Otte, P. F. (2011). *De mogelijke risico's van warmte en koudeopslag voor de grondwaterkwaliteit*. <https://www.bodemambities.nl/sites/default/files/2018-04/Rapport%2520De%2520mogelijke%2520risicos%2520van%2520warmte%2520-%2520en%2520koudeopslag%2520voor%2520de%2520grondwaterkwaliteit-RIVM%2520%25282011%2529.pdf>
- Bloemendal, M., Olsthoorn, T., & Boons, F. (2014). How to achieve optimal and sustainable use of the subsurface for Aquifer Thermal Energy Storage. *Energy Policy*, 66, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.034>
- Boonekamp, T., Huizer, S., & Bootsma, H. (2020). *COASTAR CASE A2: BRAKWATERWINNING KUST, Voorstudie en aanzet tot pilot voor toepassing brakwater als derde drinkwaterbron*.
- Bootsma, H., Delsman, J., op den Kelder, T., Mulder, N., van der Grift, B., & Ruepert, N. (2020). *Brakwaterwinning Middelburg- en Tempelpolder - Technische achtergrondrapport geohydrologische modellering, hydrochemie en schetsontwerp*.
- Brunsch, A. F., ter Laak, T. L., Rijnaarts, H., & Christoffels, E. (2018). Pharmaceutical concentration variability at sewage treatment plant outlets dominated by hydrology and other factors. *Environmental Pollution*, 235, 615–624. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.116>
- CBS. (2019). *Sterke groei in steden en randgemeenten verwacht*. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/37/sterke-groei-in-steden-en-randgemeenten-verwacht>
- CBS. (2020). *Regionale prognose 2020-2050; bevolking, intervallen, regio-indeling 2018*. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/84527NED/table?ts=1603110709518>
- Claassens, J., Koomen, E., & Rijken, B. (2017). *Actualisering landgebruiksimulatie Deltascenario's Achtergronddocument bij Ruimtescanner inzet*. 34. <https://spinlab.vu.nl/>
- Clevers, S., Dorland, E., Vossen, J. van, Verschoor, A., & Emke, E. (2019). *BTO rapport Buffercapaciteit drinkwatervoorziening Nederland*. www.kwrwater.nl
- Dartee, K., & Kok, W. (2020). *Economische impact Urban waterbuffer*. [http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/04/Field-Factors-Economische-impact-Urban-Waterbuffer-Dart-e-Kok-\(2020\).pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2020/04/Field-Factors-Economische-impact-Urban-Waterbuffer-Dart-e-Kok-(2020).pdf)
- De Louw, P. G. B., & Oude Essink, G. H. P. (2006). Salinisation of the northern coastal area of The Netherlands due to land subsidence and sea level rise. *Coastal Environmental and Water Quality, Challenges in Coastal Hydrology and Water Quality, Baton Rouge, Louisiana*, 167–179.
- Delsman, J., Oude Essink, G., Huizer, S., Bootsma, H., Mulder, T., Zitman, P., Romero Verastegui, B., & Janssen, G. (2020). *Actualisatie zout in het NHI - Toolbox NHI zoet-zout modellering en landelijk model*.
- Delsman, J. R. (2017). Doorspoeling in Deltascenario's zoetwater. In *Deltares memo 11200588-010*.
- Delsman, J. R., & Kramer, M. (2017). Handreiking doelmatiger doorspoelen. *Deltares Rapport 11200588-030*, 39. http://nhi.nu/nl/files/1815/9497/4285/11205261-003-BGS-0001_v2.0-Actualisatie_zout_in_het_NHI.pdf
- Doorn, A. van, Zuurbier, K. G., & Paalman, M. A. . (2013). *Potentie van ondergrondse waterberging voor (glas)tuinbouw in Zuid-Holland*.
- DPZW. (2020). *Hoofdstuk 4: Zoetwater - Deltaprogramma 2021*. DP2021. <https://dp2021.deltaprogramma.nl/4-zoetwater.html>
- Eertwegh, G. A. P. H. van den, Bartholomeus, R. P., Louw, P. de, Witte, J. P. M., Dam, J.

- van, Deijl, D. van, Hoefsloot, P., Clevers, S. H. P., Hendriks, D., & Al., E. (2019). *Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland. Rapportage Fase 1: ontwikkeling van uniforme werkwijze voor analyse van droogte en tussentijdse bevindingen*. KnowH2O. <https://research.wur.nl/en/publications/droogte-in-zandgebieden-van-zuid-midden-en-oost-nederland-rapport>
- Erkens, G., De Louw, P. G. B., Bootsma, H., Stafleu, J., Van den Akker, J., & Kooi, H. (2018). *Huidig en toekomstig opbarstingsrisico in de provincie Zuid-Holland*. Flevoland, P. (2020). *Bevolkingsprognose Flevoland*. <https://feitelijkflevoland.nl/Dashboard/dashboard/bevolkingsprognose>
- Glastuinbouwwaterproof. (2018). *Ondergrondse waterberging voor hergebruik restwater Suiker Unie: Glastuinbouw Waterproof*. Nieuwsbericht 30 April 2018. <https://www.glastuinbouwwaterproof.nl/nieuws/ondergrondse-waterberging-voor-hergebruik-restwater-suiker-unie/>
- Griffioen, J., Peet, M. J., & de Louw, P. G. M. (2002). *Kaartmateriaal inzake achtergrondbelasting van oppervlaktewater in beheergebied van Hoogheemraadschap Rijnland*.
- Haasnoot, M., Kwadijk, J., Van Alphen, J., Le Bars, D., Van Den Hurk, B., Diermanse, F., Van Der Spek, A., Oude Essink, G., Delsman, J., & Mens, M. (2020). Adaptation to uncertain sea-level rise; how uncertainty in Antarctic mass-loss impacts the coastal adaptation strategy of the Netherlands. *Environmental Research Letters*, 15(3), 034007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab666c>
- Haasnoot, M., Mosselman, E., Sloff, K., Huismans, Y., Mens, M., Ter Maat, K., Weiler, O., Bouwer, L., Diermanse, F., Kwadijk, J., Van der Spek, A., Oude Essink, G., & Delsman, J. (2018). *Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma*. <https://www.deltares.nl/nl/publication/mogelijke-gevolgen-van-versnelde-zeespiegelstijging-voor-het-deltaprogramma-een-verkenning/>
- HDSR. (2020). *Knelpunten in de zoetwatervoorziening*. <https://www.hdsr.nl/beleid-plannen/deltaprogramma/deelprogramma-0/zoetwater-west/>
- Hofman-Caris, R., Stoffberg, S., Alphen, H.-J. van, Waal, L. de, & Huijgevoort, M. van. (2019). *BTO 2019_019_VO Alternatieve Bronnen voor Drinkwater*. www.kwrwater.nl
- Hoogvliet, M., Stuyt, L., van Bakel, J., Velstra, J., de Louw, P., Massop, H., Tolk, L., van Kempen, C., & Nikkels, M. (2014). *Methode voor het selecteren van lokale zoetwateroplossingen en het afwegen van hun effecten "Fresh Water Options Optimizer"*. Programmabureau Kennis voor Klimaat. <https://research.wur.nl/en/publications/methode-voor-het-selecteren-van-lokale-zoetwateroplossingen-en-he>
- Hoogvliet, M., van de Ven, F., Buma, J., van Oostrom, N., Brolsma, R., Filatova, T., Verheijen, J., & Bosch, P. (2012). *Schades door watertekorten en -overschotten in stedelijk gebied*. http://publications.deltares.nl/1205463_000a.pdf
- Hunink, J., van Walsum, P., Vermeulen, P., Pouwels, J., Bootsma, H., Janssen, G., Swierstra, W., Prinsen, G., Meshgi, A., Veldhuizen, A., de Lange, W., Hummelman, J., Bos-Burgering, L., & Kroon, T. (2020). *Veranderingsrapportage LHM 4.0 - Beheer en onderhoud van het lagenmodel, het topsysteem, het bodem-water-plant-atmosfeer systeem en het oppervlaktewater*.
- Klijn, F., Van Velsen, E., Ter Maat, J., & Hunink, J. C. (2012). *Zoetwatervoorziening in Nederland*.
- Klimaat-effectatlas. (2020). *Kaartverhaal droogte*. <https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/kaartverhaal-droogte>
- Klooster, J., Ohm, J., Posma, J., Waaringa, G., Huigen, T., & de Bruyn, S. (2018). *Werkwijzer Natuur MKBA*. <https://www.ce.nl/publicaties/2210/werkwijzer-natuur-maatschappelijke-kosten-baten-analyses>
- KNMI. (2015). *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. http://www.klimaat-scenarios.nl/images/Brochure_KNMI14_NL.pdf
- Le Bars, D., Drijfhout, S., & De Vries, H. (2017). A high-end sea level rise probabilistic projection including rapid Antarctic ice sheet mass loss. *Environmental Research Letters*, 12(4), 044013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6512>
- Manders, T., & Kool, C. (2015). *Nederlan in 2030 en 2050: twee referentiescenario's*.

