

BEMALINGSADVIES KRUISZWIN 3-4-5

Conceptrapportage, 2 februari 2022



Colofon

CLIENT	Gemeente Den Helder
DOCUMENT TITEL	Bemalingsadvies Kruiszwijn 3-4-5
REFERENTIE	NCT21.102-35-220202
STATUS	Definitief
DATUM	2 februari 2022
CLIENT	Nectærra B.V. Lage Naarderweg 45 1217GN Hilversum 035-2050033 info@nectaerra.com www.nectaerra.com

Inhoud

1	Samenvatting, conclusies en aanbevelingen	4
2	Inleiding.....	5
2.1	Achtergrond en projectlocatie	5
2.2	Scope.....	5
3	Vooronderzoek bodem, water en DO	6
3.1	Bodemopbouw.....	6
3.2	Grondwater en oppervlaktewater	6
3.3	Bebouwing	6
3.4	Rioldieptes en sleufbekistingen	6
4	Werkwijze.....	7
4.1	Uitgangspunten ontgraving	7
4.2	Modellocaties als uitgangspunten	7
5	Resultaten en bemalingsadvies.....	9
5.1	Bemalingsdebiet en omgevingseffecten.....	9
5.1.1	Aannames.....	9
5.1.2	Resultaat	9
5.2	Opbarstrisico inclusief gewelfwerking	11
5.2.1	Theoretisch achtergrond.....	11
5.2.2	Resultaat	12
5.3	Retourbemaling.....	12
6	Referenties	13
A.	Bodemprofielen Grondslag en Nectaerra	14
B.	Modeluitkomsten.....	16
a.	Locatie 1	16
b.	Locatie 2	18
c.	Locatie 3	19
C.	Retourbemaling, ter informatie	22

1 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

- Er wordt ontgraven in het freatisch zandpakket en een deel van het onderliggende kleipakket. Bemaling is noodzakelijk om de sleuf te ontwateren. Er wordt een combinatie geadviseerd van verticale bronbemaling van het zandpakket in combinatie met een horizontale bemaling (drains) onder in de ontgravingsleuf voor het water afkomstig uit het kleipakket en water dat langs de randen van de sleuf (uit het zandpakket) in de sleuf komt.
- De bodemopbouw is niet uniform te noemen. De bodemopbouw bestaat wel uit zand op klei op zand, maar op korte afstanden kunnen de laagdiktes verschillen. Samen met grondwatervariaties tijdens het werk kan dit het risico op opbarsting plaatselijk verhogen.
- Vanwege de heterogeniteit van de ondergrond en verschillende dieptes van ontgraving is gekozen het risico van opbarsting te berekenen op een drietal locaties met de grootste ontgraving. Deze locaties, allen met een ontgraving tussen NAP -1.84 en -2.50 m, geven aan dat opbarsting onwaarschijnlijk is, mede gezien de geringe lengte, breedte en diepte van de ontgraving en daardoor optredende gewelfwerking. Voorbij een diepte van ca. NAP -1.8 m dient het echter wel de aanbeveling extra alert te zijn op het optreden van opbarsting en daarvoor voorzorgsmaatregelen achter de hand te houden. Dit is met name het geval indien lokaal overwegend zand zou worden afgegraven. Boringen en sonderingen duiden er echter op dat ook een afsluitende kleilaag aanwezig is.
- Ter voorkoming van opbarsting wordt het volgende geadviseerd:
 - o Het ontgraven zand en klei apart op te slaan en na de werkzaamheden beide weer terug te storten op de oorspronkelijke diepte.
 - o Een beperkte hoeveelheid klei in de depot te houden om bij opbarsting onmiddellijk de sleufbodem te verzwaren, dan wel geheel vol te storten.
 - o Indien opbarsting is opgetreden kan het waterpeil worden verlaagd door een extra bemaling. Geadviseerd wordt hiervoor allereerst enkele peilbuizen te plaatsen voor grondwatermonitoring. Gezien de geringe afmetingen van de ontgraving en het geringe risico op opbarsting (en daarmee de hoeveelheid water) volstaat waarschijnlijk het verlagen van het grondwaterpeil door de peilbuizen aan te sluiten op de verticale bronbemaling. De diepte van de peilbuizen zal in principe gering zijn; ofwel in een meer doorlatende laag in het kleipakket of in het zandpakket net daaronder. Een diepere retourbemaling lijkt niet noodzakelijk.
 - o De ontgraving niet langer dan noodzakelijk open te laten vanwege het risico op zettingen en opbarsting.
- De berekeningen zijn hetzelfde voor een sleuf met bekisting of een open sleuf. In beide gevallen is sprake van vrije uitstroming en zal ook bekisting water waarschijnlijk niet tegenhouden de sleuf te bereiken.
- De ontgraving en aanleg van de riolering geschiedt in delen, waarbij steeds een sleuf van 25 m open zal liggen en worden bemalen. Wellicht zal op verschillende plekken in de wijk aanlegwerkzaamheden worden uitgevoerd. Details hierover zijn nog niet bekend. Er wordt daarom uitgegaan van bemaling van een sleuf van 25 m die gedurende de aanlegwerkzaamheden open zal zijn en met de werkzaamheden zal verschuiven. Dit betekent enerzijds dat de locatie van de onttrekking van week tot week verschuift, en anderzijds dat de netto duur van de onttrekking veel langer zal zijn dan de duur van de werkzaamheden aan, in en rond een enkele sleuf van 25 m. Om een zo redelijk mogelijk inzicht te geven in het effect van de bemaling op het freatisch vlak is ervoor gekozen om voor een sleuf van 25 m de verlagingen te berekenen na 180 dagen continu bemalen. De locatie van de bemaling heeft geen effect op het invloedsgebied van de bemaling, behalve in de buurt van open water (effect minder).
- Het totale debiet zal uitkomen tussen de ca. 10 m³/d en 22 m³/d uitkomen voor een sleuf van 25 m lang, afhankelijk van de aanwezige laagdiktes en grondwaterstanden tijdens het werk. Afvoer is dus gering.

2 Inleiding

2.1 Achtergrond en projectlocatie

De opdrachtgever is voornemens de riolering te vervanging in de wijk Kruiszwijn 3-4-5 te Julianadorp. Er is een bemaling nodig om de werkzaamheden droog te kunnen uitvoeren. De opdrachtgever heeft aan Nectaerra BV de opdracht verleend voor het opstellen van een bemalingsadvies in de wijk Kruiszwijn te Julianadorp. Tijdens het opstellen van het bemalingsadvies wordt er gebruik gemaakt van een 2D grondwatermodel in MODFLOW. Alvorens het model te kunnen gebruiken, zijn er randvoorwaarden en uitgangspunten nodig om berekeningen met het model te kunnen uitvoeren.

Aan de hand van aangeleverde bodem informatie en definitief ontwerp (DO) van Kruiszwijn 3-4-5 worden de randvoorwaarden en uitgangspunten samengesteld. In deze memo wordt kort de bevindingen van het aangeleverde data geanalyseerd in hoofdstuk 2. Vervolgens worden de randvoorwaarden en uitgangspunten voor het model bepaald en de mogelijke modelscenario's in een tabel geïntroduceerd in hoofdstuk 3.

2.2 Scope

Voor de drie scenario's zijn de volgende onderdelen bepaald:

- Minimaal en maximaal te onttrekken debiet;
- Het stijghoogteverloop en invloedsfeer in de omgeving veroorzaakt door de grondwateronttrekking.

3 Vooronderzoek bodem, water en DO

3.1 Bodemopbouw

De bodemopbouw en maaiveldhoogte zijn geïnventariseerd op basis van uitgevoerde sonderingen aangeleverd door de opdrachtgever, uit het Dinoloket/GeoTop en AHN3 (www.pdok.nl). Ter plaatse blijkt het volgende:

- De maaiveldhoogte ligt op gemiddeld NAP 0.75 m.
- De eerste bodemlaag (freatisch, goed doorlatend) bestaat uit zand; diepte maaiveld tot ca. NAP -1 m;
- De tweede laag (overwegend slecht doorlatend) is overwegend klei, met plaatselijk veen en zand; diepte van ca. NAP -1 m tot -5-6 m.
- De derde laag is goed doorlatende zandlaag van NAP -5-6 m tot ruim NAP 250 m;

In aanvulling op het eerdere onderzoek (Nectaerra, 2021) is een controle uitgevoerd op grondprofielen uitgevoerd door Grondslag BV binnen Kruiszwijn 3-4-5. Zie Bijlage A. De grondprofielen van Nectaerra/Wiertsema zijn hierin opgenomen.

De bodemprofielen van Grondslag waren weergegeven t.o.v. het maaiveld, waardoor de juiste correlatie van profielen t.o.v. NAP niet mogelijk is. De profielen bevestigen echter het beeld. Ze tonen het bovenste zandpakket, maar meestal alleen de bovenkant van het kleipakket. Enkele boorprofielen (44, 58, 83, 85, A12, A14, A15, A17, A20 en KRW-3) tonen ook dunne kleilagen binnen het eerste zandpakket.

Tabel 1. Samenvatting bodemopbouw ontgravingszone

	Einddiepte [~m MV]	Min. Dikte [~m]	Max. dikte [~m]
Eerste zandpakket (freatische vlak)	-1.75	1.2	2.5
Kleipakket (en veen)	-	1.55	-

3.2 Grondwater en oppervlaktewater

Voor de grondwaterstanden maken we gebruik van actuele gegevens die beschikbaar zijn, de historische meetreeks ten tijde van het hydrologisch onderzoek Kruiszwijn in 2020 ("NCT20.084-35-210217 Hydrologische analyse zoute kwelrisico en opbarsting rioolvervanging Kruiszwijn") en de in dit onderzoek vastgestelde bodemopbouw en watersaliniteit. Op ca. NAP - 2 m begint het zoutgehalte van het grondwater toe te nemen. Op NAP - 3-4 m is deze sterk brak, en op ca. NAP -6 m is deze zout te noemen.

Oppervlaktewater is geleden ten oosten en zuiden van de wijk Kruiszwijn. Het peilniveau ligt tussen NAP -0.45 en 0.60 m.

