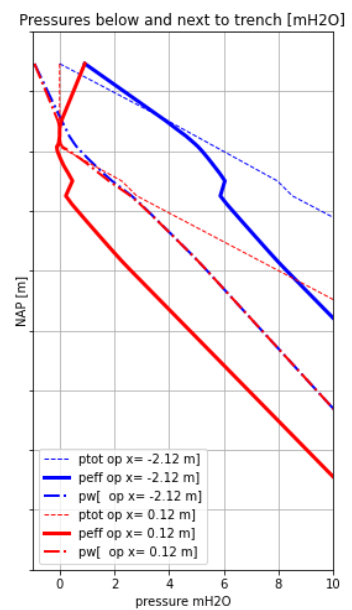
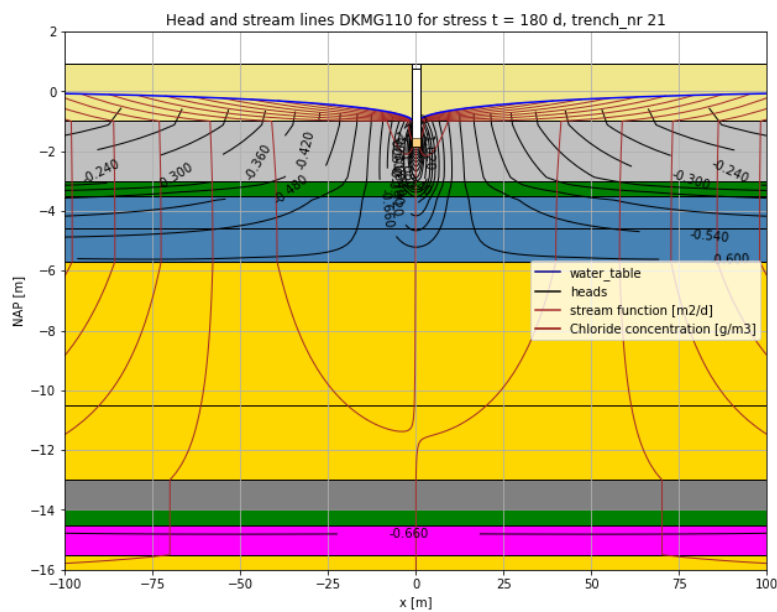


HYDROLOGISCHE ANALYSE ZOUT EN OPBARSTING KRUISZWIN

Hydrologische analyse van het risico op zoute kwel en opbarsting door rioolvervanging Kruiszwijn

Eindrapportage, 17 februari 2021



Colofon

CLIENT	Gemeente Den Helder
DOCUMENT TITEL	Hydrologische analyse zoute kwelrisico en opbarsting rioolvervanging Kruiszwijn
REFERENTIE	NCT20.084-35-210217
STATUS	Definitief
DATUM	17 februari 2021
CONTACT	Nectærra B.V. Lage Naarderweg 45 1217GN Hilversum 035-2050033 info@nectaerra.com www.nectaerra.com

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding.....	5
1.1 Achtergrond	5
1.2 Onderzoeksgebied	5
1.3 Uitgangspositie aanvang onderzoek	5
1.4 Werkwijze.....	6
1.5 Leeswijzer.....	6
2 Voorbereidend modelonderzoek bodem en water	7
2.1 Bodemopbouw en doorlatendheid.....	7
2.1.1 Lithologie en genese	7
2.1.2 Doorlatendheid	8
2.1.3 Schematisatie bodemopbouw t.b.v. model	9
2.2 Lithologische topkaarten	10
2.3 Waterkwaliteit	11
2.4 Kwel en wegzijging	12
2.5 Grondwaterstanden en grondwatermeetreeksen.....	12
2.6 Opbarsting.....	14
3 Constructie grondwatermodel.....	16
3.1 Seawat model.....	16
3.2 Bodem- en zoutprofielen en rioolsleuf	16
3.3 Bemaling.....	20
4 Modelresultaten	21
4.1 Risico van zoute kwel	21
4.2 Risico op zoute kwel door bemaling	21
4.3 Risico van opbarsting	24
4.4 Gevoeligheid van de uitkomsten voor bodemparameters	25
5 Bronnen.....	26
Bijlage A. Lithologische topkaarten.....	27
Bijlage B. Ligging rioolleidingen t.o.v. eerste kleilaag	28

Samenvatting

In opdracht van de gemeente Den Helder heeft Nectaerra B.V. een veldstudie uitgevoerd (fase 1, “NCT20.084-35-201201 (Conceptrapport 2C veldonderzoek Kruiszwijn)”), gevolgd door een hydrologische analyse van het risico op het optreden van zoute kwel en opbarsting als gevolg van rioolvervanging in Kruiszwijn, te Julianadorp (fase 2). Dit kan tot verzilting leiden van het ondiepe grondwater, en via drainage ook van het oppervlaktewater.

De veldstudie en overige data zijn gebruikt voor het maken van een 3D bodemmodel, waarin het DO van Kruiszwijn 1-2 is geïmporteerd. Hierdoor is zichtbaar op welke diepte en in welk bodemtype het riool ligt. Voor Kruiszwijn 3-4-5 is het DO nog niet beschikbaar en is uitgegaan van referentiediepten in overleg met Gemeente.

Voor toetsing van risico's is een stromingsmodel opgesteld op basis van Modflow (Seawat module), waarmee ook zoet- en zoutwaterstroming inzichtelijk wordt. Ter plaatse van de geleidbaarheidssonderingen, nb. waar het zoutprofiel van het grondwater met de diepte goed in kaart is gebracht, zijn 2D grondwatermodellen opgesteld in de lengterichting en dwarsrichting van het aan te leggen rioolstelsel. Een 3D grondwatermodel zou onnodig complex en tijdrovend zijn, en in het licht van beschikbare informatie niet nauwkeuriger.

Er is geen noemenswaardig verschil in risico's voor genoemde locaties. Deze risico's worden in de rapportage toegelicht en gevisualiseerd voor sondeerlocatie DKMG110 (in Kruiszwijn 1-2), en zijn als volgt:

Het risico op zoute kwel door aanwezigheid van de sleuf – daar waar aangenomen dat de bodemlaag eerst uniform doorlopend was – is verwaarloosbaar. Dit is het gevolg van de diepte van de sleuf (op het diepste punt te ondiep om hoog doorlatende bodem aan te boren), het zoutgehalte van het “in ruste” voorkomende grondwater op deze diepte (maximaal licht brak), en het verloop van de grondwaterdruk (het stijghoogteverschil tussen de bovenste laag en de daaronder gelegen lagen werkt de ontwikkeling van kwel tegen).

Het risico op zoute kwel tijdens de aanlegfase (bemaling) lijkt een groter risico, maar de aangenomen bemalingswijze leidt slechts tot een zeer beperkte grondwaterverlaging en daarmee onttrekkingsdebiet, hetgeen ook zichtbaar wordt in een zoutprofiel die nauwelijks verandert door de bemaling. Een meer gedetailleerd advies is bij voorkeur mogelijk na oplevering van het DO Kruiszwijn 3-4-5.

Het risico op opbarsting, die zich in deze situatie alleen tijdens de open bemaling kan voordoen, is ook klein door het zeer geringe verloop van de grondwaterdruk over de onderkant van de sleuf.

De berekeningen gaan uit van door veldwerk verzamelde en openbaar (REGIS, GEOTOP, Dino) beschikbare gegevens. Hiermee is soms conservatief omgegaan in de bepaling van de risico's. Opgemerkt wordt dat weinig data beschikbaar is van doorlatendheid in het Holocene pakket, waardoor gebruik is gemaakt van tijdens het veldwerk verzamelde doorlatendheden (slugtests) en literatuurwaarden. De slappe, blauwe zeeklei vormt de grootste onzekerheid, omdat hier weinig over bekend is. Er zijn ook relatief weinig meetpunten van grondwaterstanden en stijghoogte in diverse bodemlagen. Toch overheerst het beeld van een langjarige situatie van inzijging, al wordt niet uitgesloten dat in de toekomst tijdens aanhoudende en langere droge periodes enige zoute kwel optreedt. Meer meten wordt aangeraden. Al met al lijken grote afwijkingen in de data die gevolgen hebben voor de beoordeling echter vrijwel uitgesloten. De effecten van de slecht doorlatende laag onder de bovenste zandlaag zijn daarbij dus zeer bepalend, samen met het drukverloop en het zoutprofiel.

Het grootste risico van het werk wat betreft grondwater en milieu doen zich tijdens bemaling voor indien de slecht doorlatende lagen lokaal niet of nauwelijks voorkomen en de goed doorlatende zandlaag op ~NAP -6 m lokaal zeer ondiep ligt (hiervoor zijn in de beschikbare data vooralsnog geen aanwijzingen). Rekening dient gehouden te worden met antropogene wijzigingen in de bodemopbouw door vroegere rioolwerkzaamheden. Een reëel risico is het onnodig diep graven, en aandacht voor vergunningsvoorwaarden en bouwtoezicht zijn essentieel, net als mitigerende maatregelen zoals het gescheiden opslaan en terugbrengen van afgegraven bodemlagen, met name de kleilagen, het herstellen van perforaties, en monitoring van waterkwaliteit. Daarbij geldt natuurlijk dat uitvoering tijdens droge perioden (zomer) in algemeenheid meer risico geeft op zoute kwel dan tijdens natte perioden (winter) met veel inzijging. Het plaatsen van diepere boringen voor constructiedoeleinden of waterontspanning (voorbelasting) vormen een reëel risico op verzilting, maar zijn niet in deze analyse beoordeeld.

3-4-5 is onze indruk dat deze benadering valide is. In de eindconclusies van deze rapportage zijn hierover nog enkele opmerkingen opgenomen.

Voorafgaand aan het onderzoek is beschikbare data verzameld over de ondergrond en is nieuwe informatie verzameld over waterkwaliteit, stijghoogte, bodemopbouw en doorlatendheid. Voor de feitelijke rapportage daarvan zie “NCT20.084-35-201201 (Conceptrapport 2C veldonderzoek Kruiszwijn)”, d.d. 01-12-2020.

1.4 Werkwijze

Het risico op zoute kwel wordt overwegend bepaald door de aard van ondergronds werk, bodemopbouw, waterkwaliteit en grondwaterverloop. Deze factoren zijn in beeld gebracht tijdens de veldonderzoeksfase (fase 1) en daarna tijdens de analysefase (fase 2) samengevat in de vorm van met name kaartmateriaal, om vervolgens te worden gebruikt voor het uitvoeren van grondwatersimulaties. De inzichten daaruit vormen de basis voor het advies over de risico's en de omgang daarmee. De exacte onderzoeksmethodiek wordt verderop toegelicht.

In chronologische volgorde heeft daarom de hydrologische knelpuntenanalyse (fase 2) bestaan uit de volgende onderdelen:

- A. Dataverzameling en analyse bodemopbouw en doorlatendheid
- B. Constructie “topkaarten” van de voornaamste lithologische eenheden tot het Pleistocene zandpakket;
- C. Bepaling waterkwaliteit (TDS – Total Dissolved Solids) van het grondwater in deze lagen;
- D. Opstellen van 2D zoet-zout grondwater(simulatie)modellen (m.b.v. Modflow/Seawat software) voor de geleidbaarheidslocaties in Kruiszwijn.
- E. Interpretatie van de modelresultaten naar risico zoute kwel en opbarsting door rioolvervanging;

1.5 Leeswijzer

H.2 omschrijft het voorbereidende onderzoek bodem en water ten behoeve van grondwaterberekeningen. H.3 omschrijft de constructie van het grondwatermodel op basis van in H.2 genoemde informatie. H.4 geeft de resultaten van risico's op zoute kwel en opbarsting. De inleidende Samenvatting geeft een beknopte totaaloverzicht van de werkwijze en risico's.

2 Voorbereidend modelonderzoek bodem en water

Dit hoofdstuk omschrijft de verschillende variabelen die in de modelberekeningen worden gebruikt waarmee het risico op kwel en opbarsting worden berekend. Hoofdstuk 3 omschrijft vervolgens de modeluitkomsten.

2.1 Bodemopbouw en doorlatendheid

2.1.1 Lithologie en genese

De ondiepe ($< \sim 20$ m) bodemopbouw ter plaatse van Kruiszwijn is een opeenvolging van siliclastische afzettingen van zand en klei uit de Formatie van Naaldwijk, Laagpakket Walcheren en Laagpakket Wormer, en ingeschakelde veenafzettingen van de Formatie van Nieuwkoop, gelegen op voornamelijk zanden van de Formatie van Bortel, Laagpakket van Wierden. De Naaldwijk Fm is een Holocene afzetting (jonger dan 12ka), waarbij de zanden zijn afgezet als duinafzettingen, vooroevers en strandwallen, maar ook (Laagpakket Walcheren) in estuaria, lagunes en in geul- en getijdebekken. De klei heeft een open mariene genese, maar de klei is ook litoraal afgezet in getijdebekken van getijdezones aan de kust. Het milieu waar Naaldwijk Fm is afgezet is zeer dynamisch geweest met verschuivingen van de kuststrook, de vorming van geulen en barrière-eilanden en doorbraken daarin. De afzettingen zijn daarom overwegend onder zoute omstandigheden gevormd. Tijdens periodes van hogere zeespiegelstanden in het Holocene (transgressies) leidden hogere grondwaterstanden tot vernatting en de vorming van veenafzettingen (Formatie van Nieuwkoop) op afzettingen van de Naaldwijk Fm. In het kustgebied komen daarom beide formaties “getand” in elkaar voor.

