



Pawoz Eemshaven, waterstofroutes Gasunie

Verkenndend onderzoek naar verziltingseffecten van
aanleg van waterstofroutes in Noord Nederland

Pawoz Eemshaven, waterstofroutes Gasunie

Verkennd onderzoek naar verziltingseffecten van
aanleg van waterstofroutes in Noord Nederland

Colofon

Klant

Gasunie

Status

Eindrapport

Datum

29 augustus 2024

Referentie nummer

AW_293-3_AG_231422

Auteur(s)

Gevaert A., Sandfort N.

Gecontroleerd door

Marte Siebinga

Vrijgegeven door

Jouke Velstra

Disclaimer

Aan dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend. De auteurs zijn niet verantwoordelijk voor eventuele fouten of consequenties. Aanvullingen of verbeteringen zijn welkom via info@acaciawater.com

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Gebiedsbeschrijving	2
2.1	Routes	2
2.2	Bodemopbouw	3
2.3	Kwelsituatie	3
2.4	Zoet-zout	6
3	Aanpak	8
3.1	Standaardprofielen	8
3.2	Model	10
3.3	Indicatoren van verzilting	12
4	Berekende verziltingseffecten	15
4.1	Standaardprofielen	15
4.2	Routes	17
5	Conclusies en aanbevelingen	19
5.1	Aanbevelingen	19
	Referenties	21

1 Inleiding

Gasunie verkent mogelijke routes voor waterstofleidingen in Noord Groningen en Noord Friesland. De mogelijke routes doorkruisen hoogwaardige landbouwgronden (veelal akkerbouw) in het noorden van Groningen en de aanleg van waterstofleidingen kan invloed hebben op de lokale omgeving, zoals op verzilting. Doordat de aanleg van de leidingen invloed kan hebben op de lokale omgeving, waaronder op verzilting, wordt er voor PAWOZ-Eemshaven een milieueffectrapportage (MER) en integrale effectenanalyse (IEA) opgesteld. Voor de IEA is onder andere inzicht nodig in of er verzilting gaat optreden en wat de mogelijke effecten hiervan zijn in relatie tot landbouw langs elk van deze routes.

Door de ontstaansgeschiedenis en ligging van het betreffende gebied, gaat het om een regio waar sprake kan zijn van verzilting. Dit kan zijn in de huidige situatie, of in toenemende mate op termijn als gevolg van zeespiegelstijging, bodemdaling en klimaatverandering (zie o.a. www.spaarwater.com). Met de aanleg van waterstofleidingen worden er mogelijk zoetwatersystemen doorkruist die bestaan uit zoetwaterlenzen. Een zoetwaterlens is een dunne zoetwatervoorraad die bovenop het zoute grondwater ligt, vaak met een dikte van enkele meters tot minder dan 1 meter. De scheiding tussen zoet en zout kan heel duidelijk zijn, maar het kan ook zijn dat er juist nog een brakke tussenlaag aanwezig is. Landbouw in het gebied is mogelijk vanwege deze zoetwaterlenzen, en dit is van groot belang voor de agrariërs omdat het zorgt voor zekerheid van zoetwater in de wortelzone. Voor aanleg van de waterstofleidingen is bemaling nodig. Door deze bemaling kan de dikte van een eventueel aanwezige zoetwaterlens afnemen of kan de lens zelfs verdwijnen. Ook kan dieper gelegen zout grondwater naar de oppervlakte worden getrokken. Bemaling kan dus op deze manier voor verzilting, of voor een afname van de zoetwatervoorraad zorgen.

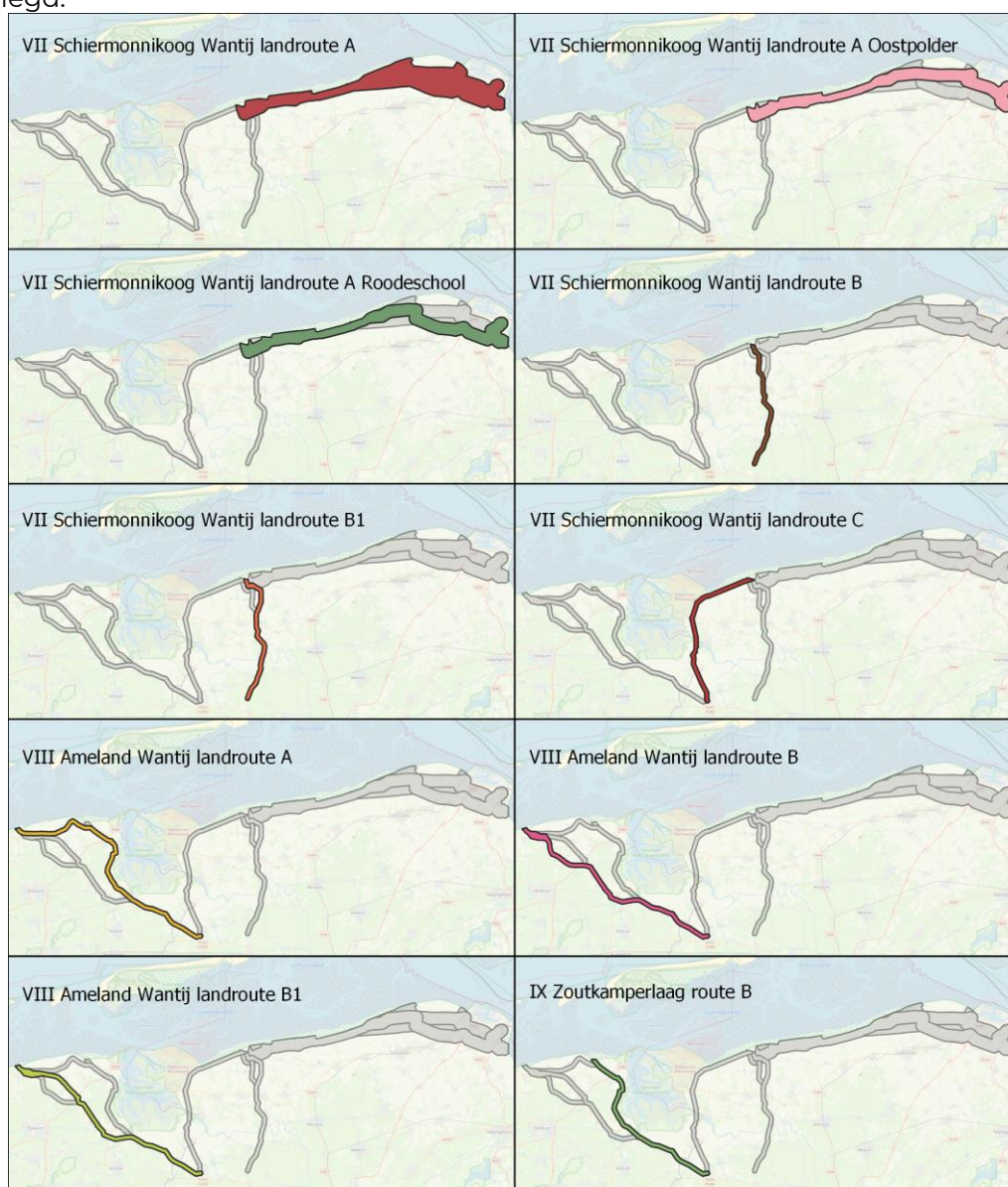
Deze studie is een verkennend bureau onderzoek waarin de mogelijke effecten van onttrekking op verzilting van landbouwgrond in beeld gebracht zijn en is gefinancierd door GasUnie. Het doel van deze studie is om de kans op (toename in) verzilting door bemaling, tijdens en direct na de installatie van de waterstofleidingen, van de omliggende landbouwgronden te onderzoeken. Hiervoor zijn gebied specifieke gegevens over de bodem en kwelsituatie verzameld uit openbare databases. De mogelijke effecten langs de beoogde waterstofleidingen zijn vervolgens vastgesteld aan de hand van meerdere modelberekeningen.

In deze studie zijn de kans op verzilting en de effecten daarvan direct na aanleg beoordeeld. De duur van herstel van de zoetwaterlenzen bij eventuele vastgestelde verziltingseffecten, valt buiten de scope van dit onderzoek. Dit rapport zal de gebruikte methode en de resultaten van de effectberekeningen toelichten.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Routes

Er zijn negen verschillende routes in Noord Groningen en Noord Friesland door Gasunie aangeleverd (zie Figuur 1). De route VII Schiermonnikoog Wantij landroute A wordt voor de MER als geheel beschouwd (links boven in Figuur 1), maar bevat twee route varianten voor leidingen: VII Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder en VII Schiermonnikoog Wantij landroute A Roodeschool. Deze twee varianten worden in deze studie ook in beschouwing genomen. De corridors van de routes omvatten een breedte van 500 m, behalve route varianten VII Schiermonnikoog Wantij landroute A, welke een breedte van 1500 meter omvatten. Binnen deze breedte zal de waterstofleiding worden aangelegd.



Figuur 1. Ieder van de negen routes en één verzamelroute (VII A) die onderzocht zijn in kleur weergegeven, met de overige routes ter referentie in grijs.

2.2 Bodemopbouw

Een belangrijke factor die meespeelt bij de kwantificatie van het risico op verzilting, is de bodemopbouw. Dit komt doordat doorlatendheden en porositeit, die per bodem verschillend zijn, bepalend zijn voor de vorm van de zoetwaterlens. Daarnaast bepaald het invloedsgebied van de bemaling tot welke afstand van de waterstofleiding eventuele verziltingseffecten plaats kunnen vinden. De mogelijke route doorkruist verschillende polders in het beheersgebied van waterschap Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân. De bodems in het studiegebied zijn overwegend kalkrijke en kalkarme poldervaaggronden (Kuijer et al. 1987, WENR 2022).

Het landgebruik is overwegend akkerbouw met als belangrijkste gewas pootaardappelen, naast suikerbieten en graan.

GeoTop v1.5 gegevens zijn gebruikt voor het afleiden van de bodemopbouw tot 5 meter voor verschillende puntlocaties in het beheersgebied. GeoTop is een model dat de opbouw van de ondergrond uit verschillende lagen beschrijft tot maximaal 50 m NAP. In dit gebied is de GeoTOP data in 2016 opgeleverd. De diepte tot 5 meter is het belangrijkste voor de zoetwaterlenzen aangezien het zoet-zoutgrensvlak van zoetwaterlenzen over het algemeen binnen enkele meters van maaiveld ligt (Staveren & Velstra 2012). Voor dit onderzoek heeft het gebruik van GeoTOP data de voorkeur boven de dataset van Kuijer et al., 1987 omdat de diepte van de bodem in de laatste beperkt is tot 1,2 m-mv. Uit een eerste analyse van de bodemopbouw, is gebleken dat zavel het belangrijkste bodemsoort is in dit gebied. Zand en klei komen ook regelmatig voor. Veen komt in mindere mate voor.

2.3 Kwelsituatie

Naast de bodemopbouw is ook kwel een belangrijke parameter voor het bepalen van het zoet-zout grensvlak, en daarmee ook het verziltingsrisico. Het zoet-zout grensvlak in de bodem representeert de scheiding tussen zoet en zout (of brak) grondwater. Kwel is grondwater dat dankzij een drukverschil, opwaarts door de bodem beweegt. Het is daarmee het tegenovergestelde van infiltratie. Kwel ontstaat wanneer de stijghoogte, of het drukniveau, in een diepere ondergrondse laag groter is dan in een ondiepere laag. Wanneer het diepere grondwater een hogere chloride concentratie heeft, kan deze dus door middel van kwel dichters naar de oppervlakte worden gebracht. Het volume kwel dat in een bepaalde tijd omhoog stroomt wordt de kwelflux genoemd. Hoe groter de kwelflux, hoe meer druk op zoetwaterlenzen, en dus hoe dunner de zoetwaterlens.

De kwelsituatie in Noord Nederland is afhankelijk van de lokale maaiveldhoogte en drainagediepte omdat het verschil tussen drainagehoogte en stijghoogte van het eerste watervoerende pakket relatief klein is (van Doorn en Velstra 2021). Gedetailleerde drainagegegevens zijn voor deze regio echter niet beschikbaar. Dit betekent dat de kwelsituaties uit hydrologische modellen en andere benaderingen gevoelig zijn voor de onderliggende aannames over drainagediepte. Om de lokale onzekerheid in kwelsituaties in kaart te brengen worden kwelkaarten van verschillende bronnen bekeken.

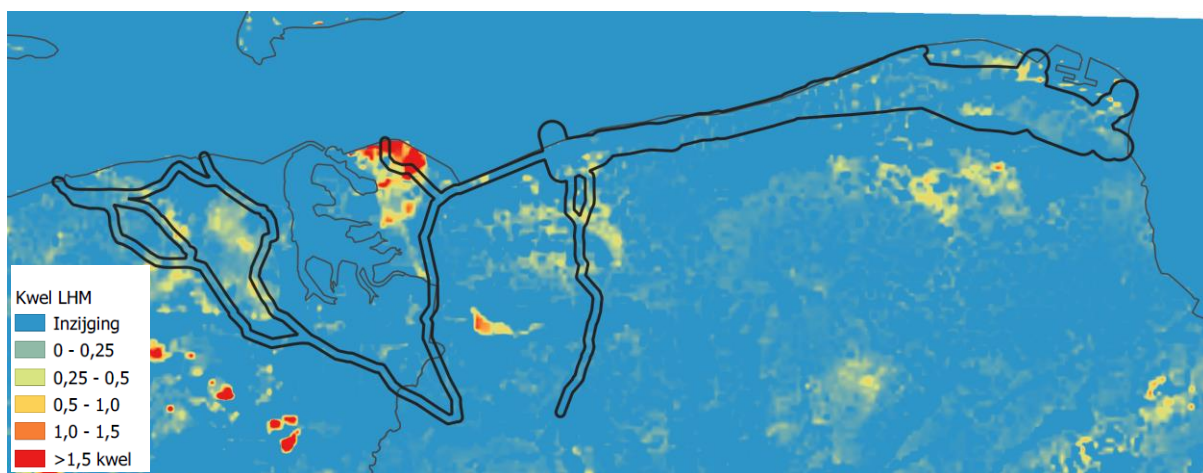
Er zijn drie bronnen bekend waaruit een kwelflux te herleiden is voor deze regio:

1. de kwelkaart geproduceerd door het Methodiek Interactieve Planning Waterbeheer (MIPWA) model;
2. de kwelkaart geproduceerd door het Landelijk Hydrologisch Model (LHM);
3. de Acacia Water kwel kaart (Acacia Institute 2019).

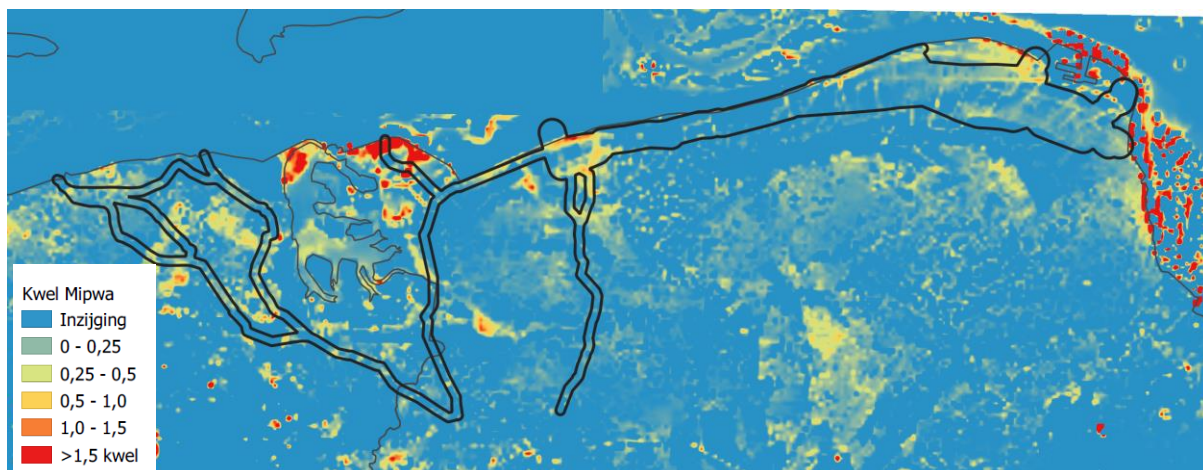
De eerste twee bronnen zijn afkomstig van hydrologische modellen, waarvan één op landelijke (LHM) en de andere op regionale schaal (MIPWA). De derde is een kwelkaart ontwikkeld door Acacia Water op basis van 1) de voorjaarsstijghoogte van het eerste watervoerend pakket, 2) een gemiddeld voorjaars grondwaterstand met behulp van het Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN), 3) een deklaagweerstand gebaseerd op GeoTOP, en 4) maaiveld hoogte en een aangenomen, veelvoorkomende draindiepte. De interne kaart is destijds ontwikkeld omdat de bestaande kwelkaarten ontoereikend waren voor de ontwikkeling van een verziltingsrisicokaart, waarbij het risico gebaseerd is op de dikte van de zoetwaterlens. Deze bron is eerder gebruikt in een validatie van het LHM (van Doorn en Velstra 2021). Deze drie kwelkaarten hebben een geohydrologische basis, maar verschillen zowel van aanpak (model vs analyse) als onderliggende aannames over onder andere drainagediepte (van Doorn en Velstra 2021). Uitgegaan wordt dat juist daarom het gebruik van deze drie kaarten inzicht zal geven in de bandbreedtes van kwelsituatie, en waar deze relatief betrouwbaar of juist onzeker is.