3.3 Bebouwing

In de directe omgeving van het werk (binnen 15 m) bevinden zich gebouwen en constructies. De funderingen bevinden zich binnen de invloedssfeer van de grondwateronttrekking en effecten zijn derhalve mogelijk. Binnen de scope van dit bemalingsadvies is hier geen rekening mee gehouden.

3.4 Riooldieptes en sleufbekistingen

Uit het DO ontwerp van de opdrachtgever zijn de volgende punten op te merken betreft maximale riooldieptes:

1. Persleiding nabij gemaal is NAP -2.04 m
2. Laagste diepte in DWA is NAP - 1.88 m
3. Laagste diepte in HWA (zonder zinkering) is NAP -1.54 m. Laagste diepte in HWA is NAP -2.20 m

Het vervangen van het riool in Kruiszwijn 3-4-5 te Julianadorp wordt in enkele gevallen met een open ontgraving uitgevoerd en in andere gevallen met een sleufbekisting. De sleufbekisting is van staal en wordt aangelegd tot ca. 30 cm onder BOB (binnen onderkant buis). Dit betekent dat de maximale ontgraving 30 cm dieper is dan het diepste riool (NAP -2.20 m).

4 Werkwijze

Deze sectie omschrijft de uitgangspunten van het ontgravingswerk en de te berekenen bemalingsscenario's.

4.1 Uitgangspunten ontgraving

- Stalen sleufschotten worden toegepast die reiken tot 30 cm beneden de B.O.B.;
- Verwachte maaiveldhoogtes ter plaatse van sleuf zijn tussen NAP +0.60 m en NAP +0.74 m, op basis van de ontwerp-tekening en gecontroleerd met het AHN;
- Er wordt in enkele gevallen een met sleufbekisting toegepast, waarbij met stalen schotten wordt bekist; overal elders wordt de sleuf open ontgraven met een sleufbreedte van max. 3.5 m;
- De ontgravingen, bemalingen en werkzaamheden worden uitgevoerd in secties van telkens 25 m;
- Aan de sleufbekisting wordt in het model een weerstand gegeven van 1 dag(en). Dit is mogelijk te hoog voor de toe te passen stalen bekistingsschotten, maar daarmee een veilige benadering;
- Kruiszwijn 3-4-5 heeft o.b.v. de uitgevoerde nulmeting een grondwaterpeil van NAP -0.1 tot +0.4 m;
- De uitstroomlocatie van het rioolnetwerk in het zuiden van Kruiszwijn 2-3-5 heeft volgens het DO een BOB NAP -1.15m. Deze diepte is gering en wordt daarom niet apart gemodelleerd. Het diepste punt in het huidige ontwerp blijft de aansluiting op het rioolgemaal met een laagste BOB van NAP -2.2 m.

4.2 Modellocaties als uitgangspunten

Het bemalingsadvies is gebaseerd op modelberekeningen op drie locaties waar de ontgraving het diepst is. In elke locatie is een bijbehorend bodem- en zoutprofiel gekozen uit de beschikbare gegevens. Bijkomend verschil is het gebruik van een sleufbekisting of een open ontgraving. **Error! Reference source not found.** toont profielen en locaties in Kruiszwijn.

Locatie 1:

- Eén van de diepe punten in het DO is nabij het gemaal in Kruiszwijn 1-2, betreffende de kruising van een DWA en persleiding; diepte BOB is NAP -1.72 m
- Sleufbekisting, breedte 3.5 m, diepte maximaal NAP -2.12 m
- Bodem/zoutprofiel DKMG104. Boring 69 geeft een zandpakket tot 2 m -mv weer. In A17 ligt er nog een klein laagje klei op 0.6 m onder maaiveld. Dit punt wordt meegerekend in het model.
- Polderpeil = NAP -0.4 m; maaiveldhoogte NAP +0.77 m

Locatie 2:

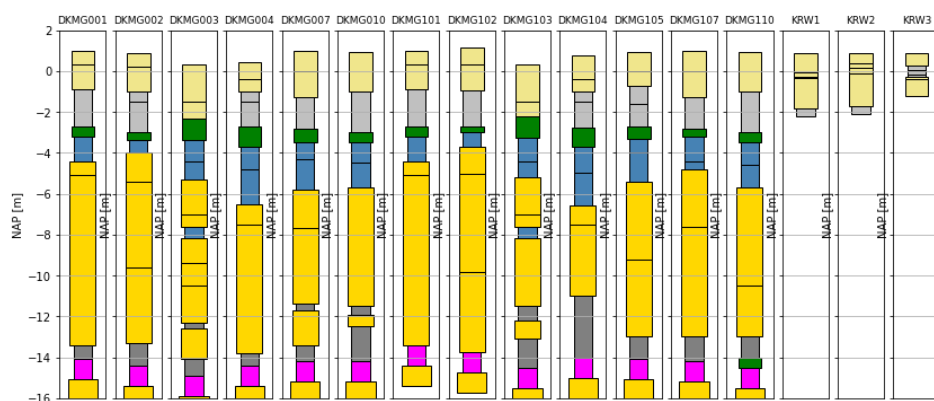
- Diepste punt is de HWA-leiding, diepte BOB is NAP -2.20 m.
- Open ontgraving, breedte 3.5 m, diepte maximaal NAP -2.50 m
- Bodem/zoutprofiel DKMG102. Op dichtstbijzijnde boringen (A04, A05 en A06) begint vanaf 1.70 m diep - mv een kleipakket. Dit diepste punt wordt meegerekend in het model.
- Polderpeil = NAP -0.4 m; maaiveldhoogte NAP +0.80 m

Locatie 3:

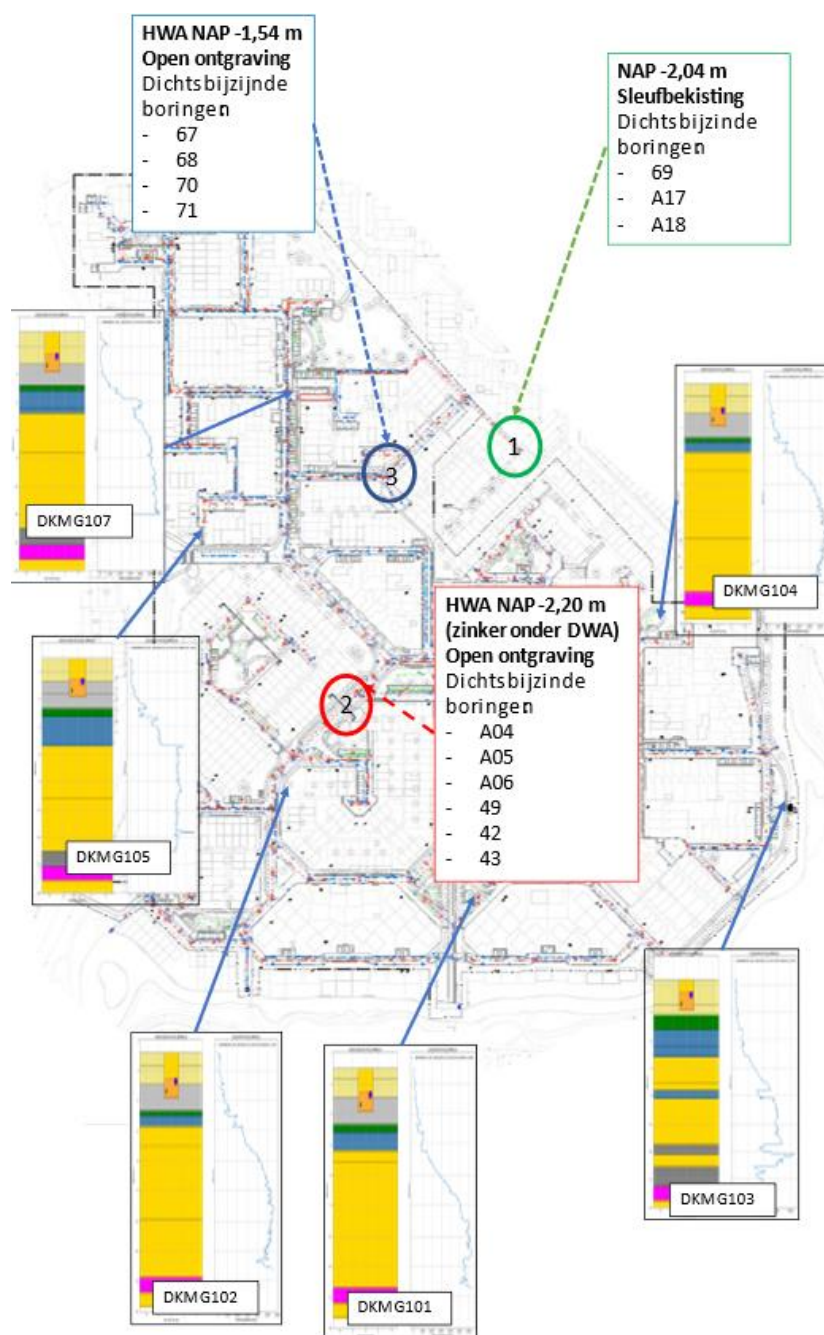
- HWA-leiding, diepte BOB is NAP -1.56
- Sleufbekisting, breedte 3.5 m
- Bodem/zoutprofiel DKMG107
- Polderpeil = NAP -0.4 m; maaiveldhoogte NAP +0.75 m

Figuur 1 toont de beschikbare bodem- en zoutprofielen in Kruiszwijn en is illustratief voor de variërende laagdiktes in dit betreffende kleine gebied. De eenheden corresponderen als volgt:

- Geel=zand, grijs=klei, blauw=blauwe zeeklei groen=veen.
- De top van de paarse laag is de bereikte sondeerdiepte, in alle gevallen het zandpakket. De paarse laag zelf is puur voor rekentechnische doeleinden gemaakt, maar is in feite ook zand.



Figuur 1. Bodemprofielen ter plaatse van de sondeer- en boorlocaties, en tevens locaties van de 2D grondwatermodellen



Figuur 2. Kruiszwijn met overzicht modelscenario's en beschikbare bodem- en zoutprofielen

5 Resultaten en bemalingsadvies

De sectie omschrijft het bemalingsdebiet en omgevingseffecten van de grondwaterverlaging (5.1), en het opbarstrisico inclusief gewelfwerking (5.2).