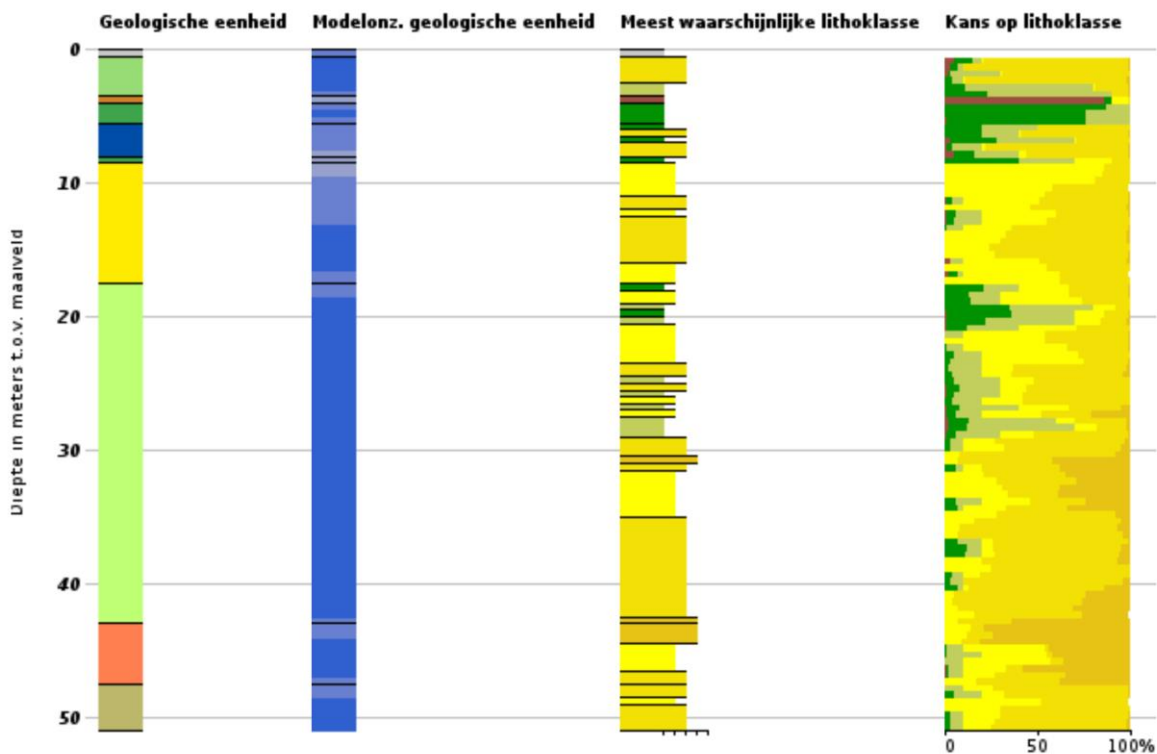
Ondanks de dynamiek van het afzettingsmilieu en variatie in afzettingen op relatief korte afstand, zijn er binnen de bodemopbouw wel enkele referentiepunten. Aan maaiveld bestaat de Naaldwijk Fm uit zand, wat de meest recente (terrestrisch) afzettingfase vertegenwoordigt. In het gebied komt vrijwel uniform rond 3-4 m -NAP een veenlaag voor, het Hollandveen (Fm van Nieuwkoop), terwijl rond 6 m -NAP vaak ook Hollandveen voorkomt. Deze ontbreekt echter ter plaatse van Kruiszwijn. Het bovenste Hollandveen bedekt een ongerijpte blauwgrijze zeeklei (soms ook wel kattenklei genoemd), die meestal slap van aard is. Hierna volgt in Kruiszwijn een overwegende kleilaag, doorgaans steviger van aard, tot ca. 6 m -NAP, gevolgd door zand met soms een kleilaag, allen uit de Fm. van Naaldwijk. Vanaf ca. 8.5 m -NAP behoren de afzettingen tot de Fm. van Bortel, t.p.v. Kruiszwijn overwegend zand, maar lokaal komen ook lagen klei, silt en organische lagen (gyttja) voor. De ondergrens van het Holocene pakket (van de Fm van Bortel) wordt gevormd door Basisveen, die t.p.v. Kruiszwijn echter ontbreekt. Het afzettingsmilieu is eolisch (wind), periglaciaal eolisch en lacustrien (meren), en in mindere mate fluviatiel (rivieren). Het zand is doorgaans matig grof tot fijn en goed gesorteerd. Het is daarom ook een belangrijke watervoerende laag, informeel soms als het “Pleistocene zandpakket” aangeduid.

De diepere (> 20 m) ondergrond bestaat uit verschillende Pleistocene formaties van overwegend zand tot een diepte van NAP -250 m. Deze diepere lagen hebben een groot doorlaatvermogen, waardoor zij gemakkelijk veel grondwater kunnen aanvoeren. Dit beeld komt goed overeen met ICW (1982) waarin het grondwater in Noord-Holland ten noorden van het IJ uitgebreid is onderzocht en wordt beschreven.

Het model GEOTOP (www.DinoLoket.nl) geeft voor een groot deel van Nederland tot een diepte van 50 m per halve meter wat de kans op voorkomen is van bepaalde lithoklassen. GEOTOP staat toe op een willekeurig punt een bodemprofiel te tekenen. Figuur 2 toont het bodemprofiel voor een willekeurig gekozen locatie in het centrum van Kruiszwijn. De klei-veen-klei laag tussen NAP -3 en NAP -7 m zien we hier goed in terugkomen. Dat geldt ook voor de laag die in de sonderingen in en rond Kruiszwijn rond NAP -4 m wordt aangetroffen. Hier geeft GEOTOP echter een aanmerkelijk lagere kans op het aantreffen van klei, wat mogelijk moet worden geïnterpreteerd als waarschijnlijk niet overal aanwezig. Verder geeft GEOTOP nog aanzienlijke kans op klei aan rond NAP -18 m en een geringere kans op verschillende diepten daaronder, waar volgens REGIS alleen Pleistoceen zand aanwezig is. We moeten het diepe pakket daarom regionaal als een geheel beschouwen maar zeker lokaal als een pakket met aanzienlijke enige verticale weerstand.

Appelboor BRO GeoTOP v1.4

Coördinaten: 111555, 544937 (RD)
 Maaiveld: 0.75 m t.o.v. NAP
 Diepte t.o.v maaiveld: 0.00 m - 51.00 m



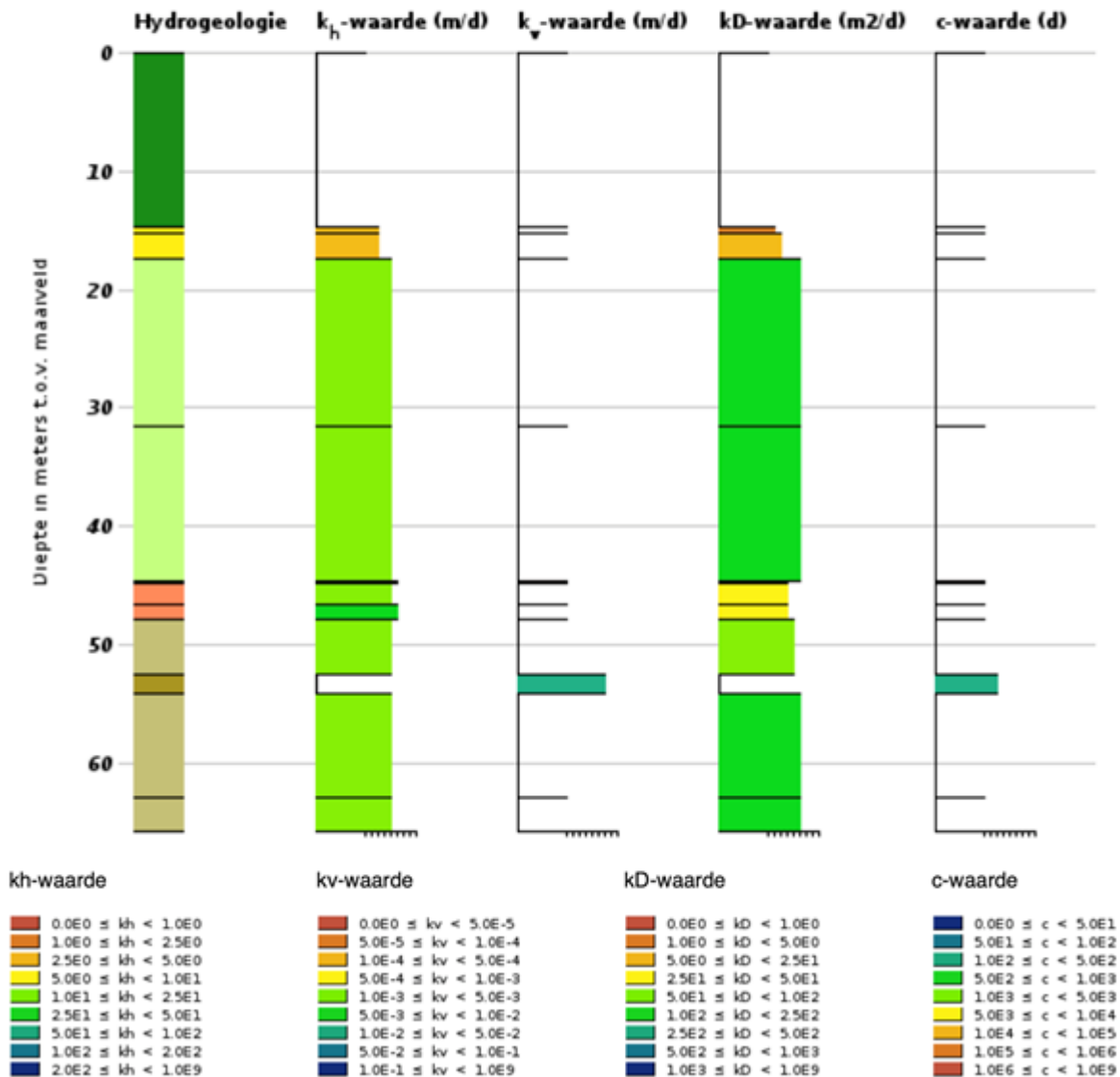
Figuur 2. GEOTOP-bodemprofiel tot NAP -50 m midden onder Julianadorp /Kruiszwijn

2.1.2 Doorlatendheid

In het DinoLoket is het hydrogeologisch model van de ondergrond (REGIS) geraadpleegd voor informatie over doorlatendheid van de ondergrond, ter aanvulling op de pompproeven tijdens het veldonderzoek die allen ook ondiep waren (< 8 m). REGIS staat toe op een willekeurig punt een bodemprofiel te tekenen. Figuur 3 toont voor dezelfde locatie als Figuur 2 is het centrum van Kruiszwijn het bodemprofiel. De kolom 'c-waarde' laat zien dat er volgens TNO geen hydraulische weerstand tegen verticale stroming onder het Holocene tot op een diepte van ca. 200 m. De doorlatendheid van deze zandformatie (zie kleur lichtgroen) ligt tussen 10 en 25 m/d en de verticale doorlatendheid tussen 0.001 en 0.005 m/d. Echter, de aanwezigheid in GEOTOP van dunne kleilagen in het Pleistoceen duiden erop dat er lokaal aanzienlijke verticale weerstand kan voorkomen. Al met al kunnen er dus vanuit hydrogeologisch perspectief aanzienlijke lokale verschillen bestaan.