Uit een analyse van de beschikbare kwelkaarten, is gebleken dat er tussen de diverse kaarten substantiële verschillen zitten. In Figuren 2, 3 en 4 zijn de verschillende kwelkaarten voor Noord Nederland te zien. Te zien is dat de LHM en Mipwa kaart op regionaal niveau het behoorlijk met elkaar eens zijn. Op het oog zijn de kwelfluxen van het Mipwa model over het algemeen wat groter in vergelijking met de LHM kaart. De Acacia Water kaart geeft over het algemeen hogere kwelfluxen weer dan de Mipwa en LHM kaarten. Er is binnen Acacia Water onderzoek verricht naar welke van deze kaarten het best met de werkelijkheid overeen zouden komen en daarmee het meest betrouwbaar is, echter hier kon geen eenduidige conclusie uit getrokken worden.

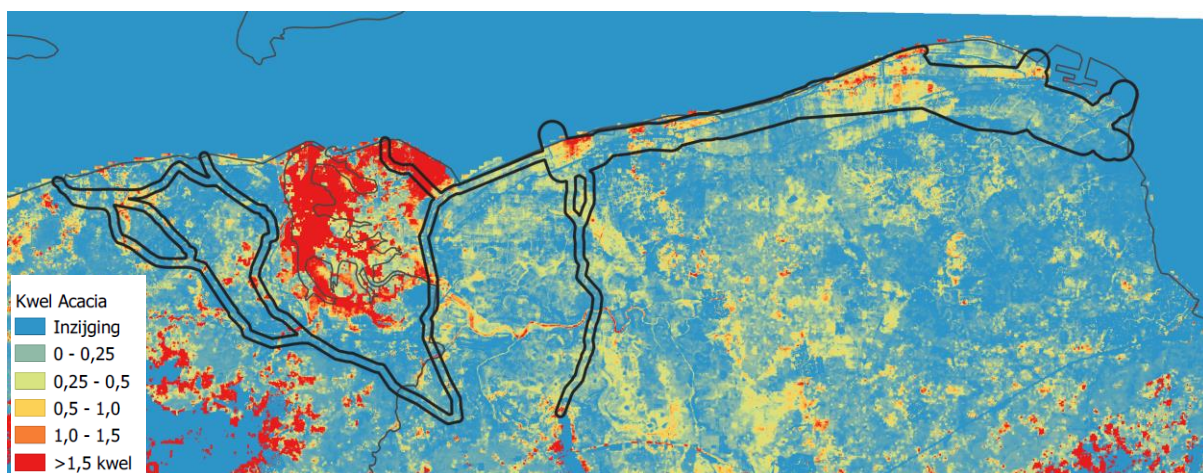
Net als de bodemopbouw wordt ook de kwelsituatie als input voor het model gebruikt. Door de variabiliteit van de kwelkaarten en het belang voor de resultaten, is ervoor gekozen de onzekerheid in de kwel, zoals te zien in Figuren 2–4, terug te laten komen in de definitie van de uiteindelijke risico klassen. Dit komt in hoofdstuk 4 verder aan bod.



Figuur 2. Kwelkaart voor Noord Nederland afgeleid uit het Landelijk Hydrologisch Model (LHM). De routes zijn zwart omlijnd. De dunne grijze lijnen geven de omtrekken van de provincies en de kust weer.



Figuur 3. Kwelkaart voor Noord Nederland afgeleid van het MIPWA model. De routes zijn zwart omlijnd. De dunne grijze lijnen geven de omtrekken van de provincies en de kust weer.



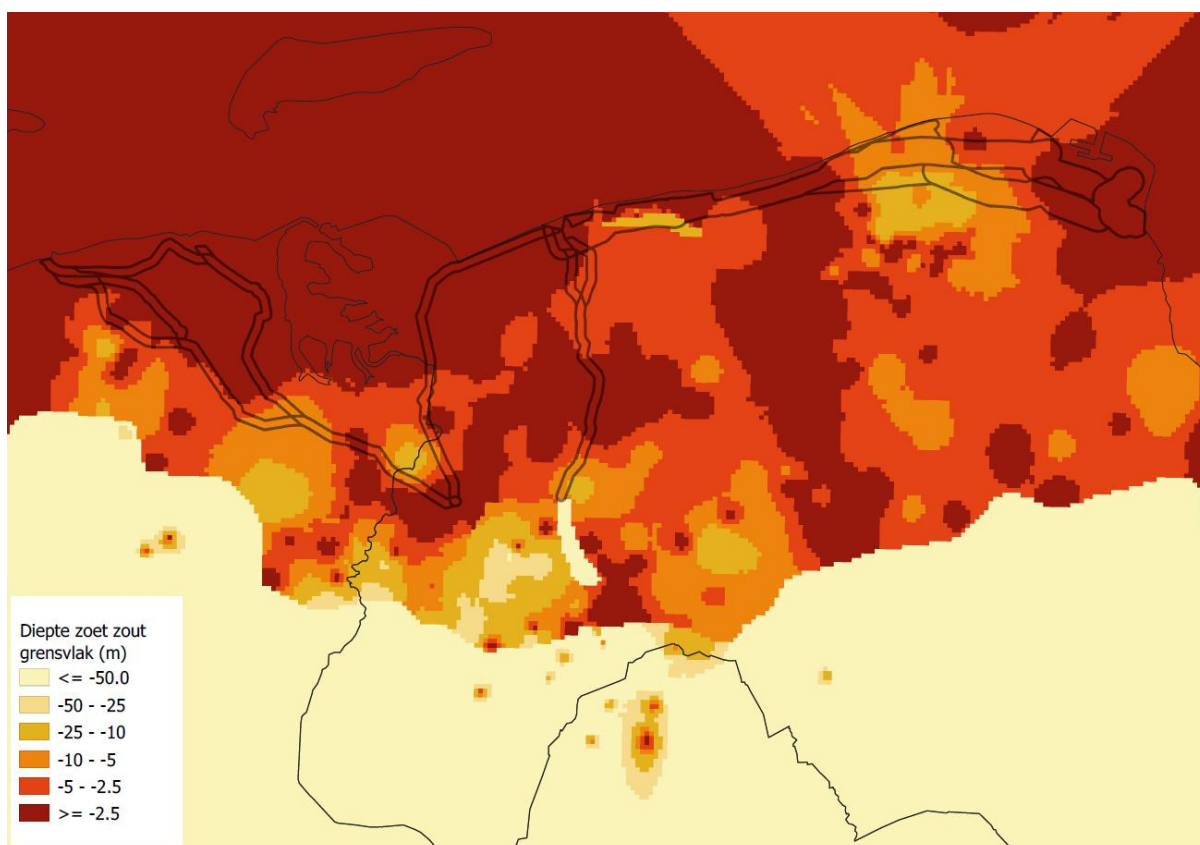
Figuur 4. Kwel voor Noord Nederland afgeleid door Acacia Water. De routes zijn zwart omlijnd. De dunne grijze lijnen geven de omtrekken van de provincies en de kust weer.

2.4 Zoet-zout

Naast de kwelkaarten is de diepte van het zoet-zout grensvlak een belangrijke indicator voor waar verzilting verwacht kan worden. Logischerwijs, hoe dieper dit grensvlak is gelegen des te kleiner de kans op verzilting is. In dit onderzoek wordt het zoet-zout grensvlak gebaseerd op een chloride gehalte van ongeveer 1,5 g/l, wat overeenkomt met een EC van ongeveer 4,5 mS/cm. Bij dit EC-gehalte is het grensvlak strikt genomen een zoet-brak grensvlak. Deze grenswaarde wordt veel gebruikt bij onderzoeken naar verzilting vanuit het oogpunt van de landbouw omdat brak water nadelig is voor de meeste gewassen.

Er wordt van uitgegaan dat waar de diepte van het zoet-zout grensvlak onder de 10 m ligt, het verziltingsrisico beperkt is, uitgaande van onttrekking door middel van horizontale drains zoals voor deze routes beoogd is. Wanneer de onttrekking plaats vindt door middel van verticale filters en/of bronnen, zeker in combinatie met spanningsbemalingen, dan kan er wel een verziltingseffect optreden welke dieper reikt.