- <https://www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/download/cpb-pbl-boek-19-wlo-2015-nederland-2030-en-2050.pdf>
- Mens, M., Hunink, J. C., Delsman, J. R., Pouwels, J., & Schasfoort, F. (2019). Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II. *Deltares Rapport 11203734-003*, 108.
- Noord-Holland, P. (2019). *BEVOLKINGSPROGNOSE NOORD-HOLLAND 2019-2040 - Bevolking, huishoudens en woningbehoefte*. https://www.noord-holland.nl/Onderwerpen/Ruimtelijke_inrichting/Demografie
- Oude Essink, G. H. P., Van Baaren, E. S., & De Louw, P. G. B. (2010). Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands. *Water Resources Research*, 46(10). <https://doi.org/10.1029/2009WR008719>
- Pauw, P., De Louw, P. G. B., & Oude Essink, G. H. P. (2012). Groundwater salinisation in the Wadden Sea area of the Netherlands: Quantifying the effects of climate change, sea-level rise and anthropogenic interferences. *Geologie En Mijnbouw/Netherlands Journal of Geosciences*, 91(3), 373–383. <https://doi.org/10.1017/S0016774600000500>
- Philip, S. Y., Kew, S. F., Van Der Wiel, K., Wanders, N., Jan Van Oldenborgh, G., & Philip, S. Y. (2020). Regional differentiation in climate change induced drought trends in the Netherlands. *Environmental Research Letters*, 15(9), 12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab97ca>
- Posma, J., & Klooster, J. (2018). *COASTAR Kosten, baten en financiering van drie cases in regio Rotterdam – Westland – Den Haag*.
- Posma, J., Ruepert, N., & Klooster, J. (2020). *Brakwaterwinning in de MT-polder. Een COASTAR casus: maatschappelijke kosten baten analyse*.
- PWN. (2020). *Slim drinkwater bufferen*. Infographic. https://www.pwn.nl/sites/default/files/infographic_asr_hoorn.pdf
- Roelofsen, F. (2010). Vermindering grondwateronttrekking in Delft. *H2O*. https://www.binnenstadnoord.nl/sites/default/files/downloads/Artikel_Vermindering_grondwateronttrekking_in_Delft%2C_H2O%2C_biz_20_van_nr_3_%282010%29.pdf
- Sjerps, R. M. A., & Zwolsman, G. J. (2016). *Verbetering prognose waterkwaliteit bij innamepunten van oppervlaktewater voor de drinkwatervoorziening*.
- SPB Groningen. (2020). *Demografische ontwikkelingen in Groningen*. [https://sociaalplanbureau Groningen.nl/bevolking/#:~:text=Het aantal inwoners in de,eerder \(0%2C3%25\)](https://sociaalplanbureau Groningen.nl/bevolking/#:~:text=Het aantal inwoners in de,eerder (0%2C3%25))
- Stahl, K. (2001). Hydrological Drought: A Study Across Europe [Institut für Hydrologie der Universität]. In *Institut für Hydrologie der Universität*. <https://freidok.uni-freiburg.de/data/202>
- Stofberg, S., Ros, S., Raat, K., Klooster, J., Posma, J., Ruepert, N., Agerbeek, B., Delsman, J., Bootsma, H., Op den Kelder, T., & Van der Veen, B. (2020). *COASTAR Westland: Droge voeten, voldoende gietwater*.
- Stofberg, Sija, Hofman-caris, R., Pronk, G., Kwr, H. V. A., & Putters, B. (2019). Toekomstverkenning : Nederland alternatieve bronnen voor drinkwater in. *H2O*, 1–8. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/toekomstverkenning-alternatieve-bronnen-voor-drinkwater-in-nederland>
- Stofberg, Sija, & Zuurbier, K. (2018). *COASTAR: Verkenning waterbank westland*. www.coastar.nl
- Stouthamer, E., Erkens, G., Cohen, K., Hegger, D., Driessen, P., PeterWeikard, H., Hefting, M., Hanssen, R., Fokker, P., Van Den Akker, J., Groothuijse, F., & Van Rijswick, M. (2020). Dutch national scientific research program on land subsidence: Living on soft soils subsidence and society. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 382, 815–819. <https://doi.org/10.5194/piahs-382-815-2020>
- STOWA. (2014). *Zoetwatervoorziening*. <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/zoetwatervoorziening>
- STOWA. (2021). *Hergebruik van effluent*. Deltafacts Zoetwatervoorziening En Droogte. <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/hergebruik-van-effluent>
- Ter Maat, J., Van der Vat, M., Hunink, J. C., Haasnoot, M., Prinsen, G., Visser, M., Boderie, P., van Ek, R., Maarse, M., van der Sligte, R., Verheij, H., & Wesselius, C. (2014). Effecten van maatregelen voor de zoetwatervoorziening in Nederland in de 21e eeuw.

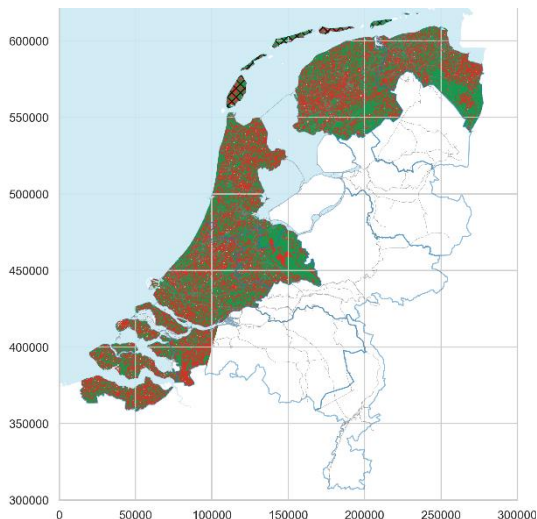
- Deltaprogramma - Deelprogramma Zoetwater - Fase 4. In *Deltares rapport 1209141-001-VEB-0004*.
- Utrecht, P. (2020). *Bevolkingsontwikkeling Utrecht*. <http://www.wmm-provincie-utrecht.nl/bevolkingsontwikkeling/>
- Van Baaren, E. S., Delsman, J. R., Karaoulis, M. C., Pauw, P. S., Vermaas, T., Bootsma, H., De Louw, P. G. B. P. G. B., Oude Essink, G. H. P., Dabekaussen, W., Gunnink, J. L. J. L., Dubelaar, W., Menkovic, A., Siemon, B., Steuer, A., & Meyer, U. (2018). FRESHEM Zeeland - FREsh Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey in the Province of Zeeland. In *Deltares report 1209220*.
- Van Baaren, E. S., Oude Essink, G. H. P., Janssen, G. M. C. M., de Louw, P. G. B., Heerdink, R., & Goes, B. J. M. (2016). Verzoeting en verzilting freatisch grondwater in de Provincie Zeeland. In *Deltares rapport 1220185-000*. https://www.researchgate.net/publication/319085917_Verzoeting_en_verzilting_freatisch_grondwater_in_de_Provincie_Zeeland_Zeeland_model_3D_regionaal_zoet-zout_grondwater
- van der Aa, N. G. F. M., Tangena, B. H., Wuijts, S., & de Nijs, A. C. M. (2015). *Scenario's drinkwatervraag 2040 en beschikbaarheid bronnen: Verkenning grondwatervoorraden voor drinkwater*. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0068.pdf>
- Van Loon, A. F., Van Huijgevoort, M. H. J., & Van Lanen, H. A. J. (2012). Evaluation of drought propagation in an ensemble mean of large-scale hydrological models. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(11), 4057–4078. <https://doi.org/10.5194/hess-16-4057-2012>
- Van Nieuwenhuizen, C. (2019). *Kamerbrief over Eindrapportage beleidstafel Droogte "Nederland beter weerbaar tegen droogte"* (p. 7). <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2019/12/18/kamerbrief-over-eindrapportage-beleidstafel-droogte-nederland-beter-weerbaar-tegen-droogte>
- Ward, J. D., Simmons, C. T., & Dillon, P. J. (2007). A theoretical analysis of mixed convection in aquifer storage and recovery: How important are density effects? *Journal of Hydrology*, 343(3–4), 169–186. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.06.011>
- WKOtool. (2020). *WKO-bodemenergietool. Ontdek de mogelijkheden van bodemenergie*. <https://wkotool.nl/>
- Wolters, H., Hunink, J., Delsman, J., de Lange, G., van der Born, G., & Reinhard, S. (2018). *Deltascenario's voor de 21e eeuw, actualisering 2017*. Deltares.
- Zeeland, P. (2019). *Provinciale bevolkings- en huishoudenprognose 2019*. https://dataportal.zeeland.nl/downloads/Demografie/Provinciale_bevolkings_en_huishoudenprognose2019.pdf
- Zuurbier, K. G., Bakker, M., Zaadnoordijk, W. J., & Stuyfzand, P. J. (2013). Identification of potential sites for aquifer storage and recovery (ASR) in coastal areas using ASR performance estimation methods. *Hydrogeology Journal*, 21(6), 1373–1383. <https://doi.org/10.1007/s10040-013-1003-2>
- Zuurbier, K., & Ros, S. (2017). *Aquifer storage and recovery van gezuiverd effluent Nieuw-Prinsenland (Dinteloord)*. [http://api.kwrwater.nl/uploads/2017/12/KWR-2016.117-Aquifer-storage-and-recovery-van-gezuiverd-effluent-Nieuw-Prinsenland-\(Dinteloord\).pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2017/12/KWR-2016.117-Aquifer-storage-and-recovery-van-gezuiverd-effluent-Nieuw-Prinsenland-(Dinteloord).pdf)

A Bijlagen

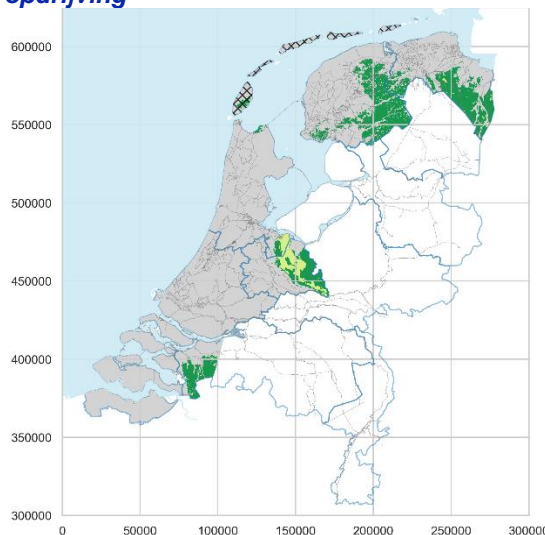
A.1 Ondergrondse opslag zoetwater – Landelijke factoren
 geohydrologische geschiktheid