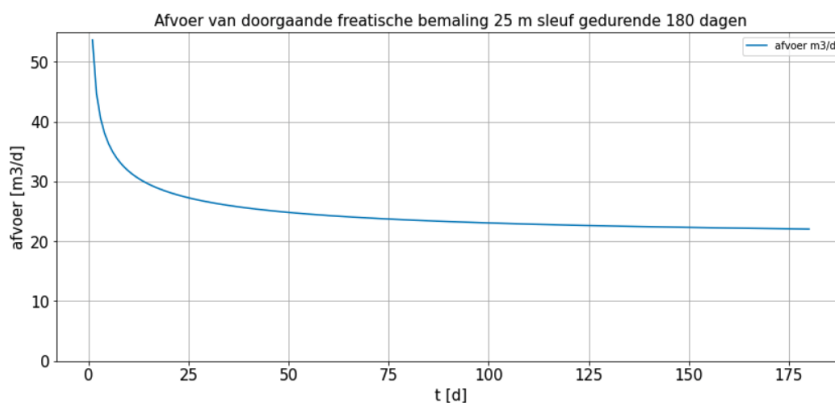
5.1 Bemalingsdebiet en omgevingseffecten

5.1.1 Aannames

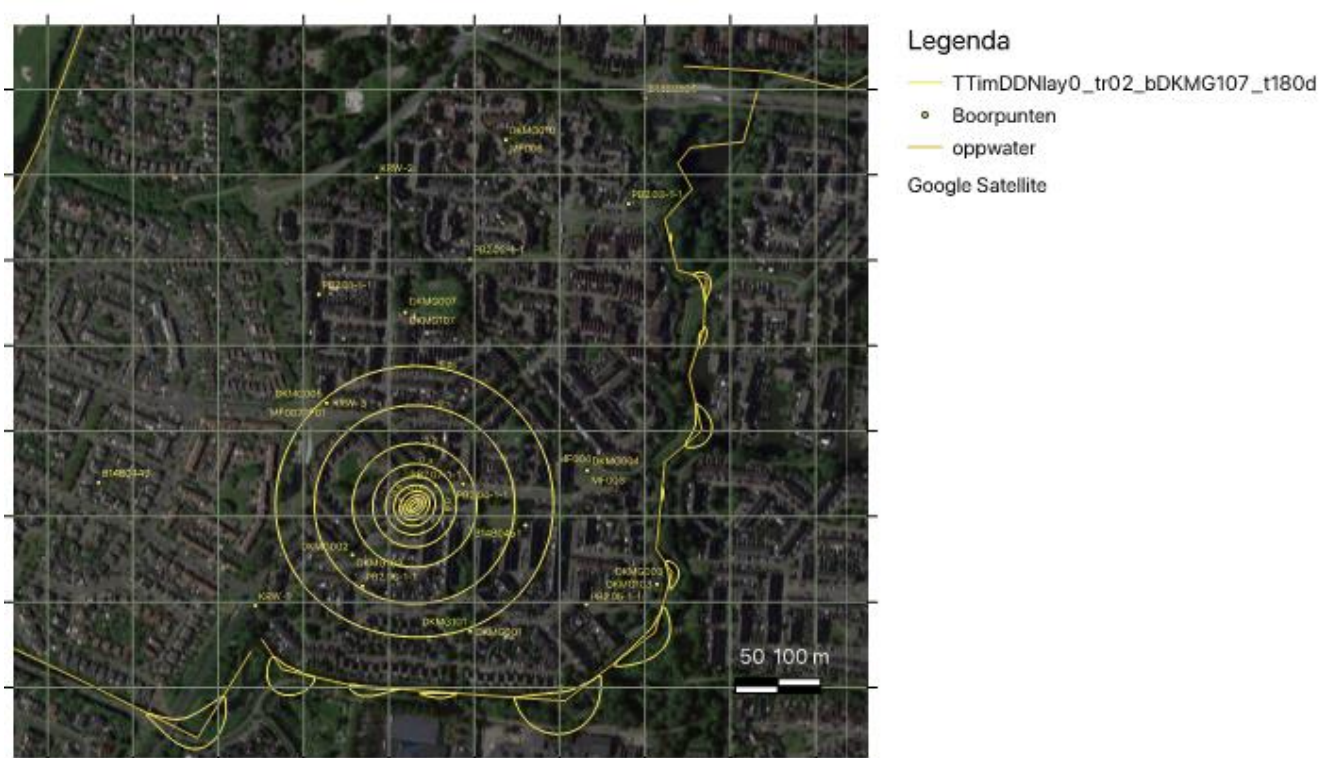
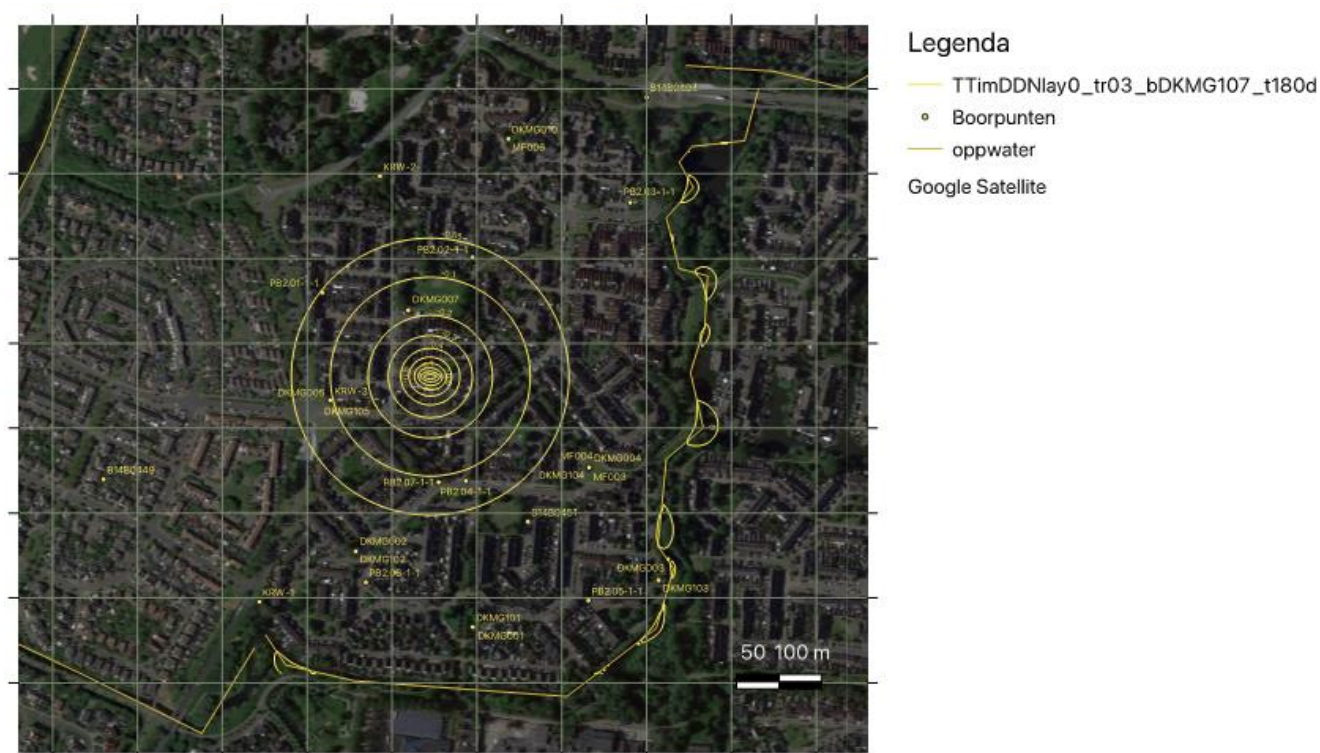
- Er is gebruik gemaakt van de ondergrond van DKMG107 als meest representatief voor het grotere gebied. Voor de berekende verlagingen maakt de keuze van de boring nauwelijks uit, wel voor de overdruk en dus het gevaar voor opbarsten. Deze bepaalt de mate van benodigde gewelfwerking of bemaling in de onderliggende holocene zandlaag.
- De ontgraving en aanleg van de riolering geschiedt in delen, waarbij steeds een sleuf van 25 m open zal liggen en wordt bemalen. Wellicht zal op verschillende plekken in de wijk aanlegwerkzaamheden worden uitgevoerd. Details hierover zijn nog niet bekend. Er wordt daarom uitgegaan van bemaling van een sleuf van 25 m die gedurende de aanlegwerkzaamheden open zal zijn en met de werkzaamheden zal verschuiven. Dit betekent enerzijds dat de locatie van de onttrekking van week tot week verschuift, en anderzijds dat de netto duur van de onttrekking veel langer zal zijn dan de duur van de werkzaamheden aan, in en rond een enkele sleuf van 25 m. Om een zo redelijk mogelijk inzicht te geven in het effect van de bemaling op het freatisch vlak is ervoor gekozen om voor een sleuf van 25 m de verlagingen te berekenen na 180 dagen continu bemalen.
- Er zijn twee berekeningen gemaakt op de locaties waar de sleuf extra verdiept is. Dit laatste heeft echter geen invloed op de bemaling van het freatisch vlak en op de verlagingen daarin, omdat de bemaling van het freatisch vlak volledig wordt bepaald door de hoogte van de bovenzijde van de eerste slecht doorlatende laag, op NAP -1.30 m. Aangekomen is een verlaging aan de sleufrand tot NAP -1.0 m als haalbaar. De drainage op de basis van de sleuf, ter hoogte van het eerste slecht doorlatende pakket heeft hierop geen invloed, deze drainage voert slechts regenwater uit de sleuf af en een geringe hoeveelheid water dat toestroomt via de klei en veenlaag. NB. Mocht deze drainage plotseling veel meer water gaan afvoeren, dan is sprake van opbarsten van de sleufbodem.

