

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water

Aan: Daniel Voortman/RWS
Van: Tony Kok, Leslie Mooyaart, Peter de Vries
Datum: 16 oktober 2018
Kopie: Eric Brasser
Ons kenmerk: BF6341_3.2.5N052F3.0
Classificatie: Project gerelateerd

Onderwerp: Onderzoek herstel geohydrologische afdichting en ontwerp bodembescherming electieve Ontteking Zeetoeegang IJmond

1 Inleiding

Voor de selectieve onttrekking wordt de bodem ontgraven tot een diepte van NAP-23. Hierbij wordt een kleilaag op circa NAP-17 tot NAP-18 m ontgraven, waardoor contact ontstaat met het watervoerende pakket dat hieronder ligt. In de huidige situatie levert dit geen problemen [5], maar mocht TATA steel stoppen met grondwateronttrekking zou dit problemen op kunnen leveren. Indien de bodem van de ontgraving niet wordt afgedicht kan door dichtheidsstroming een grote hoeveelheid zout water in het watervoerende pakket indringen of een kweldruk ontstaan, wat beide onwenselijk is.

In het geohydrologisch rapport van Deltares [5] wordt in de conclusies de suggestie gedaan om een folieconstructie aan te brengen voor het geval dat TATA Steel ooit zou stoppen met de grondwateronttrekking. Dit betekent dat er geïnvesteerd zou worden in een oplossing voor een probleem dat mogelijk nooit zal optreden gedurende de levensduur van het SO-middel. Andersom is het de vraag of men kan wachten met deze maatregel totdat het probleem zich voordoet omdat deze maatregel dan alleen tegen hoge kosten uitvoerbaar is.

Bovendien als het SO middel onvoldoende effectief blijkt kan er voor worden gekozen om een zoutvang aan te leggen in de Velserkom. Hiertoe dient de bodem te worden verdiept van NAP-23m naar NAP-24/25m waardoor ook de bodembescherming aangepast moet worden. Ook voor deze gebeurtenis is de vraag of het loont om nu te investeren of later de bodembescherming te moeten aanpassen.

Doel

Rijkswaterstaat heeft aan Royal HaskoningDHV gevraagd om hier nader onderzoek naar te doen. In deze notitie wordt antwoord gegeven op de volgende vragen:

- Is het haalbaar om een afdichtende laag aan te brengen bij de realisatie van het SO-middel? Welke methoden en materialen komen hiervoor in aanmerking?
- Is het mogelijk om pas in de toekomst een oplossing te genereren het stopzetten van de onttrekking door TATA Steel en het uitdiepen van de bodem of dient er nu al rekening mee te worden gehouden?
- Wat zijn de kosten (Netto Contante Waarde) van deze opties? Wat zijn de voor- en nadelen?

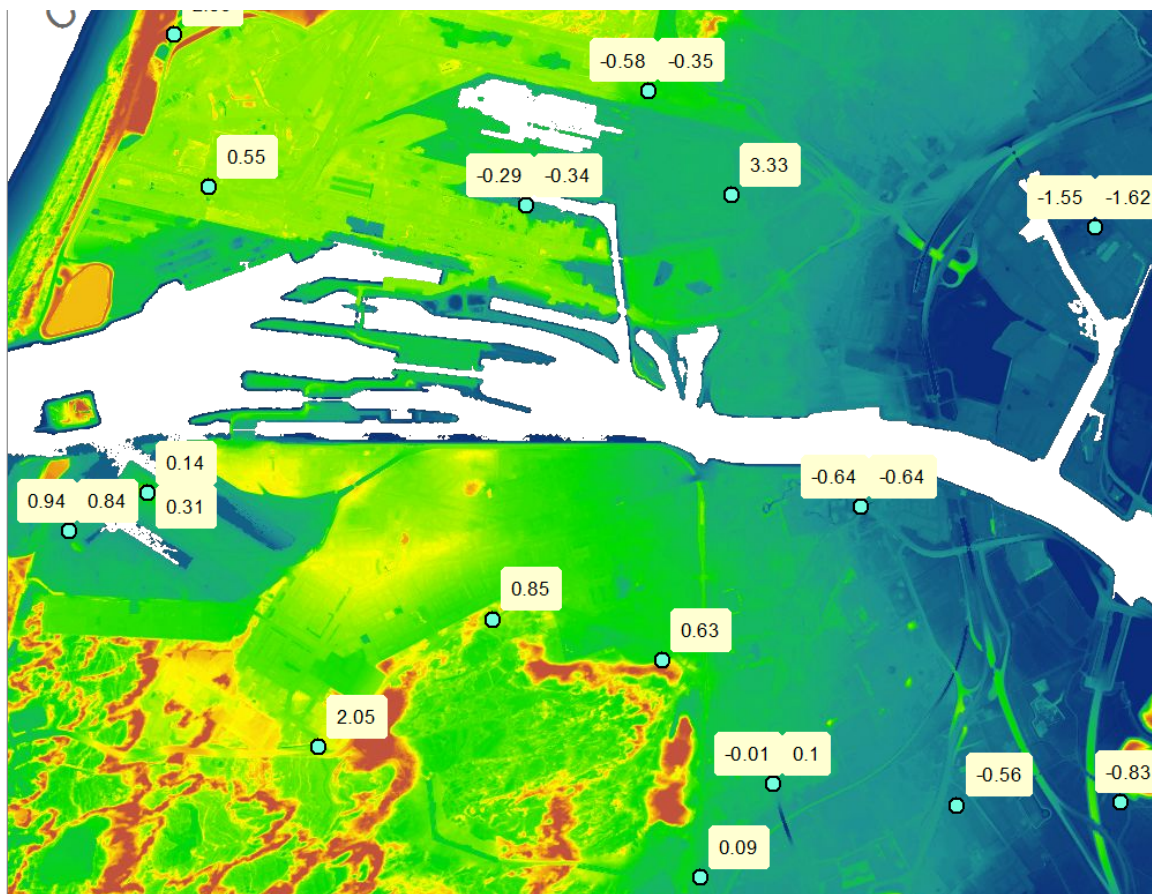
Een oplossing voor de lek- en kwelstromen wordt op de bodem toegepast. Daarom dienen de oplossingen zowel lek- en kwelstromen als erosie van de bodem door de optredende stroomsnelheid te voorkomen.

Referenties

- [1] Rijkswaterstaat, 2018, Hydraulische randvoorwaarden selectieve onttrekking IJmuiden
- [2] Janssen, H., 2018, aanpak indeling stroomsnelheden voor-, onder- en achter het SO middel, *email communicatie 17-09-2018*
- [3] Bijlsma, A., Weiler, O., 2017, Fase 1 - Studie naar hydraulische eisen en verificatie, Selectieve onttrekking IJmuiden, *11200215-000-HYE-0020, Deltares*
- [4] Cultuurtechnisch Vademecum, 1988, Handboek inrichting en beheer landelijk gebied. Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum. Cultuurtechnische Vereniging, Utrecht
- [5] de Lange, W.J., 2018, Effecten van het SO-IJ op het grondwatersysteem, *11200215-000-HYE-0020, Deltares*
- [6] Bijlsma, A., 2018, Telefonische communicatie Arnout Bijlsma en Peter de Vries, *18-09-2018*
- [7] Brasser, E., 2018, Verslag afstemmingsoverleg hydraulisch bodembescherming vismigratie ontwerp d.d. 4 september 2018, *referentie BF6341_3.2.5MI015F1.0*
- [8] Rijkswaterstaat, 2014, Hydraulische randvoorwaarden voor de Nieuwe Zeesluis bij IJmuiden; actualisatie november 2014

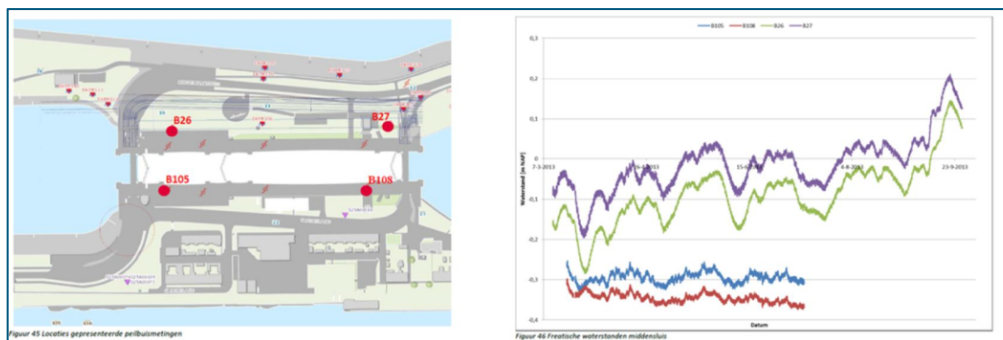
2 Geohydrologische beschouwing

Voor de selectieve onttrekking wordt de bodem ontgraven tot een diepte van NAP-23 a -25 m. Hierbij wordt een kleilaag op circa NAP-17 tot -18 m ontgraven, waardoor contact ontstaat met het watervoerende pakket dat hieronder ligt. De huidige stijghoogte in dit watervoerende pakket bedraagt hier tussen de NAP+0.1 en de -0.6 m (zie onderstaande figuur).