Appelboor BRO REGIS II v2.2

Coördinaten: 111555, 544937 (RD)
 Maaiveld: 1.12 m t.o.v. NAP
 Diepte t.o.v maaiveld: 0.00 m - 682.94 m
 Geselecteerde diepte: 0.00 m - 65.77 m



Figuur 3. REGIS-bodemprofiel tot NAP -250 m midden onder Julianadorp/Kruiszwijn (www.DinoLoket.nl). Aangegeven zijn de formaties en de doorlatendheden zoals geraamd door TNO. De afwezigheid van c-waarden duidt erop dat er geen duidelijke weerstandbiedende lagen aanwezig zijn tot NAP -200 m

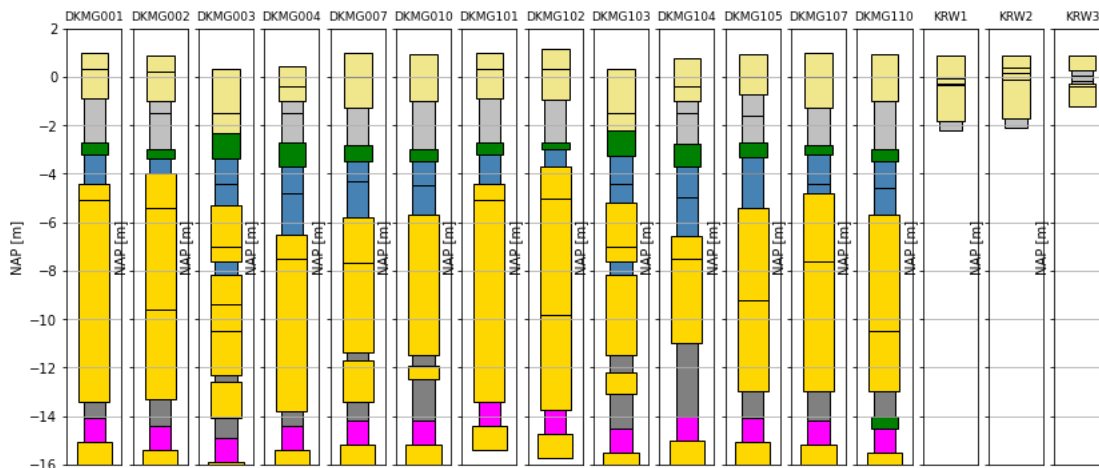
2.1.3 Schematisatie bodemopbouw t.b.v. model

Figuur 4 toont voor de modellocaties het bodemprofielen, zoals die zijn afgeleid uit de voor dit onderzoek uitgevoerde sonderingen.

De paarse balk en de oranje balk onderaan zijn kunstmatig aangebrachte lagen in verband met de modellering. De feitelijke sonderingsdiepte valt samen met de top van de paarse laag.

Te zien is een (fijne) zand op klei, daaronder een dunne veenlaag op blauwe zeeklei op (fijn) zand. Op ca. NAP -14 m wordt opnieuw klei aangetroffen. Beneden ca NAP -15 m wordt nagenoeg uitsluitend grover zand

verwacht. Opvallend aan de bodemprofielen hieronder is dat het veen overal op ongeveer dezelfde hoogte voorkomt.



Figuur 4. Bodemprofielen ter plaatse van de sondeer- en boorlocaties, en tevens locaties van de 2D grondwatermodellen. Geel=zand, grijs=klei, blauw=blauwe zeeklei, groen=veen. Paar en daaronder kunstmatig aangebrachte lagen voor de modellering, horen niet bij het gemeten sonderingsprofiel. De top van de paarse laag is de bereikte sondeerdiepte.

2.2 Lithologische topkaarten

Om een indruk te krijgen in de soort ondergrond waar het riool in ligt is gekozen om kaarten te maken van de bovenkant van de belangrijke litho-eenheden, zogenaamde topkaarten. Zie Bijlage A.

Deze topkaarten zijn berekend aan de hand van alle sonderingen en boringen die tijdens het veldonderzoek zijn uitgevoerd door Nectaerra en Wiertsema & Partners (zie "NCT20.084-35-201201 (Conceptrapport 2C veldonderzoek Kruiszwijn).pdf", d.d. 01-12-2020.), aangevuld met de aanwezige boringen in Kruiszwijn uit DinoLoket en de (bodemclassificatie van de) peilbuizen van Wareco. In Bijlage B toont alle locaties van deze gegevens.

De grondlagen met boven- en ondergrens t.o.v. NAP in Kruiszwijn zijn gegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Lithologische eenheden in Kruiszwijn en boven- en ondergrens

Laag	Bovengrens [m NAP]	Ondergrens [m NAP]
Zand	aan maaiveld	-0.4
Klei (normaal)	-0.2	-2.04
Veen (Hollandveen)	-1.9	-4.35
Klei (slap)	-2.3	-6.6
Klei (normaal)	-3.5	-6.5*
Zand	-6.5	nvt

* Deze diepte betreft het lokaal gemiddelde grensvlak tussen Holoceen en Pleistoceen. In het Pleistocene zand komen ook kleilagen voor.

De eerste kleilaag (0,2 tot 2,04 m -NAP) toont lokale diepteverschillen in het centrum en in het westen van Kruiszwijn en kent meer heterogeniteit in diepte dan de rest van de bodemlagen. Deze verschillen kunnen eventueel verklaard worden door ingrijpend gebruik van de ondergrond door de jaren heen. In vergelijking met

de diepteligging van het rioolstelsel volgens DO Kruiszwijn 1-2 ligt een deel van het stelsel binnen de eerste kleilaag. Zie Bijlage B.

Om te kijken of deze ligging ook bepalend is in Kruiszwijn 3-4-5 is er een extra DWA-rioolleiding in de berekening toegevoegd met een aanname dat deze van hoog naar laag loopt (2 ‰/m in helling) richting het gemaal (B.O.B -2 m NAP) (zie Bijlage B). In dit geval valt de gehele leiding binnen de eerste kleilaag.

Het veen (1.9 tot 4.35 m -NAP) ligt het ondiepst in het noordoosten van Kruiszwijn. De diepteligging is evenwel vrij uniform. De hieronder gelegen slappe klei vormt op voorhand een potentieel risico, omdat de doorlatendheid hiervan lokaal goed kan zijn (Aequator, 2020). Daarbij is het klei onder zoute omstandigheden afgezet en bevat deze nog steeds zout water. De grens tussen slappe en normale klei is echter niet overal duidelijk aan te geven. De doorlatendheid van veen is in principe ook laag, maar kan ook lokaal goed zijn.

2.3 Waterkwaliteit

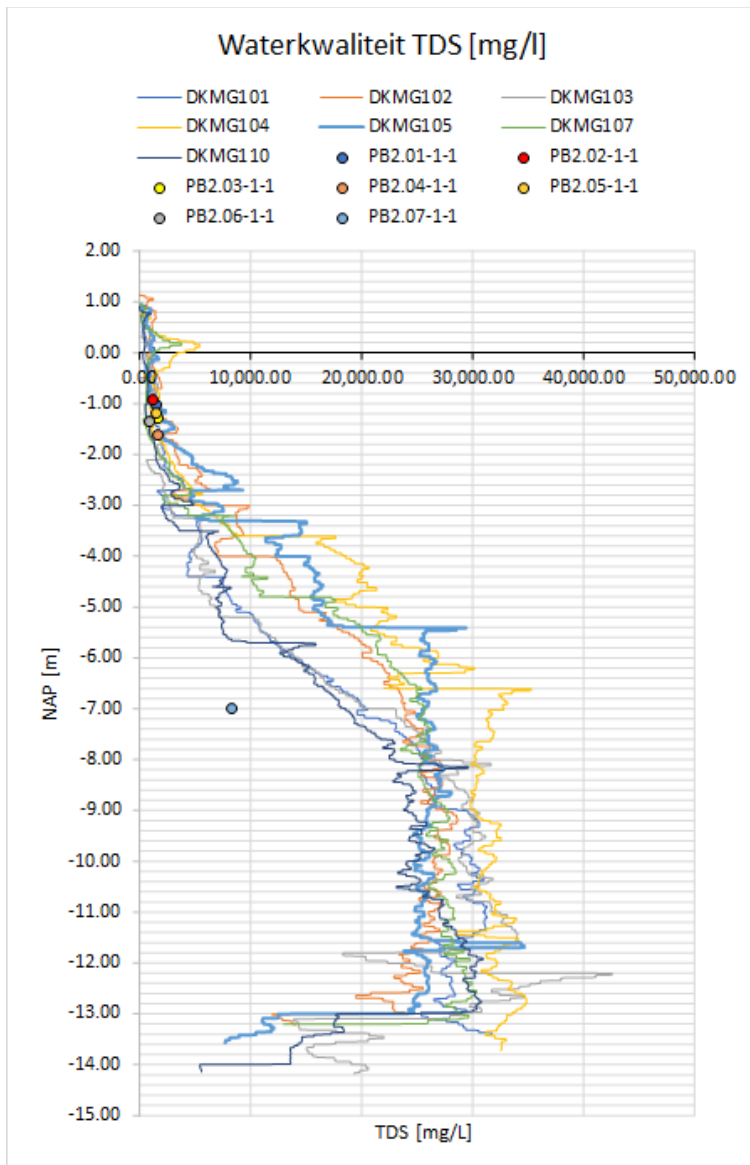
De waterkwaliteit is bepaald uit zeven geleidbaarheidssonderingen in Kruiszwijn, EC-metingen in watergangen en peilbuizen, en chloride-bepaling in peilbuizen van Wareco. De gegevens tonen een zoete waterkwaliteit in het bovenste zand en klei, met rond de 3 m een geleidelijke verzilting tot ca. 7 m, waarna de waterkwaliteit vrij uniform rond 30.000 mg/l TDS doorzet tot ca. 12 m. Vanaf die diepte zijn er meer variaties te zien, maar dit kan ook duiden op de noodzaak deze waterkwaliteit vanaf deze diepte anders te berekenen. Voor de doeleinden van het onderzoek is niet relevant en daarom niet uitgevoerd.

We zien dat het zoutgehalte vanaf ca. 2 m diepte gaat oplopen, dat wil zeggen in de klei. Een aantal profielen laat een sprong zien bij ca. 4 m diepte; dit lijkt overeen te komen met het veen dat op dat niveau op alle locaties is aangetroffen.

Beneden NAP - 8 m geven alle profielen vergelijkbaar beeld, waarbij het zoutgehalte min of meer constant is met TDS van 25.000 tot 30.000 mg/L. Dit constante zoutgehalte duidt op grondwatertransport en daarmee op de aanwezigheid van zand. Het verloop van het zoutgehalte tussen het veen en de onderkant van de klei, dus tussen 4 en 8 m diepte verschilt sterk van plek tot plek. Dit duidt op een slecht doorlatende laag, waardoor er sterke verschillen kunnen ontstaan tussen punten die niet zo ver uit elkaar liggen. Stagnatie binnen slecht doorlatende lagen kan groot zijn, waardoor diffusie kansrijk wordt op een tijdschaal van honderden jaren, en waardoor geleidelijk zoutprofielen kunnen ontstaan van het verloop zoals dat hier is aangetroffen.

Boven NAP -4 m neemt het zoutgehalte tot 2 m in alle profielen af tot zoet. Dit is dus het geval binnen de slappe klei. Een zekere menging met zoet neerslagwater uit de bovenste zandlaag zal hiervan de reden zijn. Deze uitwisseling kan worden toegeschreven aan variaties in grondwaterwaterpeil tussen zomer en winter (Figuur 7) en verder of juist minder ver indringen van zoet ondiepe grondwater al naar gelang de seizoenen.

Aangezien het zoutgehalte in de zoutprofielen vanaf grote diepte tot aan 4 m diepte min of meer constant en hoog kan zijn, duidt dit op een kwelsituatie. Immers bij infiltratie zou het zand onder het Holocene duidelijk verzoet moeten zijn, wat hier niet het geval is.



Figuur 5. Waterkwaliteit uit geleidbaarheidssonderingen op diepte 0-15 m -NAP (links) en 0-4 m -NAP (rechts)

2.4 Kwel en wegzijging

Er zijn geen directe cijfers over de kwel en wegzijging in Kruiszwijn beschikbaar. Echter kan de landelijke kwel-wegzijgingskaart gemaakt door het model LHM (Deltares) worden gedownload en geraadpleegd. Deze geeft de gemiddelde kwel/wegzijging in vlakken van 250x250 m over het hele land. Binnen Kruiszwijn geeft de kaart aan dat sprake is van wegzijging en wel van 0.015 mm/d. Dit is in feite heel weinig, maar duidt op een situatie waarin gemiddeld sprake is van infiltratie. De metingen in de peilbuizen lijken dit te bevestigen. De grondwaterstanden boven de het laagpakket van slappe klei-veen-blauwe klei zijn alle hoger dan de stijghoogten in peilfilters onder dit pakket. Dit moet uiteraard genuanceerd worden omdat een enkele meting weinig zegt over de gemiddelde situatie.