5.1.2 Resultaat

- Het patroon van de verlagingen is nauwelijks afhankelijk van de locatie van de sleuf in het gebied. Alleen wanneer de werksleuf zich in de directe omgeving van de singel bevindt is de verbreiding geringer.
- De sleuf vangt het neerslagoverschot op uit een zone van zo'n 100 m links en recht ervan. Het totale debiet zal tussen de ca. 10 m³/d en 22 m³/d uitkomen voor een sleuf van 25 m lang. Afvoer is dus gering.
- Figuur 3 geeft de berekende afvoer van de sleuf gedurende 180 dagen continu bemaling van de freatische laag. Deze afvoer neemt voortdurend af naarmate het grondwater van verder weg moet toestromen en lijkt in de praktijk geleidelijk te stabiliseren rond de 22 m³/d.



Figuur 3. Afvoer van de freatische sleufbemaling



Figuur 4. Verlagingen freatisch water na 180 dagen bemaling freatisch water langs sleuf van 25 m lengte (verlaging aan sleufrand is 1 m, zie doorsnedefiguren) voor locatie 2 (figuur boven) en locatie 3 (figuur onder)

5.2 Opbarstrisico inclusief gewelfwerking

5.2.1 Theoretisch achtergrond

De CROW-CUR (2020) geeft op p189ff, Bijlage III, Grondmechanische Berekeningen een berekening van het gevaar van opbarsten waarbij rekening wordt gehouden met gewelfwerking in relatief kleine bouwputten of smalle sleuven, waarin de grondlagen aan weerszijden van de ontgraving voor een verhoogde veiligheid zorgen, de zogenoemde gewelfwerking. Er zitten fouten en inconsequenties in de formules in het rapport van CROW-CUR op p189. Hier de juiste methode.

In de formules worden de volgende symbolen gebruikt:

d_1 [m] dikte lagen boven sleufbodem (maaiveld tot sleufbodem)

d_2 [m] dikte slecht doorlatende laag of lagen direct onder de sleufbodem.

γ_1 [kN/m³] de karakteristieke waarde van het verzadigde volumieke gewicht van de grond in de lagen boven de bodem van bouwput of sleuf, d_1

γ_2 [kN/m³] de karakteristieke waarde van het verzadigde volumieke gewicht van de slecht doorlatende grond tussen de vloer van de bouwkuip en de top van de zandlaag daaronder, d_2 .

f [-] de mate waarin de lagen boven de sleufbodem mogen worden meegeteld $0 \leq f < 1$.

a [m] de breedte van de helling, in feite van de op het horizontale vlak geprojecteerde taludhelling.

b [m] de halve bodembreedte van de sleuf.

Voor de boven de grondwaterspiegel gelegen bodemlagen moet uiteraard worden uitgegaan van het volumieke gewicht behorend bij het natuurlijke vochtgehalte in plaats van het verzadigde volumieke gewicht

De formules:

De opwaartse druk $u \uparrow$ [kN/m²] direct onder de slecht doorlatende laag met onderzijde op z_B [mNAP] en stijghoogte ϕ [mNAP] bedraagt

$$u \uparrow = (\phi - z_B) \gamma_w$$

Zonder rekening te houden met gewelfwerking bedraagt de neerwaartse druk $u \downarrow$ [kN/m³] direct onder de sleuf als gevolg van het gewicht van de slecht doorlatende laag tussen sleufbodem en onderzijde van de slecht doorlatende laag

$$u \downarrow = d_2 \gamma_2 > u \uparrow$$

Hierin is aangegeven dat voor evenwicht de neerwaartse druk groter moet zijn dan de opwaartse waterdruk.

Houdt men wel rekening met gewelfwerking, dan mag ook een deel van het gewicht van de grondlagen boven de sleufbodem worden meegerekend:

$$u \downarrow = d_2 \gamma_2 + f \times d_1 \gamma_1 > u \uparrow$$

Uit deze formule blijkt direct dat altijd $f < 1$ moet zijn (je kan immers niet meer meerekenen dan de totale dikte van de bovenlagen).

Waarin

$$f = \frac{2}{\pi} \times \left(\left(1 + \frac{b}{a} \right) \arctan \left(\frac{d_2}{a+b} \right) - \arctan \left(\frac{d_2}{b} \right) \right)$$

Hierin is b de halve sleufbreedte en a de breedte van het op het horizontale vlak geprojecteerde talud.

Probleem met de formule is dat hij ontaardt voor verticale sleufwanden, want dat is $a = 0$ en wordt de factor voor de eerste $\arctan$ in de formule voor f oneindig. Voor de $\arctan$ zelf is dat geen probleem want die wordt dan $\pi/2$. Figuur 5 geeft het verband tussen de factor f en de geprojecteerde taludbreedte a volgens de

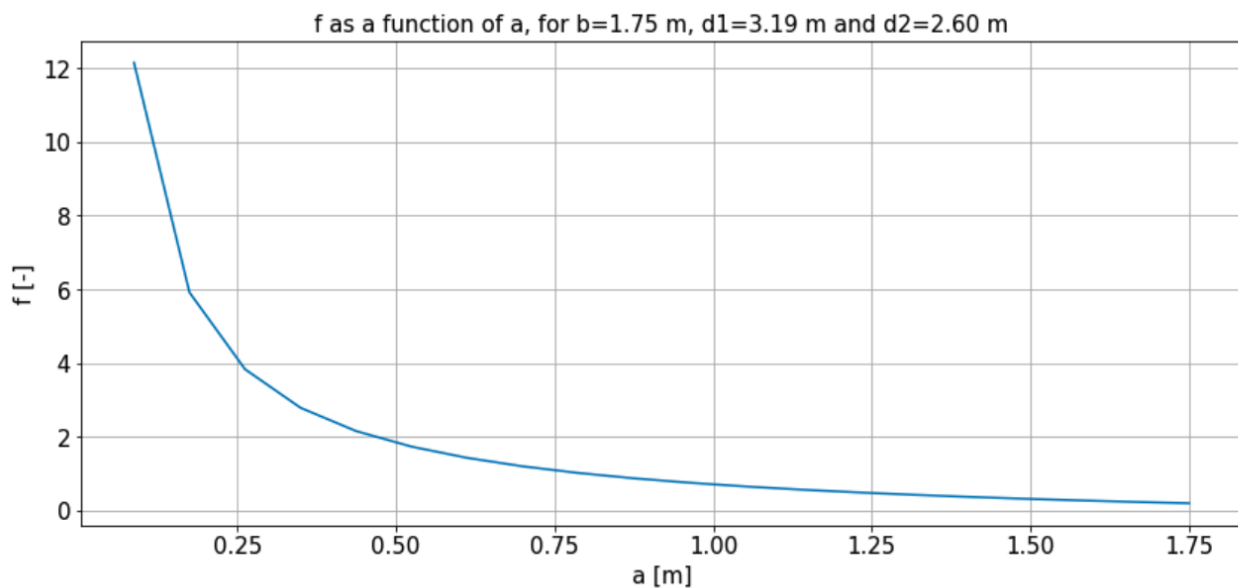
formule, bij $b=1.75$ m voor de halve sleufbreedte en de waarden van d_1 en d_2 behorend bij de gebruikte boring DMGK107.

De boodschap uit de formule is dat voor het meerekenen van gewelfwerking de taluds van de sleuf zo steil mogelijk moeten zijn.

Het is duidelijk dat de factor f om fysische redenen altijd kleiner dan 1 moet zijn. Deze eis bepaalt ook de kleinste waarde van a waarvoor de formule nog geldt. Willen de bovenlagen nog voor de helft van hun dikte meetellen voor gewelfwerking dan geldt volgens Figuur 5 dat a kleiner moet zijn dan ca. 1.25 m. Dit geeft hele steile taluds van $d_1/a = 2.6:1$, die waarschijnlijk niet zonder stutten mogelijk zijn.

5.2.2 Resultaat

Gewelfwerking voorkomt bij het bodemprofiel DKMG107 opbarsten van de vloer van de sleuf bij een werkdiepte van NAP -2.20 m. Voorwaarde zijn steile taluds van minimaal van $d_1/a = 2.6:1$. Deze zijn waarschijnlijk niet zonder stutten mogelijk.



Figuur 5. Verband tussen de factor f (de mate waarin de lagen boven de sleufbodemhoogte mogen worden meegerekend) en de breedte van de taludprojectie voor sondering DMGK107. Hierin is B de halve sleufbreedte.