LHM-laag 1

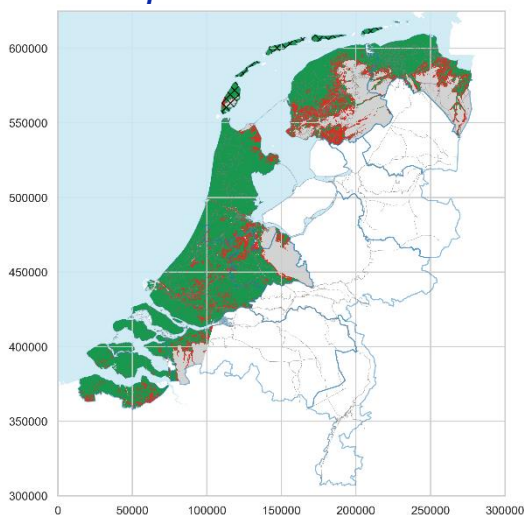
Factor A: Achtergrondstroming



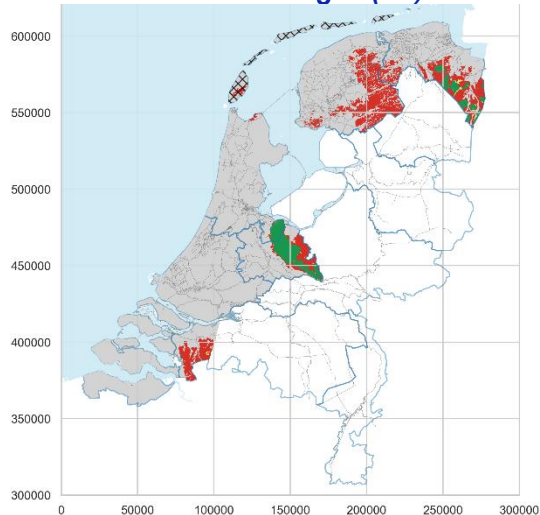
Factor B: Rendementsverlies door oprijving



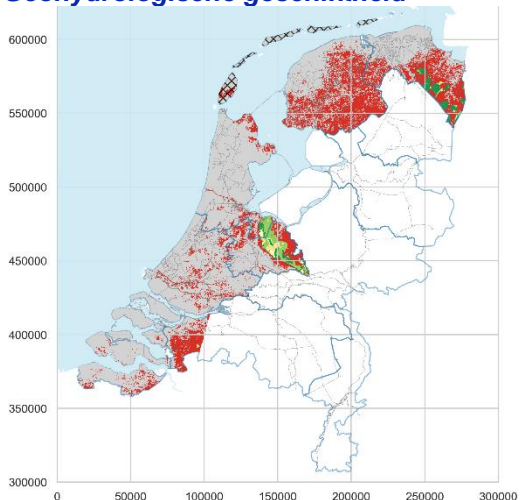
Factor C: Opbarstrisico



Factor D: Doorlaatvermogen (kD)



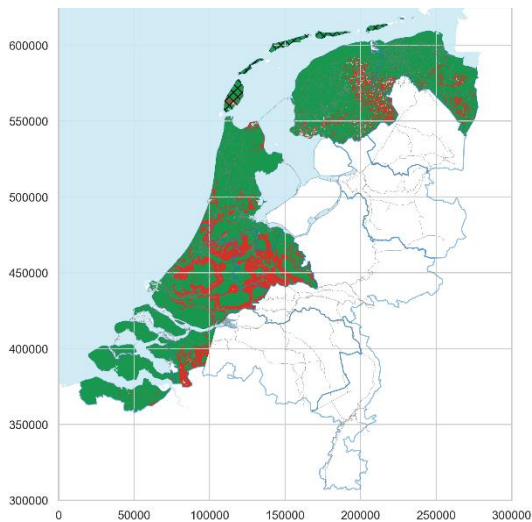
Geohydrologische geschiktheid



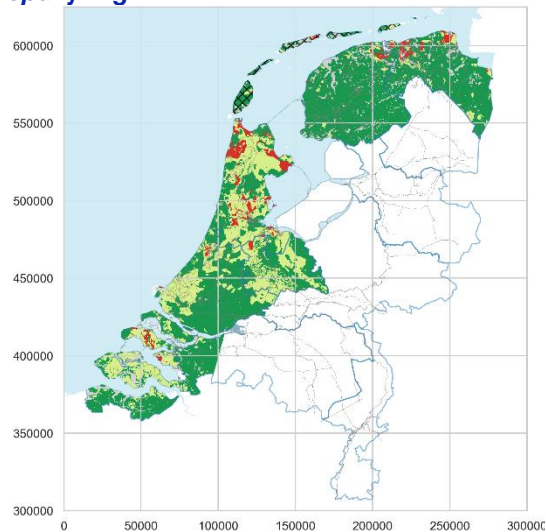
- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt (groot)
- Mogelijk geschikt (beide)
- Geschikt (klein)
- Geschikt (groot)
- Geschikt (beide)
- LHM-laag niet aanwezig
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

Figuur 7.1 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 1 voor ondergrondse opslag van zoetwater toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

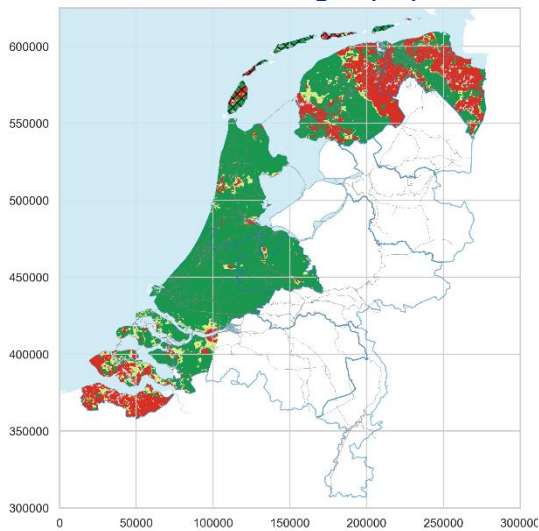
LHM-laag 3
Factor A: Achtergrondstroming



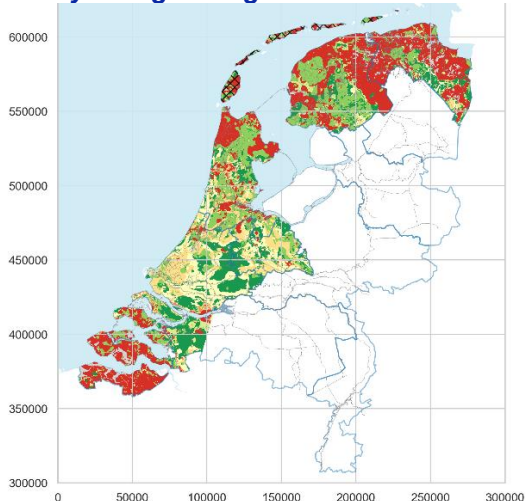
Factor B: Rendementsverlies door opdroging



Factor D: Doorlaatvermogen (kD)



Geohydrologische geschiktheid

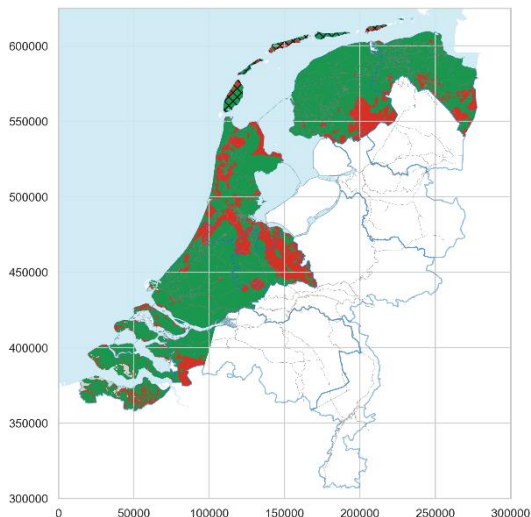


- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt (groot)
- Mogelijk geschikt (beide)
- Geschikt (klein)
- Geschikt (groot)
- Geschikt (beide)
- LHM-laag niet aanwezig
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

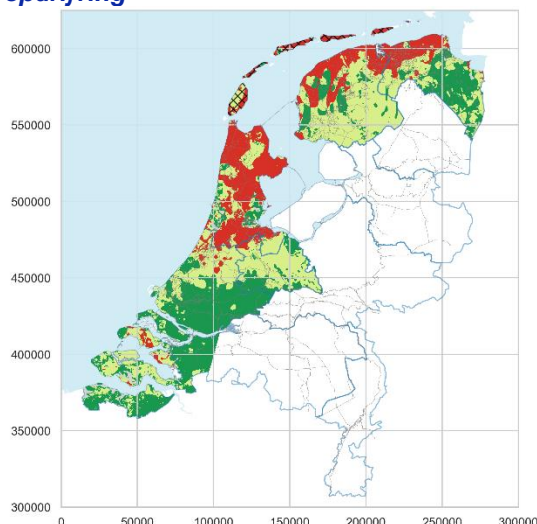
Figuur 7.2 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 3 voor ondergrondse opslag van zoetwater toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 4