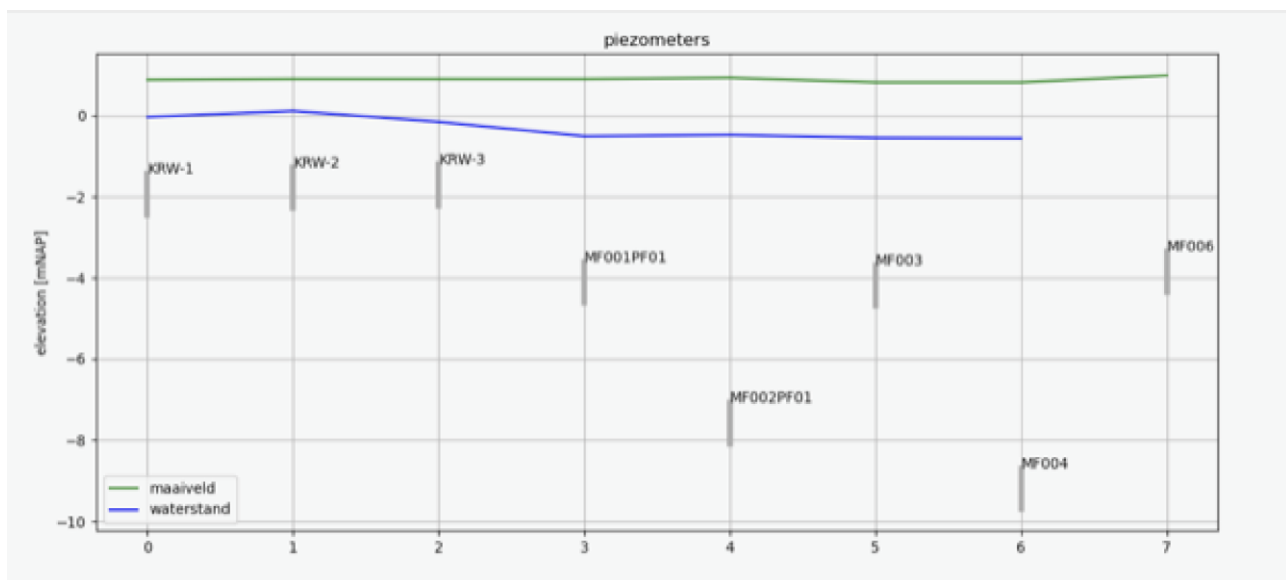
2.5 Grondwaterstanden en grondwatermeetreeksen

Figuur 6 toont een aantal peilfilters samen met de maaiveldhoogte en het in de peilbuizen gemeten waterpeil. Er zijn peilbuizen met een ondiep filter die zich deels in het ondiepe zand en de slappe klei zullen bevinden. Er zijn buizen met filter op NAP -4 m die in het veen of net in de top van het zand daaronder kunnen zitten. En er zijn buizen met filter op ca. NAP - 8 m, die zich duidelijk in het zand onder de klei-veen-kleilaag bevinden.

Er is geen peilverschil tussen peilfilters op ca. NAP -4 m en die op ca. NAP -8 m, wat erop duidt dat deze betreffende filters allen in het zand zijn geplaatst, onder de klei-veen-kleilaag, en dat er binnen dit Holocene zand tussen NAP -4 en -14 m geen stijghoogteverschillen aanwezig zijn, tenzij zout daarbij een rol speelt.

De ondiepe filters boven de klei-veen-klei laag blijken een grondwaterstand weer te geven die 10 tot 30 cm hoger is. Dat wil zeggen dat er op het moment van meting sprake was van inzijging en niet van kwel. Dat kan natuurlijk in de zomersituatie anders zijn, wanneer de grondwaterstand door verdamping en watergebruik door vegetatie en bomen diep wegzakt. Het is daarom ook raadzaam in de toekomst meer meetgegevens te verzamelen, met name tijdens droge zomerse perioden. Maar al met al, en met het oog op de beschikbare zoutprofielen, lijkt er langjarig sprake van inzijging, waardoor het ondiepe water boven de slappe klei zoet blijft. Hierbij speelt de iets hogere (NAP ~0.75-1 m) ligging van Kruiszwijn een gunstige rol.

De website van het LHM (landelijk hydrologisch model, <https://data.nhi.nu/>), heeft de resultaten van de gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstanden beschikbaar voor het hele land in vakken van 250x250 m. Voor Kruiszwijn wordt NAP 0.91 m voor de GLG en NAP 1.61 m voor de GHG gevonden. Deze getallen zijn onbruikbaar omdat de GHG dan driekwart meter boven maaiveld (straatpeil Kruiszwijn NAP 0.75 m) zou zijn en de GLG bijna een halve meter hoger dan de langjarig gemiddelde grondwaterstand vlakbij (zie Tabel 2).



Figuur 6. filters van de beschikbare peilbuizen in en rond de wijk met lokale maaiveldhoogte (groen) en gemeten grondwaterstand (blauw)

De continu gemeten grondwaterstandsreeksen voor het bovenste zand in de peilbuizen van Wareco, PB2.03 bij Kruiszwijn 1116 (xRD=111681, yRD=545066) en PB2.02 bij Kruiszwijn 1266 (xRD=111495, yRD=545002) geven tussen september 2019 tot september 2020 een gemiddelde waterstand van resp. NAP +0.07 en +0.26 m aan, hoogste waterstand van respectievelijk NAP +0.70 en +0.60 m en een laagste waterstand van NAP -0.30 en -0.12 m aan (Promenz, 2020).

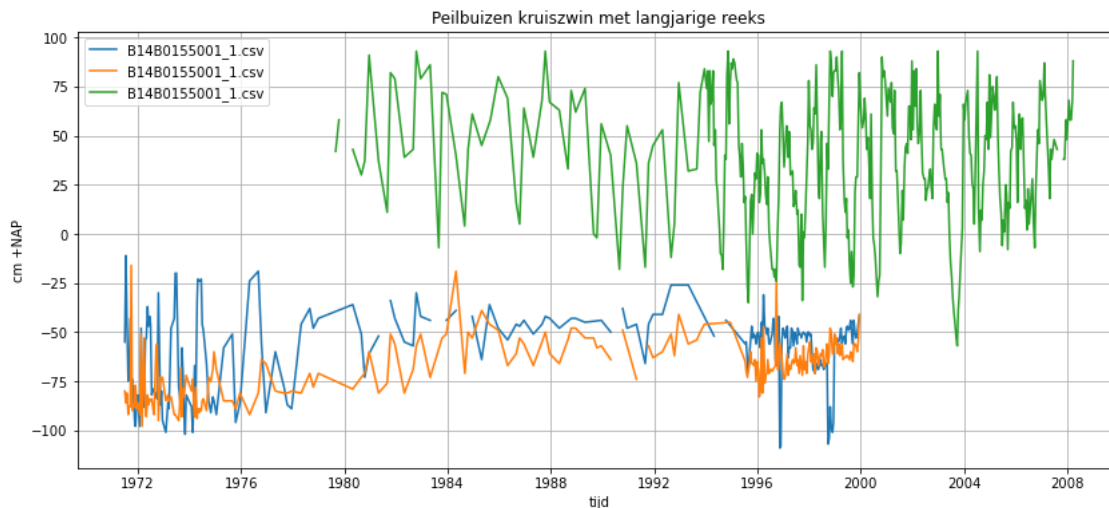
Het maatgevende polderpeil is NAP -0.40 m, en varieert enigszins door dynamisch beheer (Promenz 2010).

Op DinoLoket zijn over het gehele dorp slechts twee peilbuizen met daarin 3 filters met een grondwatermeetreeks te vinden. Deze zijn hieronder samengevat. De reeks van B14B0131 loopt van 1971 t/m 1999 en daarvan zijn de waarden vanaf 1980 genomen. De reeks B14B0155 loopt van 1979 t/m 2008 en daarvan is de eerste twintig jaar vergeleken met de laatste 9 jaar. We zien aan de getallen dat de reeksen weinig variëren, noch binnen het jaar (zie standaardafwijking) noch over een reeks van jaren (vergelijk de periodes). Ook blijkt dat binnen Julianadorp gemiddeld sprake is van wegzijging, aangezien het diepere filter van put B14B131 een lagere stijghoogte geeft dan het ondiepe filter en dan het ondiepe filter in de andere buis. Een en ander is goed te zien in het grafische verloop. Daaruit blijkt ook dat peilbuis B14B0155 heel anders reageert dan B14B0131 wat goed mogelijk is voor zeer ondiepe peilbuizen op 1250 m afstand van elkaar waarvan de lokale verschillen

groot kunnen zijn. Het ondiepe filter van B14B0131 heeft een grondwaterstand die gemiddeld 14 m onder het polderpeil ligt, B14B0155 een grondwaterstand die er gemiddeld 97 cm boven ligt.

Tabel 2 : Overzicht van grondwatergegevens onder en rond Julianadorp uit www.DinoLoket.nl

DINOLOKET								
Peilbuis	xRD	yRD	mv_NAP	BKF_NAP	OKF_NAP	Gemiddeld	StdAfw	Periode
B14B0131	112094	544172	0.24	-0.75	-1.75	-0.54	0.15	1980-1999
B14B0131	112094	544172		-7.85	-8.85	-0.68	0.1	1980-1999
B14B0155	111511	545268	0.98	-0.22	-0.75	0.37	0.32	1980-1999
B14B0155	111511	545268	0.98	-0.22	-0.75	0.37	0.33	2000-2008



Figuur 7. Langjarige 14-daagse metingen van de grondwaterstand en of stijghoogte in de filters binnen Kruiszwijn beschikbaar op www.DinoLoket.nl

Dus zowel de wegzijging volgens de kaart van DinoLoket, de oude peilbuismeetreeksen en de recent gemeten waterstanden in de beschikbare, deels gesondeerde peilbuizen duiden op een geringe wegzijging. Deze wegzijging wordt ongetwijfeld veroorzaakt door een eveneens lagere stijghoogte in het onderlinge Pleistocene pakket, waarvan helaas binnen de omgeving van Julianadorp geen gegevens lijken te bestaan. Dit diepe regionale pakket, met een geschat doorlaatvermogen dat enkele honderden keren zo groot is als het totaal van de zandlagen binnen het Holoceen (tot NAP -15 m), heeft een lage stand die wordt veroorzaakt door diepere polderniveaus verder van de kust.

Tenslotte geven ook de zoutprofielen een indicatie in samenhang met de boorprofielen. De 7 beschikbare zoutprofielen zijn hieronder samen met het bijbehorende boorprofiel getekend, inclusief een als maatgevend te beschouwen sleuf met de buis voor droogweerafvoer (DWA) en de buis voor hemelwaterafvoer (HWA). De buizen liggen niet op hetzelfde niveau, omdat de DWA onder strikt verhang wordt gelegd omdat deze niet geheel gevuld is, en de HWA op druk werkt en daarom zonder verhang wordt aangelegd.

2.6 Opbarsting

Bij bemaling boven een ondiepe scheidende laag is het essentieel te voorkomen dat de bodem van de ontgraving opbarst. Dit gebeurt zodra de korrelspanning onder de meest ondiepe slecht doorlatende laag onder de sleuf negatief wordt. De korrelspanning op een bepaalde diepte wordt berekend uit het totaalgewicht van de bovenliggende (natte) grond, die de totaalspanning levert, verminderd met de waterspanning, die uit de grondwaterberekening volgt. Er wordt geen rekening gehouden met niet-verticale spanningen, zoals die optreden direct onder de hoeken en buiten de wanden van de ontgraving. Dit is in het algemeen een veilige aanname, zeker bij ontgravingen van sleuven met beperkte breedte.

Uiteraard is ook de stabiliteit van de wanden van de sleuf essentieel. Bij ontgraving in klei zoals hier deels het geval is, kan deze niet met zekerheid middels bemaling worden gegarandeerd. In dat geval zullen de wanden van sleuf moeten worden gestut. In de resultaten wordt het berekende verloop gegeven van de verticale totaalspanning, waterspanning en korrelspanning, zowel midden onder de open sleuf als er ruim naast.

3 Constructie grondwatermodel

3.1 Seawat model

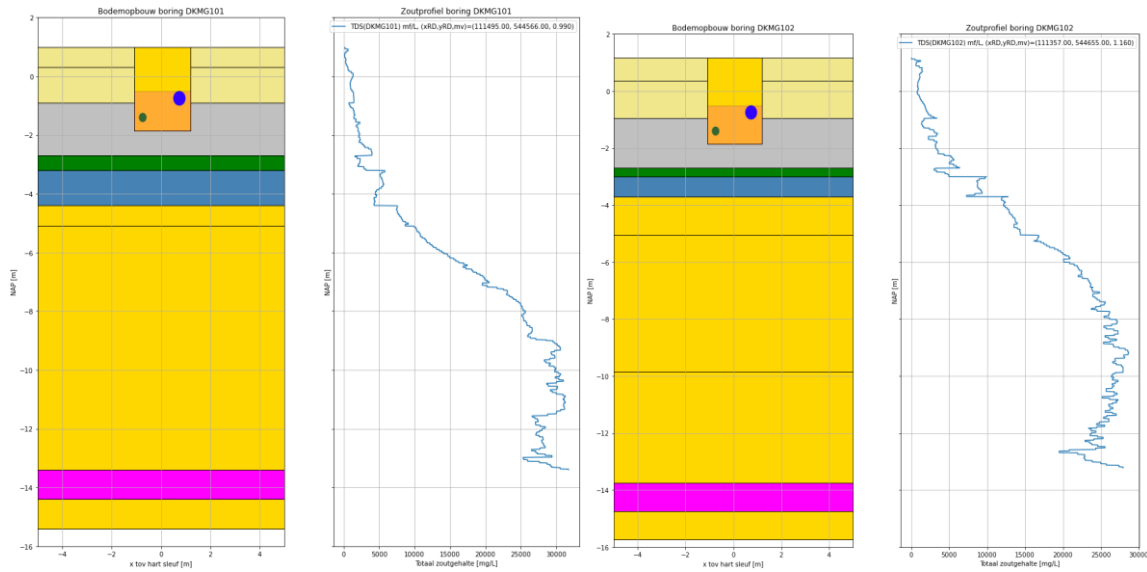
Voor de berekening van het verziltingsrisico is gebruik gemaakt van een numeriek model “Seawat” – voor meer informatie zie <https://www.usgs.gov/software/seawat-a-computer-program-simulation-three-dimensional-variable-density-ground-water-flow> - waarmee naast grondwaterstromen niet alleen de grondwaterstanden en -stijghoogten kunnen worden berekend, maar ook de verplaatsing van aanwezig zout water in beeld kan worden gebracht, rekening houdend met de dichtheid (soortelijk gewicht) van het aangetroffen brakke/zoute water. De berekeningen zijn beperkt tot enkele kenmerkende 2D-doorsnedes loodrecht op de te bemalen sleuf, die kenmerkend zijn voor de situatie. Een volledig 3D-model zou onnodig complex en tijdrovend zijn, terwijl er bovendien hiervoor nog meer data zou worden vereist.