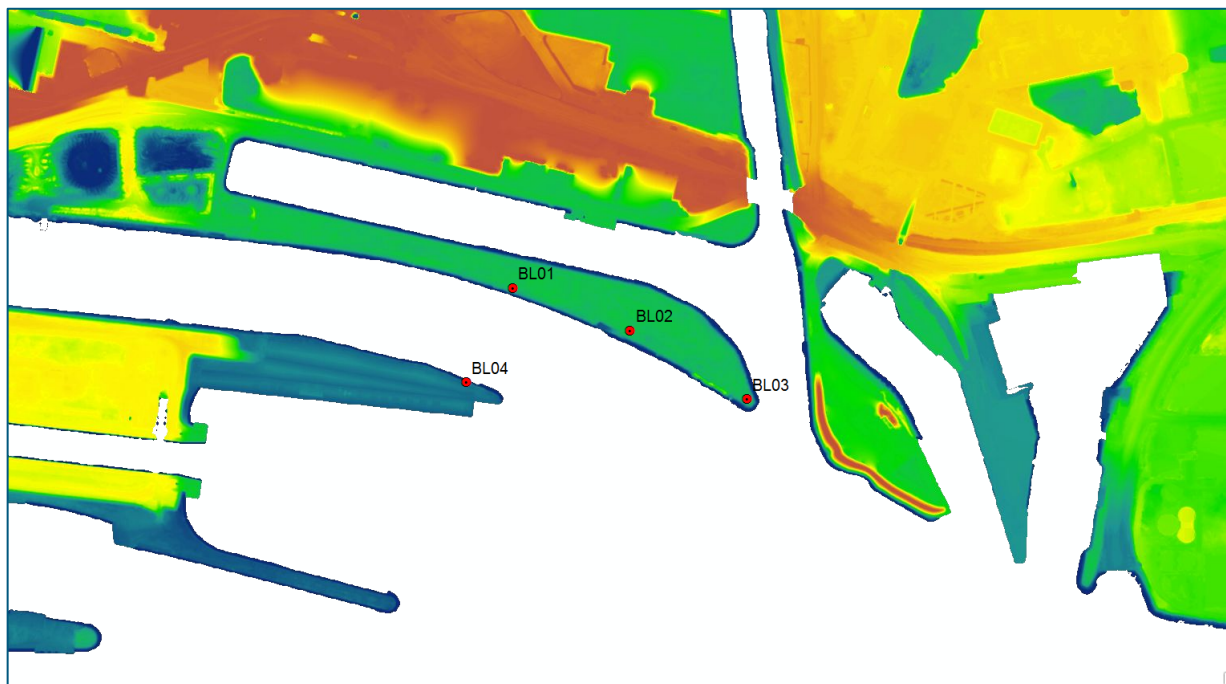
Figuur 1 - TNO-peilbuizen: Gemiddelde stijghoogte eerste watervoerende pakket (2000 tot 2018)

Ter plaatse van de middensluis zijn stijghoogtes tussen de NAP-0.28 en de +0.21 m gemeten (Figuur 2.10 [5]):



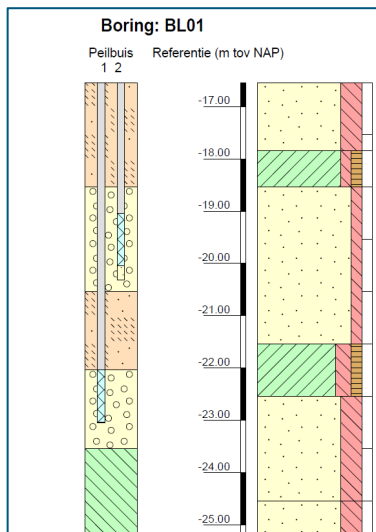
Figuur 2 – Gemeten variatie in grondwaterstanden in het centrum van sluiscomplex (paars en groen in eerste watervoerend pakket, rood en blauw freatisch pakket) [5]

In het kader van het veldonderzoek voor het SO-IJ zijn een vijftal peilbuizen, op de oever vlak naast de SO-locatie, geplaatst door Fugro.



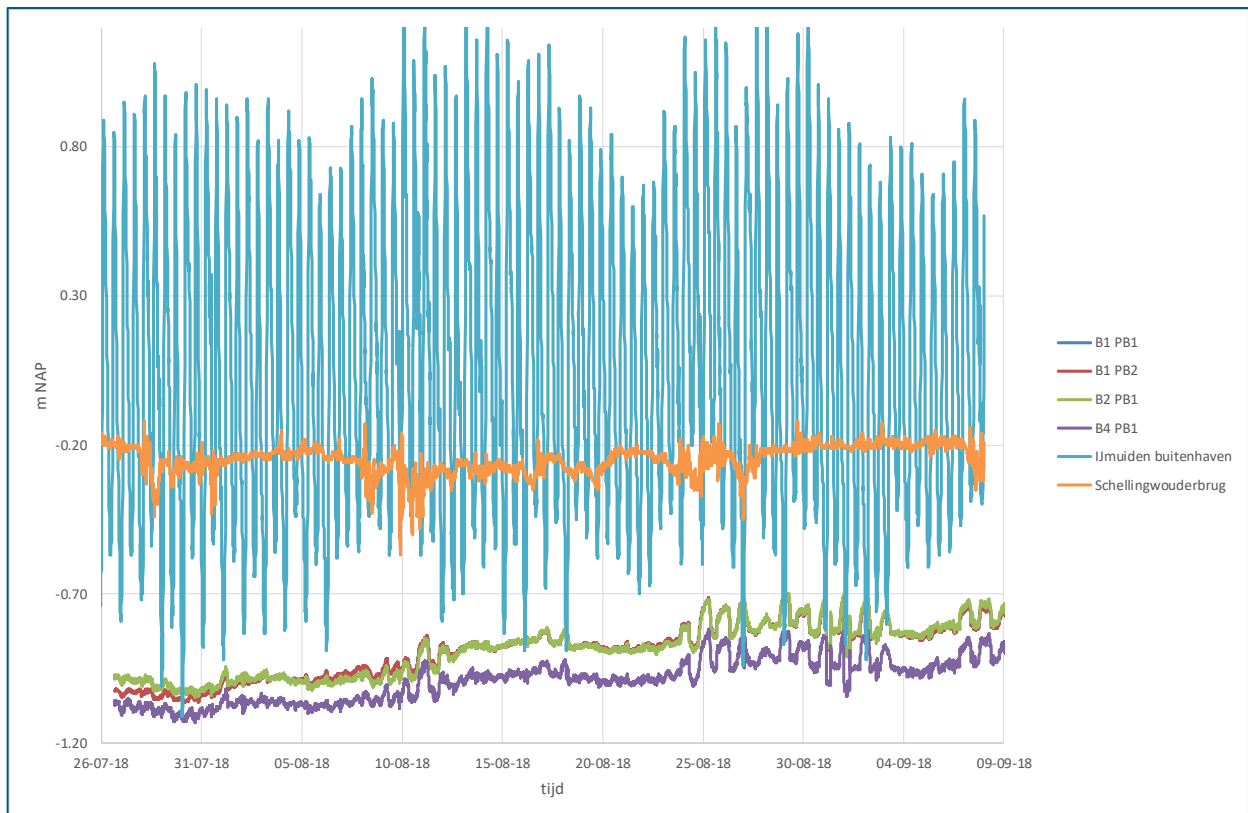
Figuur 3 – Locaties boringen met peilbuizen oever SO (Fugro)

In drie boringen (BL02, BL03 en BL04) is 1 peilbuisfilter geplaatst onder de kleilaag op NAP-18 m. In 1 boring BL01 zijn twee filters geplaatst: 1 onder de kleilaag op NAP-18 m en 1 onder een lokaal aangetroffen kleilaag op NAP-22 m. In deze peilbuizen zijn gedurende de periode van 26 juli 2018 tot en met 13 september 2018 de waterstanden gemeten met behulp van automatische drukopnemers. De meetfrequentie was elke 10 minuten. Deze meetfrequentie is gelijk aan die van de metingen van de buitenwaterstand (buitenhaven IJmuiden) en de waterstand van het Noordzeekanaal (Schellingwoudebrug). De metingen in de peilbuizen is vergeleken met de metingen van de buitenwaterstand en die van het Noordzeekanaal om de invloed van deze waterstanden op de stijghoogtes te onderzoeken. Door deze invloed te onderzoeken kan worden afgeleid wat de invloed van een stormopzet is op de stijghoogtes ter plaatse van het selectief onttrekkingsmiddel.



Figuur 4 – Filterstelling peilbuis 1 en 2 in Boring BL01 (Fugro)

In Figuur 5 zijn de gemeten stijghoogtes en de waterstanden in de aangegeven meetperiode weergegeven. De stijghoogtes gemeten in B1-PB1, B1-PB2 en B2-PB1 zijn vrijwel gelijk aan elkaar. De gemeten stijghoogte in B4-PB1 ligt structureel 0,1 m lager.

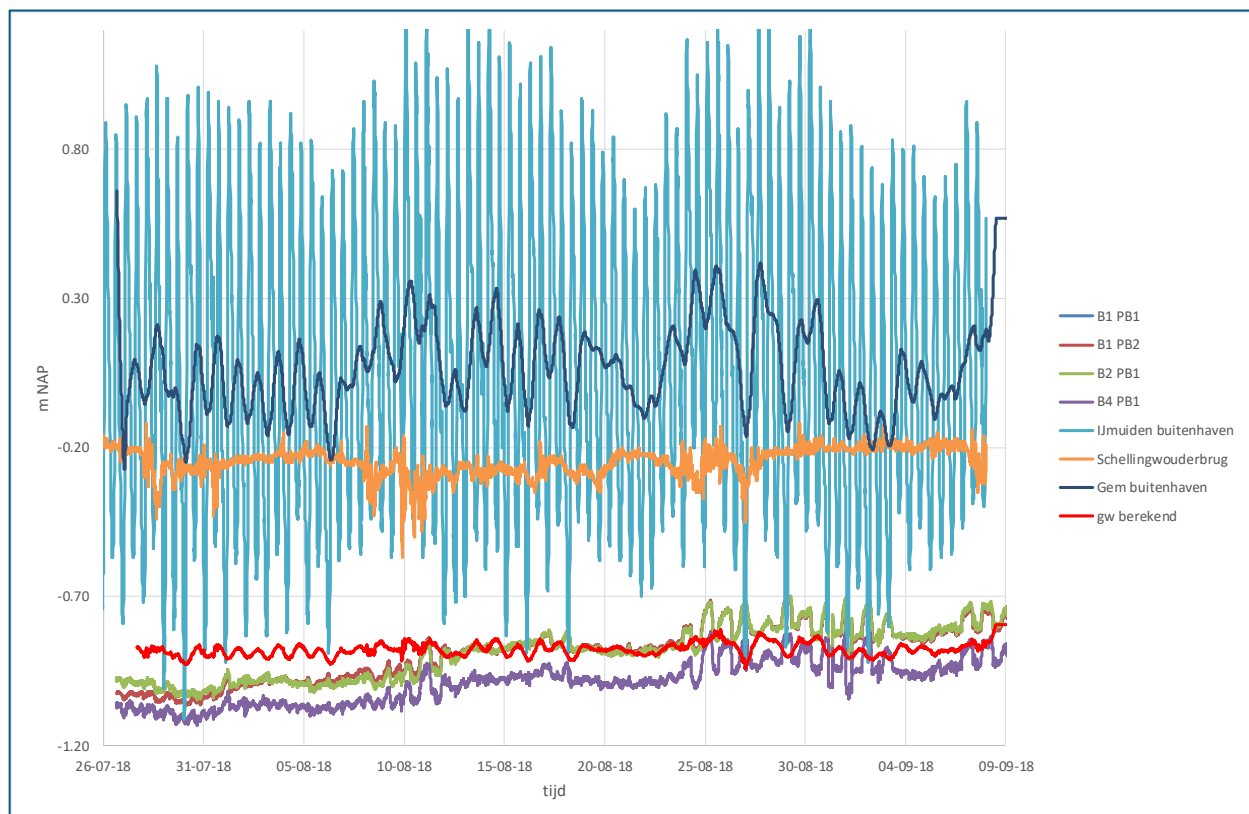


Figuur 5 - Waterstanden en stijghoogtes Selectief onttrekkingsmiddel IJmuiden

Door middel van een spreadsheetanalyse is onderzocht hoe de stijghoogtes reageren op het buiten en binnen waterpeil (Figuur 6). Uit de analyse blijkt dat de stijghoogtes een lage gevoeligheid hebben voor de buitenwaterstand. Omdat de stijghoogtes een vertraagde reactie lijken te hebben op de