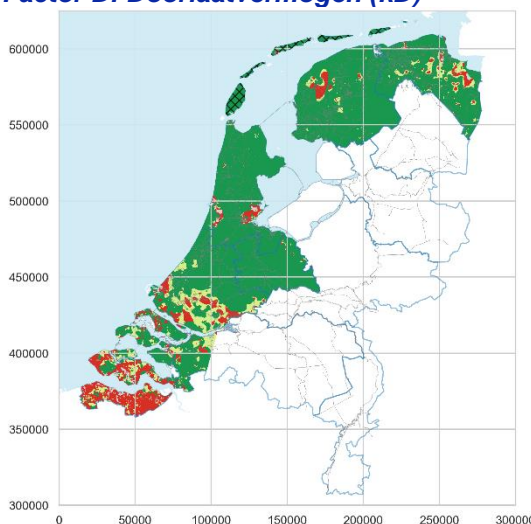
Factor A: Achtergrondstroming



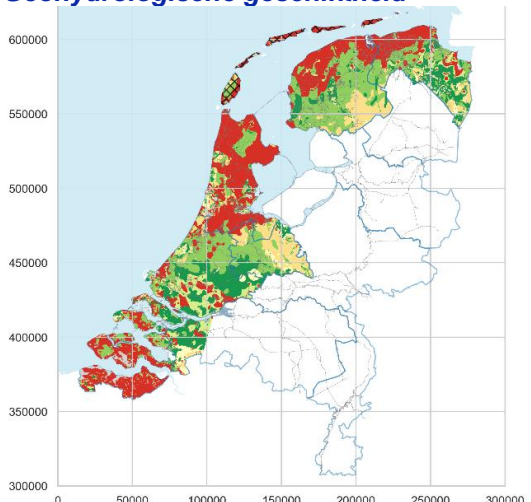
Factor B: Rendementsverlies door opdrijving



Factor D: Doorlaatvermogen (kD)



Geohydrologische geschiktheid

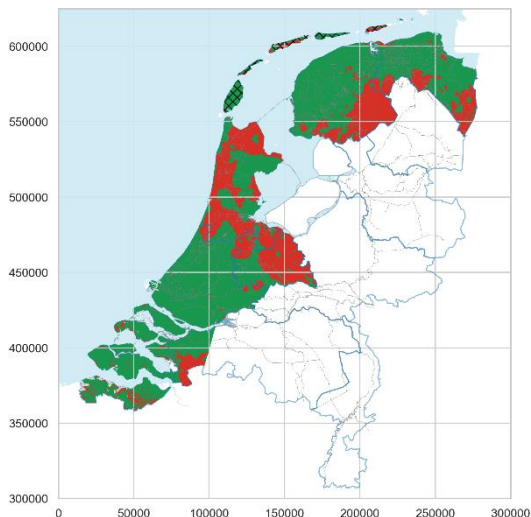


- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt (groot)
- Mogelijk geschikt (beide)
- Geschikt (klein)
- Geschikt (groot)
- Geschikt (beide)
- LHM-laag niet aanwezig
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

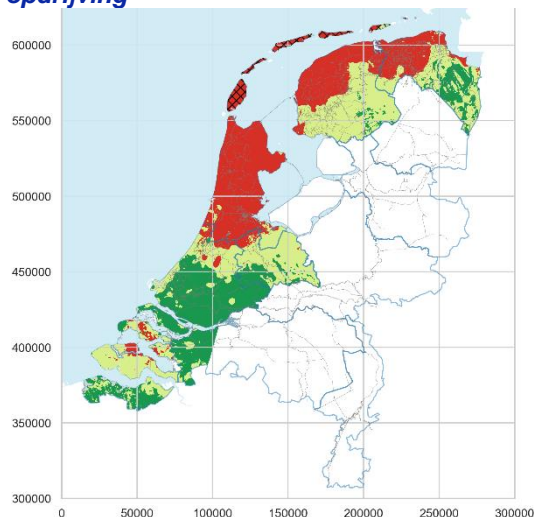
Figuur 7.3 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 4 voor ondergrondse opslag van zoetwater toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 5

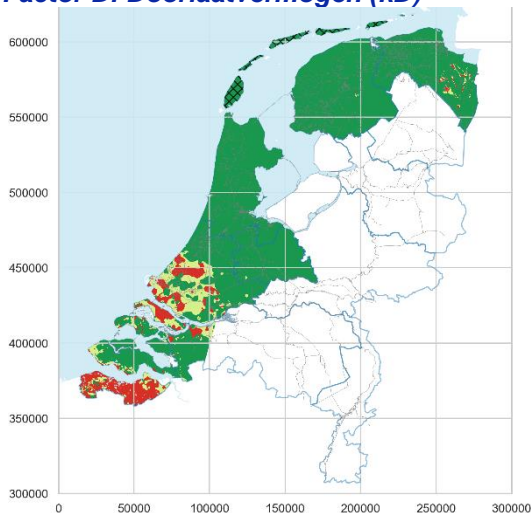
Factor A: Achtergrondstroming



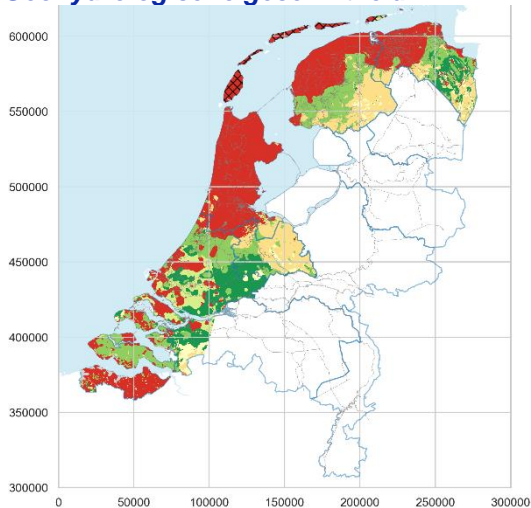
Factor B: Rendementsverlies door opdroging



Factor D: Doorlaatvermogen (kD)



Geohydrologische geschiktheid

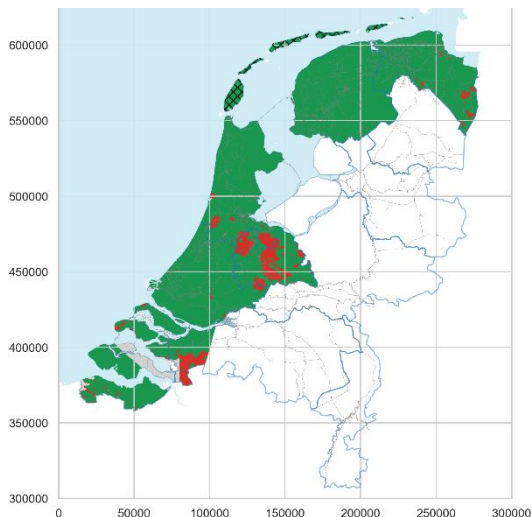


- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt (groot)
- Mogelijk geschikt (beide)
- Geschikt (klein)
- Geschikt (groot)
- Geschikt (beide)
- LHM-laag niet aanwezig
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

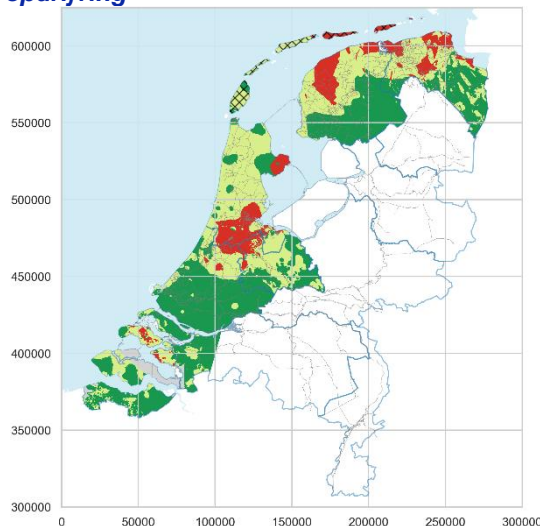
Figuur 7.4 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 5 voor ondergrondse opslag van zoetwater toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 6

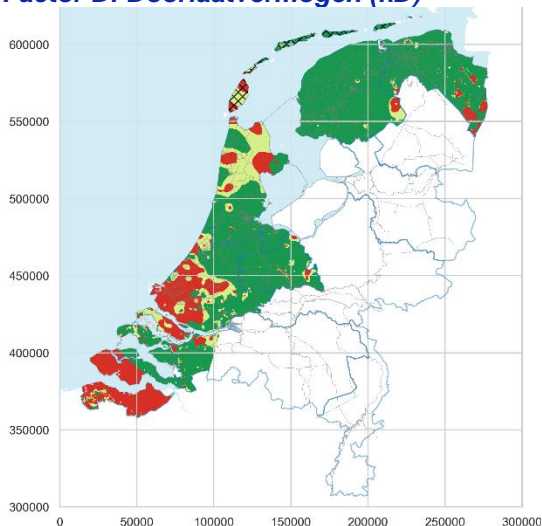
Factor A: Achtergrondstroming



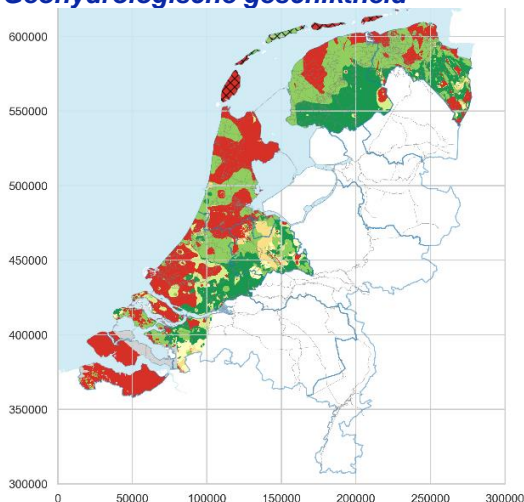
Factor B: Rendementsverlies door opdroging



Factor D: Doorlaatvermogen (kD)