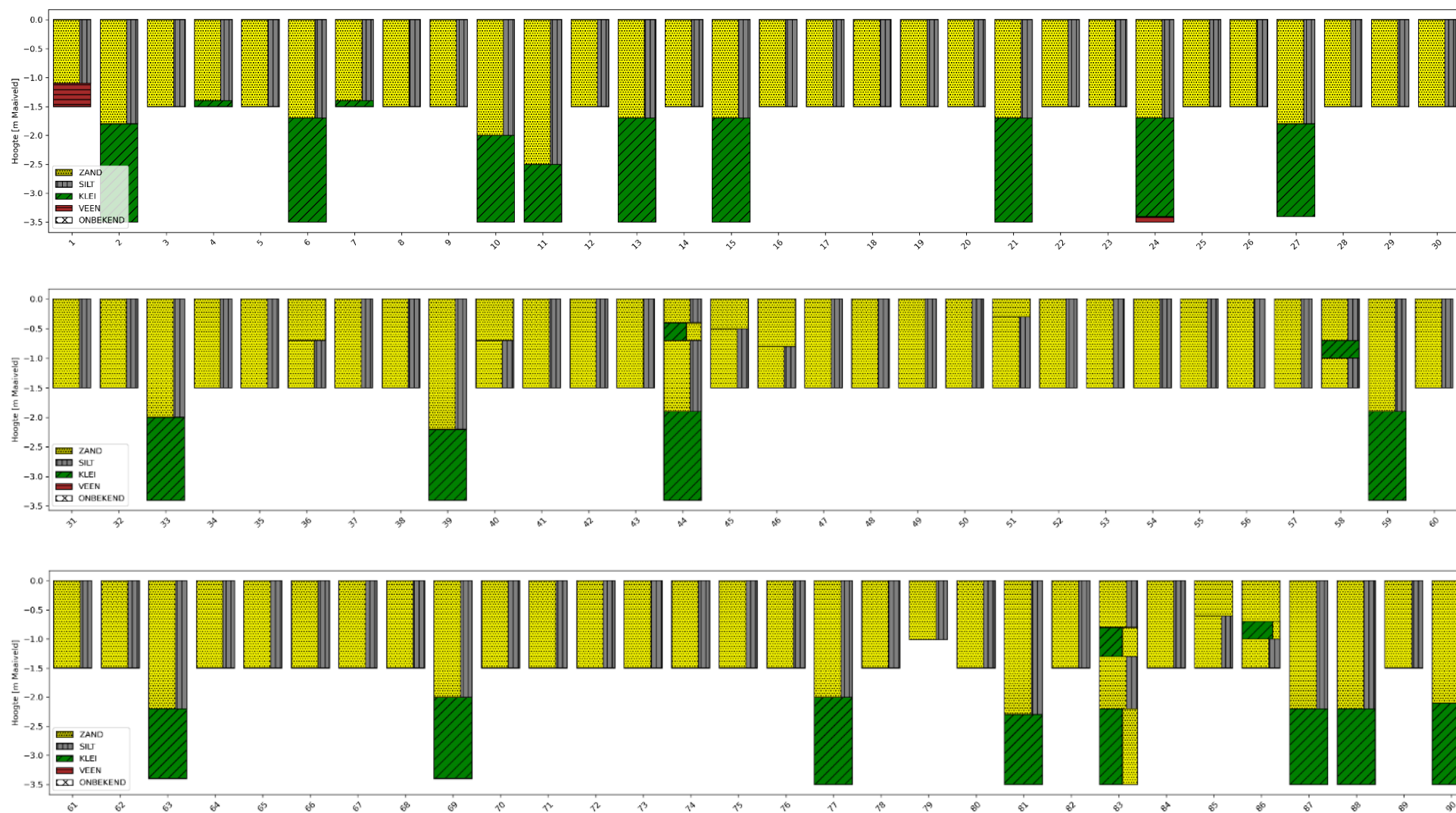
5.3 Retourbemaling

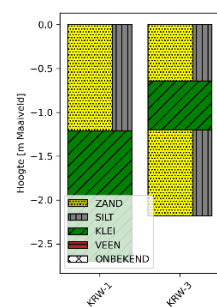
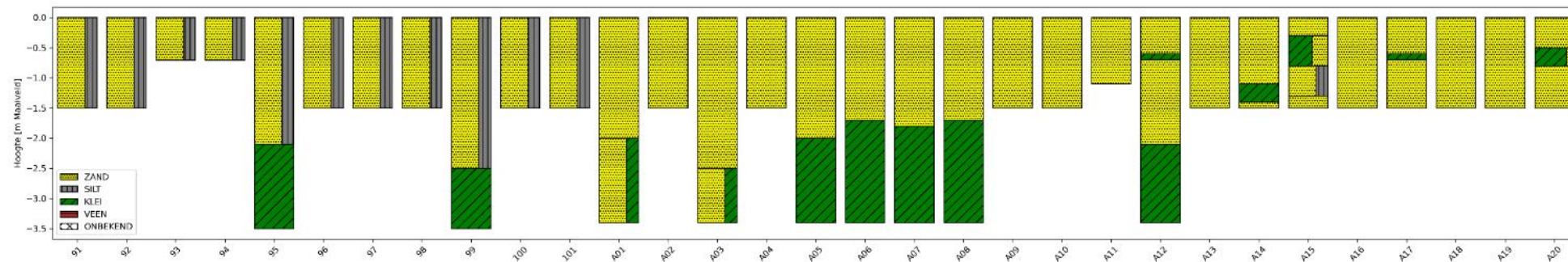
Gezien het geringe opbarstrisico en het mitigerende effect van gewelfwerking van een kleine sleuf wordt een diepere retourbemaling niet noodzakelijk geacht. De berekeningen voor een retourbemaling zijn echter wel ter controle in het werk uitgevoerd en in de bijlage puur ter informatie toegevoegd.

6 Referenties

- Nectaerra, 2021. Hydrologische analyse Kruiszwijn, kenmerk NCT20.084-35-210217, d.d. 17 februari 2021
- <https://kaarten.hhnk.nl/portal/apps/MapSeries/index.html?appid=2214bd28077d41cfaeebddea892027da>
- CROW CUR (2020) CROW-CUR Handboek 4:2020. Bemaling van bouwputten en sleuven. CROW, Ede. Artikelnummer C1026.
- Olsthoorn (1982) Verstopping van Persputten. Rapport samengesteld binnen het speurwerkprogramma van de VEWIN, Kiwamededeling nr. 71, Kiwa Rijswijk.ca. 250p.

A. Bodemprofielen Grondslag en Nectaerra





B. Modeluitkomsten

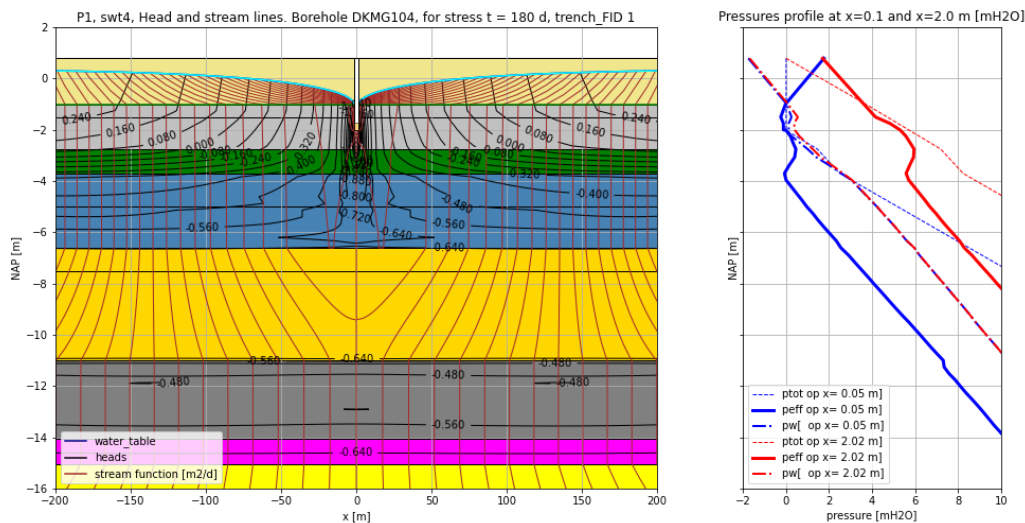
a. Locatie 1

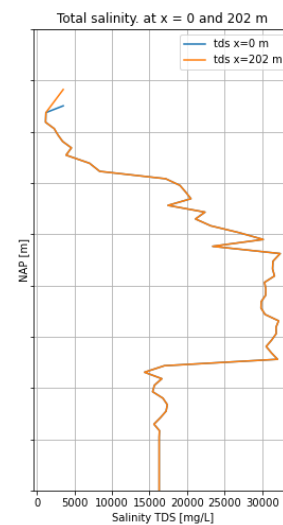
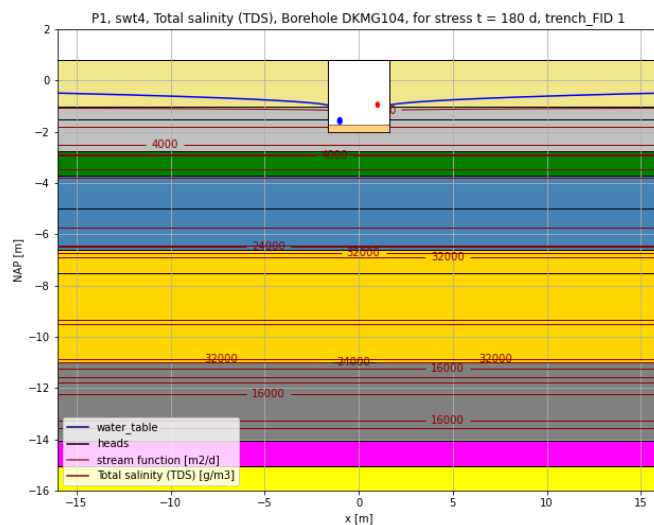
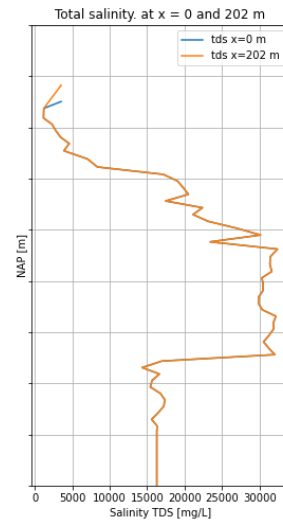
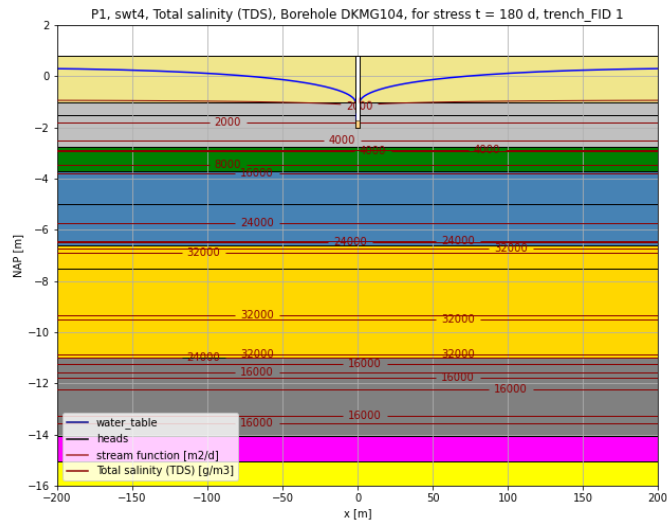
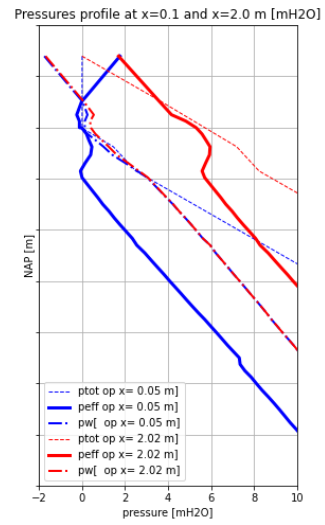
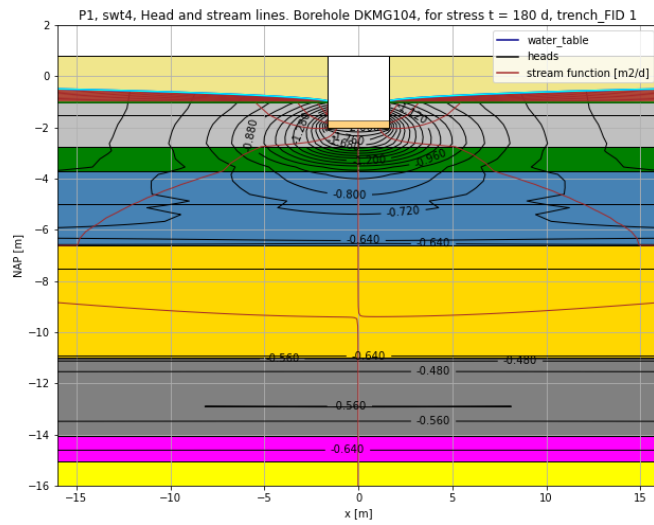
Voor alle scenario's zijn 4 figuren geproduceerd als volgt:

- De stroomlijnen, stijghoogten en drukprofielen met een horizontale schaal van -225 tot 225 m (links) + rechts daarvan een grafiek met druklijnen. De dikke blauwe lijn zijn de effectieve spanningen onder de sleuf en de dikke rode lijn zijn de effectieve spanningen net naast de sleuf;
- Een kopie van Figuur A, maar met meer detail – een horizontale schaal van -16 tot 16 m – voor de stroomlijnen.
- Het zoutgehalte na 180 dagen bemalen + rechts daarvan het zoutprofiel direct onder de sleuf na 180 d en dat op 200 m naast de sleuf, waar dan zeker nog niets is veranderd.
- Een kopie van Figuur C, maar wederom een horizontale schaal van -16 tot 16 m voor meer detail

In scenario 1 is maar één zoutprofiel zichtbaar omdat er in 180 dagen niets gebeurt; beide profielen liggen precies op elkaar. De reden dat er niets gebeurt is dat in dit geval er nauwelijks verticaal opwaartse stroming onder de sleuf optreedt. Dat komt weer door de relatief grote dikte aan veen en klei onder de sleuf en de regionale diepe grondwaterstand van NAP -0.68 m die voor een neerwaartse component zorgt. Bij de andere punten is dat, afhankelijk van de boring iets anders.

Het dikke blauwe drukprofiel laat zien dat er onder de sleuf geen reserve is voor de effectieve spanning. NB. er is indicatie dat de bodem kan opbarsten. Of dit werkelijk gebeurt is i.v.m. onzekerheden in grondwaterstand en laaigeenschappen niet te zeggen. Noodmaatregelen worden geadviseerd.

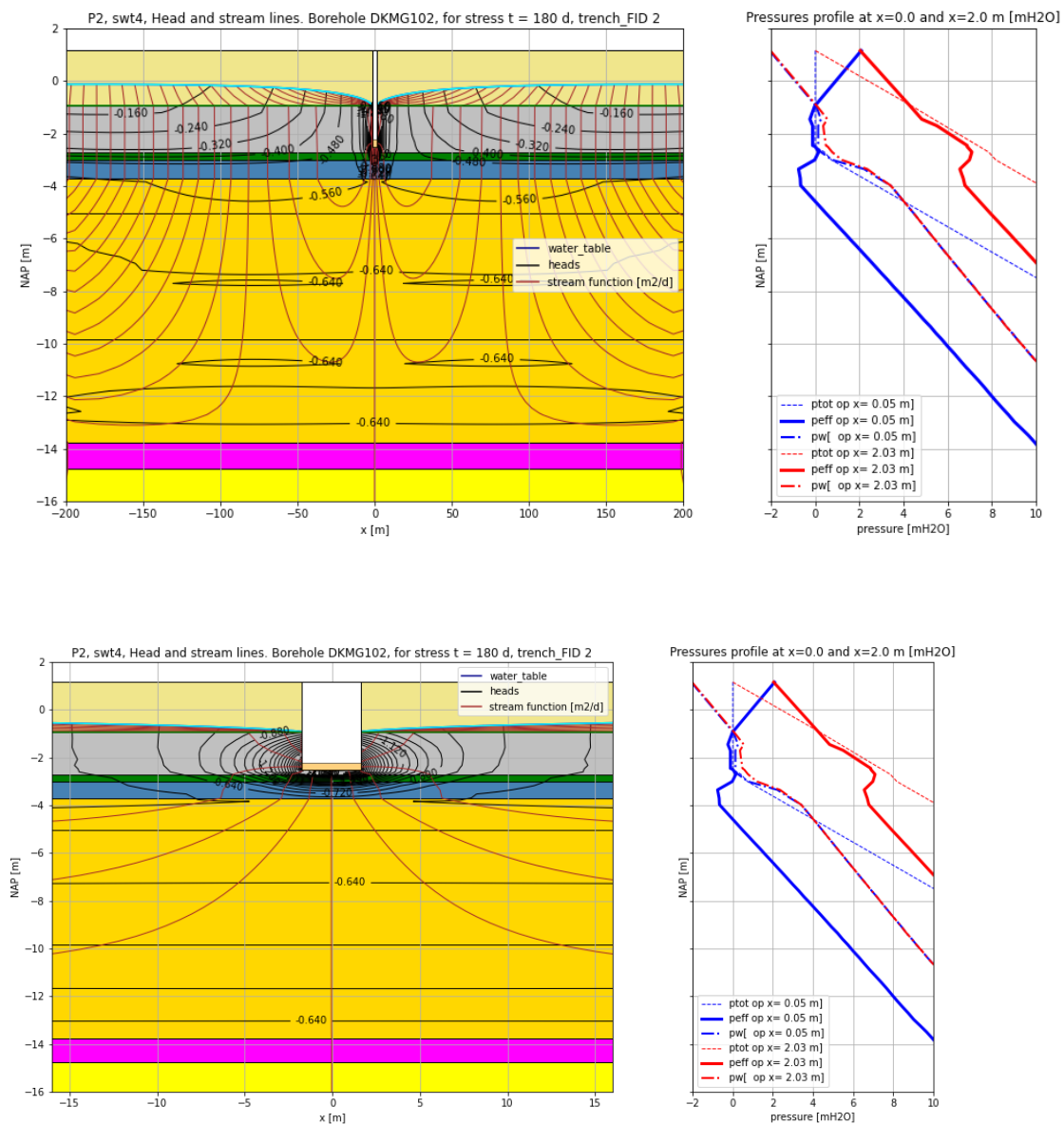


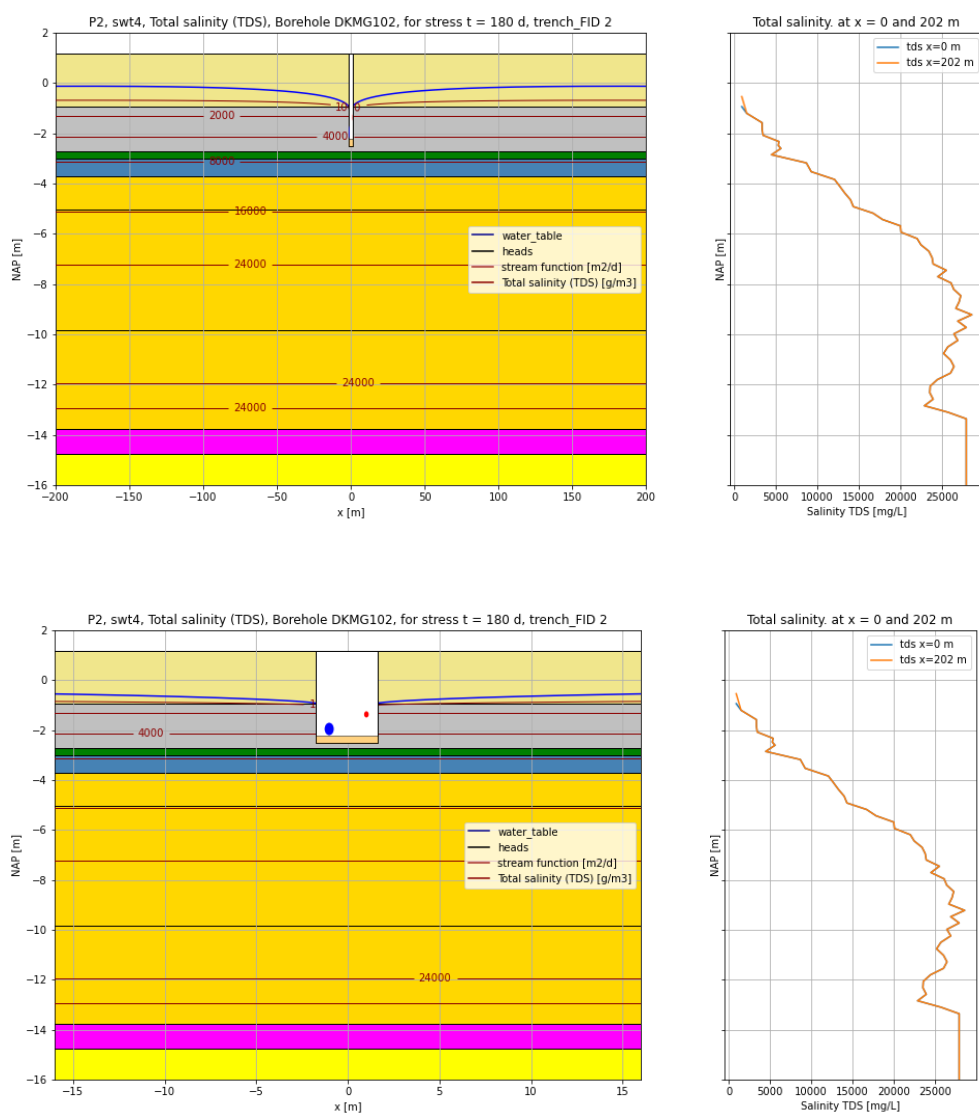


b. Locatie 2

De locatie betreft een verdieping van de 500 mm HWA-leiding met BOB op NAP -2.20 m. De sleufbodem ligt dan op NAP -2.50 m. De dikte van de veen en de klei onder de sleuf is geringer dan in scenario 1. Hier vindt wel enige opwaartse stroming plaats onder de sleuf, maar ook niet veel. Er is nu echter wel sprake van negatieve effectieve spanning onder de sleuf, duidend op opbarsting. De overdruk die lokaal optreedt is rond 1 mH₂O. Of dit werkelijk gebeurt is i.v.m. onzekerheden in grondwaterstand en laageigenschappen niet te zeggen. Noodmaatregelen worden geadviseerd.

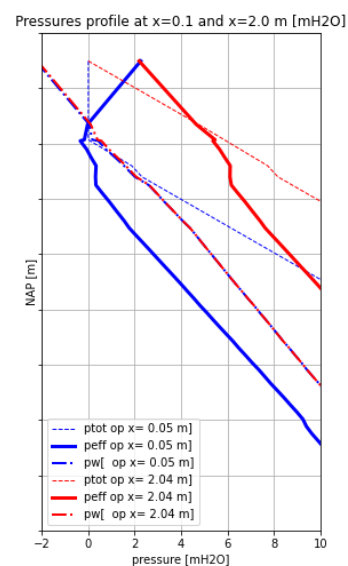
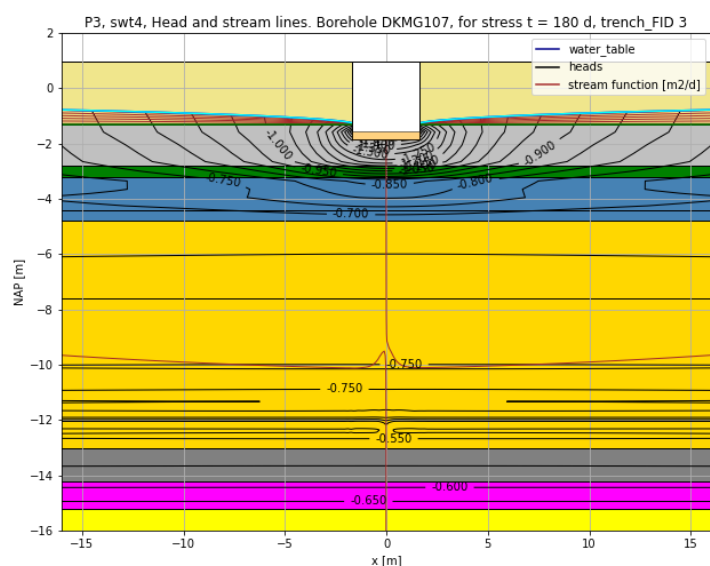
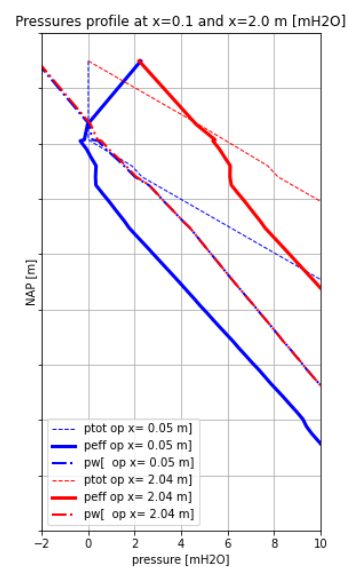
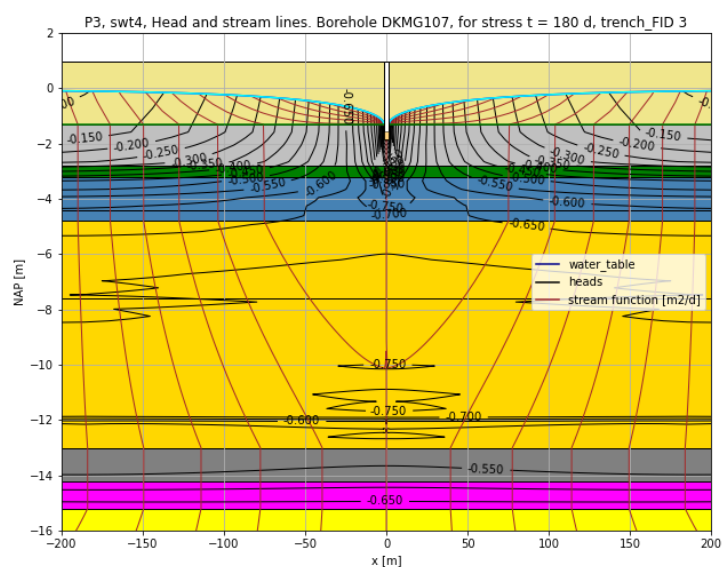
Seawat (Modflow) rekent ook in dit geval een verwaarloosbare verplaatsing van het zout uit, althans in de 180 dagen waarover is gerekend. De stroomlijnen zouden doen veronderstellen dat er, zeker op den duur, toch verplaatsing zou moeten zijn.

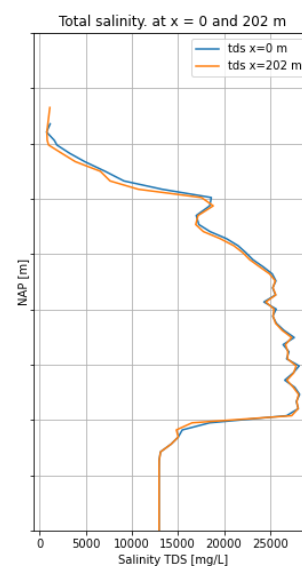
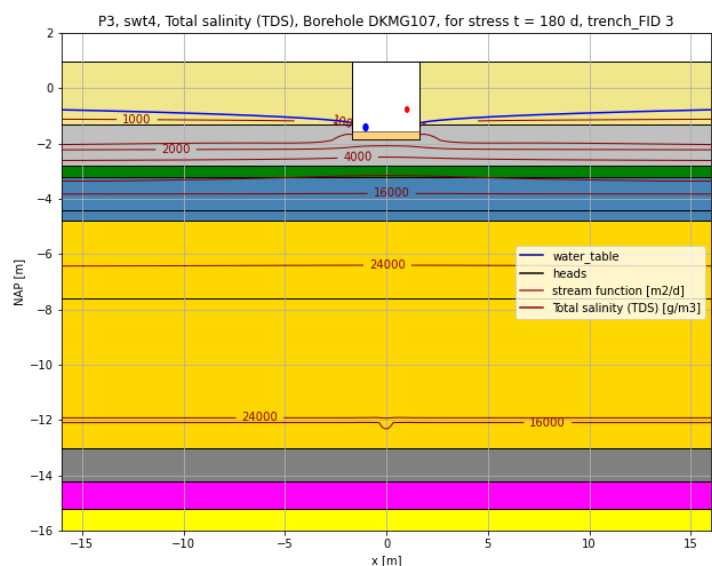
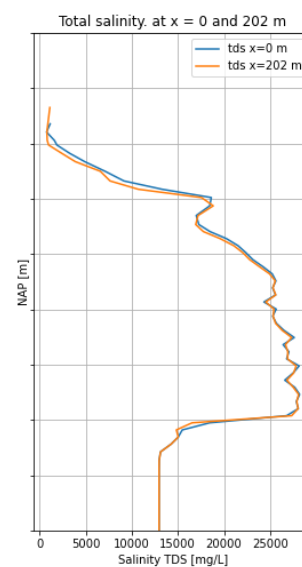
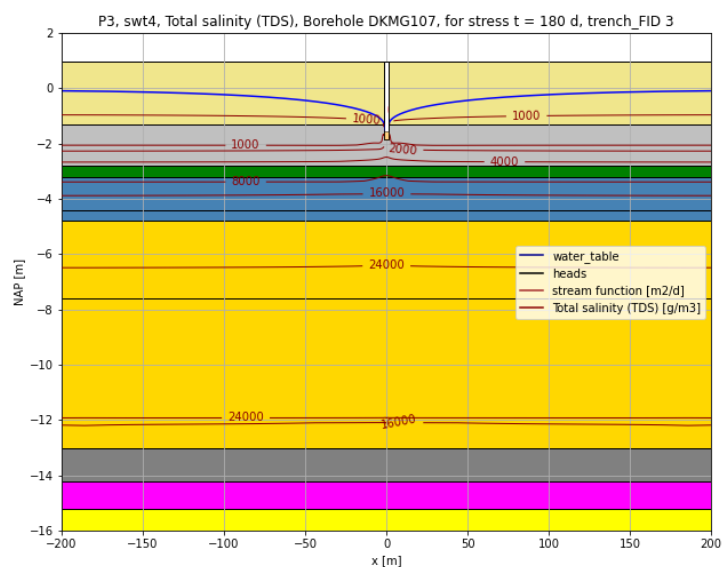




c. Locatie 3

Scenario P3 bereikt ook een negatieve effectieve spanning onder de sleuf. Of dit werkelijk gebeurt is i.v.m. onzekerheden in grondwaterstand en laageigenschappen niet te zeggen. Noodmaatregelen worden geadviseerd. Er is wel enige verplaatsing van het zout, maar nog steeds verwaarloosbaar.