Voor de routes is nagegaan wat de diepte van het zoet-zout grensvlak is. Op de kaart in Figuur 5 is de diepte van het grensvlak gebaseerd op een chloridegehalte van 1,5 g/l, ongeveer gelijk aan een EC van 4,5 mS/cm. Deze kaart is gebaseerd op eerdere uitgevoerde geofysica metingen en peilbuisgegevens (van Staveren & Velstra 2012). Te zien is dat het overgrote deel van de routes zich in gebieden bevinden waar het zoet-zout grensvlak ondieper dan 5 m zit. Bij dergelijke dieptes is er een reële kans op verzilting wanneer er onttrokken wordt. Het dieper gelegen zout kan aangetrokken worden waardoor het zoet-zout grensvlak nog ondieper komt te liggen. Een aantal delen van de routes bevindt zich in gebieden waar het grensvlak zich tussen de 5 en 10 m diepte bevindt. Heel lokaal ligt het grensvlak tussen 10 en 25 m diepte in de route Schiermonnikoog A. Het blijkt echter dat de interpolateerde resultaat in de figuur sterk wordt beïnvloed door enkele meetpunten, die naar verwachting niet representatief zijn voor de directe omgeving. Om deze reden nemen we deze gebieden met een ogenschijnlijk dieper zoet-zout grensvlak toch mee in onze analyse. De oppervlakte van deze gebieden is ook zo klein vergeleken met de hele route dat de invloed van deze keuze op het eindresultaat van dit verkennend onderzoek verwaarloosbaar is.



Figuur 5. Diepte van het zoet-zout grensvlak. De routes zijn doormiddel van zwart omlijnde polygonen weergegeven.

3 Aanpak

3.1 Standaardprofielen

Zoals in Hoofdstuk 2 beschreven, zijn de bodemopbouw en kwelsituatie belangrijke variabelen voor het berekenen van het effect van onttrekking op verzilting. Voor het gebied dat de 9 routes omvat, zijn zogenaamde standaardprofielen gedefinieerd. Dit zijn combinaties van bodemopbouw en kwelsituatie die representatief zijn voor de variabiliteit binnen en tussen de routes.

Door het gebruik van standaardprofielen wordt rekening gehouden met die variabiliteit, terwijl het aantal berekeningen beperkt wordt. De verschillende routes kruisen namelijk 2400 percelen, waarvan een groot aantal hydrologisch vergelijkbaar zullen reageren en een aparte modelberekening niet noodzakelijk is. Ze zullen hydrologisch vergelijkbaar reageren omdat de opbouw van sommige bodems grofweg hetzelfde zal zijn net als de kwelsituatie. Door het gebruik van standaardprofielen wordt dus zorgvuldig afgewogen hoeveel berekeningen er nodig zijn om de variabiliteit in percelen en dus in verziltingsrisico goed in beeld te brengen. In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe deze standaardprofielen bepaald zijn.

Bodemopbouw

In een eerste stap zijn voor alle 2400 percelen die overlappen met de route, de lithoklassen van GeoTop opgehaald voor de eerste vijf meter onder maaiveld. De bodemtypen zavel, klei, zand en veen zijn meegenomen in de analyse. Ook de kwel gegevens van de drie verschillende kwelkaarten zijn voor al deze punten verzameld. Dit betekent dat aan ieder perceel dat overlapt met de routes een bodemprofiel en drie verschillende kwelfluxen zijn toegekend. In totaal is dit dus gedaan voor 2400 punten.

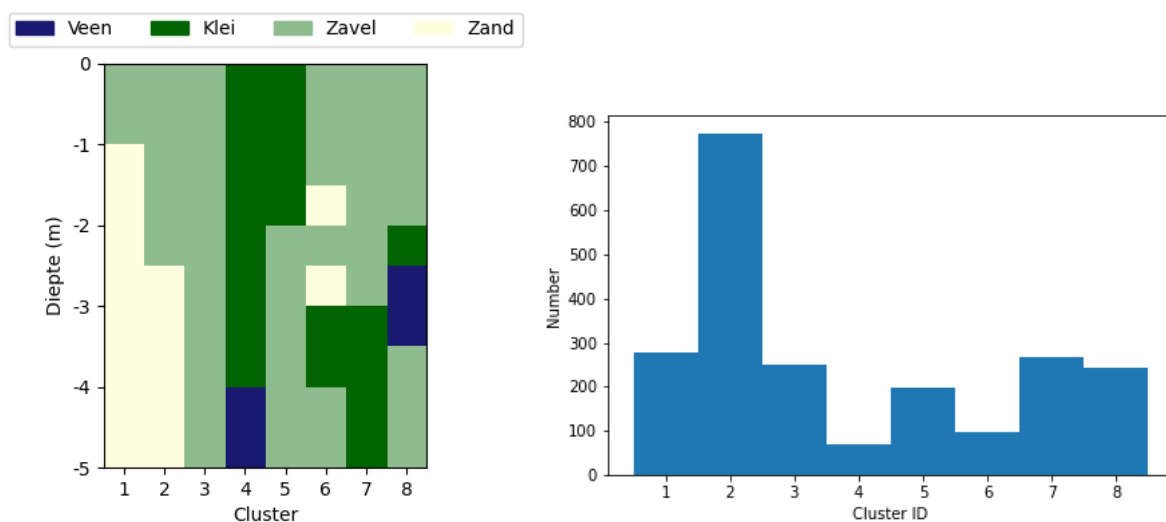
Het creëren van de representatieve bodemprofielen is gedaan door middel van een automatisch clustering algoritme, genaamd hiërarchische clusteranalyse, toegepast op de bodemopbouw van al deze punten. De clustering methode groepeerde de onderzochte percelen op basis van de bodemopbouw van GeoTOP. Met het resultaat is het mogelijk om de punten te verdelen in groepen met vergelijkbare bodemopbouw (zie voorbeeld van groep vergelijkbare profielen in Figuur 6).

In de analyse is extra nadruk gelegd op 1 tot 3 meter diepte, de diepte waarin de meeste zoetwaterlenzen zich bevinden en die daardoor bepalend is voor de dikte van de zoetwaterlenzen. Het feit dat de bodemopbouw tussen 1 en 3 meter extra nadruk krijgt, betekent dat verschillen in bodemopbouw in dit bereik eerder zullen leiden tot toekenning aan verschillende groepen dan verschillen in bodemopbouw in diepere of ondiepere lagen. Het aantal groepen dat nodig is, is bepaald aan de hand van statistieken die bij de groepering gegenereerd worden en 'expert judgement'. Dit laatste wordt vooral gebruikt om te beoordelen vanaf hoeveel groepen het extra inzicht verkregen door het toevoegen van een extra groep, beperkt is. Dus het punt waarop een extra toegevoegde groep hydrologisch gezien sterk lijkt op een bestaande groep.



Figuur 6. Voorbeeld van alle bodemprofielen (links) die worden vertegenwoordigd door cluster 1 (rechts).

De representatieve bodemprofielen zijn weergegeven in Figuur 7; dit zijn dus de acht clusters die uit de clustering zijn voortgekomen. Hieruit blijkt dat zavel het meest voorkomt, daarna klei en zand. Veen komt ook voor maar duidelijk in mindere mate. Ook valt op dat een groot aantal van de profielen in cluster 2 is ingedeeld. Een bodemprofiel met de combinatie zavel op zand lijkt dus het meest voor te komen in het gebied.



Figuur 7. De acht clusters die zijn voortgekomen uit de hiërarchische clusteranalyse (links) en het frequentie van voorkomen van de clusters (rechts).

Kwel

De kwelfluxen van de drie verschillende kwelkaarten zijn geanalyseerd. De variabiliteit in kwel per representatief cluster is groot, waardoor ervoor gekozen is om voor ieder bodemprofiel meerdere kwelsituaties door te rekenen. Op basis van eerdere ervaringen in vergelijkbare verziltingsstudies is gebleken dat vooral het verschil tussen kwel-neutrale (hele lage kwelfluxen) situaties en kwel situaties belangrijk zijn voor model berekeningen van effecten. Het verschil tussen lage en hoge kwelfluxen is minder belangrijk.

Dit kan verklaard worden doordat in gebieden met kwelsituaties sprake is van zoetwaterlenzen. Over het algemeen geldt ook hoe hoger de kwelflux, hoe dunner de zoetwaterlens (Acacia Institute 2019). Deze gebieden zijn al relatief zout vergeleken met gebieden met zeer lage kwelfluxen of kwel neutrale situaties. Daar is eerder sprake van een dikke zoetwaterlens, of zelfs een zoetwaterzone tot enkele meters onder maaiveld zonder duidelijke lensvorming. Bij een ondiepe onttrekking, zoals bij de aanleg van de waterstofleidingen gepland is, zal naar verwachting meer zoet water worden onttrokken waar meer zoetwater aanwezig is. Dit betekent dat het verziltingsrisico en eventuele effecten juist in relatief zoete gebieden groter zijn dan in relatief zoute gebieden.

In dit onderzoek is uitgegaan van een zeer lage (0,05 mm/d) en een lage tot gemiddelde (0,3 mm/d) kwelflux. De zeer lage kwelflux is representatief voor kwel neutrale gebieden. Een kwelflux van 0,3 mm/d komt overeen met een relatief hoge kwelflux voor het studiegebied.

Resultaat aanpak

Uiteindelijk resulteert deze aanpak van de bodemclustering en analyse van de kwel situatie in 16 standaardprofielen: 8 verschillende bodemclusters en voor elk van deze twee verschillende kwelsituaties. Verder is voor alle standaardsituaties uitgegaan van een drainafstand van 10 m en een draindiepte van 1,2 m. Dit zijn gangbare drainafstanden en -diepten in noord Nederland.

3.2 Model

Voor elk standaardprofiel is een 2D dwarsdoorsnedemodel opgezet in MODFLOW6. MODFLOW6 is een software programma voor grondwatermodellering waarmee grondwaterstroming en transport van opgeloste stoffen berekend kan worden in 2D of 3D. In dit project is gebruik gemaakt van de optie om dichtheidsafhankelijke stroming te simuleren, wat nodig is om stroming te simuleren waar zoet en zout grondwater aanwezig is. De dichtheid van zout of brak water is namelijk hoger dan van zoet water.

Door de keuze voor een 2D model is het niet mogelijk om de verziltingseffecten van gestuurde boringen te simuleren. De effecten van de bemalingen voor gestuurde boringen bij de in- en uittrede punten worden daarom kwalitatief beoordeeld op basis van de modelresultaten van de open ontgravingen, rekening houdend met de grotere ontwateringsdiepte.

Uitgangspunten

De diepte van het dwarsdoorsnede model is 10 m. De breedte van het model moet zo gekozen worden dat de randen minimaal effect hebben op de modelresultaten. Daarom is uitgegaan van een breedte van 10 keer de drainafstand van 10 m, of 100 m totaal. Op basis van verkennende modelberekeningen, is gebleken dat deze afstand voldoende is.

Aan de bovenrand van de modellen is een neerslagoverschot gebaseerd op de gemiddelde verdamping en neerslagreeksen van een periode van 30 jaar (1993–2022) met een chloridegehalte van 0,01 g/l toegekend. Aan de zijkanten is uitgegaan van een 'zero flux' randvoorwaarde. De onderrandvoorwaarde is een opgelegde stijghoogte. De stijghoogte zorgt samen met een weerstandslaag tussen 8–9 m-mv voor een

tijdsafhankelijke kwelflux met een aangenomen chloridegehalte van 10 g/l. De tijdsafhankelijke kwelflux is in het model gesimuleerd door middel van een vaste stijghoogte onder in het model en een slecht doorlatende (kleiige) laag in de bodem (i.e. een weerstandslaag). Het verschil in stijghoogte onder in het model en een fluctuerende grondwaterstand als gevolg van de seizoensaliteit van neerslag en verdamping resulteert in een drukverschil tussen het diepere en ondiepere grondwater, dat ook door de tijd verschilt. De eigenschappen (dikte en doorlatendheid) van de slecht doorlatende laag bepalen hoe groot de kwelflux is bij een bepaalde drukverschil. Een dikkere of lagere doorlatendheid van deze laag zal leiden tot een lagere kwelflux dan bij een dunnere laag of hogere doorlatendheid. De stijghoogte en eigenschappen van de slecht doorlatende laag zijn zo gekozen, dat de gemiddelde jaarlijkse kwelflux overeenkomt met de hierboven genoemde kwel neutrale (0,05 mm/d) en lage tot gemiddelde kwelflux (0,3 mm/d).

De bodemopbouw is gebaseerd op de lithologie van het standaardprofiel, met de bovengenoemde weerstandslaag eraan toegevoegd. Bodemeigenschappen zoals porositeit en doorlatendheden zijn gebaseerd op de Staring reeks (Wösten et al. 2013). De doorlatendheden van de Staringreeks zijn echter gebaseerd op metingen met kleine bodemmonsters en zijn doorgaans te laag vergeleken met praktijksituaties. Dit komt bijvoorbeeld door scheuren en macroporiën, vooral in zavel- en kleigronden, en geldt zowel voor boven- en ondergronden (Wösten et al. 2001). Daarom zijn hogere doorlatendheden gehanteerd op basis van expert judgement en Bot (2016)¹. De bodemeigenschappen per lithologische klasse worden in Tabel 1 weergegeven en komen overeen met een 'best guess' benadering.

Tabel 1 Bodemeigenschappen voor de verschillende lithoklassen in de representatieve bodemprofielen

	Porositeit [-]	Horizontale doorlatendheid [m/d]
Zand	0,38	5,0
Zavel	0,46	0,50
Klei	0,56	0,15
Veen	0,89	0,30

In het model is perceeldrainage aanwezig. Gegevens over de perceeldrainage zijn opgehaald via een drainage enquête, uitgevoerd tijdens een eerdere studies in dit gebied²³. Er is een drainage diepte van 1,20 m en een onderlinge drainage afstand van 10 m aangenomen. Deze drains zijn parallel aan de routes geplaatst, waarbij de routes midden tussen de drains liggen. Dit betekent dat het hart van de sleuf ter hoogte ligt van de hoogste grondwaterstanden in de routes, waardoor relatief meer water moet worden

¹ Bot, B. (2016). Grondwaterzakboekje Gwz2016, Bot Raadgevend Ingenieur.

² Acacia Water (2023). Verziltingsonderzoek Eemshaven-Delfzijl, Gouda, the Netherlands.

³ Acacia Water (2019). Spaarwater 2 – versterken zoetwaterlens, Technische rapportage, Gouda, the Netherlands.

onttrokken vergeleken met als de routes dwars op de drains liggen. Daarmee is de berekening iets meer worst case, al zal het verschil in debiet zeer klein zijn.

In de praktijk kan drainage ook dwars of schuin over het leiding-tracé liggen. Verwacht wordt echter dat de invloed van de ligging van de drains op het berekende verziltingsrisico beperkt is. De kweldruk en bodemopbouw zijn namelijk bepalend voor de dikte van de zoetwaterlenzen, en daarmee ook het verziltingsrisico en mate van verzilting. Daardoor zijn bandbreedtes van en onzekerheden in deze gegevens veel belangrijker voor de resultaten van dit onderzoek dan de ligging van de drainage.

Aanleg leidingen

De aanleg van de waterstofleiding is gemodelleerd als vervorming van het maaiveld, veroorzaakt door het graven van de sleuf. Onder het midden van de sleuf is een horizontale drain geplaatst om de grondwaterstand tijdens de werkzaamheden te verlagen. De breedte van de sleuf op het maaiveld is vastgesteld op 7,5 m, met een 1:1 talud. De diepte van de sleuf staat gelijk aan 3 m onder maaiveld. De onderkant van de sleuf heeft een breedte van 1,4 meter en de onttrekking vindt plaats op 3,8 m onder maaiveld en is gemodelleerd d.m.v. een DRN package (drainage) met een zeer lage weerstand. Er is een bemalingsduur van 10 dagen per meter sleuf aangehouden. In de praktijk staat de bemaling voor een strekking aan die in één keer wordt aangelegd en maximaal 10 dagen wordt bemalen. Daarna wordt de volgende strekking van bijvoorbeeld 100 of 200 m aangelegd. Daardoor is het waarschijnlijk dat in de buurt van de uiteindes van een strekking cumulatieve effecten worden ervaren. Dit kan het geval zijn waar de invloedszone van de onttrekking voor aanleg van de eerste strekking overlapt met die van de tweede strekking.

Er wordt uitgegaan van aanleg tijdens de natte periode, de GHG situatie. Onder deze omstandigheden zal relatief veel water onttrokken moeten worden om het ontwateringsniveau te halen en daardoor is het verziltingsrisico relatief hoog. In de praktijk wordt gestreven naar aanleg tijdens de droge periode.

Modelberekeningen

De modellen zijn eerst voor 30 jaar doorgerekend met een sinus gebaseerd op het 30-jarlijkse daggemiddelde neerslagoverschot. Het neerslagoverschot is daarmee in de winter het grootst, en in de zomer is er sprake van een neerslagtekort. Resultaat van deze stap, is een inschatting van de dikte van de zoetwaterlenzen in de huidige situatie. Deze resultaten geven de evenwichtstoestand weer. Vervolgens is de sleuf en onttrekking aan het model toegevoegd en zijn berekeningen uitgevoerd die een 10-daagse onttrekking representeren.

De effecten van de onttrekking op het zoet-zout grensvlak in de percelen, is beoordeeld aan de hand van de grondwaterstand en de diepte van het zoet-zout grensvlak op het moment dat de onttrekking stop wordt gezet.