De berekeningen zijn zowel in de lengterichting als dwarsrichting van het riool gemaakt, ter plaatse van de geleidbaarheidsonderingen (Wiertsema) en handboringen (Nectaerra). Voor Kruiszwijn 3-4-5 ontbreekt het DO, waardoor hier gewerkt is met aannames over de riolering.

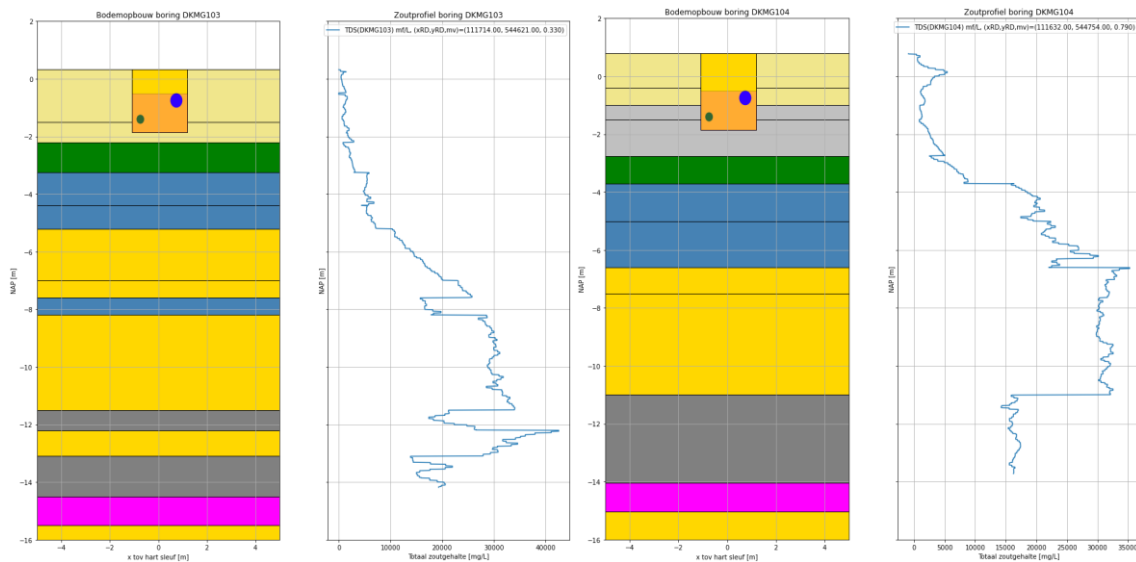
3.2 Bodem- en zoutprofielen en rioolsleuf

Figuur 8 t/m Figuur 11 geven een beeld van de representatieve sleuf (breedste en diepste, overeenkomend met knooppunt 0089 in bijlage II van Prommenz (2020) binnen het bodemprofiel en het zoutprofiel die beide door middel van sondering zijn bepaald. We zien in elk geval dat de sleuf hier niet door de kleilaag heen snijdt; er is hierdoor sprake van afschermende werking van de klei en het veen onder de sleuf, onder de voorwaarde dat geen filters tot onder deze klei-veen-kleilaag worden ingebracht (zie hoofdstuk bemaling), want dat zout direct tot het opmalen van zout water leiden.

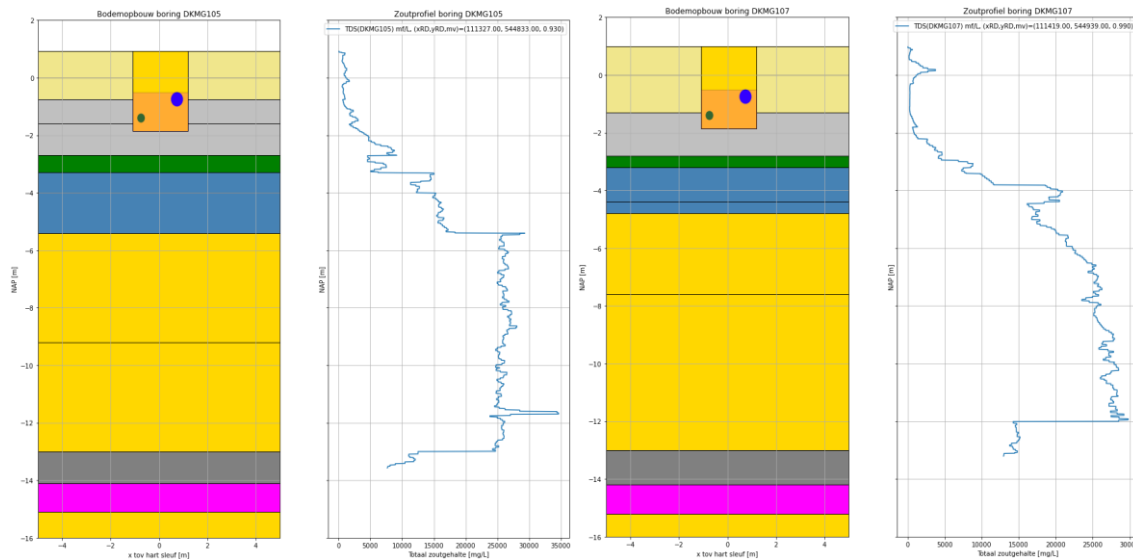
De zoutprofielen laten in de meeste gevallen een toename met de diepte onder de blauwe zeeklei zien, wat duidt op infiltratie van zoet water van bovenaf. Dit is consistent met het stijghoogteverval over de klei-veen-kleilaag tussen NAP -3 en -7 m. Tegelijkertijd kan ook aan de hand van deze profielen worden geconcludeerd dat de inzijging uiterst miniem moet zijn. Immers niet alle profielen laten een oplopend zoutgehalte zien en bovendien mag worden verwacht dat met enige mate van infiltratie van zoet water het hele holocene zandpakket tussen NAP -7 en -14 m zoet zou zijn geworden. Mogelijk is diffusie van zoet water van bovenaf een hier een belangrijk mechanisme; we weten uit onderzoek van het zoutverloop onder het IJsselmeer dat diffusie over een half millennium tot dergelijke zoutovergangen leidt. Dit impliceert dan ook direct dat de hydraulische weerstand van de klei-veen-klei laag fors moet zijn; bij een infiltratie van 0.015 mm/d midden in Julianadorp van de kwelkaart van het landelijk hydrologisch model, en een langjarig gemiddeld neerwaarts verval over de klei-veen-kleilaag van 14 cm (zie tabel boven) hoort een weerstand van 9000 dagen! Er is derhalve van nature nauwelijks stroming onder dit ondiepe scheidende laagpakket.



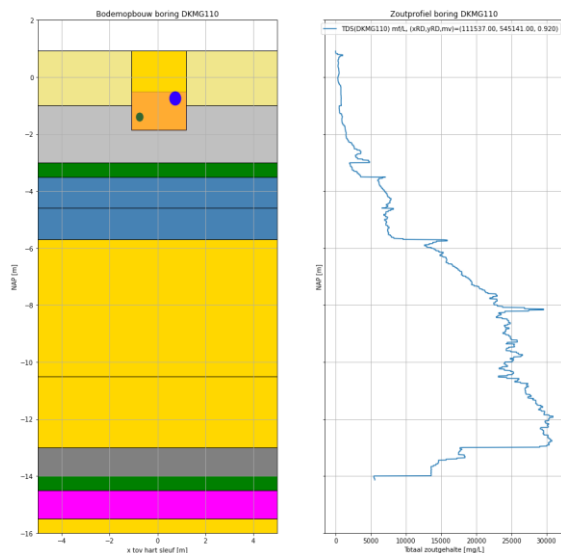
Figuur 8: Maatgevende sleuf met door sondering vastgestelde bodemopbouw en het ter plekke tevens gemeten geleidingsvermogen waaruit het totale zoutgehalte is afgeleid.



Figuur 9: Maatgevende sleuf met door sondering vastgestelde bodemopbouw en het ter plekke tevens gemeten geleidingsvermogen waaruit het totale zoutgehalte is afgeleid.



Figuur 10: Maatgevende sleuf met door sondering vastgestelde bodemopbouw en het ter plekke tevens gemeten geleidingsvermogen waaruit het totale zoutgehalte is afgeleid.



Figuur 11: Maatgevende sleuf met door sondering vastgestelde bodemopbouw en het ter plekke tevens gemeten geleidingsvermogen waaruit het totale zoutgehalte is afgeleid.

Deze boorprofielen en Figuur 4 tonen aan dat aan de basis van het Holocene ook een weerstandslaag aanwezig is, soms met basisveen. In het algemeen kan ook van het basisveen een aanzienlijke weerstand tegen verticale stroming van worden verwacht die gemakkelijk in de duizenden dagen kan lopen (Haarlemmermeer). Hoe de basis van het Holocene ruimtelijk is ontwikkeld weten we niet.

Het Pleistocene grove zand beneden het Holocene reikt van ca. NAP -16 tot -250 m en heeft met ca. 25 m/d (doorlaatvermogen orde 5000 m²/d, ten opzichte van ca. 70 m²/d voor de zandlaag binnen het Holocene tussen NAP -6 en -13 m) een dusdanig groot doorlaatvermogen, dat een bemaling binnen de holocene deklaag tussen NAP 6 en -13 m nauwelijks invloed kan hebben op de stijghoogte in het onderliggende Pleistocene pakket.

Wanneer overal onder Kruiszwijn de in de sonderingen aangetroffen klei en soms klei-veen laag beneden ca. NAP 13 m aanwezig is, blijft het waterbezwaar van een bemaling onder NAP -6 m in zekere zin beperkt (behoudens het hoge zoutgehalte dat het bemalingswater zou hebben). Wanneer deze slecht doorlatende laag onderin het Holocene (grijze en paarse laag onderin Figuur 4 en Figuur 8 t/m Figuur 11) onverhoopt in een deel van het gebied niet aanwezig zou zijn, neemt het waterbezwaar enorme proporties aan omdat dan rekening moet worden gehouden met het genoemde enorme doorlaatvermogen van onderliggende Pleistocene pakket. Het

waterbezwaar kan hierdoor een factor 50 groter uitvallen! Er is dus alle reden om bemaling onder NAP -6 m te voorkomen.

Voor het ontwerp wordt uitgegaan van de bodemopbouw zoals die is vastgesteld in de verschillende sonderingen. Voor de benodigde bemaling kunnen we de ondergrond zoals die van belang is voor de grondwaterstroming schematiseren tot de volgende sequentie:

1. Fijn zand aan top (ca. 2 m dik)
2. Klei en slappe klei (ca. 2 m dik)
3. Veen (enkele dm dik)
4. Blauwe zeeklei (ca. 2 m dik)
5. Fijn holocene zand (ca. 7 m dik)
6. Klei aan de basis van het Holocene (dikte onbekend, ca. 2 m)
7. Grof Pleistoceen zand met verticale anisotropie (tot NAP -250 m)

Tabel 3 toont de gehanteerde eigenschappen voor de lagen:

Tabel 3. Overzicht van de in het model gebruikte laagopbouw, modelparameters en parameterwaarden voor elk van de bodemlagen

	ibound	strthd	color	width	kh	kv	por	Sy	Ss	al	rho_s	rhob_dry	rhob_wet
name													
zand_H1	-1	0.00	khaki	1.25	5.000	1.000	0.35	0.20	0.00001	0.1	2650	1722.5	2072.5
klei_slap	1	0.00	silver	1.00	0.020	0.004	0.40	0.05	0.00001	0.1	2650	1590.0	1990.0
veen	1	0.00	green	1.25	0.005	0.001	0.50	0.20	0.00001	0.1	1200	600.0	1100.0
klei_blauw	1	-0.68	steelblue	1.00	0.020	0.004	0.35	0.05	0.00001	0.1	2650	1722.5	2072.5
zand_H2	-2	-0.68	gold	1.40	10.000	2.000	0.35	0.20	0.00001	0.1	2650	1722.5	2072.5
klei_Hb	1	-0.68	gray	1.00	0.020	0.004	0.40	0.05	0.00001	0.1	2650	1590.0	1990.0
veen_Hb	1	-0.68	green	1.25	0.005	0.001	0.50	0.05	0.00001	0.1	1200	600.0	1100.0
klei_Pleis_Top	1	-0.68	magenta	1.00	0.010	0.002	0.40	0.05	0.00001	0.1	2650	1590.0	1990.0
zand_Pleist	-3	-0.68	gold	1.60	6250.000	1.000	0.40	0.20	0.00001	0.1	2650	1590.0	1990.0
zand_trench	-4	-0.68	orange	1.60	8.000	8.000	0.35	0.20	0.00001	0.1	0	0.0	0.0
zand_ghb	-5	-0.68	brown	1.60	8.000	8.000	0.35	0.20	0.00001	0.1	0	0.0	0.0

De gekozen parameters zijn hierbij stress time head (strthd), horizontale en verticale doorlatendheid (Kh en Kv), porositeit (por), specific yield (Sy), specific storage (Ss), dispersiviteit (al), sedimentdichtheid (rho_s) en bulk dichtheid droog en nat (rhob_dry, rhob_wet).

Het Pleistocene pakket is in het model teruggebracht tot een laag van 1 m met een doorlatendheid gelijk aan het totale doorlaatvermogen. Voor de afvoer is in feite alleen de doorlatendheid van het ondiepe zand van belang. Dat is hier op 5 m/d aangehouden. Voor de afvoer maakt deze waarde niet uit omdat de factor al het neerslagoverschot hier 0.5 mm/d binnen het model naar de sleuf afwatert. De slugtests die zijn uitgevoerd gaven lagere waarden voor dit zand. Maar met lagere waarden staan de straten bij dit neerslagoverschot permanent blank. 5 m/d lijkt voor fijn zand een redelijke waarde.

De diepere lagen dragen nagenoeg niets bij aan her waterbezwaar, vanwege de veel lagere doorlatendheden.

Het 2D model is in totaal 500 m breed en de stijghoogte op de randen is in de zandlagen gefixeerd op de waarden zoals die in kolom *strthd* zijn weergegeven [m +NAP].

De stijghoogte onder de klei-veen-klei laag past bij de langjarige reeks die in Julianadrop beschikbaar is via www.DinoLoket.nl (zie Figuur 7 en Tabel 2). De aan de randen vastgehouden stijghoogte van NAP 0 m komt overeen met de natte situatie. Met het toegepaste neerslagoverschot van 0.5 mm/d is de stroming over de rand juist nul. De rand heeft dus geen invloed op de stroming, maar fungeert de facto als waterscheiding. De breedte

van de het model, 250 m ter weerszijde van de sleuf is in overeenstemming met de gemiddelde afstand vanaf Kruiszwijn tot lokaal oppervlaktewater.

De randvoorwaarde ter plaatse van de sleuf zijn enigszins bijzonder, namelijk waterdruk is gelijk nul, oftewel stijghoogte is gelijk plaatshoogte. Dit geldt altijd voor vlakken waar het water vrij uit een talud stroomt.

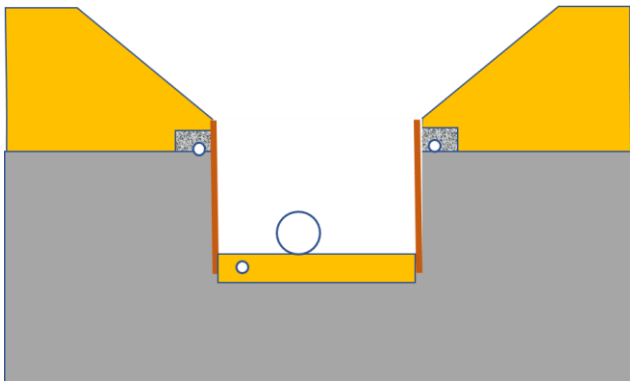
Alleen wanneer risico voor opbarsten van de uitgegraven sleuf bestaat, moet ook in het zand tussen NAP -7 m en NAP -14 m worden bemalen. In de resultaten hierna zal blijken dat dat niet nodig is.

3.3 Bemaling

Om het oude riool te verwijderen en het nieuwe riool aan te kunnen brengen, moet worden bemalen. Het risico van het nieuwe riool moet dus ook worden gezien in termen van het bemalingsrisico tijdens de aanlegfase.

Vanwege de klei-veen-kleilaag tussen NAP -1 en -6 m, die een grote weerstand heeft, zoals hiervoor afgeleid uit overige hydrologische informatie (o.a. stijghoogteverval en zoutprofielen), moet het freatische grondwater dat in de bovenste zandlaag over de klei naar de open sleuf stroomt aan de rand van de sleuf worden afgevangen door drainage op de top van de kleilaag, eventueel in combinatie met een verticale bronbemaling (de mogelijkheden hiervan dienen verder beoordeeld te worden). Een drain aan beide zijden van de sleuf op de klei lijkt op basis van de huidige informatie hiervoor nu een mogelijkheid (Figuur 12).

Hiermee kan de sleuf echter niet worden droog getrokken omdat zich deze deels onder de top van de kleilaag bevindt. Het water dat uit de wanden van de sleuf nog in de sleuf stroomt moet daar samen met regenwater uit worden verwijderd. Dit kan het beste geschieden met een drain in een zandlaag onder in de sleuf, waar de rioolbuis bovenop wordt gelegd. De drain kan het best in een laag van ca. 30 cm drainagezand worden gelegd (Figuur 12).



Figuur 12: Principeschets van de bemaling van de sleuf (drains op de klei en een (of twee) drains op de bodem van de sleuf).

De kleiwanden van de sleuf zijn niet gegarandeerd stabiel. Mogelijk zullen ze moeten worden gestut. Gedurende het werk zal water uit deze kleiwanden kunnen blijven sijpelen.

Bemaling onder NAP -6 m heeft alleen zin om opbarsten van de bodem van de sleuf te voorkomen, indien daar risico voor is. De berekening van het verloop van de korrelspanning onder de bemalen sleuf laat zien dat de korrelspanning onder de sleuf tot ca. NAP -5 m, dus nog binnen de slecht doorlatende laag negatief wordt, enkele dm uitgedrukt in m H₂O. Aan de onderzijde van de klei-veen-zandlaag is de korrelspanning echter positief, waardoor geen gevaar bestaat van opbarsten van de bodem van de sleuf. Zie verder 4.3.

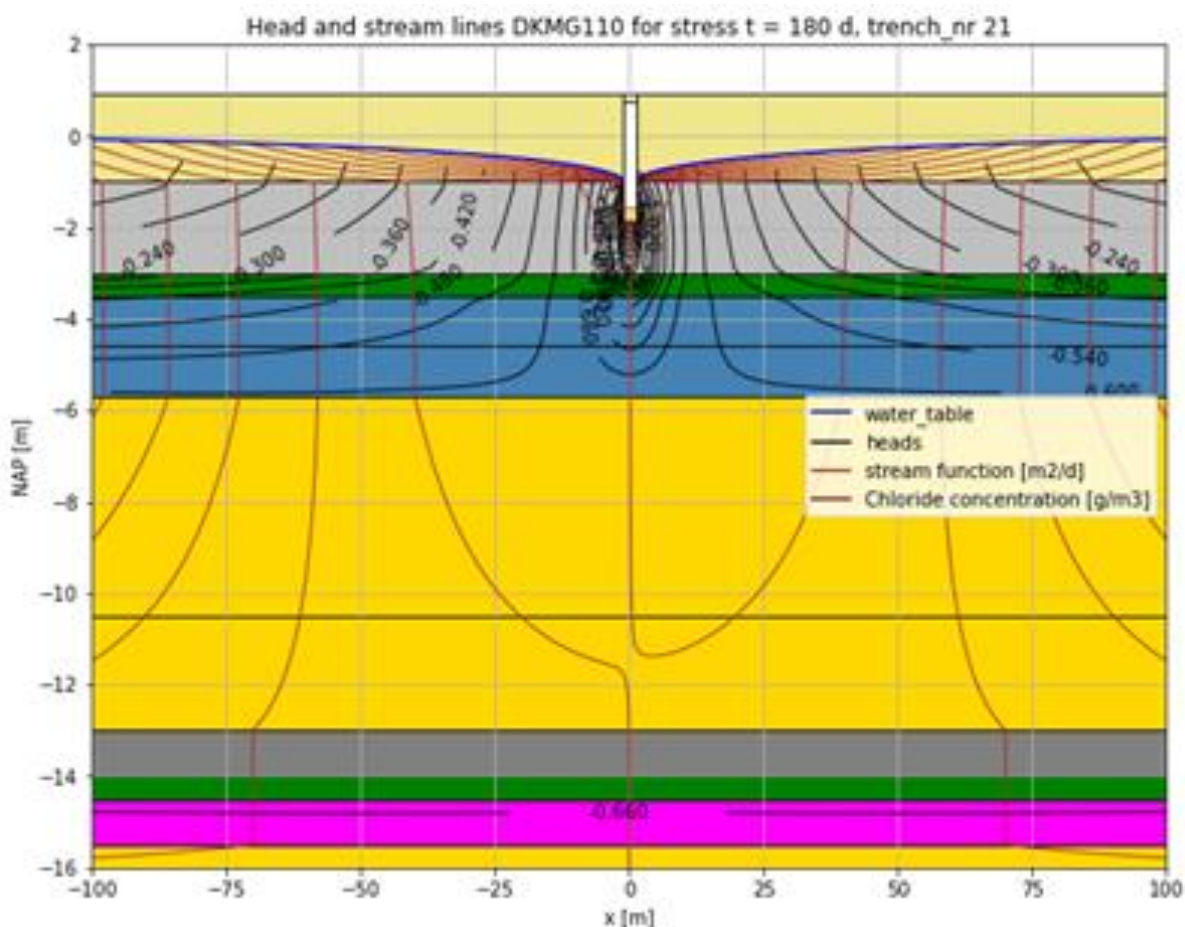
Gelukkig maar, want onttrekken in de laag onder NAP -6 m zou onmiddellijk leiden tot het opmalen van bremszout water. Immers, filters onder NAP -6 m zouden zout water in deze laag tussen NAP -6 en -13 m ongehinderd aantrekken, terwijl de recent gemeten zoutprofielen laten zien dat het water in deze zandlaag, en zeker onder in deze laag, bijna even zout is als zeewater. Het lozen van dit water in de polder zal onacceptabel zijn voor het waterschap.

4 Modelresultaten

4.1 Risico van zoute kwel

Figuur 19 geeft een doorsnede met daarin de bodemopbouw en de sleuf die voor dit project representatief wordt geacht (breedste en diepste in het project). In blauw is het freatisch vlak weergegeven. De bruine lijnen zijn de stroomlijnen. De zwarte zijn de lijnen van gelijke stijghoogte. De getallen in deze lijnen geven de stijghoogte in m +NAP. Tussen elk paar stroomlijnen stroomt evenveel water. Uit het patroon dan derhalve worden opgemaakt dat praktisch al het toestromende water afkomstig is uit de ondiepe zandlaag boven NAP - 1 m. Enkele stroomlijnen lopen verticaal door de kleilaag omdat de stijghoogte onder de klei-veen-kleilaag lager is dan erboven.

Hieruit wordt geconcludeerd dat het risico op zoute kwel puur door aanwezigheid van de sleuf verwaarloosbaar is.