buitenwaterstand is van de buitenwaterstand voor elke 10 minuten het gemiddelde berekend van de voorgaande 12 uur. Omdat de gemeten variaties in stijghoogtes kunnen niet goed kunnen worden berekend op basis van de variaties in de oppervlaktewaterstanden moet er nog een andere factor zijn die de grondwaterstand bepaalt. Waarschijnlijk is dit de winning van TATA-steel. Omdat het, naast het totaal debiet (in de orde van grootte van 1 miljoen m³ per jaar [5]), niet bekend is wanneer de putten van TATA Steel aan of uit staan kan het effect van deze winning op de stijghoogtes niet worden bepaald.

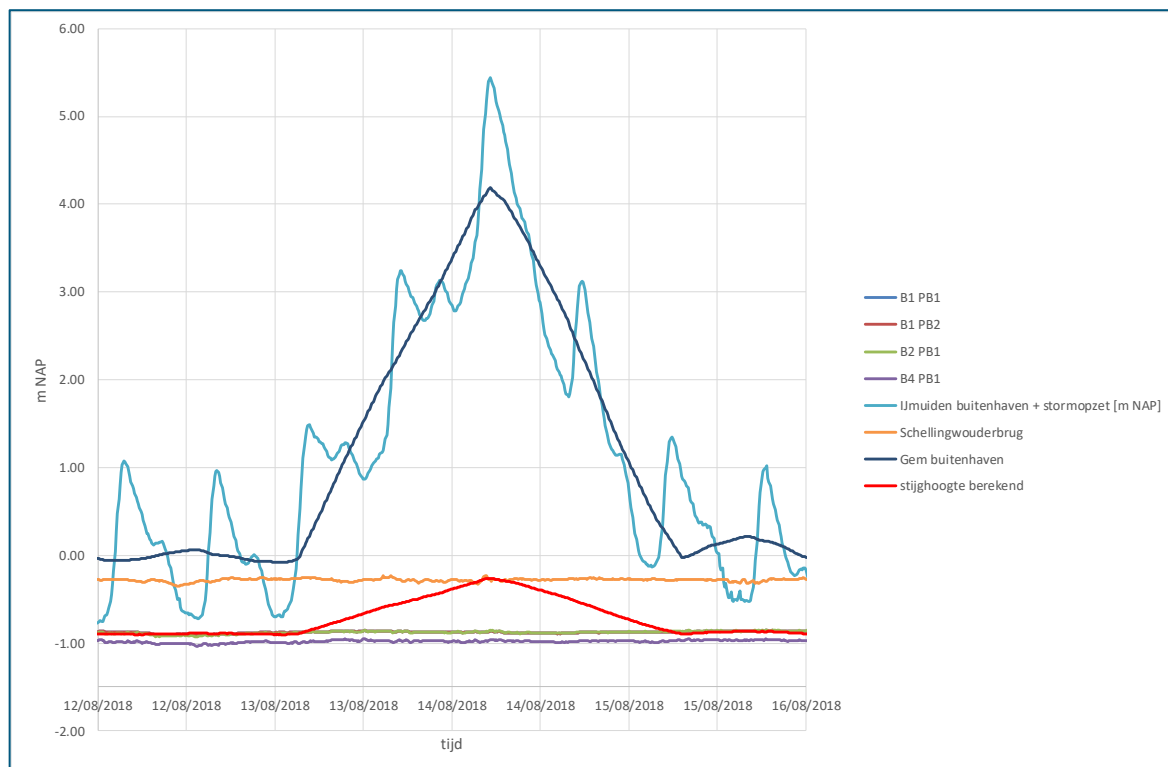
Op basis van de analyse van de beschikbare gegevens is afgeleid dat de stijghoogte onder het SO voor maximaal 15% wordt bepaald door de buitenwaterstand. Dit wil zeggen dat bij een stijging van het gemiddelde van de buitenwaterstand van 1 meter (over 12 uur) de stijghoogte ter plaatse van het SO met maximaal 0.15 m stijgt. Met deze waarde wordt het exacte verloop van de stijghoogtes niet goed berekend, maar de waargenomen dagelijkse range in de stijghoogtes wel.



Figuur 6 - Berekende stijghoogte onder SO op basis van variatie in oppervlaktewater (buiten en binnen)

In tabellen 3.2 en 4.1 van [8] zijn de hoogwaterpeilen aan de buitenzijde en de laagwater peilen bij storm bij verschillende herhalingstijden weergegeven. Deze zijn opgenomen in Tabel 1.

In Figuur 7 is het verwachte maximale effect, bij een storm met een herhalingstijd van 10.000 jaar, op de stijghoogte weergegeven, ervan uitgaande dat de stijging binnen 24 uur oploopt tot NAP 5,0 m, waarna het binnen 2 uur oploopt tot NAP 5,5 m. Hierna daalt de waterstand binnen 2 uur weer naar NAP 5,0 mP en vervolgens binnen 24 uur weer naar het gemiddelde peil.



Figuur 7 - Berekend maximaal effect van stormopzet op stijghoogte onder het SO

De gemiddeld gemeten stijghoogte rondom het SO bedraagt NAP-0.90 m. Het streefpeil van het Noordzeekanaal bedraagt NAP-0.4, m. Indien de bodem van de ontgraving niet wordt afgedicht zal door dichtheidsstroming een grote hoeveelheid zout water in het watervoerende pakket indringen (Deltares [5]).

Deltares stelt in [5] dat de zoute instroom wordt beheerst door de huidige grondwaterwinning van TATA-staal. (Deltares heeft dit overigens niet aangetoond met een 3D-model. De gemeten stijghoogtes op het terrein van TATA liggen hoger dan de nu gemeten waarden bij het SO). Bij beëindiging of drastische verlaging van de grondwateronttrekking door TATA zal het zoute water, dat het watervoerende pakket indringt, na de ontgraving niet meer in noordelijke richting stromen maar in oostelijke richting.

Deze situatie is niet gewenst omdat hierdoor een toename van de verzilting van het grondwater ontstaat. Onder de huidige gemiddelde omstandigheden is er geen sprake van een kweldruk onder de kleilaag. Bij een stormopzet kan er onder de huidige omstandigheden wel een kweldruk ontstaan (zie Tabel 1). Naar verwachting zal de beëindiging van de winning van TATA-staal leiden tot een verhoging van de stijghoogte van 0,5 tot 1,5 m, afhankelijk van de herhalingsjijd van de stormopzet.

Het gehele sluiscomplex wordt ontworpen op een stormopzet met een herhalingsjijd van 1/10.000 jaar. Voor het ontwerp van de bodemafdichting zal ook hiervan worden uitgegaan. **Dit betekent dat voor het ontwerp van de bodemafdichting rekening moet worden gehouden met een kweldruk van 1,5 m (afgerond).**

Tabel 1 – Berekende kweldruk bij stormopzet met en zonder onttrekking bij TATA steel

Herhalingstijd	Buitenwater [m NAP]	Binnenwater [m NAP]	maximum stijghoogte [m NAP]	maximum kweldruk bij huidige onttrekking TATA [m]	maximum kweldruk bij zonder onttrekking TATA [m]
1/1	-0.58	2.40	-0.60	-0.02	0.98
1/10	-0.61	3.07	-0.56	0.05	1.05
1/100	-0.64	3.80	-0.51	0.13	1.13
1/1000	-0.67	4.60	-0.39	0.28	1.28
1/10000	-0.70	5.44	-0.27	0.43	1.43

3 Randvoorwaarden en uitgangspunten

In dit hoofdstuk worden randvoorwaarden en uitgangspunten voor het ontwerp van de bodembescherming gepresenteerd.

3.1 Aanpasbaarheid bodembescherming en kweldruk

Tijdens de gebruiksfase van het SO middel kunnen er zich twee situaties voordoen die van belang zijn voor de bodembescherming/geohydrologische afdichting.

1. Indien het SO middel onvoldoende effectief blijkt kan ervoor worden gekozen om een zoutvang aan te leggen in de Velserkom. Dit genereert meer aanvoer van zout water waardoor het SO middel effectiever wordt. Hiertoe dient de bodem verdiept te worden van NAP-23m naar NAP-24/25m waardoor ook de bodembescherming aangepast moet worden. Aangenomen is dat vrij snel (paar jaren) na in gebruikname van het SO middel de effectiviteit van het SO middel bekend zal zijn en daarmee het besluit genomen kan worden om al dan niet een zoutvang aan te leggen. Daarom is voor de Netto Contante Waarde bepaling 5 jaar aangehouden.
2. TATA Steel onttrekt in de huidige situatie grondwater. In de toekomst kan deze onttrekking stopgezet worden waardoor er een kweldruk kan ontstaan op de bodembescherming. Hiertoe moet de bodembescherming voldoende tegendruk/gewicht hebben om stabiel te blijven. Voor de Netto Contante Waarde bepaling is aangenomen dat het wel of niet stopzetten van de onttrekking na ongeveer 20 jaar plaats zal vinden.

Voor deze beide scenario's wordt apart een kostenschattting gemaakt, deze zijn gepresenteerd in paragraaf 4.4.

3.2 Geohydrologisch

In de geohydrologische beschouwing in hoofdstuk 2 een beschouwing opgenomen met betrekking tot de optredende kweldruk als gevolg van het afgraven ten behoeve van het SO middel. In de huidige situatie zal deze een verwaarloosbaar zijn vanwege de huidige grondwateronttrekking door TATA Steel [5]. Echter na beëindiging van de winning door TATA kan deze gaan stijgen. Zoals afgeleid in hoofdstuk 2 zal voor het ontwerp van de bodemafsluiting rekening gehouden worden met een **kweldruk van 1,5m**.