3.3 Indicatoren van verzilting

In dit onderzoek wordt het effect op de zoetwatervoorraad bekeken direct na afloop van de werkzaamheden, zowel direct onder als op afstand van de routes. De vertaling naar

risicoklassen wordt echter gebaseerd op het effect op de zoetwatervoorraad ter hoogte van de routes. Aangenomen is dat waar het effect op de zoetwatervoorraad relatief groot is, het herstel van de oorspronkelijke zoet-zout situatie ook relatief lang zal duren vergeleken met plekken waar het effect op de zoetwatervoorraad relatief klein is. Herstel is immers afhankelijk van neerslag, en hoe meer zoet water aangevuld moet worden, hoe groter het neerslagoverschot moet zijn om dat te bereiken. Uitgegaan is dat als het effect op de zoetwatervoorraad kleiner is dan 1 m, het risico relatief laag is. Bij een effect van groter dan 1 m, is het verziltingsrisico relatief hoog.

Het effect op de zoetwatervoorraad is echter sterk afhankelijk van de kwelsituatie, terwijl de onzekerheid in kwelgegevens groot is (Figuur 2 – Figuur 4). Door de klasse ‘onzeker’ risico toe te voegen, wordt rekening gehouden met deze onzekerheid. De locaties waar op basis van alle drie de kwelkaarten het berekende effect op de zoetwatervoorraad kleiner is dan 1 m, zijn toegekend aan de ‘beperkt risico’ klasse. De locaties waar op basis van alle drie de kwelkaarten het berekende effect op de zoetwatervoorraad groter is dan 1 m, zijn toegekend aan de ‘hoog’ risico klasse. Op de rest van de locaties is het effect soms kleiner en soms groter dan 1 m, afhankelijk van de gebruikte kwelkaart. Deze locaties zijn toegekend aan de ‘onzeker risico’ klasse.

De onderzoek corridors van routes VII Schiermonnikoog Wantij landroute A, alsook de daarbinnen gelegen varianten Oostpolder en Roodeschool, zijn breder dan de overige routes. Een correctiefactor wordt toegepast om te vermijden dat deze routes hogere verziltingsrisico krijgen toegekend puur door de bredere onderzoek corridor, zodat daarmee alle routes eerlijk vergeleken kunnen worden. Aan de hand van de oppervlaktes van de corridors en de aangeleverde lengte van de routes is berekend, dat de breedte van VII Schiermonnikoog Wantij landroute A 4,2 keer groter is dan de overige routes. Voor de varianten Oostpolder en Roodeschool is dat een factor 3. In de analyse worden de berekende oppervlaktes aan percelen met beperkt/onzeker/hoog risico met deze factor verkleind om daarmee de invloed van de grotere breedte te corrigeren.

3.4 Overzicht belangrijke uitgangspunten

Een overzicht van belangrijke aannames en uitgangspunten in de modellering staat in Tabel 2. Daarbij wordt aangegeven of deze beter overeenkomen met een ‘best guess’ of ‘worst case’ benadering.

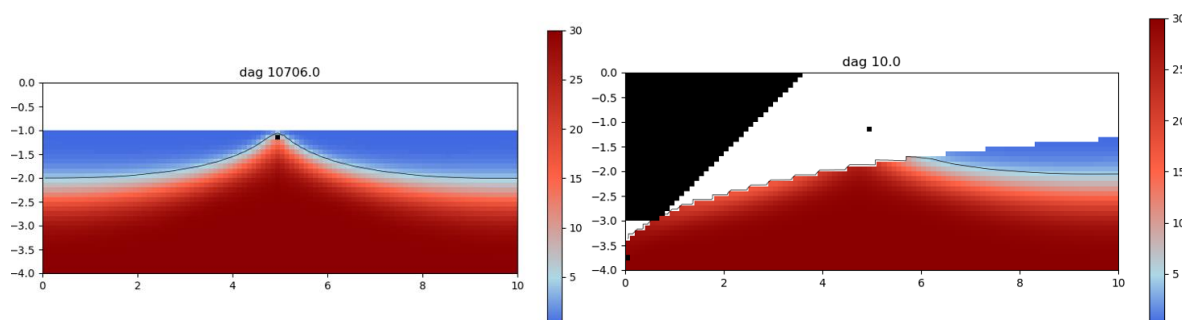
Tabel 2. Overzicht van model uitgangspunten en aannames en of die overeenkomen met een ‘best guess’ of ‘worst case’ benadering

Uitgangspunt/aanname	Waarde	Benadering
Huidige situatie zoetwaterlenzen	Model op basis van regionale datasets, representatieve drainage eigenschappen en gemiddelde neerslagoverschot	Best guess
Ligging drainage	Parallel aan leiding-tracé	Worst case
Aanlegperiode	Natte periode (GHG)	Worst case
Bemalingsduur	10 dagen	Best guess
Indicator verzilting moment	Effect direct na aanleg tracé	Worst case

Indicator verzilting locatie	Effect direct onder midden sleuf	Worst case
------------------------------	----------------------------------	------------

4 Berekende verziltingseffecten

In Figuur 8 zijn resultaten van het dwarsdoorsnedemodel voor bodemcluster 1 (eerste meter zavel, volgende vier meter zand) met een lage kwelflux (0.05 mm/d) ter illustratie weergegeven. In het linker figuur wordt de evenwichtssituatie van voor de onttrekking weergegeven. In het midden van de doorsnede is een (perceel)drainagebuis zichtbaar. Voor dit onderzoek is het zoet-zout grensvlak gebaseerd op een chlorideconcentratie van 1,5 g/l, wat overeenkomt met een EC van ongeveer 4,5 mS/cm. Het zoute grondwater wordt aangetrokken naar de drain, en vormt daarmee zoetwaterlenzen. In de begin situatie voor deze cluster is er een zoetwaterlens aanwezig van ongeveer 2 meter diep.



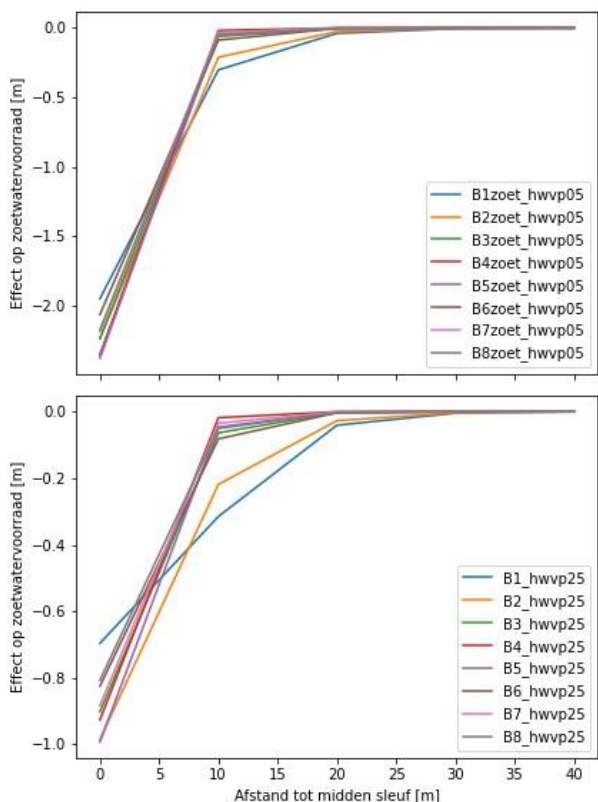
Figuur 8. Evenwichtssituatie zonder onttrekking na 30 jaar doorrekenen (links) en situatie na 10 dagen onttrekking (rechts). De kleuren geven de EC van het grondwater weer in mS/cm. De drain in het midden van het figuur is een drain in een perceel. Links in het rechter figuur is de sleuf zichtbaar, met daaronder op een diepte van 3.8 meter de drain in de sleuf.

In het rechter deel van Figuur 8 wordt de situatie op dag 10 (aan het einde) van de onttrekking weergegeven. Links in de figuur is de sleuf te zien met op een diepte van 3.8 meter de drain van de sleuf. Te zien is dat op dag 10 van de onttrekking het grondwater duidelijk wordt aangetrokken in de richting van de drain in de sleuf. Nabij de drain treedt er een verlaging van de grondwaterstand op en links van de perceel drainage is de zoetwaterlens volledig verdwenen. Rechts van de drain in het perceel, is de dikte van de zoetwaterlens verkleind ten opzichte van de situatie voor de onttrekking (Figuur 8).

De modelresultaten van deze en de andere standaardsituaties worden in dit hoofdstuk samengevat en vertaald naar de onderzochte waterstofroutes.