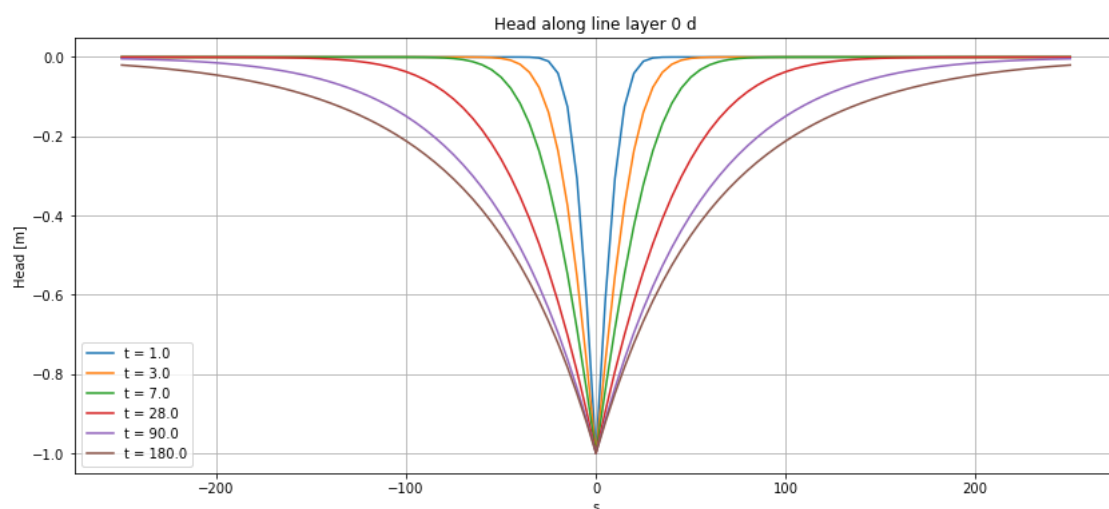
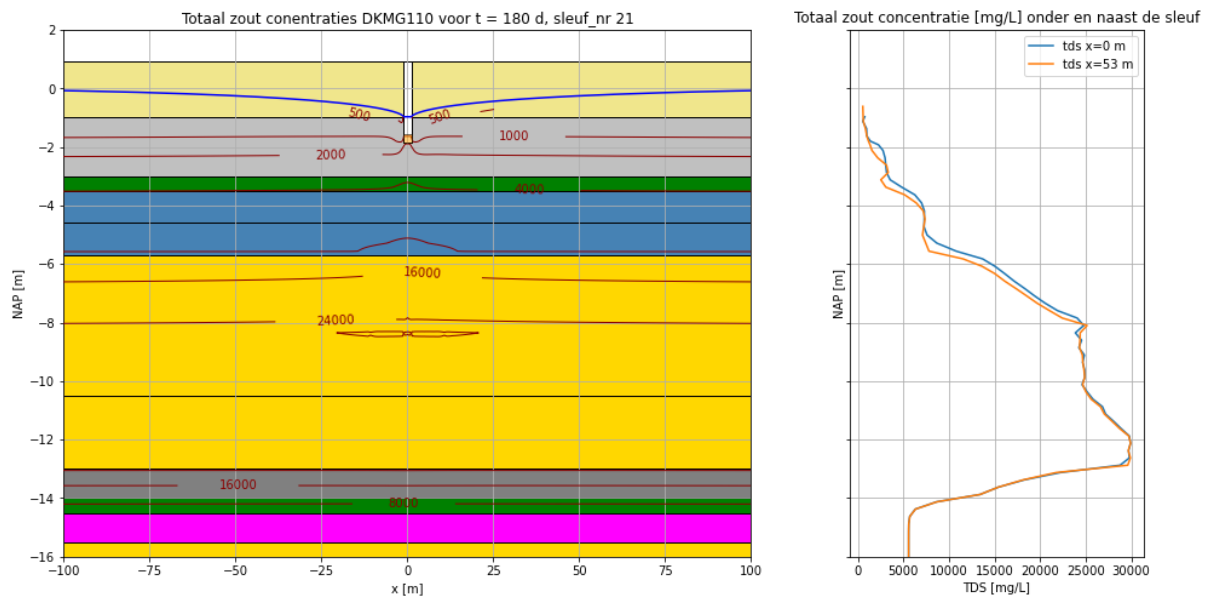


Figuur 13. Doorsnede van een maatgevende werksleuf met freatisch vlak (blauw), stroomlijnen (bruin) en isolijnen van de grondwaterstijghoogte (zwart) samen met de laagopbouw bij sondering DKMG110.

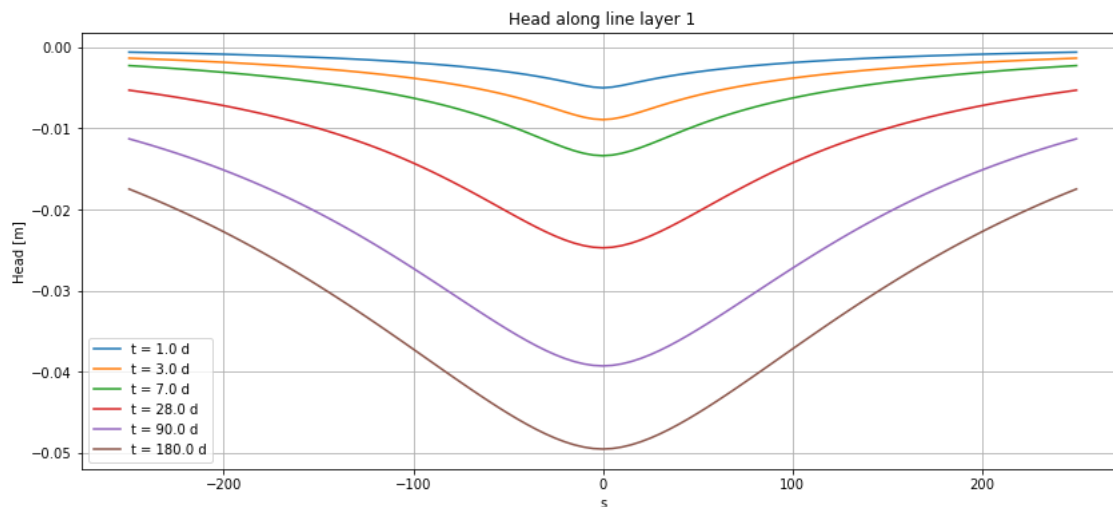
4.2 Risico op zoute kwel door bemaling

Het grootste waterrisico lijkt zich in de bemaling te bevinden. Figuur 14 toont daarom dezelfde doorsnede met hetzelfde freatisch vlak, maar nu met de bruine lijnen van gelijk zoutgehalte na een half jaar continu bemalen. De getallen in de lijnen geven het totaal zoutgehalte (TDS) in mg/l.

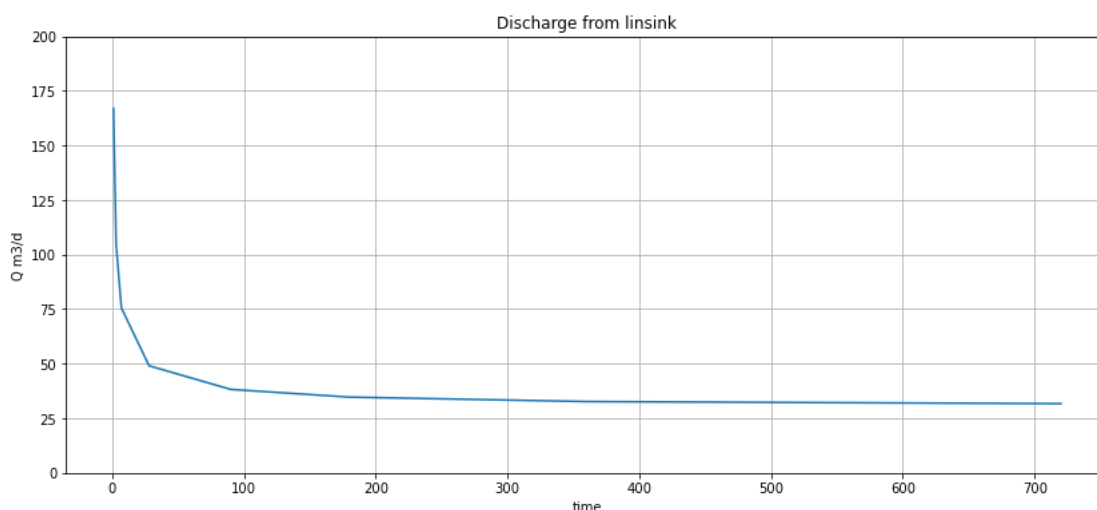
Rechts in hetzelfde figuur staan twee zoutprofielen na 180 d bemalen. De locatie van de blauwe lijn is midden onder de sleuf en de oranje lijn ligt 50 m naast de sleuf. Deze lijn is nog ongewijzigd na 180 dagen en dus gelijk aan het zoutprofiel zoals dat indirect is vastgesteld via het tijdens de sondering gemeten geleidingsvermogen.



sleuf tot NAP -2 m en de onderkant van de sleuf (fysisch niet mogelijk maar rekentechnisch wel) wordt de verlaging onder de sleuf na 180 d 10 cm; nog steeds te verwaarlozen.



Figuur 16. Verlaging in de zandlaag tussen NAP -6 en -13 m, onder de klei-veen-kleilaag door de bovenliggende sleuf waarin de verlaging 1 m bedraagt.



Figuur 17. Afvoer van de sleuf van 100 m bij verlaging van NAP 0 m naar NAP -1 m aan de rand van de sleuf (aan beide zijden).

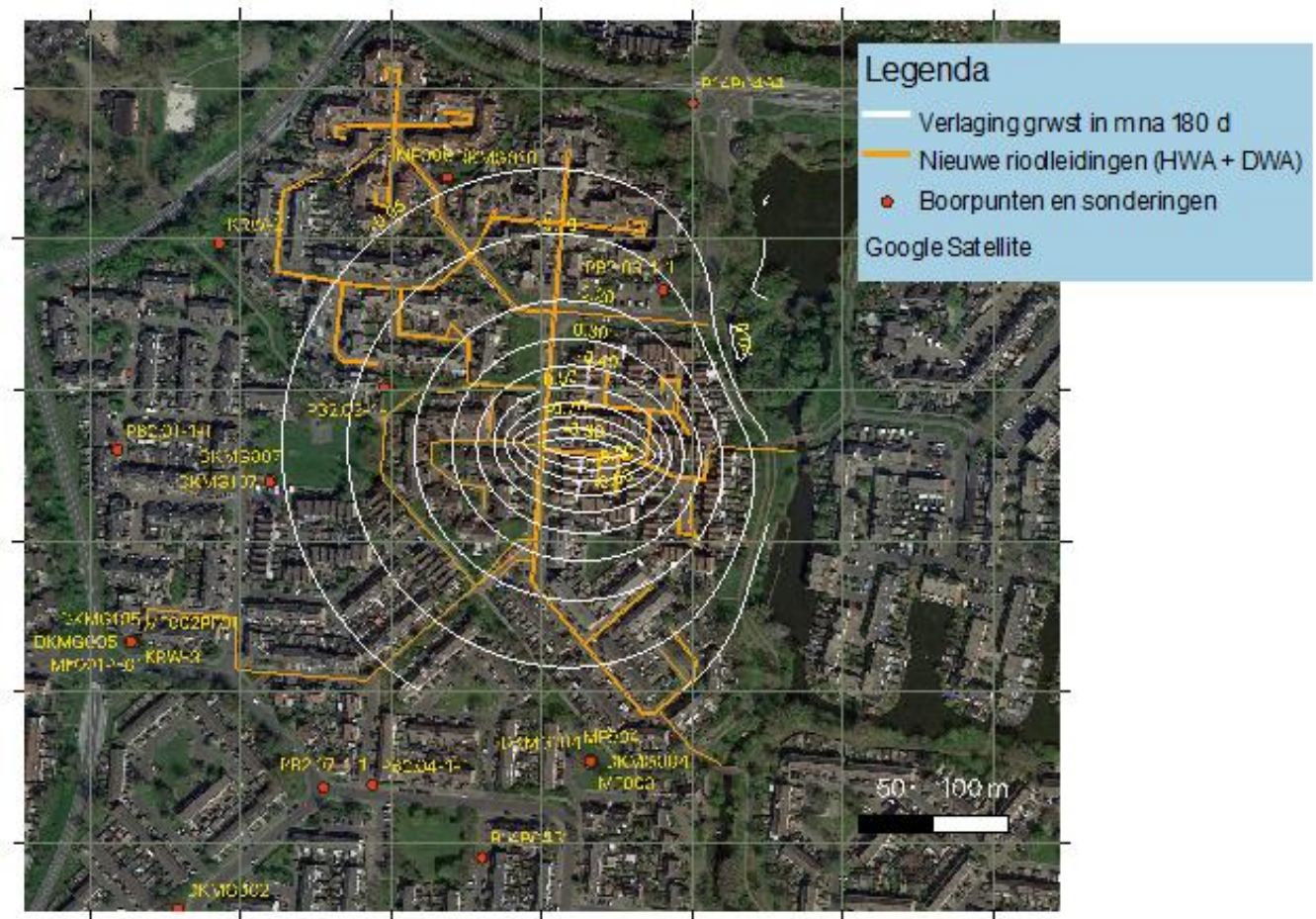
Het afvoerdebiet van de sleuf neemt af naarmate de bemaling langer duurt. Na een half jaar is het debiet afgenomen van rond 120 m³/d gemiddeld gedurende de eerste week tot ca. 38 m³/d na 180 d, terwijl de afvoer daarna nauwelijks meer verandert.