Geohydrologische geschiktheid



- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt (groot)
- Mogelijk geschikt (beide)
- Geschikt (klein)
- Geschikt (groot)
- Geschikt (beide)
- LHM-laag niet aanwezig
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

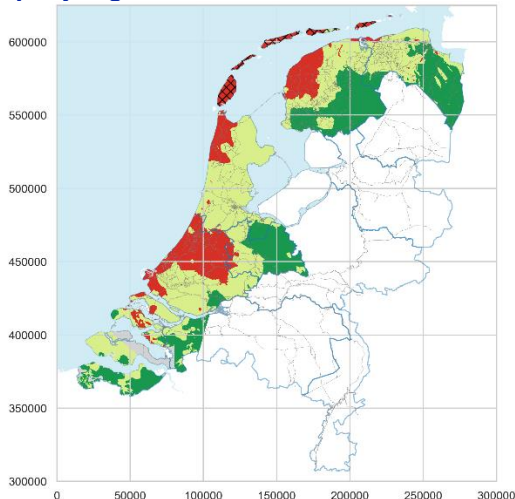
Figuur 7.5 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 6 voor ondergrondse opslag van zoetwater toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 7

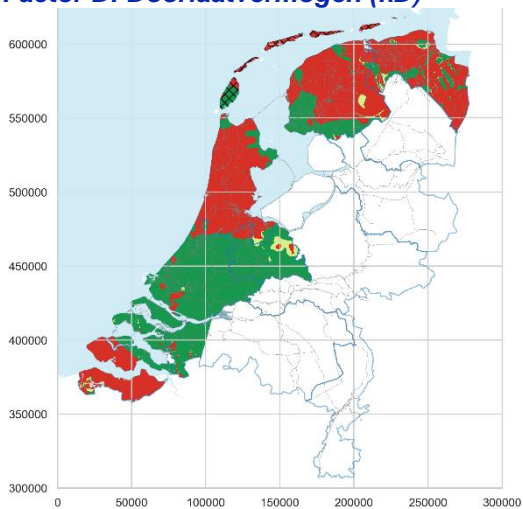
Factor A: Achtergrondstroming



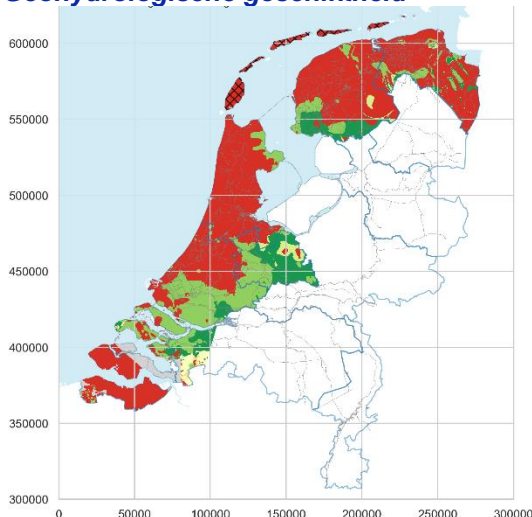
Factor B: Rendementsverlies door opdriving



Factor D: Doorlaatvermogen (kD)



Geohydrologische geschiktheid



- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt (groot)
- Mogelijk geschikt (beide)
- Geschikt (klein)
- Geschikt (groot)
- Geschikt (beide)
- LHM-laag niet aanwezig
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

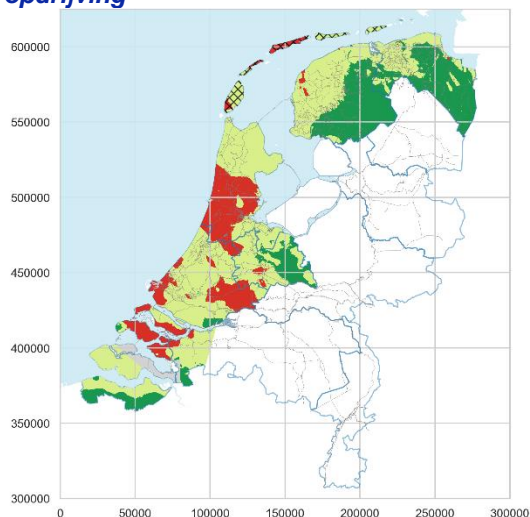
Figuur 7.6 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 7 voor ondergrondse opslag van zoetwater toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 8

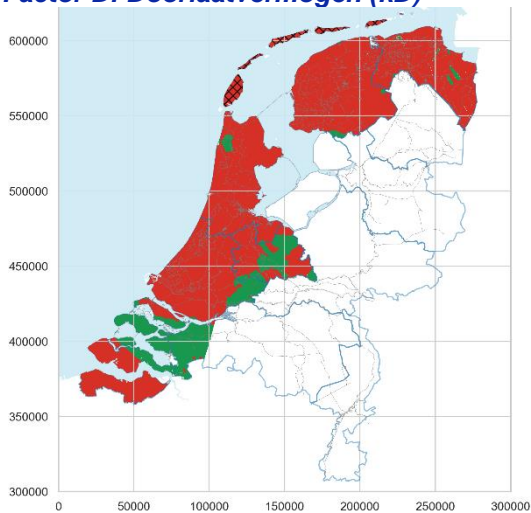
Factor A: Achtergrondstroming



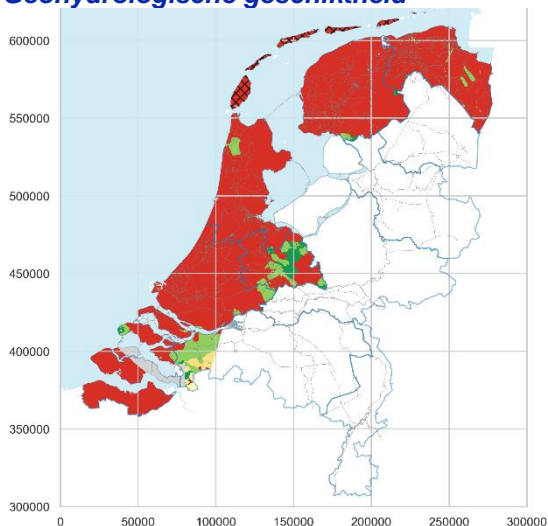
Factor B: Rendementsverlies door opdriving



Factor D: Doorlaatvermogen (kD)



Geohydrologische geschiktheid



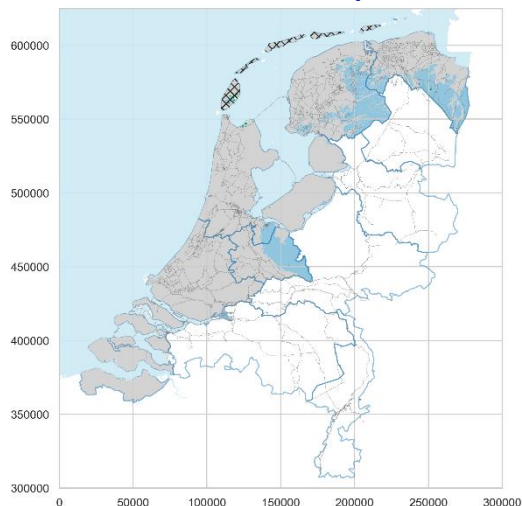
- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt (groot)
- Mogelijk geschikt (beide)
- Geschikt (klein)
- Geschikt (groot)
- Geschikt (beide)
- LHM-laag niet aanwezig
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

Figuur 7.7 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 8 voor ondergrondse opslag van zoetwater toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

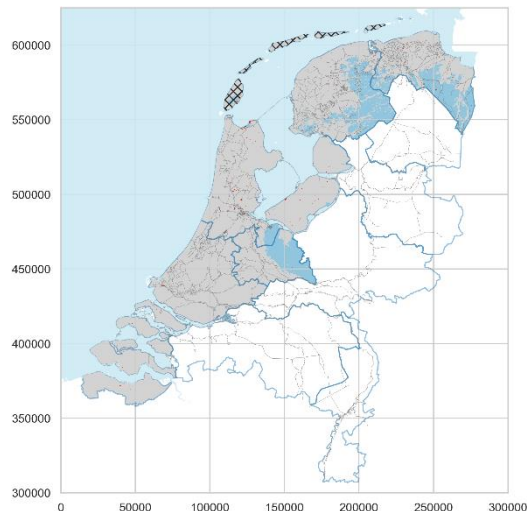
A.2 Brakwaterwinning – Landelijke factoren geohydrologische geschiktheid

LHM-laag 1

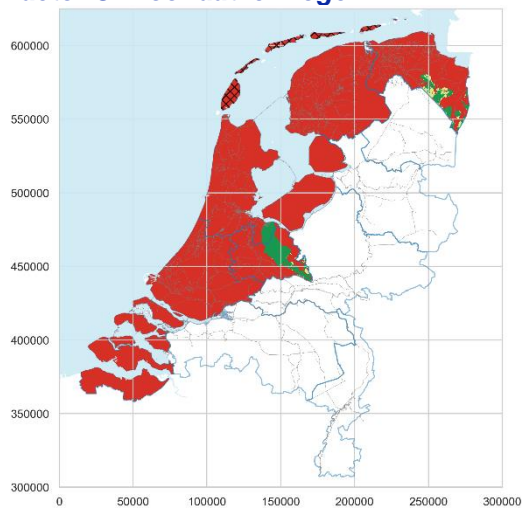
Factor A: Gemiddelde chloride-concentratie in het brakwaterpakket