4.1 Standaardprofielen

In Figuur 9 worden de ruimtelijke effecten op de zoetwatervoorraad direct na aanleg weergegeven voor alle standaardprofielen zoals die berekend zijn door de modellen. Te zien is dat de afname van de zoetwatervoorraad ter hoogte van de sleuf (afstand = 0 m) voor situaties waarin de kwelflux zeer laag is, het grootst is. Dit komt mede doordat in deze gevallen er al een grotere zoetwatervoorraad aanwezig was en er dus logischerwijs ook een grotere afname van de lens kan plaatsvinden. In het geval van de lage kwelflux was er al een kleinere zoetwatervoorraad aanwezig en dus is de afname ook kleiner.



Figuur 9. Ruimtelijke effect op de zoetwatervoorraad direct na aanleg voor alle standaardprofielen met een zeer lage (boven) en lage (onder) kwelflux.

Op enige afstand van de sleuf is de absolute afname in zoetwatervoorraad is voor beide kwelsituaties vergelijkbaar, maar door de vooraf kleinere zoetwaterlenzen in de lage kwelsituatie is de procentuele afname groter dan voor de zeer lage kwelsituatie. Op afstand (rond de 5 tot 15 m) van de waterstofleiding is het effect op de zandige profielen B1 en B2 voor beide kwelsituaties iets groter dan voor de andere profielen. Dit komt door de hogere doorlatendheid van zand. Voor alle standaardprofielen zijn berekende verziltingseffecten op een afstand van 20 m van het midden van de sleuf kleiner dan 5 cm, en op meer dan 30 m van het midden van de sleuf verwaarloosbaar klein. Dit betekent dat de zone waarin cumulatieve effecten verwacht kunnen worden bij aanleg van een volgende strekking beperkt is tot deze afstanden. Cumulatieve effecten door aanleg van aangrenzende strekkingen kunnen onderzocht worden in een volgende fase als een route gekozen is.

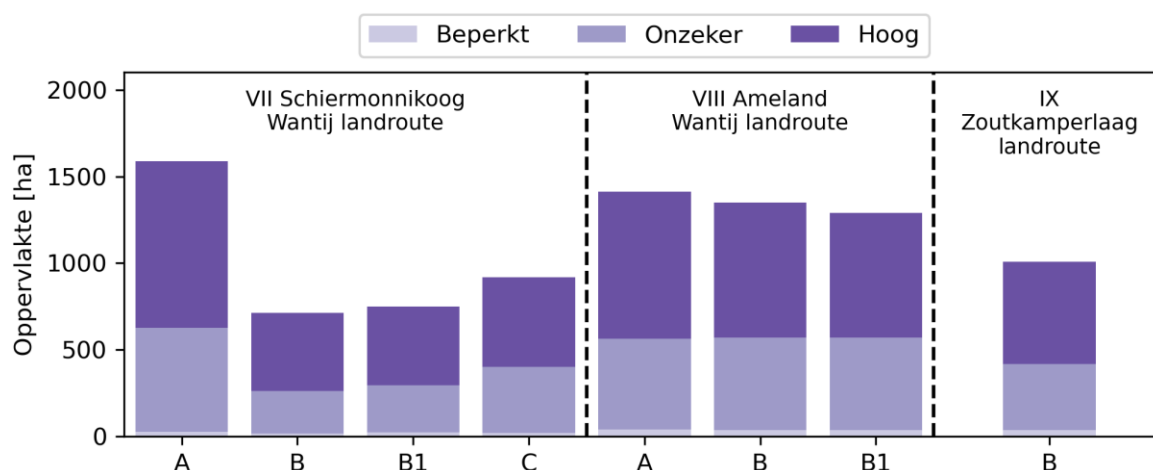
Het effect op de zoetwatervoorraad is een combinatie van verlaging van de grondwaterstand en verandering van het zoet-zout grensvlak. Dit onderscheid is belangrijk omdat uit eerder onderzoek blijkt, dat herstel van de grondwaterstand relatief snel is (dagen) terwijl het herstel van het zoet-zout grensvlak langer duurt (maanden tot jaren). De duur van herstel is afhankelijk van de grootte van het effect (i.e. hoeveel zoetwater moet worden aangevuld) en het neerslagoverschot. Op basis van de modelresultaten blijkt dat de verhoging van het zoet-zout grensvlak vanaf 10 m van het midden van de sleuf kleiner is dan 5 cm. Dit betekent dat het effect op de zoetwatervoorraad vooral wordt bepaald door de verlaging in de grondwaterstand op deze afstanden.

Naar verwachting zal in de periode na de werkzaamheden de grondwaterstand zich herstellen met het water dat in de omgeving beschikbaar is. In de eerste dagen na afloop van de werkzaamheden zal het grondwater ter hoogte van de routes vooral aangevuld worden met grondwater uit de directe omgeving. Dat is op basis van Figuur 8 voornamelijk zout grondwater. Bij dikkere zoetwaterlenzen is er kans dat het zoute diepere grondwater gemengd wordt met restanten van de zoetwaterlenzen aan beide kanten van de sleuf bij grondwateraanvulling. Op langere termijn wordt het neerslagoverschot belangrijk. Hoe hoger het neerslagoverschot, hoe sneller het herstel. Het is daardoor waarschijnlijk dat herstel sneller zal plaatsvinden als de werkzaamheden na het groeiseizoen worden uitgevoerd, dan bij aanleg in de lente of zomer. Het is aannemelijk dat de duur van herstel ook afhankelijk is van of de neerslag in de herstelperiode lager dan, gelijk aan, of hoger dan gemiddeld is.

4.2 Routes

Ieder van de 2400 percelen binnen het studiegebied is gekoppeld aan de meest vergelijkbare standaard situatie op basis van de bodemopbouw en de kwelsituatie. Er is rekening gehouden met de onzekerheid in kwelsituatie door in eerste instantie drie risicokaarten te maken, ieder gebaseerd op een verschillende kwelkaart. Deze zijn vervolgens samengevat in een enkele risicokaart zoals in hoofdstuk 3.3 is uitgelegd.

In Figuur 10 is per route weergegeven hoeveel oppervlakte perceel zich in elk van deze drie klassen bevindt. De resultaten van VII Schiermonnikoog Wantij landroute A zijn gecorrigeerd voor de grotere breedte van de route ten opzichte van de andere (zie Figuur 1 en hoofdstuk 3.3). Wat opvalt is dat voor alle mogelijke routes het meeste oppervlak in de klasse 'hoog risico' valt (54–61%). Ongeveer 2–3% van het oppervlak is toegekend aan de 'beperkte risico' klasse. De overige 36–43% valt onder de 'onzeker risico' klasse.

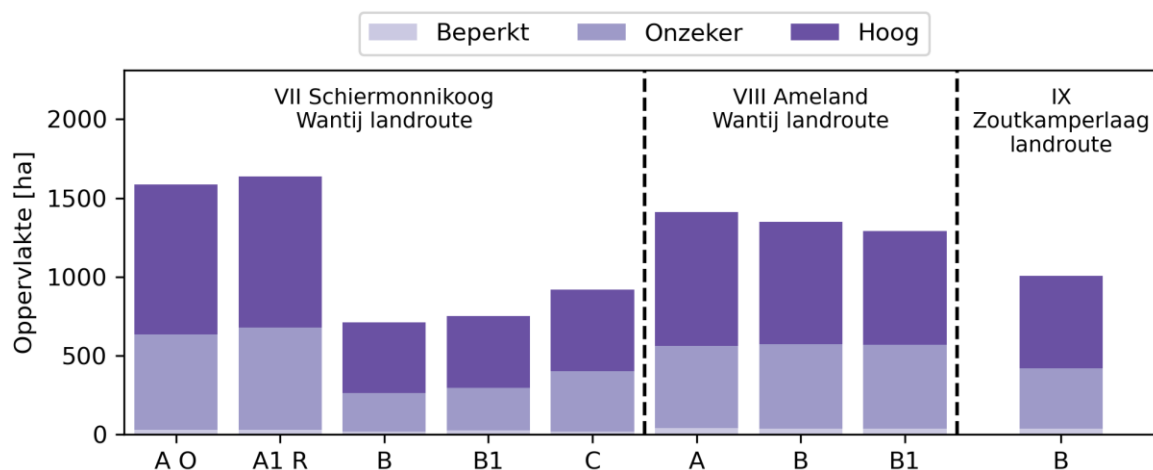


Figuur 10. De staven geven de totale oppervlakte weer van de percelen die overlappen met de originele routes weer. Deze totale oppervlakte is op te delen in drie klassen die het verziltingsrisico door onttrekking weergeven: beperkte kans op verzilting, hoge kans en onzekere kans.