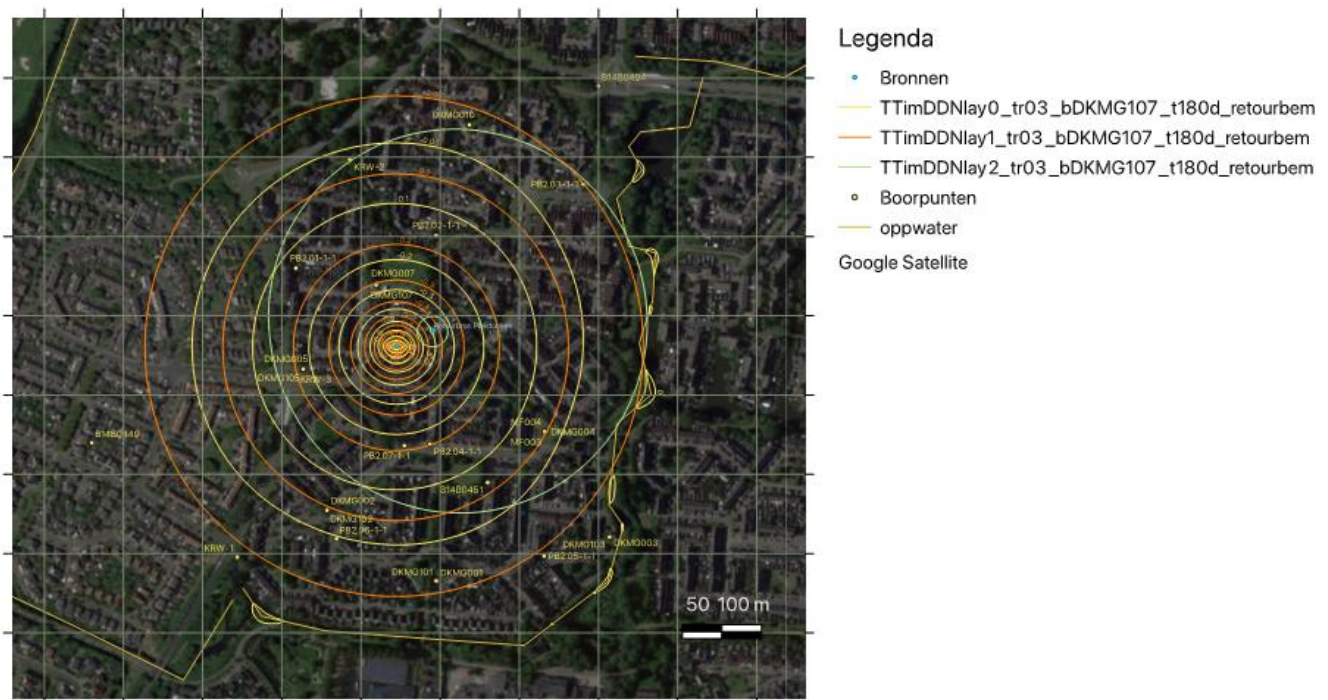


C. Retourbemaling, ter informatie

Om de druk onder de sleuf te verlagen kan retourbemaling worden toegepast. Berekeningen tonen aan dat de noodzaak hiertoe waarschijnlijk nihil is. Indien het grondwaterpeil verlaagt moet worden kan waarschijnlijk worden volstaan met enkele diepere bronnen in (doorlatende lagen) in het kleipakket of bovenin het onderliggende zandpakket.

Het scenario van een diepere bronbemaling is echter uitgewerkt en hier ter informatie toegevoegd.

Bij de diepere retourbemaling wordt met een bron nabij de sleuf water onttrokken uit de holocene zandlaag tussen ca. NAP -4 en -12 m, dat vervolgens wordt geretourneerd in de diepere pleistocene laag op enige afstand, met filter bijvoorbeeld tussen NAP -30 en -50 m. Figuur 6 geeft een mogelijke opstelling. De freatische bemaling is na 180 dagen nog ca. 20 m³/d (Figuur 8), terwijl de bron 150 m³/d onttrekt aan het holocene zand om de gewenste verlaging onder de eerste slecht doorlatende laag te realiseren van ca 1 m. Dit onttrekkingsdebiet is aanmerkelijk groter dan de afvoer van de bemaling in de bovenste zandlaag, die stabiliseert rond 20 m³/d, maar dat is het gevolg van de veel grotere doorlaatvermogen van de holocene zandlaag ten opzichte van de dunne fijnzandige freatische toplaag. De injectie van 150 m³/d in het 180 m dikke pleistocene pakket is om dezelfde reden weer veel kleiner dan de verlaging in het holocene zand.

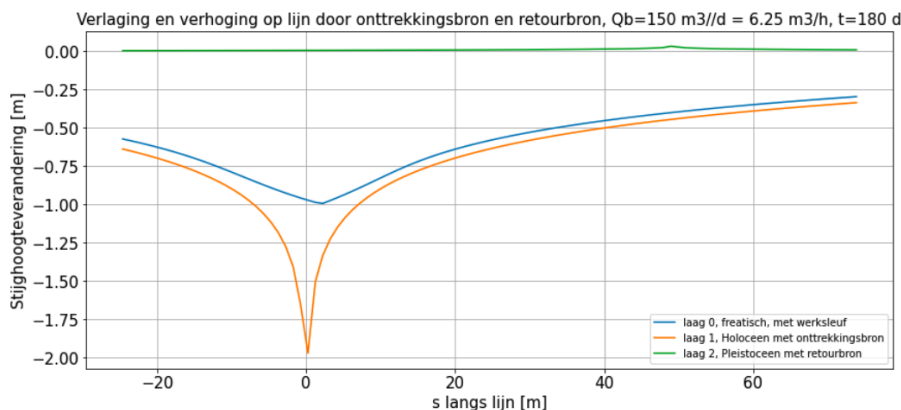


Figuur 6: Mogelijke retourbemaling met onttrekkingsbron in het holocene zand pal naast verdiepte sleuf en retourbron in het Pleistoceen op 49 m daar vandaan. Verlagingenlijnen freatische toplaag (geel), verlagingenlijnen holocene zand (oranje) en verhogingslijnen in het pleistocene pakket (groen). Verlaging freatisch vlak aan sleufwand 1 m, freatische onttrekking na 180 ca 20 m³/d, onttrekking aan het holocene zand en injectie in het pleistoceen pakket 150 m³/d.

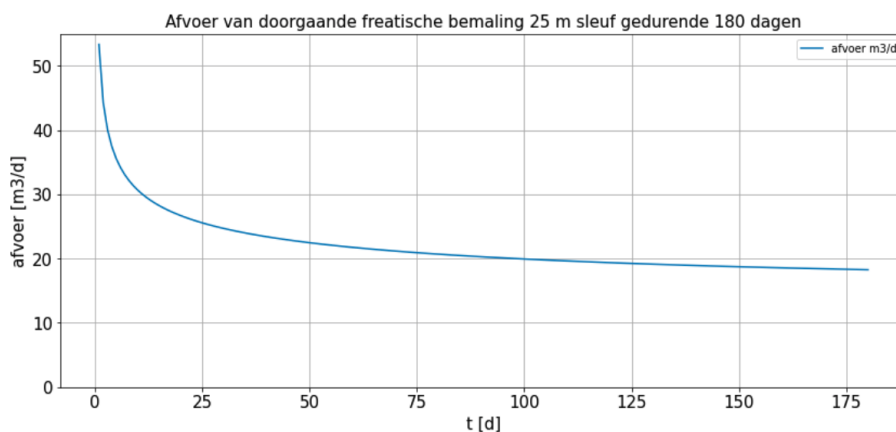
Figuur 7 geeft de verlagingen door de freatische bemaling (blauw, laag 0), door de onttrekkingsbron in de holocene zandlaag (blauw, laag 1) en de verhoging door de retourbron in het diepe pleistocene pakket (groen, laag 2). De verlagingen zijn hier weergegeven langs de lijn door de onttrekkingsbron en de retourbron. De onttrekkingsbron bevindt zich op punt s=0 en de retourbron op s=49 m. Deze lijn snijdt de sleuf schuin aan, waardoor de verlaging in de freatische laag aan de rand van de sleuf in Figuur 7 ook een scherpe knik maakt. De verlaging direct bij de onttrekkingsbron is groter dan de benodigde waarde van ca 1 m, het gaat erom dat de verlaging onder de hele sleuf ca. 1 m is, dus tussen s=-12.5 en s=12.5 m. Dit is in de figuur net niet het geval, maar zou bereikt worden door de onttrekking te verhogen tot 175 m³/d. In de praktijk hoort men de stijghoogte aan de top van de holocene zandlaag te monitoren en zal men daarop de onttrekking moeten afstemmen. De

precieze onttrekking zal altijd wat afwijken van de berekeningen omdat de in de berekening gebruikte eigenschappen van de bodem alleen bij benadering bekend zijn.

Verder valt op hoe gering de verhoging van de stijghoogte in het pleistocene pakket is die wordt veroorzaakt door de retourbron. Het doorlaatvermogen van de drie lagen in het model is respectievelijk 11, 80 en 4600 m²/d, dus die van de holocene zandlaag is 7 maal die van de freatische toplaag en die van de 180 m dikke pleistocene aquifer is bijna 60 keer die van de holocene zandlaag. Dit verklaart de verschillen in effect. Echter zal de verhoging door de retourbron groter zijn dan berekend, omdat het filter veel korter zal zijn dan de dikte van het pleistocene pakket, bijvoorbeeld 20 m ten opzichte van 180 m. In de meest extreme situatie zou voor het pleistocene pakket ook met een laagdikte van 20 m gerekend kunnen worden, wat een 9 maal zo grote verhoging door de retourbron oplevert als nu berekend. Echter dan is nog steeds de verhoging slechts ca. 0.2 m en dus praktisch verwaarloosbaar. Het komt er dus op neer dat het pleistocene pakket het retourwater gemakkelijk kan opnemen, mits men uiteraard de retourbron niet laat verstopen door zuurstoftoevoer en het onzorgvuldig boren en gereedmaken van de onttrekkingsbron.



Figuur 7: Grondwaterstand en stijghoogteveranderingen na 180 dagen bemalen en retourbemaling langs een lijn lopend door de sleuf in laag 0 (s=0 m), de onttrekkingsbron direct naast de werksleuf in laag 1 (Holocene zand) en een retourbron op enige afstand van de sleuf op s=49 m.



Figuur 8: Afvoer van de bemaling van de freatische toplaag indien deze 180 dagen lang wordt doorgezet waarbij de stijghoogte op de rand van de sleuf op NAP -1 m wordt gefixeerd (bijv. meet drains).