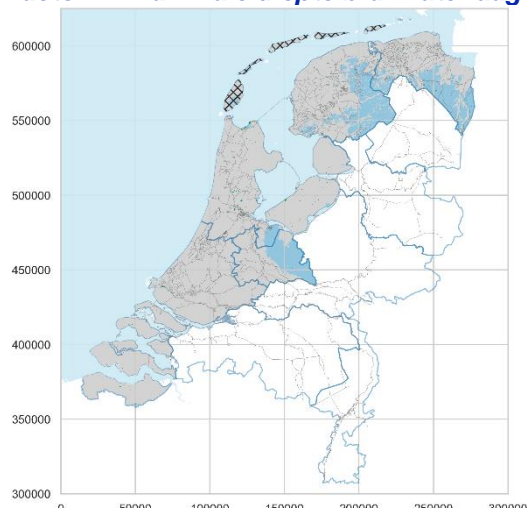
Factor B: Dikte brakwaterpakket



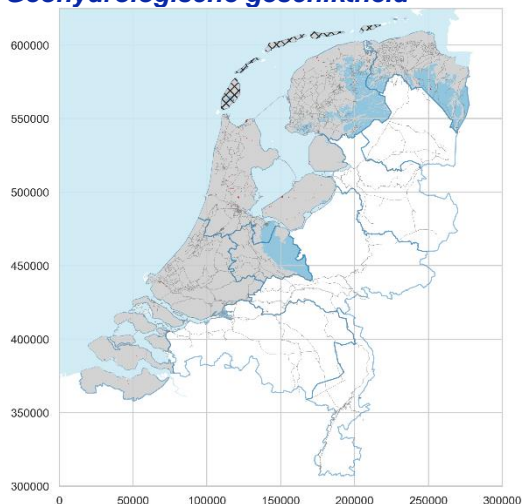
Factor C: Doorlaatvermogen



Factor D: Maximale diepte brakwaterlaag



Geohydrologische geschiktheid

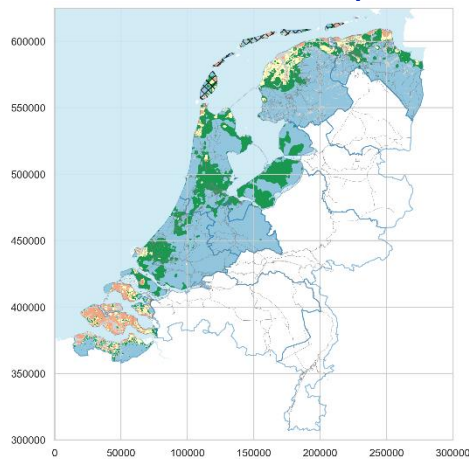


- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt
- Geschikt (klein)
- Geschikt (beide)
- Te zoet
- Te zout
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

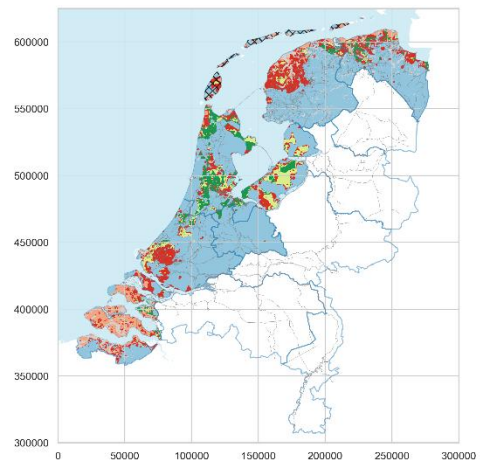
Figuur 7.8 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 1 voor brakwaterwinning toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 2

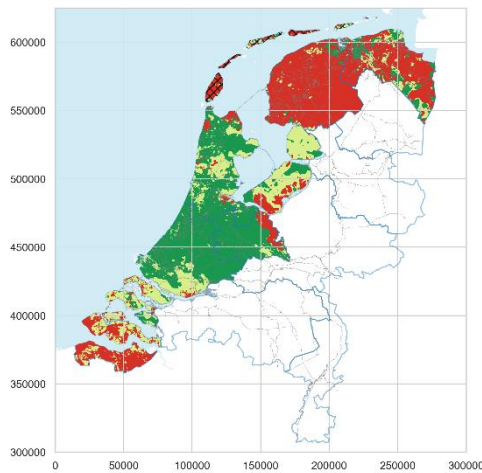
Factor A: Gemiddelde chloride-concentratie in het brakwaterpakket



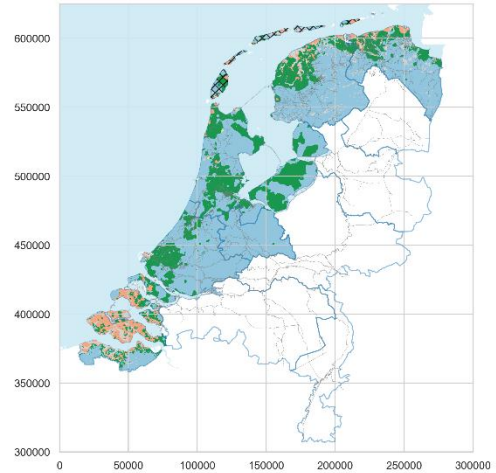
Factor B: Dikte brakwaterpakket



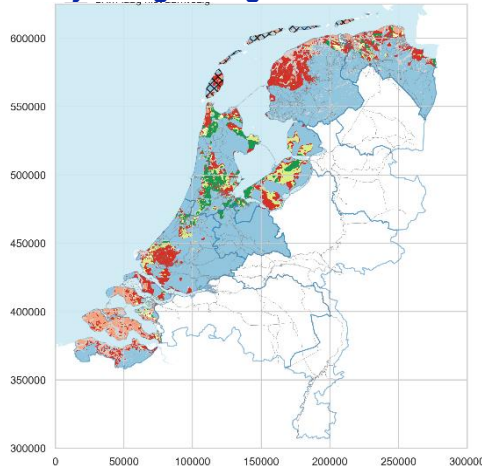
Factor C: Doorlaatvermogen



Factor D: Maximale diepte brakwaterlaag



Geohydrologische geschiktheid

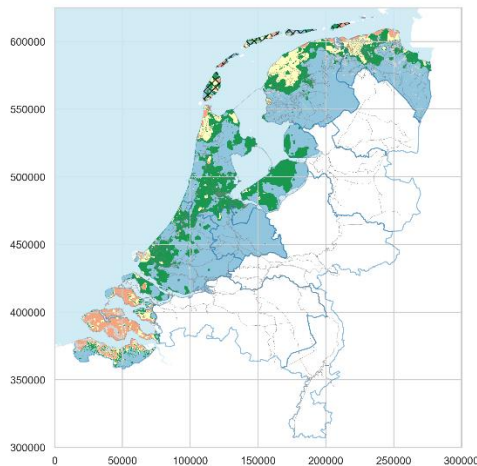


- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt
- Geschikt (klein)
- Geschikt (beide)
- Te zoet
- Te zout
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

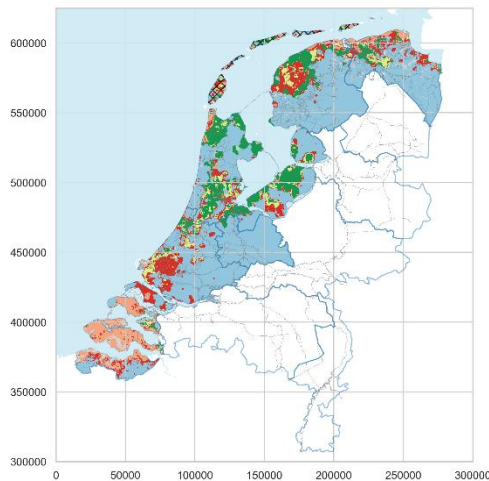
Figuur 7.9 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 2 voor brakwaterwinning toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 3

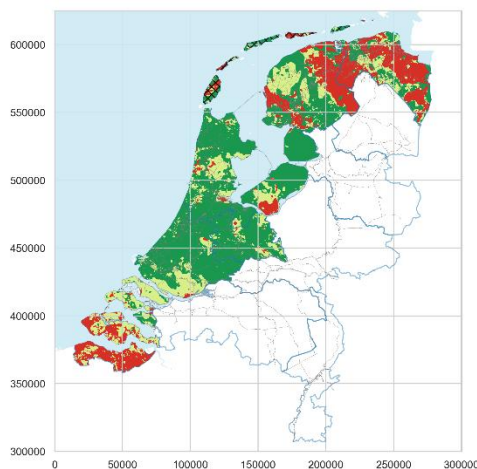
Factor A: Gemiddelde chloride-concentratie in het brakwaterpakket



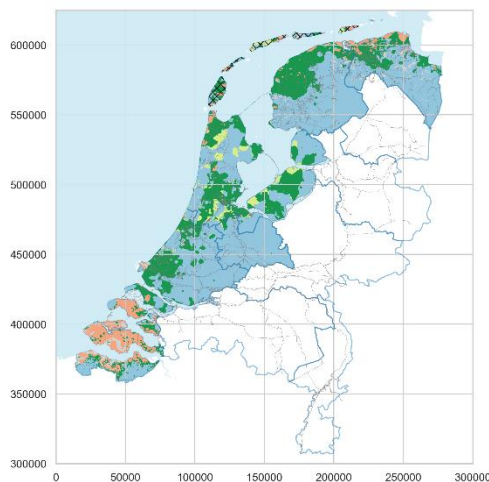
Factor B: Dikte brakwaterpakket



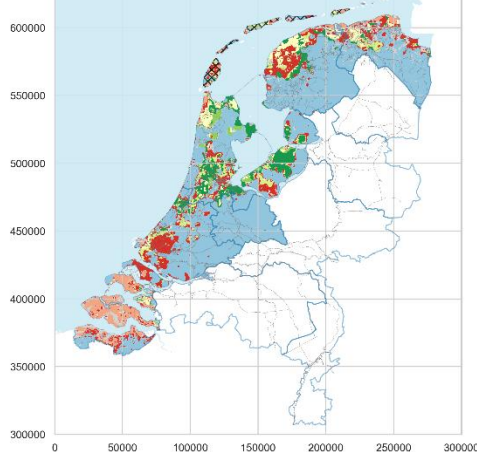
Factor C: Doorlaatvermogen



Factor D: Maximale diepte brakwaterlaag



Geohydrologische geschiktheid

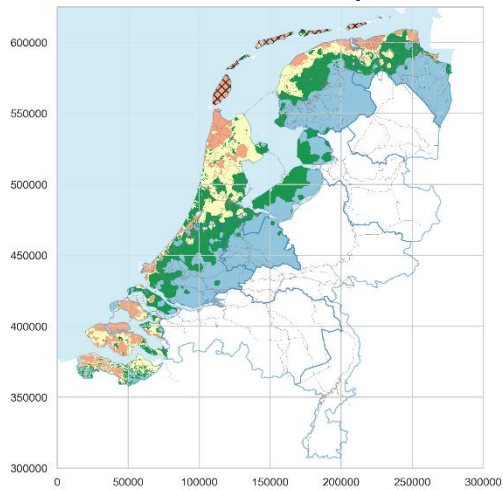


- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt
- Geschikt (klein)
- Geschikt (beide)
- Te zoet
- Te zout
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