De routes van de land routes verschillen echter in het totale oppervlakte van hoog/onzeker/laag berekende verziltingsrisico. Volgens de analyse is de route met de

kleinste oppervlakte aan percelen waarbij verziltingsrisico's verwacht worden VII Schiermonnikoog Wantij landroute variant B. Ook VII Schiermonnikoog Wantij landroute B1 heeft een relatief klein oppervlakte aan percelen met hoog en/of onzeker risico. Ondanks de correctie voor de bredere corridor van route VII Schiermonnikoog Wantij landroute A is de oppervlakte hoog en/of onzeker risico relatief groot vergeleken met de andere routes. De berekende verziltingrisico's van de VIII Ameland Wantij landroute varianten zijn ook relatief hoog.

Voor de MER is route VII Schiermonnikoog Wantij landroute A als geheel beschouwd. Voor de omgeving is het echter van belang om de twee varianten van deze route, Roodeschool en Oostpolder, te kunnen vergelijken. De vergelijking van de routes waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen deze varianten staat in Figuur 11. Hieruit blijkt dat de twee varianten in grote lijnen vergelijkbaar zijn. De oppervlakte van percelen die in de klasse onzeker risico vallen, van variant Roodeschool, is ongeveer 7% groter dan die van variant Oostpolder. Het verschil in de oppervlaktes beperkt/hoog risico is kleiner dan 1%.



Figuur 11. De staven geven de totale oppervlakte weer van de percelen die overlappen met de originele routes weer. Deze totale oppervlakte is op te delen in drie klassen die het verziltingsrisico door onttrekking weergeven: beperkte kans op verzilting, hoge kans, en onzekere kans (A O = Oostpolder, A1 R = Roodeschool).

5 Conclusies en aanbevelingen

In het verkennend verziltingsonderzoek zijn de kansen op en mate van verzilting onderzocht bij aanleg van mogelijke waterstofroutes in Noord Groningen en Noord Friesland. Het doel van het onderzoek is om de verschillen in risico op en de mate van verzilting te vergelijken tussen de voorgestelde routes. De verziltingseffecten zijn aan de hand van een grondwatermodel met dichtheidsafhankelijke stroming gesimuleerd voor 16 standaardsituaties die representatief zijn voor de variabiliteit in bodem en kwel langs de routes. De bodem en kwel zijn gebaseerd op beschikbare gegevens van regionale en landelijke schaal. Deze databronnen geven op regionale schaal een goed beeld van de variabiliteit, maar op het niveau van individuele percelen kan de data afwijken van de werkelijkheid. Dit betekent dat de resultaten van dit onderzoek het verziltingsrisico op het niveau van de routes beter weergeeft dan op het niveau van individuele percelen.

De berekeningen tonen aan dat verziltingseffecten te verwachten zijn als gevolg van de onttrekkingen bij aanleg van de waterstofroutes. Volgens de berekeningen verdwijnt de zoetwaterbel ter hoogte van de horizontale drain midden onder de sleuf. Op afstand van de sleuf zijn berekende effecten voor zandige profielen groter dan voor zavelige of kleiige profielen vanwege de hogere doorlatendheid. Op 20 m van de waterstofleiding is het effect op de zoetwatervoorraad beperkt tot kleiner dan 5 cm. De verandering op deze afstand is echter voornamelijk in de grondwaterstand, de verandering in het zoet-zout grensvlak is verwaarloosbaar. Dat is belangrijk omdat naar verwachting herstel van de grondwaterstand relatief snel is, vergeleken met het herstel van het zoet-zout grensvlak.

Het verziltingsrisico van de verschillende routes is verdeeld in klassen: laag, onzeker, en hoog risico. De routes VII Schiermonnikoog Wantij landroute varianten B en B1 bevatten in vergelijking met de andere routes een relatief kleine oppervlakte aan percelen waar onzeker tot hoge verziltingsrisico's verwacht worden op basis van de berekeningen. De VII Schiermonnikoog Wantij landroute variant A en VIII Ameland Wantij landroute varianten hebben van de onderzochte routes een relatief groot oppervlak aan percelen waar onzeker tot hoge verziltingsrisico's verwacht worden. Het verschil tussen de routes is voornamelijk gerelateerd aan de lengte van de routes, de verhouding tussen de verschillende risicoklassen is voor alle routes vergelijkbaar.

5.1 Aanbevelingen

In dit onderzoek zijn verziltingseffecten in kaart gebracht. Of berekende effecten daadwerkelijk tot schade leiden, en dan in welke mate, is buiten de scope van dit onderzoek. Aanvullende onderzoeken zouden inzicht kunnen geven in de gevolgen en tijdsduur van berekende verziltingseffecten.

In dit onderzoek zijn geen veldonderzoeken uitgevoerd, waardoor het onderzoek volledig is gebaseerd op beschikbare data. Gezien de onzekerheden in bijvoorbeeld de kwelkaarten, maar ook de aangenomen bodemeigenschappen, kunnen verziltingseffecten op een specifiek perceel anders uitvallen dan hier berekend is. Het is bijvoorbeeld aannemelijk dat als de doorlatendheid hoger uitvalt dan de aangenomen waarde, de afstand tot waar verziltingseffecten zichtbaar zijn, zal toenemen. De

doorlatendheid kan gemeten worden door middel van Hooghoudt proeven en/of een korrelanalyse (zeefkromme methode). De kwelflux kan het best gemeten worden door het plaatsen van twee peilbuizen, één freatisch en één direct onder de deklaag. Door het verschil in stijghoogte in de peilbuizen en een geschatte weerstand op basis van de bodemopbouw kan de kwelflux worden bepaald. In een latere fase kunnen veldonderzoeken inzicht geven in de waardes van belangrijke parameters, zoals doorlatendheid en kwelflux. Aan de hand van deze gegevens kan het verziltingsonderzoek verfijnd worden in een volgende fase, als een route gekozen is.

In deze studie is uitgegaan van aanleg volgens de standaard open ontgravingsmethode. Het is echter mogelijk om mitigerende maatregelen te nemen om daarmee het verziltingsrisico en/of de verziltingseffecten te verkleinen. Naar verwachting geldt: hoe meer een mitigerende maatregel het totale onttrokken debiet kan verkleinen, hoe groter de verwachte effectiviteit van de maatregel. In de komende jaren komen mogelijk nieuwe aanlegtechnieken beschikbaar, denk aan zgn. grondverdringende techniek (ook wel Inploegen genoemd) of ondiepe gestuurde boringen. Dergelijke technieken hebben als voordeel dat grondwateronttrekking kan worden beperkt maar helaas niet uitgesloten. Daarnaast kan het totale onttrokken debiet verkleind worden door de onttrekkingsduur te verkorten en/of het debiet te verkleinen. De onttrekkingsduur kan verkort worden door bijvoorbeeld langere dagen te maken of door aanpassingen in de bemalingsstrategie. Het debiet kan verkleind worden door bijvoorbeeld gebruik van damwanden. Daarmee wordt ook het effect van de bemaling op afstand van de sleuf beperkt. Het is echter belangrijk dat maatregelen technisch haalbaar en uitvoerbaar zijn. Kansrijke maatregelen om verziltingsrisico te verkleinen die ook technisch haalbaar zijn kunnen het best verkend worden in overleg met onder andere de uitvoerende partijen in een volgende fase.

Referenties

Acacia Institute (2019). *Spaarwater 2 – versterken zoetwaterlens*, Technische rapportage, Gouda, the Netherlands.

Doorn, A. van, Velstra V. (2021). *Validatie en toetsing LHM 4.1 – Deelrapport 4: Verzilting*, PR4313.10.

Kuijter, P.C., Steur, G.G.L., Heijink, W., Bakker, H. de, Boersma, O.H., Hamming, C. (1987) Bodemkaart van Nederland schaal 1:50,000, STIBOKA.

Staveren, G. van, Velstra, J. (2012) *Verzilting van landbouwgronden in Noord-Nederland in het perspectief van de effecten van klimaatsverandering* Klimaat voor Ruimte rapport KvR 058/12, ISBN: 978-90-8815-050-0.

WENR (2022). Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000 (versie 2022).

Wösten, H., Vries, F. de, Hoogland, T., Massop, H., Veldhuizen, A., Vroon, H., Wesseling, J., Heijckers, J., Bolman, A. (2013). *BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland*. Alterra-rapport 2387. Wageningen, the Netherlands, 88 p.

Wösten, J.H.M., Veerman, G.J., Groot, W.J.M., de, Stolte, J. (2001). *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*, Alterra-rapport. Wageningen, the Netherlands, 86 pp.

Hoofdkantoor

Van Hogendorpplein 4
2805 BM Gouda

**Regiokantoor
Noord-Nederland**

Watercampus
Agora 4
8934 CJ Leeuwarden

**Regiokantoor
Oost-Afrika**

Woreda 03, Bole Sub city
House No. 4/020
Addis Abeba

www.acaciawater.com