3.3 Hydraulisch

De maximale stroomsnelheid waar de bodembescherming op ontworpen dient te worden is 1,7 m/s. Om de stroomsnelheid op een zekere afstand van het SO middel te bepalen wordt de volgende aanpak toegepast [2]:

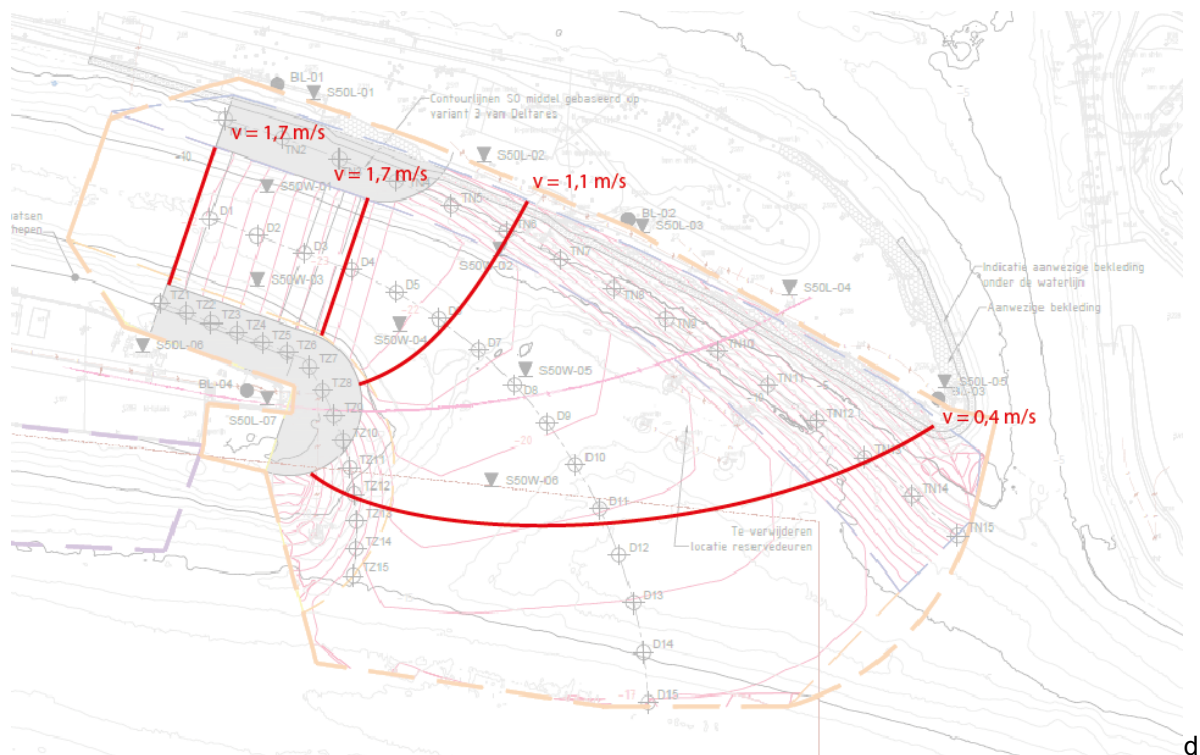
- Aangenomen wordt dat de maatgevende snelheid langs de bodem wordt bepaald door de stroming in de zoute laag en dat de laagdikte gelijk is aan de hoogte van de spleet, 7m. Dit is een conservatieve benadering. Dan bepaalt de ontwikkelde doorsnede van de stroming de snelheid.
- Er kan worden uitgegaan van een orthogonaal netwerk op de -16NAP lijn voor de bepaling van de ontwikkelde doorsnede. De snelheid op een bepaalde afstand van de SO wordt dan bepaald als:

$$V_x = V_0 * A_0 / A_{dsn}$$

Waarin:

V_x = snelheid in raai x
 V_0 = snelheid onder SO
 A_0 = natte doorsnede onder SO
 A_{dsn} = ontwikkelde doorsnede in raai x onder NAP-16m

- In onderstaande figuur is dit schetsmatig aangegeven met indicatieve snelheden



Figuur 8 – Stroombeeld voor- onder en achter het SO middel [2]

3.4 Ruwheid

In de modellering van Deltares is uitgegaan van een ruwheidshoogte van 2mm als basis en van 150mm direct onder de Selectieve Onttrekking en erachter [3]. Dit laatste om rekening te houden met een grotere ruwheid voor de bodembescherming. Uit eerste berekeningen voor de toe te passen steenbestorting blijkt dat minimaal een bestorting van 5-40kg benodigd is om de maximaal optredende stroomsnelheid te kunnen weerstaan. Deze heeft echter een diameter van 200mm wat de gemodelleerde ruwheid overschrijdt. Naar aanleiding hiervan is contact opgenomen met Deltares en in overleg vastgesteld dat deze iets ruwere bodem waarschijnlijk een kleine invloed zal hebben op de effectiviteit van het SO middel (*Persoonlijke communicatie A. Bijlsma en P. de Vries, dd 18-09-2018*). Naar aanleiding hiervan wordt een **maximale ruwheid aangenomen van 200mm** wat overeenkomt met een losse breuksteen bestorting van 5-40kg.

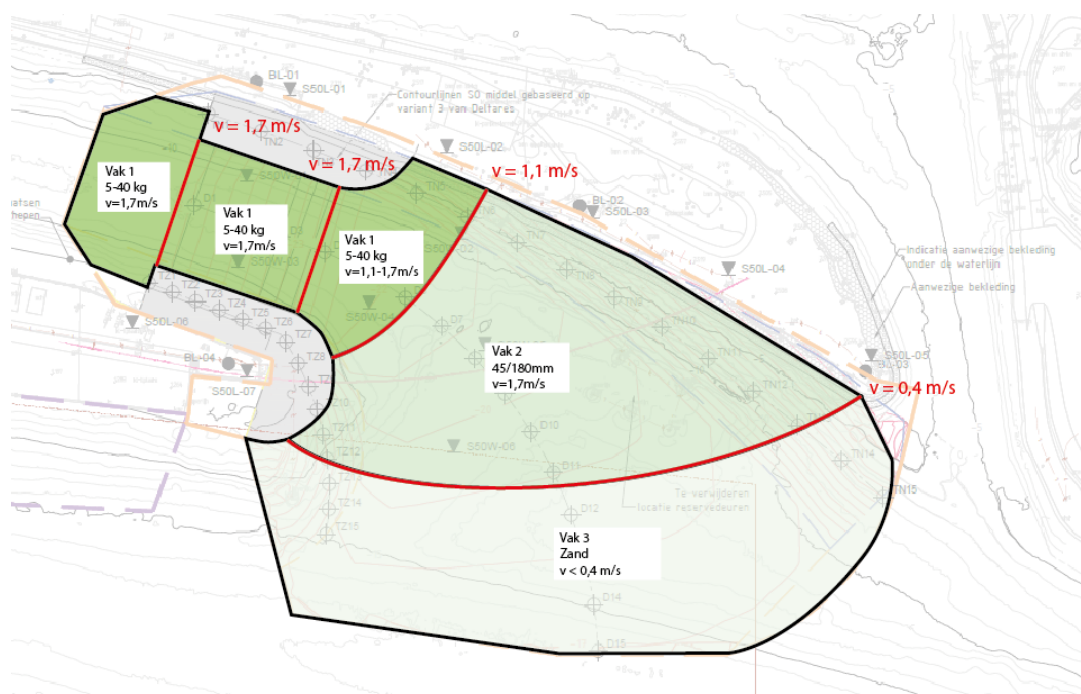
4 Ontwerp bodembescherming / afdichting

In eerste instantie wordt een standaard bodembescherming toegepast. Het ontwerp hiervan wordt gepresenteerd in paragraaf 4.1. Verschillende opties voor een waterdichte bodembescherming worden bekeken in paragraaf 4.2. Het ontwerp van het voorkeursalternatief wordt gepresenteerd in paragraaf 4.3. Tijdens de gebruiksfase van het SO middel kunnen er zich twee situaties voordoen die van belang zijn voor de bodembescherming/geohydrologische afdichting, het verdiepen naar -24/25m en het stopzetten van de grondwateronttrekking door TATA Steel. Deze hebben invloed op de keuze wanneer men een waterdichte bodembescherming wil aanleggen. In paragraaf 4.4 worden deze verschillende scenario's uitgewerkt en een NCW kostenschätzung gegeven.

4.1 Standaard bodembescherming

Op basis van de stroomsnelheden gedefinieerd in paragraaf 3.3 is de vereiste toplaag berekend met behulp van de methode van Pilarczyk en is een vak indeling gemaakt voor de bodembescherming. Berekeningen zijn gegeven in bijlage 2.

Vak	Oppervlak	Stroomsnelheid	Vereiste toplaag bodembescherming
1	±24000 m ²	1,1 – 1,7 m/s	Sortering 5-40kg
2	±40000 m ²	0,4 – 1,1 m/s	Sortering 45/180mm
3	N/A	< 0,4 m/s	Conform [4] hoeft bij een stroomsnelheid lager dan 0,4 m/s de zandige bodem niet te worden verdedigd.



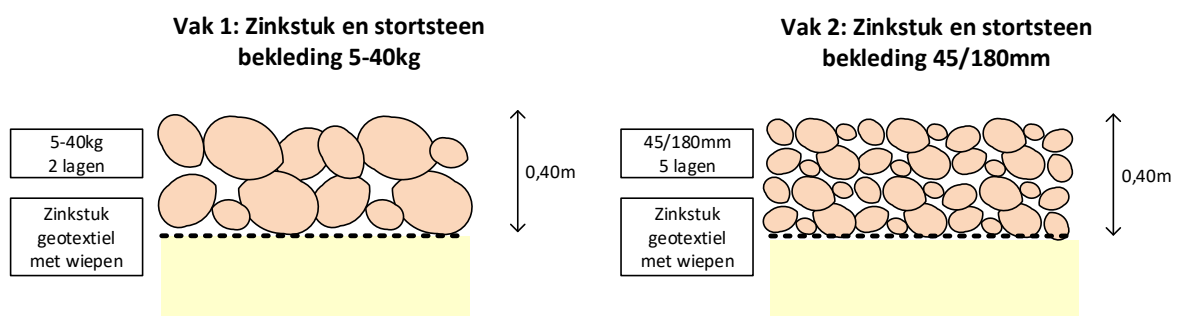
Figuur 9 - Bovenaanzicht bodembescherming

De bodembescherming is opgebouwd uit een zinkstuk bestaande uit geotextiel en wiepen en daar bovenop een breuksteen bekleding. Om het zinkstuk te kunnen afzinken dient de massa van de breuksteen minimaal 400 kg/m² te zijn. Uitgaande van een steendichtheid van $\phi_s = 2650 \text{ kg/m}^3$, een

waterdichtheid van $\rho_w = 1020 \text{ kg/m}^3$ en een van $\phi = 0,35$ betekent dit een minimale laagdikte van ongeveer:

$$\frac{400}{(\rho_s - \rho_w) * (1 - \phi)_s} \approx 0,40\text{m}$$

Het ontwerp van de bodembescherming is weergegeven in onderstaande figuur. Hier is onderscheid gemaakt in vak 1 en 2.