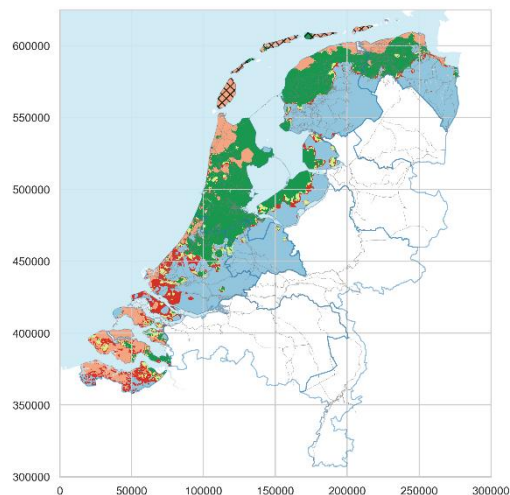
Figuur 7.10 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 3 voor brakwaterwinning toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 5

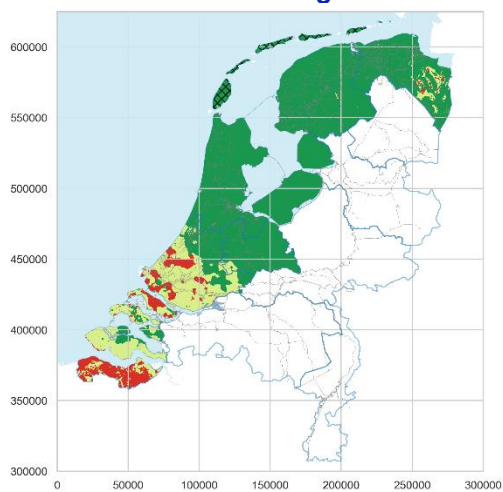
Factor A: Gemiddelde chloride-concentratie in het brakwaterpakket



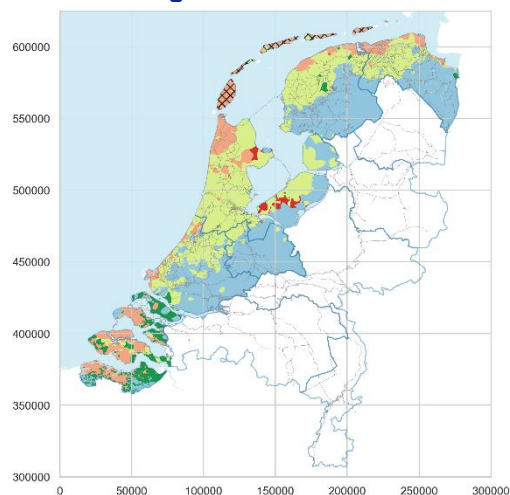
Factor B: Dikte brakwaterpakket



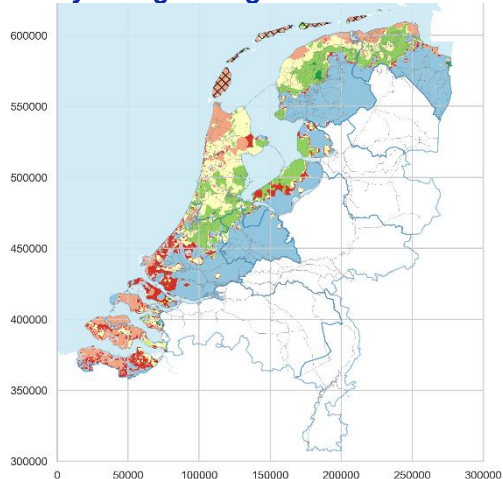
Factor C: Doorlaatvermogen



Factor D: Maximale diepte brakwaterlaag



Geohydrologische geschiktheid

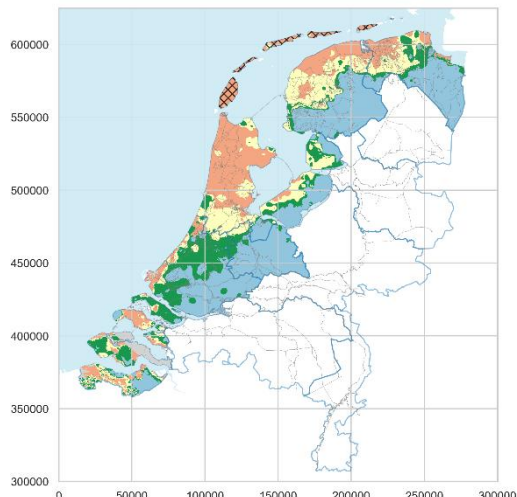


- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt
- Geschikt (klein)
- Geschikt (beide)
- Te zoet
- Te zout
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

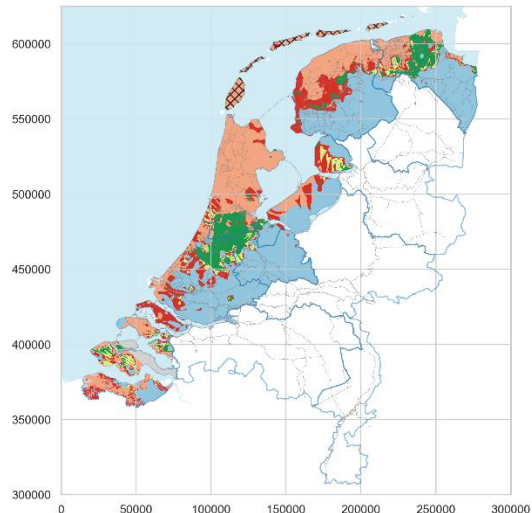
Figuur 7.11 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 5 voor brakwaterwinning toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 6

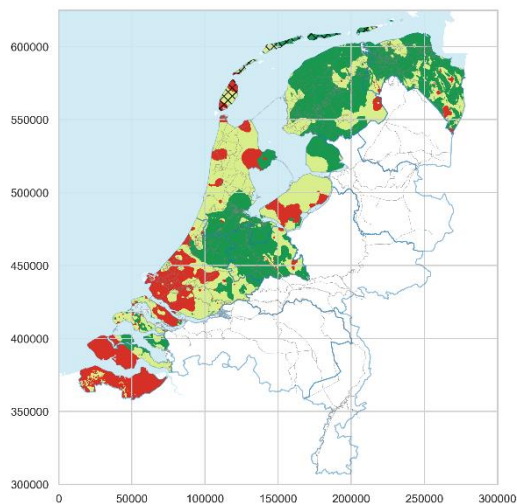
Factor A: Gemiddelde chloride-concentratie in het brakwaterpakket



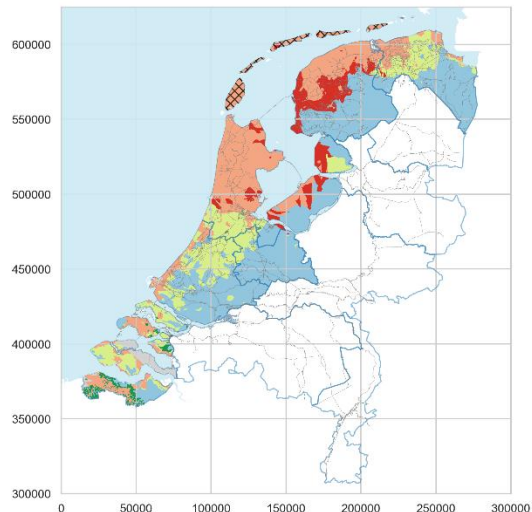
Factor B: Dikte brakwaterpakket



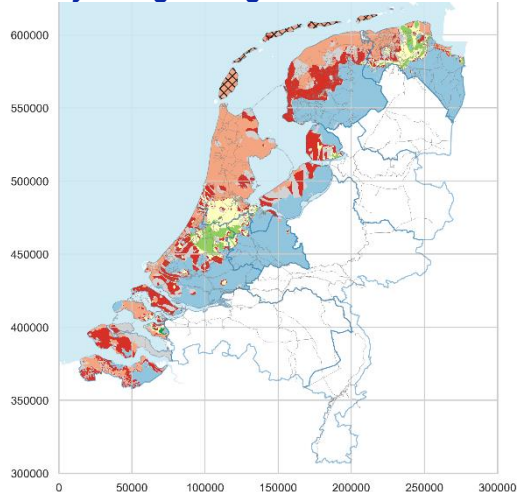
Factor C: Doorlaatvermogen



Factor D: Maximale diepte brakwaterlaag



Geohydrologische geschiktheid

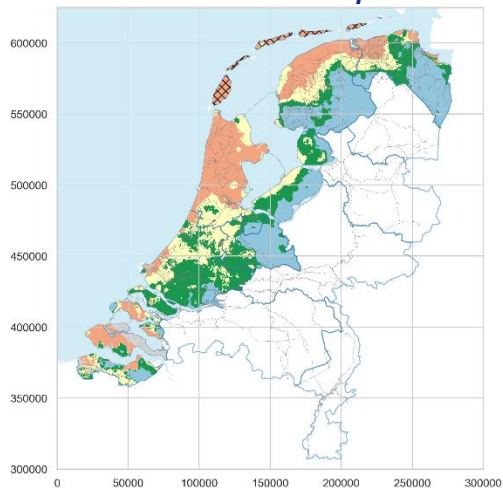


- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt
- Geschikt (klein)
- Geschikt (beide)
- Te zoet
- Te zout
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