Deze berekening houdt geen rekening met neerslagoverschot omdat de verlaging wordt berekend ten gevolge van de bemaling van de sleuf en niet de situatie die ontstaat. De berekende afvoer is groter dan in werkelijkheid zal optreden omdat de analytische berekening geen rekening kan houden met de afnemende natte dikte van de toplaag, waardoor de stroming steeds meer gehinderd wordt; de overschatting is ca. een factor 2. Daarom is de grafiek hierboven een ruime raming van het te verwachten bemalingsdebiet.

In Figuur 18 wordt het ruimtelijk beeld gegeven van de berekende verlaging door een sleuf van 100 m lang, 180 d na het begin van de bemaling. In de werkelijkheid zal de werksleuf voortdurend worden verschoven naarmate het werk zich over de wijk verplaatst. De hier uitgevoerde berekening moet als kenmerkend worden gezien.

De verlaging zal uiteindelijk langer duren, wanneer de voortdurend zich verplaatsende sleuf als een enkele bemaling wordt opgevat. Hierdoor zal de verlaging zich verder kunnen verspreiden. Anderzijds wordt de

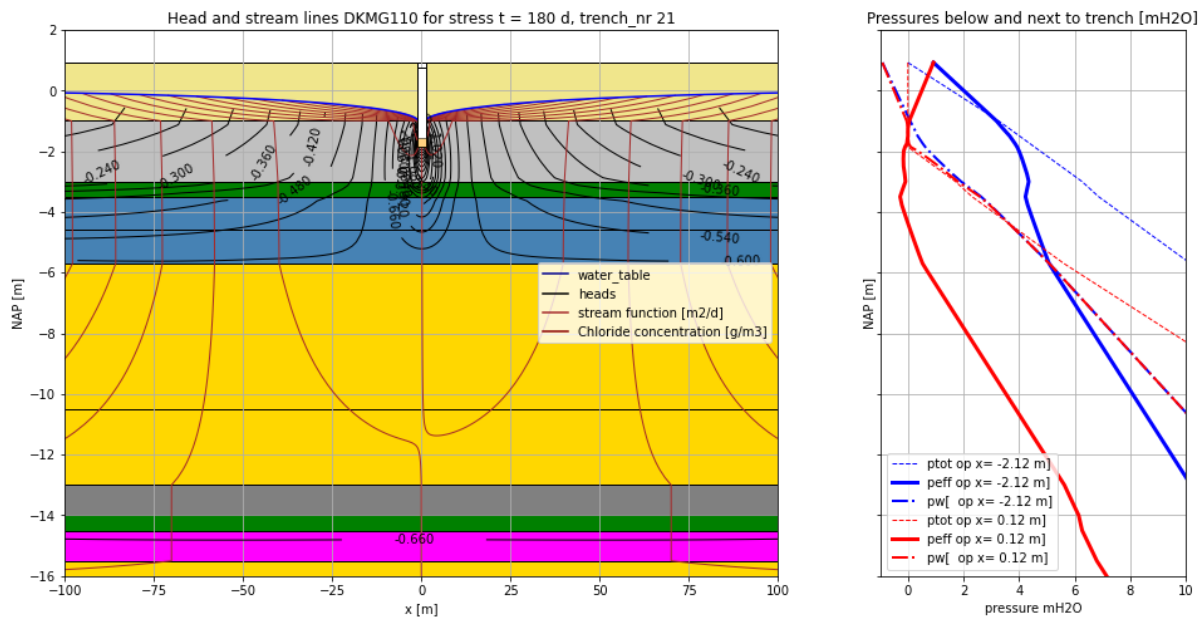
verlaging in natte winterperioden ook een halt toegeroepen waar drainage aanslaat bij toenemende grondwaterstanden. Aangezien de locatie en hoogte van drainages in Kruiszwijn 3-4-5 nog niet duidelijk zijn, is een verdere, uitgebreide bemalingsanalyse en -advies hier niet zinvol.



Figuur 18. Verlaging in de ondiepe zandlaag na 180 dagen bemaling van een 100 m lange sleuf. Verlaging in de sleuf is 1 m

4.3 Risico van opbarsting

Rechts van Figuur 19 is het verloop van de drukken weergegeven. De rode lijnen voor de situatie midden door de sleuf, de blauwe voor de situatie naast de sleuf. Van elke kleur zijn drie lijnen met verschillend lijntype weergegeven. De stippellijn geeft de totale druk weer; de streep-punt lijn geeft de waterdruk en de getrokken dikke lijn geeft de korrelspanning. Alle drukken zijn weergegeven in mH_2O . De totale druk is altijd nul aan maaiveld. De waterdruk is nul op het freatisch vlak en daarboven negatief, waardoor de korrelspanning boven het freatisch vlak altijd positief is. De getrokken rode lijn laat zien dat de korrelspanning onder de sleuf negatief wordt tot ca. NAP 4.5 m. Deze negatieve korrelspanning is maximaal maar enkele dm H_2O . Echter onder de scheidende laag op NAP -5.95 m is de korrelspanning positief. Er is om deze reden geen risico dat de bodem van de sleuf opbarst.



Figuur 19. Doorsnede van een maatgevende werksleuf met freatisch vlak (blauw), stroomlijnen (bruin) en isolijnen van de grondwaterstijghoogte (zwart) samen met de laagopbouw bij sondering DKMG110. Rechts de drukken onder (rood) en naast de sleuf (blauw). Gestippeld is de totale druk, dikke streep-punt lijn is de waterdruk en de dikke getrokken lijn is de effectieve druk, de korrelspanning. Alle drukken zijn uitgedrukt in meters waterkolom voor gemakkelijker begrip van de figuren. De korreldruk onder de sleuf is tot ca. NAP -5 m enkele dm negatief, maar de korrelspanning onder de slecht doorlatende blauwe kleilaag is positief, wat het pakket bestand maakt tegen opbarsten.

4.4 Gevoeligheid van de uitkomsten voor bodemparameters

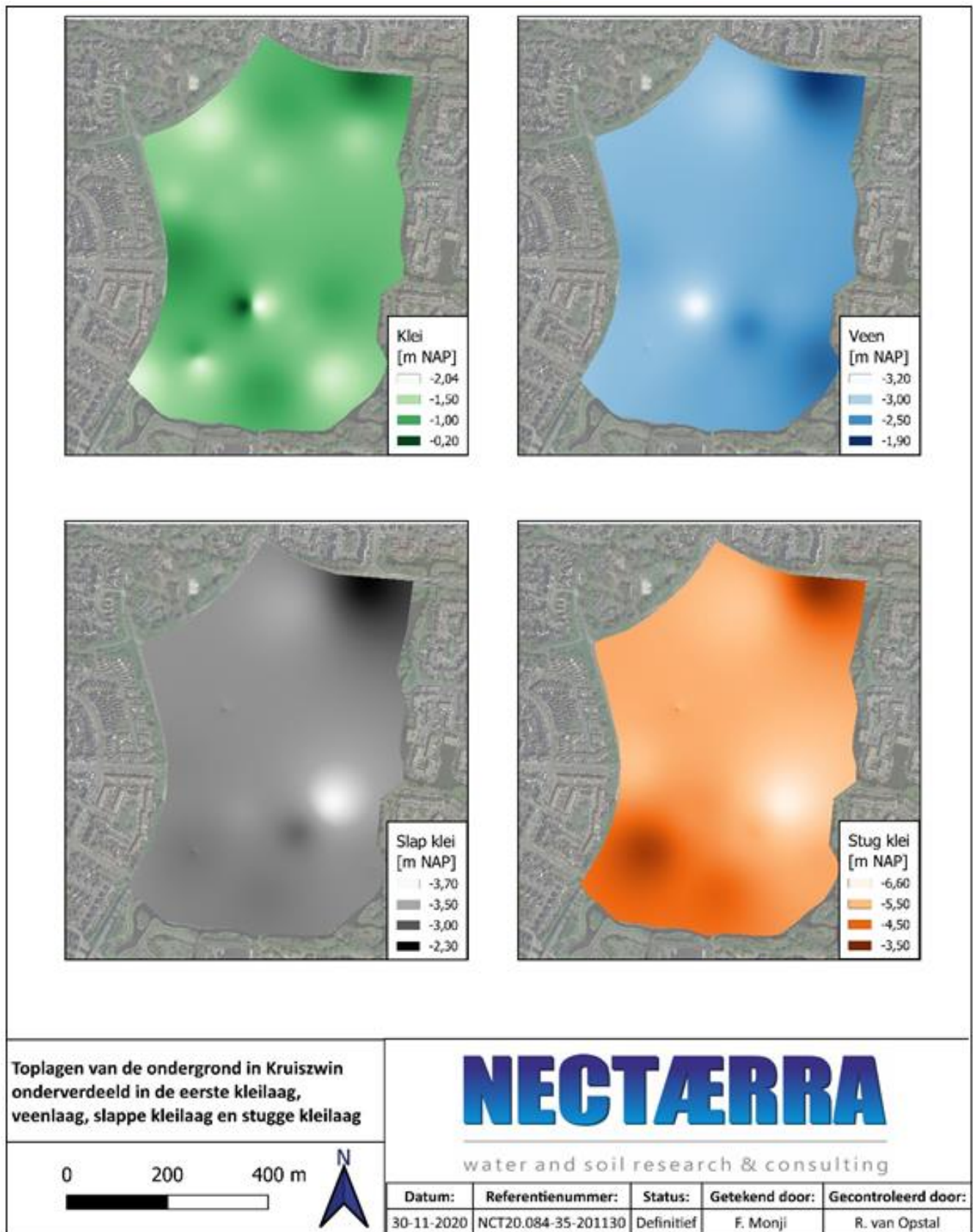
De gebruikte bodemeigenschappen zijn in Tabel 2 weergegeven. De uitkomsten hangen uiteraard af van deze getallen. Het belangrijkste risico is aanstroming naar de sleuf vanuit de ondiepe zandlaag tijdens de aanlegfase (bemaling). Deze laag is door zijn geringe doorlaatvermogen, en de onmogelijkheid daarin de stijghoogte verder te verlagen dan de top van de laag klei op NAP -1 m, altijd zeer beperkt. De toegepaste doorlatendheid van dit fijne zand, $k_h=5$ m/d, is hoger dan wat uit de slugtests is afgeleid, waardoor het berekende waterbezwaar eerder een overschatting dan een onderschatting is.

Een andere cruciale factor is de verticale hydraulische weerstand van het pakket klei-veen-blauwe klei tussen NAP -1 en -6. De weerstand hiervan is zeer hoog in te schatten op grond van met name de zoutprofielen; deze kunnen in samenhang met het vastgestelde neerwaartse stijghoogteverval over deze laag alleen maar bestaan wanneer de infiltratie van bovenaf te verwaarlozen is. Gekwantificeerd komt dit uit op 9000 d. In het model is de totale weerstand van deze laag zekerheidshalve een stuk kleiner gekozen, nl. 1500 d. Met deze getallen zijn waarden gekozen die aan de veilige kant zijn. Aan de onderzijde van het Holocene is een weerstand van 1250 d aangehouden. Weerstand is waarschijnlijk ruimtelijk nagenoeg overal aanwezig gezien het voorkomen van klei in praktisch alle sonderingen tot ca. NAP -13 á 16 m (Figuur 4) en in een sondering ook veen. Omdat de aanzuiging van de sleuf uit de diepere laag gering is door de remmende klei-veen-kleilaag die zich nog onder de sleufbodem bevindt, heeft deze weerstand nauwelijks invloed op de uitkomst. Praktisch het gehele waterbezwaar tijdens afgraving komt vanuit toestroming door de ondiepe zandlaag. De situatie wordt uiteraard geheel anders indien toch onttrokken gaat worden onder de klei-vene-kleilaag, dus beneden NAP -6m. Dit is bij de sleuven zoals noodzakelijk zijn voor de aanleg van de riolering (tot NAP -2 m) sterk af te raden omdat dit leidt tot het direct aanzuigen van zeer zout water (nagenoeg zeewater) terwijl het een verwaarloosbaar effect heeft op het drooghouden van de sleuf; door de klei-veen-kleilaag stroomt nauwelijks water.

5 Bronnen

- ICW (1982) Grond- en oppervlaktewater Noord-Holland Benoorden het IJ. Kwaliteit, kwantiteit. ICW Regionale Studies 16. Wageningen. Door K.E. de Wit e.a. Projectgroep Noord-Holland van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. 185pp.
- Nectaerra, 2020. NCT20.084-35-201201 (Conceptrapport 2C veldonderzoek Kruiszwijn)
- Prommenz (2020) Rioolontwerp Kruiszwijn 1 + 2. Ontwerp hemelwaterafvoer en droogweerafvoer. Concept. In opdracht van Gemeente Den Helder.
- www.DinoLoket.nl Gegevens grondwaterputten en grondwaterverloop.
- www.NHI.nu Gegevens GLG, GHG, kwel/wegzijging (Landelijk Hydrologisch Model)
- Wareco. Gegevens peilbuizen Kruiszwijn.

Bijlage A. Lithologische topkaarten



Bijlage B. Ligging rioolleidingen t.o.v. eerste kleilaag