Figuur 10 – Standaard bodembescherming

4.2 Waterdichte opties: voorkeur voor folie met breuksteen

Mocht TATA Steel in de toekomst besluiten om de grondwateronttrekking stop te zetten dient er een waterdichte bodembescherming toegepast te worden. Hiervoor bestaan verschillende opties:

1. **Vol-en-zat gepenetreerde bekleding** volledig gevuld met beton of asfalt. Om dit te bereiken dient de breuksteen laagsgewijs te worden aangebracht. Onder deze bekleding is nog een zinkstuk nodig om de stenen op hun plek te houden tijdens de realisatie. Een gepenetreerde bekleding heeft als voordeel dat deze waterdicht is en met beperkte constructiehoogte de opwaartse druk kan weerstaan. Aansluiting op de afsluitende kleilaag kan eenvoudig worden gerealiseerd. Nadelen zijn de hoge kosten en het feit dat het niet mogelijk is om deze bodembescherming in de toekomst eenvoudig te verwijderen.
2. **Folie voor waterafdichting en breuksteen bekleding.** Een folie is relatief goedkoop en is gemakkelijk aan te brengen. Folie wordt in stroken aangebracht die vervolgens direct worden verzwaard door het aanbrengen van grind. Daar bovenop wordt een breuksteen bekleding aangebracht in lagen. De aansluiting op de bestaande kleilaag kan worden uitgevoerd met bijvoorbeeld een kielspit of teenschot/klembalk. Het voordeel van deze oplossing is het feit dat deze goedkoop is en eenvoudig aanpasbaar. Het risico op perforaties wordt beheerst door het plaatsen van een grindlaag op het folie voordat de breuksteen bekleding wordt geplaatst.
3. **Bentonietmatten met losse breuksteen bekleding.** De bentonietmatten (dikte 1 tot 3 cm) zijn duurder en worden op vrijwel dezelfde wijze aangebracht als folie: in stroken die vervolgens direct worden verzwaard door het aanbrengen van breuksteen. Het bentoniet heeft een zeer hoge afdichtende werking, mits goed aangesloten wordt aangebracht (overlap van 0,5 tot 1,0 m). Bij toepassing van bentonietmatten zijn de risico's van perforaties kleiner omdat het bentoniet kleine perforaties kan herstellen.
4. **Hergebruik van klei.** De afgegraven klei wordt na het uitbaggeren teruggeplaatst als afdichtende laag. Dit heeft als voordeel dat kan worden bespaard op kosten voor afdichtingsmaterialen en het is eenvoudig te verwijderen. Echter heeft het als nadeel dat het een onzeker alternatief is. De klei kan makkelijk suspenderen tijdens het verwerken onder water. Ook

is op deze diepte (~NAP – 15m / -25m) klei onder water nog niet eerder toegepast met 'nat' materieel. Voor deze optie zal nader onderzoek plaats dienen te vinden ten aanzien van de uitvoeringswijze en het behoud van de huidige kleilaag.

5. **Injectie.** Door middel van een grond- of groutinjectie zou de bodem waterdicht kunnen worden gemaakt. Het is echter een onzekere methode omdat het lastig is om de bodem 100% waterdicht te maken. Bovendien is injecteren over een groot oppervlak duur en is verwijderen of later aanpassen zeer lastig. Hierdoor wordt deze optie onaantrekkelijk geacht.

Op basis van de bovengenoemde voor- en nadelen wordt gekozen voor het toepassen van de **tweede optie: een folie met daarop een losse breuksteen bekleding**. Deze is goedkoop en eenvoudig te verwijderen.

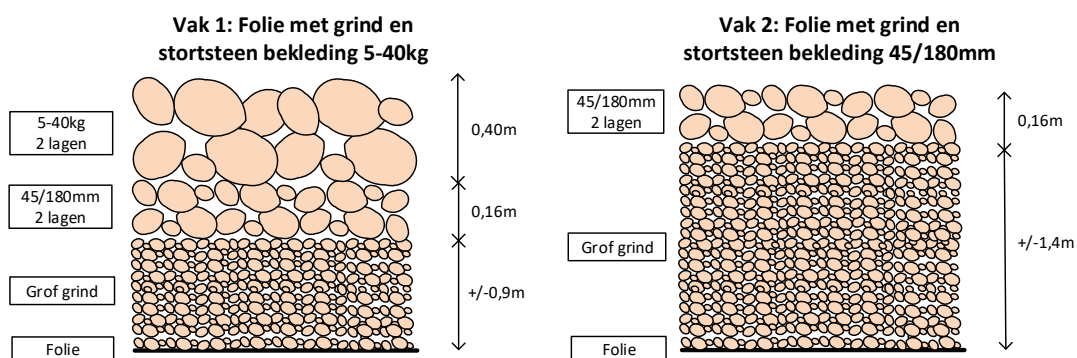
4.3 Ontwerp folie met breuksteen

In onderstaande afbeelding is het principe van een folie met daarop een breuksteen bekleding weergegeven. De bekleding moet de opwaartse druk zoals gedefinieerd in paragraaf 3.2 kunnen weerstaan. Er wordt uitgegaan van een steendichtheid van $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$, een waterdichtheid van $\rho_w = 1020 \text{ kg/m}^3$ en een porositeit van $\phi = 0,35$.

Er wordt rekening gehouden met een opwaartse druk van ongeveer 1,5 meter (zie paragraaf 3.2) wat overeenkomt met een druk van $1,5 * \rho_w = 1530 \text{ kg/m}^2$. Dit betekent dit een minimale laagdikte van ongeveer:

$$\frac{1530}{(\rho_s - \rho_w) * (1 - \phi)_s} \approx 1,5m$$

De grindlaag vult de bodembescherming aan tot de minimale dikte. De opbouw van de is weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 11 – Waterdichte bodembescherming

4.4 Scenario's

Tijdens de gebruiksfase van het SO middel kunnen er zich twee situaties voordoen die van belang zijn voor de bodembescherming/geohydrologische afdichting (zie paragraaf 3.1):

1. Rijkswaterstaat besluit tot aanleg zoutvang, SO middel wordt verdiept naar NAP-24/25m
2. TATA Steel stopt met grondwateronttrekking

Voor beide situaties worden in onderstaande paragraaf verschillende scenario's uitgewerkt en is een kostenschatting opgesteld. Ten behoeve van deze kostenschatting zijn de volgende aannames gedaan:

- De kosten zijn berekend als Netto Contante Waarde (NCW) naar jaar 0 met een discontovoet van 3%
- De kosten betreffen alleen directe benoemde bouwkosten. Aannemerskosten, kosten voor engineering, winst & risico etc zijn niet inbegrepen.
- Alleen kosten voor baggeren vanaf NAP-23m en dieper zijn meegenomen voor deze kostenvergelijking.

4.4.1 Rijkswaterstaat besluit tot verdiepen tot NAP-24/25m

Indien Rijkswaterstaat besluit om in de toekomst een zoutvang aan te leggen in de Velserkom dient de bodem van het SO middel op maximaal NAP-24/25m aangelegd te worden. Hier kan men op twee manieren mee omgaan: 1) een standaard bodembescherming aanleggen en deze verwijderen en opnieuw aanleggen als de verdieping zich aandient of 2) nu al investeren in een dieper liggende bodembescherming. Deze beide scenario's worden in onderstaande tabel toegelicht en er wordt een kostenschatting gegeven.

Tabel 2 – Scenario's bodembescherming uitdiepen naar NAP-24/25m

Scenario	Jaar 0: nu of later investeren in diepe bodembescherming	Jaar 5: zoutvang wordt aangelegd	Kosten NCW (EUR)
1.1: later investeren	Er wordt een standaard bodembescherming toegepast op NAP-23m bestaande uit een zinkstuk (geotextiel en wiepen) en breuksteen.	De bodembescherming moet verwijderd worden, uitgediept naar NAP-24/25m en opnieuw aangelegd worden.	€ 4.400.000
1.2: nu investeren	Er wordt een standaard bodembescherming toegepast op NAP-24/25m bestaande uit een zinkstuk (geotextiel en wiepen) en breuksteen.	Geen aanpassing benodigd. Bodembescherming ligt al op de gewenste diepte.	€ 3.300.000

Uit bovenstaande NCW kostenschatting blijkt dat direct investeren in een diepere bodembescherming de voorkeur heeft (scenario 2.1), dit is ca. 1,1 miljoen goedkoper is dan dit pas te doen op het moment dat de verdieping zich aandient.

4.4.2 TATA Steel stopt met grondwateronttrekking

Indien TATA Steel in de toekomst de grondwateronttrekking stopzet dient de bodembescherming aangepast te worden. Deze dient waterdicht te zijn en zwaar genoeg om de optredende kweldruk (1,5m) te kunnen weerstaan. Ook hier kan men op twee manieren mee omgaan: 1) een standaard lichte en permeabele bodembescherming aanleggen en deze vervangen als TATA Steel stopt met onttrekken, of 2) nu al investeren in een zwaardere en waterdichte bodembescherming. Deze beide scenario's worden in onderstaande tabel toegelicht en er wordt een kostenschatting gegeven.

Tabel 3 – Scenario's bodembescherming aanpassen tegen kweldruk

Scenario	Jaar 0: nu of later investeren in diepe bodembescherming	Jaar 20: TATA Steel stopt met grondwateronttrekking	Kosten NCW (EUR)
----------	--	---	------------------

2.1: later investeren	Er wordt een standaard bodembescherming toegepast op NAP-23m bestaande uit een zinkstuk (geotextiel en wiepen) en breuksteen.	De huidige bodembescherming moet vervangen worden voor waterdichte bodembescherming bestaande uit een waterdicht folie, grind als ballast materiaal en hier bovenop een breuksteen bodembescherming.	€ 4.400.000
2.2: nu investeren	Er wordt een waterdichte en zware bodembescherming toegepast op NAP-23m bestaande uit een waterdicht folie, grind als ballast materiaal en hier bovenop een breuksteen bodembescherming.	Geen aanpassing benodigd. De waterdichte en zware bodembescherming is al aanwezig.	€ 4.400.000

Uit de NCW kostenschattting blijkt het verschil in kosten klein is. Er wordt geadviseerd om later te investeren in een diepe bodembescherming (scenario 2.1). Deze optie zal goedkoper worden als het stopzetten van de onttrekking door TATA Steel verder wordt uitgesteld. *Als bijvoorbeeld de onttrekking pas na 30 jaar wordt stopgezet is de NCW van later investeren (scenario 1) ca. 3,8 miljoen.*

5 Conclusies en aanbevelingen

Er zijn verschillende alternatieven mogelijk om een waterdichte laag aan te brengen bij het SO middel. Het voorkeursalternatief is een folie met daarop een losse breuksteen bekleding. Deze is eenvoudig, goedkoop en gemakkelijk te verwijderen.

Tijdens de gebruiksfase van het SO middel kunnen er zich twee situaties voordoen die van belang zijn voor de bodembescherming/geohydrologische afdichting. Met betrekking tot deze situaties wordt het volgende geconcludeerd:

1. Indien het SO middel onvoldoende effectief blijkt kan worden besloten om deze te verdiepen. Uit de NCW kostenschatting blijkt dat direct investeren in een diepere bodembescherming (scenario 1.1) ca. 1,1 miljoen goedkoper is dan dit pas te doen op het moment dat de verdieping zich aandient.
2. In de toekomst kan de grondwateronttrekking door TATA Steel stopgezet worden waardoor er een kweldruk kan ontstaan op de bodembescherming. Hiertoe moet de bodembescherming voldoende tegendruk/gewicht hebben om stabiel te blijven. Uit de NCW kostenschatting blijkt dat de kosten om het even zijn. Er wordt geadviseerd om later te investeren in een diepe bodembescherming (scenario 2.1). Deze optie zal goedkoper worden als het stopzetten van de onttrekking door TATA Steel verder wordt uitgesteld. Als bijvoorbeeld de onttrekking pas na 30 jaar wordt stopgezet is de NCW van later investeren (2.1) ca. 3,8 miljoen.

Bijlage 1: Referentieprojecten afdichting waterbodem SO middel

Canal	Lining material	Construction method
Pays Bas		
<ul style="list-style-type: none"> Julianakanaal 	Clay, Silt en bentonite mats (locally)	Concrete in the dry and maintenance with clay below water level
<ul style="list-style-type: none"> Twentekanaal 	Initial no lining material and some parts with Beton. Later Clay and bentonite mats (locally) was used for sealing	Initially in the dry, maintenance with clay and bentomat below water level
<ul style="list-style-type: none"> Zuid Willemsvaart 	Clay and bentonite mats (locally)	Below water level
<ul style="list-style-type: none"> IJssel, Kampen 	Silt (compaction tests in Bypass of the river IJssel)	In the dry
<ul style="list-style-type: none"> Maximakanaal (see figure 2) 	Clay	In the dry
Schotland		
<ul style="list-style-type: none"> Union canal - from Edinburgh to Falkirk 	Puddled clay	Below water level
<ul style="list-style-type: none"> Forth and Clyde Canal - from Falkirk to Glasgow 	Puddled clay	Below water level
<ul style="list-style-type: none"> Montgomery canal 	Bentonite mats	In the dry
France		
<ul style="list-style-type: none"> Canal du Midi 	Clay	
<ul style="list-style-type: none"> Canal du Loing et Canal Briare 	Clay and concrete	
<ul style="list-style-type: none"> Rigolle d'Arroult 	Geomembrane (renovation sealing), originally concrete	Below water level
Belgique		
<ul style="list-style-type: none"> Canal Abert (see figure 1) 	Clay and concrete	In the dry
<ul style="list-style-type: none"> Canal de Charleroi a Bruxelles 	Clay / Silty and clayey sand	In the dry and partly below water level



Le Canal Albert

Figuur 12 – Canal Albert



Figuur 13 – Bouw van het Maximakanaal

Literatuur afdichting:

Twentekanaal:

Notitie WBA-M-88149

Kwelbeperkende oplossingen

Twenthekanalen.

Projekt: C 86.03/03

worden. Als afdichtingstechniek is een groot aantal oplossingen met gebruik van "harde" materialen (asfalt, breuksteen, beton) en "zachte" materialen (membranen, folies, klei of leemlagen, beslibbingstechnieken e.d.) mogelijk.

Het "inspoelen" of "beslibben" van een kanaalbodem lijkt, gemeten naar effectiviteit in relatie tot de kostprijs een aantrekkelijk kwelbeperkende maatregel te zijn; zie hiervoor appendix A en hetgeen in par. 6 is gesteld.

De effectiviteit van een beslibbingstechniek is in de praktijk reeds gebleken bij toepassing van beslibbing in het Julianakanaal en de zijtak van het Twentekanaal naar Almelo (zie lit. [1]).

Blijkens deze ervaringen zijn vooral het vinden van de meest geëigende klei en de optimale werkmethode, onderwerpen die de aandacht vragen. De meest geëigende klei heeft een hoog lutumgehalte en is nog voldoende gemakkelijk tot slib suspensie te brengen. Deze eisen staan op gespannen voet met elkaar omdat in het algemeen bij toenemende lutumgehalte van de klei ($< 2 \mu\text{m}$), verslibbing lastiger te bereiken is. De meest ideale oplossing van dit probleem is het toepassen van lutumrijke, weinig geconsolideerde slib, dat bijvoorbeeld bij onderhoudsbaggerwerk vrijkomt.

Constructies Materialen	Eisen	Nagenoeg waterdicht $k < 10^{-8} \text{ m/s}$	Stabiliteit o.i.v. hydraulische belasting (alleen hoofdkanaal)	Uitvoerbaarheid onder water	Gem. laagdikte	Kosten per m^2 (Indicatief)
1. Asfaltmestiek		110%	goed	goed ¹⁾ , mits	0,15 m	f 66,- ²⁾
2. Asfaltbeton		98%	goed	niet mogelijk	0,30 m	valt af
3. Breuksteen gepenetreerd met asfaltmestiek		98%	goed	goed ³⁾ , mits	$> 0,35 \text{ m}$	duurder dan (1)
4. Colloïdaal beton		100% ⁴⁾	goed	slibbezwaar	0,15 m	f 40,-
5. Breuksteen gepenetreerd met colloïdaal beton		98% ⁴⁾	goed	idem	0,30 m	duurder dan (4)
6. Klei c.q. leem (methode Dordtsche Kil, Zinckon)		70-90% afh. van kwaliteit	matig	redelijk	2x0,10 m (overlap)	15 à 25 (?) ⁷⁾
7. Klei c.q. slib "inspoe- len" zoals in 1947		70-90% ?	matig	redelijk	1 à 2 cm	weinig (?)
8. Membraan/folie + ballast		100% ⁵⁾	ballaststeen, vereist 80-200 mm c.q. 50-150 mm	geen ervaring ⁶⁾ (misschien bij dir. Utrecht	f 20,-	<u>alleen aanschaf membraan</u>
9. Injectie met bentoniet waterglas e.d.		?	?	?	?	?

1) Uitvoerbaarheid zal moeilijk zijn i.v.m. het schoonhouden van de aansluitingen tussen de verschillende lagen, overlappen e.d. ⁴⁾.

2) De uitvoering kan m.i. niet plaatsvinden met bestaande machines/apparatuur.

3) Bodem moet gevlakt worden i.v.m. "lopen" van de penetratiespecie. Slibbezwaar.

4) Kans op scheurvorming bij ongelijkmatige zetting van de ondergrond.

5) Overlapprobleem.

6) "Verdiepte ligging" RW 27 bij Amelisweerd. Baggeren nodig! Duur!

7) Kosten sterk afhankelijk van aanvoerafstand van geschikt materiaal (b.v. bietenklei Puttershoek, Groningen o.i.d.).


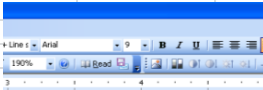
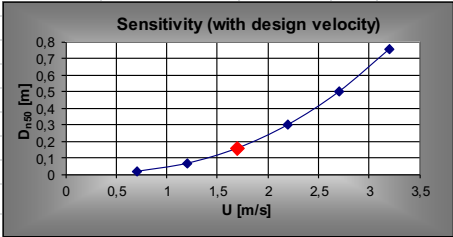
Kanaal Seine Noord Europa:




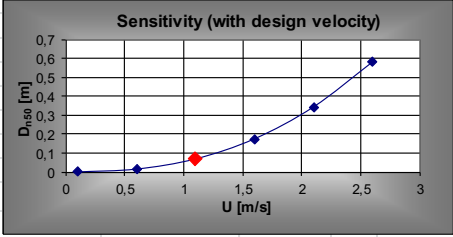
Materials	A3, A4 clay A2 silt B6 very clayey sand and gravel	Bituminous concrete	Geomembrane PVC, HDPE	Bentonitic mattress
Origin	Natural materials possible treated with bentonite	Materials from the mixing plant	Factory materials	Factory materials
Homogeneity	Relatively low availability on site, heterogeneous materials	Highly homogeneous	Homogeneous	Homogeneous
Thickness	Very thick: 60 to 80 cm	Thin: 6 cm (36 cm with support layer)	Very thin: 3 mm (30 cm with support layer)	Very thin: 6 mm (but 60 cm min with support layer and ballast)
Installation	Slow and complicated (compacting and maintaining water content)	Fast and reliable	Fast and reliable	Fast and reliable (if swelling is controlled when soaking)
Cost	Low if materials available in the vicinity, if not variable cost	Medium, varying little	Low, varying little	Fairly high, varying little
Service life	100 years and more	100 years for submerged part 30 years in lapping zone	20 years	10 years
Leak detection	Monitoring possible but difficult and costly	Monitoring possible	Monitoring possible	Monitoring possible
Repair and maintenance	Possible and easy (including under water)	Possible and easy but only in the dry	Very easy but only in the dry	Very easy but only in the dry
Precautions on emptying	Slow emptying, precautions to be taken before authorising circulation	Fast emptying, no precautions to be taken before authorising circulation	Fast emptying, precautions to be taken before authorising circulation	Fast emptying, precautions to be taken before authorising circulation
Past experience	Very wide	Wide (decades)	Medium	Limited (innovative)
Structure references	Chautagne power channel (Upper-Rhône) Tail race canal from the Saint-Alban nuclear power station (Rhône) The use of a silt core is standard practice on the mixed embankments of schemes on the Rhône.	Niffer-Mulhouse canal sides and bottom (1994)	Banks planted with vegetation and ponds of the Niffer-Mulhouse canal	Transition zone between the Niffer-Mulhouse canal and the Alsace Grand canal. Placed under water.
Permeability	10 ⁻⁸ m/s to 10 ⁻¹⁰ m/s	Virtually impermeable if properly installed	Virtually impermeable if properly installed	10 ⁻¹⁰ m/s to 10 ⁻¹¹ m/s
Chemical sensitivity	Requires a 30 cm thick subgrade	Very low	Medium	Medium to low
Sensitivity to frost/thaw	High, but this only affects the upper part of the banks	No	No	No
Sensitivity to total settlement	Very low	Low	No	No
Sensitivity to differential settlement	Compatible with the expected settlement (see technical reference document)	Medium	No	No
Stability of side slopes	In theory adequate for slopes less than 3H/1V	Always guaranteed	In theory adequate for slopes of 2H/1V if interfaces correctly designed and made	In theory adequate for slopes of 2H/1V if interfaces correctly designed and made
Bearing capacity	Good	Good	Poor	Poor
Resistance to puncturing	Very good	Very good	Very poor (during and after installation)	Low (but self-repair function of the bentonite)
Support soil	Not particularly sensitive to the quality of the support ground	Requires a 30 cm thick subgrade	Requires a 30 cm thick subgrade	Requires a 30 cm thick subgrade

Bijlage 2: Berekening bodembescherming

Tabel 4 – Berekening steenstabiliteit vak 1

STABILITY UNDER CURRENT ATTACK - PILARCZYK						
For armourstone and alternative protection elements (ie gabions)						
Project:	BF6341 SO ZTY					
Standard:	The Rock Manual 2007 - C683 - section 5.2.3.1					
Date:	20-9-2018					
By:	P.A.L. de Vries					
Boundary conditions						
U	1,7	[m/s]	Depth averaged flow velocity			
h	7,0	[m]	Water depth			
Stone density ρ_r	2650	[kg/m ³]				
Water density ρ_w	1020	[kg/m ³]				
Correction factors in Pilarczyk - formula						
ϕ_{sc}						
- Type of protection / transition? : exposed edges of rip-rap and armourstone						
Recommended stability correction parameter		=	1,5			
Chosen value		ϕ_{sc}	=	[value]		
(supersedes recommended value if filled in)						
- Type of protection system? : rip-rap and armourstone						
Recommended mobility correction parameter		Ψ_{cr}	=	0,035		
Chosen value		Ψ_{cr}	=	[value]		
(supersedes recommended value if filled in)						
- Type of flow / turbulence level? : non-uniform flow, special cases						
Recommended turbulence correction parameter		k_t^2	=	> 2 see 5.226 in The Rock Manual		
Chosen value		k_t^2	=	3 (supersedes recommended value if filled in)		
- Type of velocity profile? : not fully developed velocity profile						
For determination of		k_h	eq. 2 is used			
k_s	=	2	* D_n (typically 1 to 3 D_n)			
k_n	=	0,47				
			(eq. 1)		$k_h = \frac{2}{\log^2(1+12h/k_s)}$	
			(eq. 2)		$k_h = (1+h/D_n)^{-0.2}$	
- Relative density Δ						
With rip-rap and armourstone the relative density is $\rho_r/\rho_w - 1$						
With box gabions and gabion mattresses, the relative density is $(1-n_v)(\rho_r/\rho_w - 1)$ with $n_v \approx 0.4$						
Δ	=	1,60				
- Flat bed or sloping bed? sloping						
Armourstone on slope	1 :	6,0	--> β	=	9,5	[°]
Current angle	ψ	=	0	[°]		
Internal friction	ϕ	=	35	[°]		
						
Slope factor	$k_{sl} = \frac{\cos \psi \sin \beta + \sqrt{\cos^2 \beta \tan^2 \phi - \sin^2 \psi \sin^2 \beta}}{\tan \phi}$	=	1,22			
Determination of required stone size						
Note						
For rip-rap and armourstone $D=D_{n50}$						
For box gabions, etc. D = thickness of element						
$D = \frac{\phi_{sc}}{\Delta} \frac{0.035}{\Psi_{cr}} k_h k_{sl}^{-1} k_t^2 \frac{U^2}{2g}$	=	0,159 [m]				
REQUIRED SIZE		CHOICE (EN13383 gradings)				
D_{n50} [m]	W_{50} [kg]	Class	W_{50} [kg]	d_{n50}		
0,159	10,557	5-40kg	22,5	0,20		
						

Tabel 5 – Berekening steenstabiliteit vak 2

STABILITY UNDER CURRENT ATTACK - PILARCZYK						
For armourstone and alternative protection elements (ie gabions)						
Project:	BF6341 SO ZTY					
Standard:	The Rock Manual 2007 - C683 - section 5.2.3.1					
Date:	20-9-2018					
By:	P.A.L. de Vries					
Boundary conditions						
U	1,1	[m/s]	Depth averaged flow velocity			
h	7,0	[m]	Water depth			
Stone density ρ_r	2650	[kg/m ³]				
Water density ρ_w	1020	[kg/m ³]				
Correction factors in Pilarczyk - formula						
ϕ_{sc}						
- Type of protection / transition? : exposed edges of rip-rap and armourstone						
Recommended stability correction parameter		=	1,5			
Chosen value		ϕ_{sc}	=	[value] (supersedes recommended value if filled in)		
- Type of protection system? : rip-rap and armourstone						
Recommended mobility correction parameter		ψ_{cr}	=	0,035		
Chosen value		ψ_{cr}	=	[value] (supersedes recommended value if filled in)		
- Type of flow / turbulence level? : non-uniform flow, special cases						
Recommended turbulence correction parameter		k_t^2	=	> 2 see 5.226 in The Rock Manual		
Chosen value		k_t^2	=	3 (supersedes recommended value if filled in)		
- Type of velocity profile? : not fully developed velocity profile						
For determination of k_h		eq. 2 is used				
k_s	=	2	* D_n (typically 1 to 3 D_n)			
k_h	=	0,40				
				(eq. 1) $k_h = \frac{2}{\log^2(1+12h/k_s)}$		
				(eq. 2) $k_h = (1+h/D_n)^{-0.2}$		
- Relative density Δ						
With rip-rap and armourstone the relative density is $\rho_r/\rho_w - 1$						
With box gabions and gabion mattresses, the relative density is $(1-n_v)(\rho_r/\rho_w - 1)$ with $n_v \approx 0.4$						
Δ	=	1,60				
- Flat bed or sloping bed? flat						
Armourstone on slope 1 :	0,0	--> β	=	#DN/0! [°]		
Current angle ψ	=	0	[°]			
Internal friction ϕ	=	35	[°]			
Slope factor $k_{sl} = \frac{\cos \psi \sin \beta + \sqrt{\cos^2 \beta \tan^2 \phi - \sin^2 \psi \sin^2 \beta}}{\tan \phi}$		= 1,00				
Determination of required stone size						
Note						
For rip-rap and armourstone $D=D_{n50}$						
For box gabions, etc. D = thickness of element						
$D = \frac{\phi_{sc}}{\Delta} \cdot \frac{0.035}{\psi_{cr}} \cdot k_h \cdot k_{sl}^{-1} \cdot k_t^2 \cdot \frac{U^2}{2g}$	=	0,069	[m]			
REQUIRED SIZE		CHOICE (EN13383 gradings)				
D_{n50} [m]	W_{50} [kg]	Class	W_{50} [kg]	d_{n50}		
0,069	0,861	45 - 180 mm	1,57	0,08		
						

Bijlage 3: NCW berekening

Tabel 6 – Eenheidsprijzen

Onderdeel	Eenheid	Prijs
Leveren zand	m3	€ 10,00
Leveren grind	ton	€ 21,00
Leveren 5-40kg	ton	€ 21,00
Leveren 45/180mm	ton	€ 21,00
Aanbrengen zand	m3	€ 6,00
Aanbrengen grind	ton	€ 7,00
Aanbrengen 5-40kg	ton	€ 7,00
Aanbrengen 45/180mm	ton	€ 7,00
Baggeren	m3	€ 8,50
Verwijderen grind	ton	€ 8,00
Verwijderen zinkstuk	m2	€ 3,00
Verwijderen 5-40kg	ton	€ 7,50
Verwijderen 45/180mm	ton	€ 7,50
Verwijderen folie	m2	€ 1,50
Leveren+aanbrengen zand	m3	€ 16,00
Leveren+aanbrengen grind	ton	€ 28,00
Leveren+aanbrengen zinkstuk	m2	€ 8,50
Leveren+aanbrengen 5-40kg	ton	€ 28,00
Leveren+aanbrengen 45/180mm	ton	€ 28,00
Leveren+aanbrengen folie	m2	€ 4,50

Tabel 7 – NCW berekening uitdiepen naar NAP-24/25m

				Discontovoet		3,00%
		Omschrijving activiteiten		Direct benoemde bouwkosten		NCW
Strategie		Keuze bodembescherming, jaar 0	Zoutvang wordt aangelegd in jaar 5	Aanleg SO [jaar]	Uitbreiding t.b.v zoutvang [jaar]	[EUR]
No.		Aanleg bodembescherming	Hoe uitbreiden?	0	5	
1.1	Later investeren	Standaard bodembescherming aanbrengen. Baggeren tot -23,6m (vak 1) en max -23,4 (vak 2), breuksteen met zinkstuk aanbrengen	Verwijderen bescherming, uitdiepen naar -25,6m (vak 1) en -25,4m (vak 2). Vervolgens opnieuw bescherming aanleggen	€ 2.214.131,20	€ 2.559.300,80	€ 4.421.806,55
1.2	Nu investeren	Baggeren tot -25,6m (vak 1) en -25,4 (vak 2), breuksteen met zinkstuk aanbrengen	Geen actie nodig. Bodembescherming ligt al op -25m	€ 3.302.131,20	€ -	€ 3.302.131,20

Tabel 8 – Overzicht activiteiten uitdiepen naar NAP-24/25m

1.1	Jaar	Activiteit	Opmerking	Locatie	Dikte m	Oppervlak m2	Volume m3	Massa ton	Eenheid	Eenheidsprijs	Kosten
1.1	0	Baggeren	Ten op zichte van NAP-23m	Vak 1	0,56	24000	13440		m3	€ 8,50	€ 114.240,00
1.1	0	Baggeren	Ten op zichte van NAP-23m	Vak 2	0,40	40000	16000		m3	€ 8,50	€ 136.000,00
1.1	0	Leveren+aanbrengen zinkstuk	Op NAP-23,56m	Vak 1		24000			m2	€ 8,50	€ 204.000,00
1.1	0	Leveren+aanbrengen 45/180mm		Vak 1	0,16	24000	3840	6614,4	ton	€ 28,00	€ 185.203,20
1.1	0	Leveren+aanbrengen 5-40kg		Vak 1	0,40	24000	9600	16536	ton	€ 28,00	€ 463.008,00
1.1	0	Leveren+aanbrengen zinkstuk	Op NAP-23,4m	Vak 2		40000			m2	€ 8,50	€ 340.000,00
1.1	0	Leveren+aanbrengen 45/180mm		Vak 2	0,40	40000	16000	27560	ton	€ 28,00	€ 771.680,00
1.1	5	Verwijderen zinkstuk		Vak 1		24000			m2	€ 3,00	€ 72.000,00
1.1	5	Verwijderen 45/180mm		Vak 1	0,16	24000	3840	6614,4	ton	€ 7,50	€ 49.608,00
1.1	5	Verwijderen 5-40kg		Vak 1	0,40	24000	9600	16536	ton	€ 7,50	€ 124.020,00
1.1	5	Verwijderen zinkstuk		Vak 2		40000			m2	€ 3,00	€ 120.000,00
1.1	5	Verwijderen 45/180mm		Vak 2	0,40	40000	16000	27560	ton	€ 7,50	€ 206.700,00
1.1	5	Baggeren	Ten opzichte van NAP-23,56m	Vak 1	2,00	24000	48000		m3	€ 8,50	€ 408.000,00
1.1	5	Baggeren	Ten opzichte van NAP-23,4m	Vak 2	2,00	40000	80000		m3	€ 8,50	€ 680.000,00
1.1	5	Leveren+aanbrengen zinkstuk	Op NAP-25,56m	Vak 1		24000			m2	€ 8,50	€ 204.000,00
1.1	5	Aanbrengen 45/180mm		Vak 1	0,16	24000	3840	6614,4	ton	€ 7,00	€ 46.300,80
1.1	5	Aanbrengen 5-40kg		Vak 1	0,40	24000	9600	16536	ton	€ 7,00	€ 115.752,00
1.1	5	Leveren+aanbrengen zinkstuk	Op NAP-25,4m	Vak 2		40000			m2	€ 8,50	€ 340.000,00
1.1	5	Aanbrengen 45/180mm		Vak 2	0,40	40000	16000	27560	ton	€ 7,00	€ 192.920,00
1.2	Jaar	Activiteit	Opmerking	Locatie	Dikte m	Oppervlak m2	Volume m3	Massa ton	Eenheid	Eenheidsprijs	Kosten
1.2	0	Baggeren	Ten op zichte van NAP-23m	Vak 1	2,56	24000	61440		m3	€ 8,50	€ 522.240,00
1.2	0	Baggeren	Ten op zichte van NAP-23m	Vak 2	2,40	40000	96000		m3	€ 8,50	€ 816.000,00
1.2	0	Leveren+aanbrengen zinkstuk	Op NAP-25,56m	Vak 1		24000			m2	€ 8,50	€ 204.000,00
1.2	0	Leveren+aanbrengen 45/180mm		Vak 1	0,16	24000	3840	6614,4	ton	€ 28,00	€ 185.203,20
1.2	0	Leveren+aanbrengen 5-40kg		Vak 1	0,40	24000	9600	16536	ton	€ 28,00	€ 463.008,00
1.2	0	Leveren+aanbrengen zinkstuk	Op NAP-25,4m	Vak 2		40000			m2	€ 8,50	€ 340.000,00
1.2	0	Leveren+aanbrengen 45/180mm		Vak 2	0,40	40000	16000	27560	ton	€ 28,00	€ 771.680,00

Tabel 9 – NCW berekening waterdicht maken bodembescherming

				Discontovoet		3,00%
		Omschrijving activiteiten		Direct benoemde bouwkosten		NCW
	Strategie	Keuze bodembescherming, jaar 0	TATA Steel stopt grondwateronttrekking in jaar 20	Aanleg SO [jaar]	Stop onttrekking TATA steel [jaar]	[EUR]
No.		Aanleg bodembescherming	Hoe omgaan met opw druk?	0	20	
2.1	Later investeren	Standaard bodembescherming aanbrengen. Baggeren tot -23,6m (vak 1) en max -23,4 (vak 2), breuksteen met zinkstuk aanbrengen	Huidige bodembescherming vervangen voor waterdichte bodembescherming. Verwijderen standaard bodembescherming. Baggeren naar -24m, folie aanbrengen, grind aanvulling aanbrengen en breuksteen bodembescherming aanbrengen.	€ 2.214.131,20	€ 3.980.348,80	€ 4.417.953,82
2.2	Nu investeren	Waterdichte en zware bodembescherming aanbrengen. Baggeren tot -24m, folie aanbrengen, grind aanbrengen en breuksteen bodembescherming aanbrengen	Geen actie nodig. Verzwaarde en waterdichte bodembescherming is al aanwezig.	€ 4.375.923,20	€ -	€ 4.375.923,20

Tabel 10 - Overzicht activiteiten waterdicht maken bodembescherming

2.1	Jaar	Activiteit	Opmerking	Locatie	Dikte m	Oppervlak m2	Volume m3	Massa ton	Eenheid	Eenheidsprijs	Kosten
2.1	0	Baggeren	Ten op zichte van NAP-23m	Vak 1	0,56	24000	13440		m3	€ 8,50	€ 114.240,00
2.1	0	Baggeren	Ten op zichte van NAP-23m	Vak 2	0,40	40000	16000		m3	€ 8,50	€ 136.000,00
2.1	0	Leveren+aanbrengen zinkstuk	Op NAP-23,56m	Vak 1		24000			m2	€ 8,50	€ 204.000,00
2.1	0	Leveren+aanbrengen 45/180mm		Vak 1	0,16	24000	3840	6614,4	ton	€ 28,00	€ 185.203,20
2.1	0	Leveren+aanbrengen 5-40kg		Vak 1	0,40	24000	9600	16536	ton	€ 28,00	€ 463.008,00
2.1	0	Leveren+aanbrengen zinkstuk	Op NAP-23,4m	Vak 2		40000			m2	€ 8,50	€ 340.000,00
2.1	0	Leveren+aanbrengen 45/180mm		Vak 2	0,40	40000	16000	27560	ton	€ 28,00	€ 771.680,00
2.1	20	Verwijderen zinkstuk		Vak 1		24000			m2	€ 3,00	€ 72.000,00
2.1	20	Verwijderen 45/180mm		Vak 1	0,16	24000	3840	6614,4	ton	€ 7,50	€ 49.608,00
2.1	20	Verwijderen 5-40kg		Vak 1	0,40	24000	9600	16536	ton	€ 7,50	€ 124.020,00
2.1	20	Verwijderen zinkstuk		Vak 2		40000			m2	€ 3,00	€ 120.000,00
2.1	20	Verwijderen 45/180mm		Vak 2	0,40	40000	16000	27560	ton	€ 7,50	€ 206.700,00
2.1	20	Baggeren	Ten op zichte van NAP-23,56m	Vak 1	0,94	24000	22560		m3	€ 8,50	€ 191.760,00
2.1	20	Baggeren	Ten op zichte van NAP-23,4m	Vak 2	1,10	40000	44000		m3	€ 8,50	€ 374.000,00
2.1	20	Leveren+aanbrengen folie		Vak 1		24000			m2	€ 4,50	€ 108.000,00
2.1	20	Leveren+aanbrengen folie		Vak 2		40000			m2	€ 4,50	€ 180.000,00
2.1	20	Leveren+aanbrengen grind		Vak 1	0,50	24000	12000	20670	ton	€ 28,00	€ 578.760,00
2.1	20	Leveren+aanbrengen grind		Vak 2	0,90	40000	36000	62010	ton	€ 28,00	€ 1.736.280,00
2.1	20	Aanbrengen 45/180mm		Vak 1	0,16	24000	3840	6614,4	ton	€ 7,00	€ 46.300,80
2.1	20	Aanbrengen 5-40kg		Vak 1	0,40	24000	9600	16536	ton	€ 7,00	€ 115.752,00
2.1	20	Aanbrengen 45/180mm		Vak 2	0,16	40000	6400	11024	ton	€ 7,00	€ 77.168,00
2.2	Jaar	Activiteit	Opmerking	Locatie	Dikte m	Oppervlak m2	Volume m3	Massa ton	Eenheid	Eenheidsprijs	Kosten
2.2	0	Baggeren	Ten op zichte van NAP-23m	Vak 1	1,50	24000	36000		m3	€ 8,50	€ 306.000,00
2.2	0	Baggeren	Ten op zichte van NAP-23m	Vak 2	1,50	40000	60000		m3	€ 8,50	€ 510.000,00
2.2	0	Leveren+aanbrengen folie		Vak 1		24000			m2	€ 4,50	€ 108.000,00
2.2	0	Leveren+aanbrengen folie		Vak 2		40000			m2	€ 4,50	€ 180.000,00
2.2	0	Leveren+aanbrengen grind		Vak 1	0,50	24000	12000	20670	ton	€ 28,00	€ 578.760,00
2.2	0	Leveren+aanbrengen grind		Vak 2	0,90	40000	36000	62010	ton	€ 28,00	€ 1.736.280,00
2.2	0	Leveren+aanbrengen 45/180mm		Vak 1	0,16	24000	3840	6614,4	ton	€ 28,00	€ 185.203,20
2.2	0	Leveren+aanbrengen 5-40kg		Vak 1	0,40	24000	9600	16536	ton	€ 28,00	€ 463.008,00
2.2	0	Leveren+aanbrengen 45/180mm		Vak 2	0,16	40000	6400	11024	ton	€ 28,00	€ 308.672,00