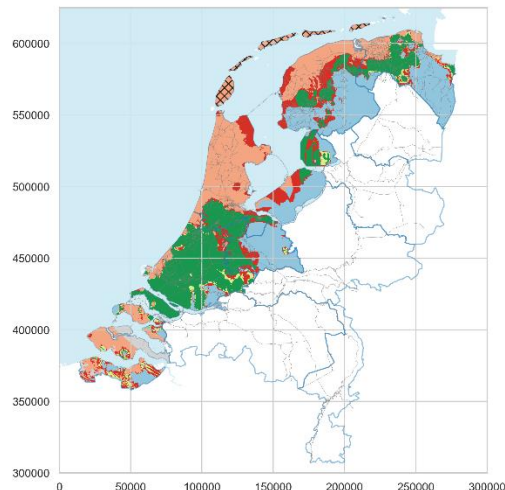
Figuur 7.12 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 6 voor brakwaterwinning toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 7

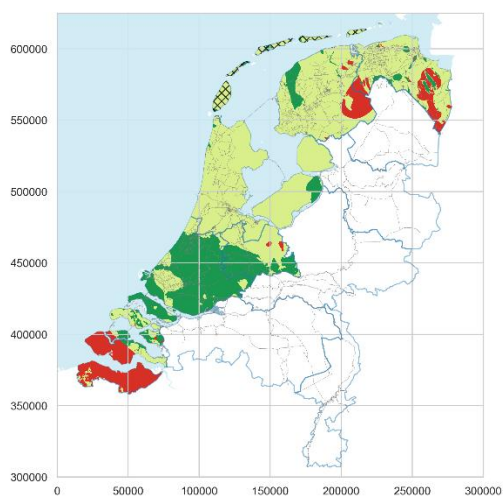
Factor A: Gemiddelde chloride-concentratie in het brakwaterpakket



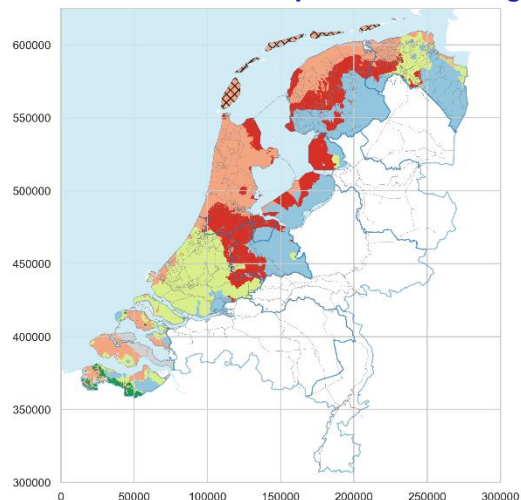
Factor B: Dikte brakwaterpakket



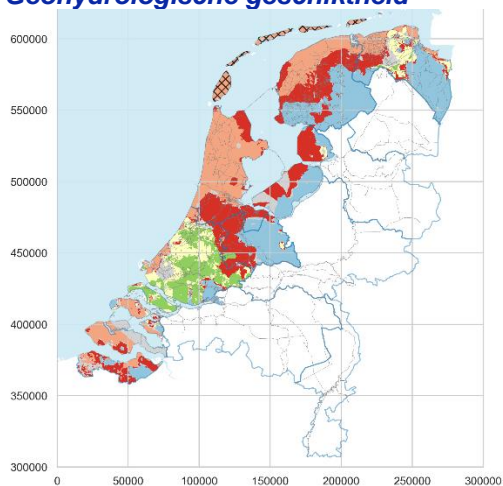
Factor C: Doorlaatvermogen



Factor D: Maximale diepte brakwaterlaag



Geohydrologische geschiktheid

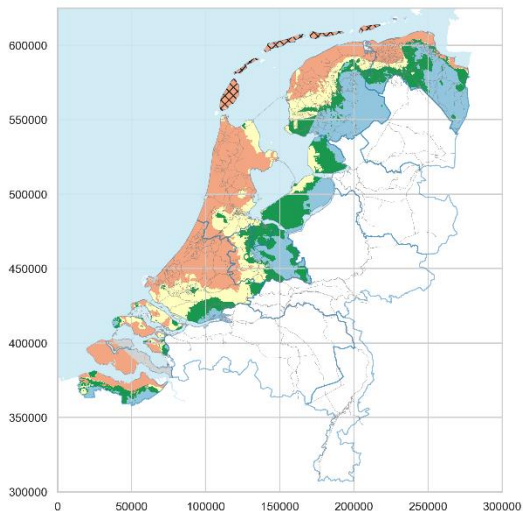


- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt
- Geschikt (klein)
- Geschikt (beide)
- Te zoet
- Te zout
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

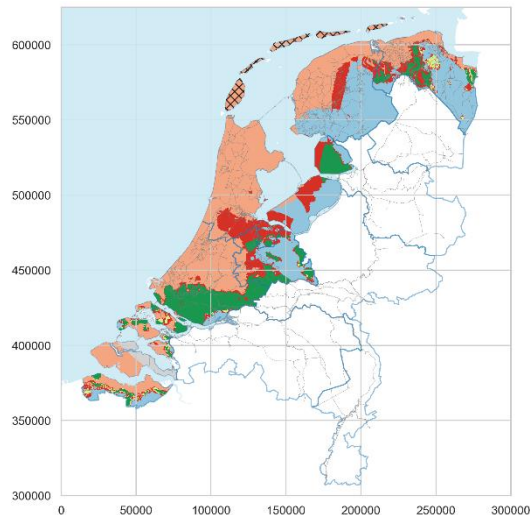
Figuur 7.13 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 7 voor brakwaterwinning toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

LHM-laag 8

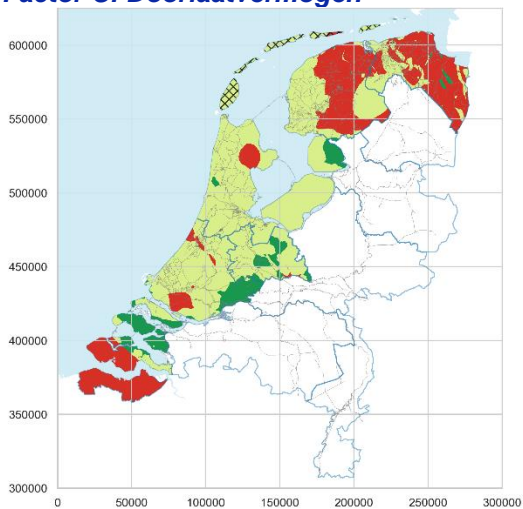
Factor A: Gemiddelde chloride-concentratie in het brakwaterpakket



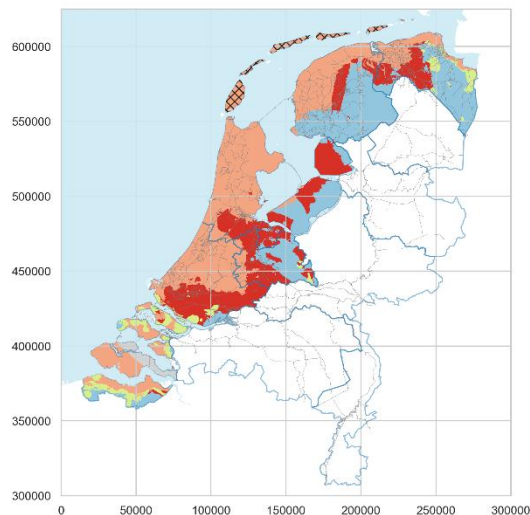
Factor B: Dikte brakwaterpakket



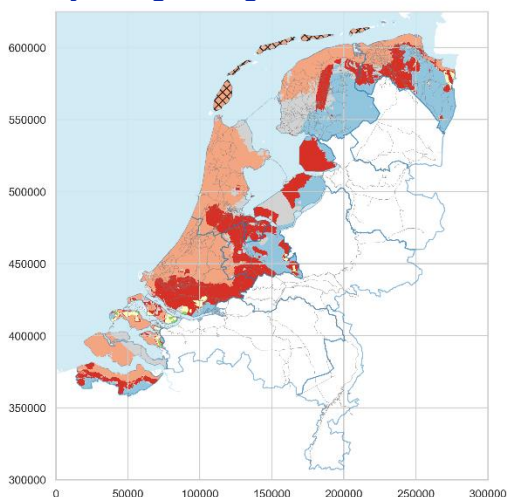
Factor C: Doorlaatvermogen



Factor D: Maximale diepte brakwaterlaag



Geohydrologische geschiktheid



- Niet geschikt
- Mogelijk geschikt
- Geschikt (klein)
- Geschikt (beide)
- Te zoet
- Te zout
- Provincies
- Zee
- Boezem
- Bebouwing

Figuur 7.14 Geohydrologische geschiktheidskaart voor LHM-laag 8 voor brakwaterwinning toepassingen voor het Nederlandse kustgebied, inclusief de provincie Utrecht en Flevoland; x,y-assen zijn in meters op het RDnew coördinaten stelsel.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl