

# Realisatie slibvang 3e Petroleumhaven te Rotterdam publiceerbaar

## Uw verzoek

<b>Ingediend bij</b>	<b>Ministerie van IenW-Rijkswaterstaat</b>
<b>Soort</b>	Aanvraag vergunning
<b>Activiteit(en)</b>	Ontgrondingsactiviteit op land, in regionale wateren en in een winterbed van een rivier in beheer bij het Rijk
<b>Doel</b>	Definitief
<b>Status</b>	Ingediend
<b>Verzoeknummer(s)</b>	20240109 00778 000 - 09-01-2024

---

## Project

### Naam van dit project

Realisatie slibvang 3e Petroleumhaven te Rotterdam

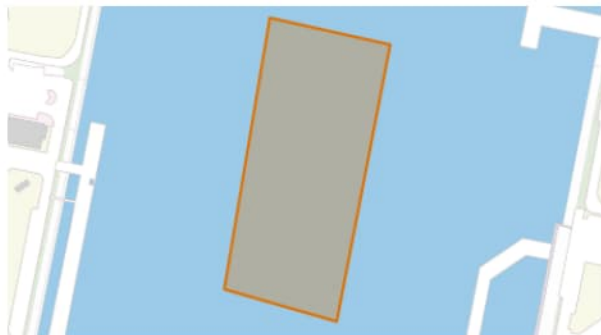
### Projectomschrijving

Het Havenbedrijf Rotterdam N.V. is voornemens om een slibvang te realiseren in de 3e Petroleumhaven.

Om te zorgen dat vaarwegen en havens veilig en bevaarbaar blijven, worden voor onderhoud baggerwerkzaamheden uitgevoerd om voldoende waterdiepte te behouden. De functie van de slibvang is om het slib uit het water zoveel mogelijk op die plek te laten bezinken en daarmee het verspreid bezinken van het slib in de haven tegen te gaan.

## Locatie

### Teken een gebied op de kaart



## Algemeen

Als u wilt kunt u een bijlage toevoegen over het contact met anderen over uw plannen.

Geen documenten.

**Voeg als bijlage toe: gegevens over de grens van de locatie waar u de activiteiten gaat uitvoeren.**

Geen documenten.

### Contact met anderen over uw plannen

**Heeft u contact gehad met anderen over uw plannen?**

Nee

### Verzoek

**Geef uw verzoek een naam**

Realisatie slibvang 3e Petroleumhaven te Rotterdam

**Toelichting op uw verzoek**

geen openbare informatie

**Uw referentienummer**

geen openbare informatie

**Hierbij verklaar ik alle vragen naar waarheid te hebben ingevuld.**

Ja

**Is er informatie die u later pas opstuurt? Geef hier dan aan welke informatie dat is. Geef ook aan waarom u die pas later opstuurt.**

geen openbare informatie

**Is er informatie die u niet opstuurt? Geef dan aan waarom. Bijvoorbeeld omdat u die al eerder heeft ingestuurd.**

geen openbare informatie

## Uw gegevens

### E-mailadres en telefoonnummer initiatiefnemer

**E-mailadres**

geen openbare informatie

**Telefoonnummer**

geen openbare informatie

### Gegevens vestiging of bedrijf initiatiefnemer

**KVK-nummer**

24354561

*Vooraf ingevuld antwoord.*

**Handelsnaam**

Havenbedrijf Rotterdam N.V.

*Vooraf ingevuld antwoord.*

**RSIN**

812506339

*Vooraf ingevuld antwoord.*

### Adresgegevens bedrijf initiatiefnemer

**Straatnaam**

Wilhelminakade

*Vooraf ingevuld antwoord.*

**Huisnummer**

909

*Vooraf ingevuld antwoord.*

**Huisletter**

-

**Huisnummertoevoeging**

-

**Postcode**

3072AP

*Vooraf ingevuld antwoord.*

**Plaats**

Rotterdam

*Vooraf ingevuld antwoord.*

**Is het postadres hetzelfde als het hoofdadres?**

Nee

*Vooraf ingevuld antwoord.*

### Postadres bedrijf initiatiefnemer

**Wat voor adres wilt u opgeven als postadres?**

afwijkend adres

*Vooraf ingevuld antwoord.***Wat voor adres wilt u opgeven als afwijkend adres?**

postbusnummer

*Vooraf ingevuld antwoord.***Nummer**

6622

*Vooraf ingevuld antwoord.***Postcode**

3002AP

*Vooraf ingevuld antwoord.***Plaats**

Rotterdam

*Vooraf ingevuld antwoord.***Contactpersoon****Wilt u een contactpersoon voor deze aanvraag of melding opgeven?**

Ja

**Functie contactpersoon**

vergunningenmanager

**Voorletters**

geen openbare informatie

**Voorvoegsel**

geen openbare informatie

**Achternaam**

geen openbare informatie

**E-mailadres**

geen openbare informatie

**Telefoonnummer**

geen openbare informatie

**Wat voor adres wilt u opgeven als postadres?**

afwijkend adres

**Wat voor adres wilt u opgeven als afwijkend adres?**

postbusnummer

**Nummer**

geen openbare informatie

**Postcode**



geen openbare informatie

**Plaats**

geen openbare informatie

## Vragen en antwoorden

### Ontgrondingsactiviteit op land, in regionale wateren en in een winterbed van een rivier in beheer bij het Rijk

#### Milieueffectrapportage

**Wat geldt er voor de activiteiten van deze aanvraag?**

Voor 1 of meer activiteiten geldt een 'project-mer-beoordelingsplicht'

**Is er al een mer-beoordelingsbeslissing?**

Nee

#### Diverse vragen

**Op welke datum verwacht u te gaan starten met de activiteit?**

03-06-2024

**Op welk tijdstip verwacht u te gaan starten met de activiteit?**

09:00 uur

**Hoe lang verwacht u dat de activiteit gaat duren?**

De start is direct nadat de ontgrondingenvergunning onherroepelijk is. We gaan vooralsnog uit van juni 2024 met een doorlooptijd van 2 maanden. Zekerheidshalve wordt enige vertraging ingecalculerd, en wordt een uitvoeringperiode van juni t/m september 2024 aangevraagd.

## Bijlagen

### Ontgrondingsactiviteit op land, in regionale wateren en in een winterbed van een rivier in beheer bij het Rijk

#### Beschrijving gevolgen ontgroning voor het watersysteem

Document	Vertrouwelijk
Aandachtspunten ontgrondingenvergunning slibvangput Botlek.pdf	Nee

#### Beschrijving inrichting en beheer na afloop ontgroning

Geen documenten.

#### Beschrijving locatie ontgrondingsactiviteit

Document	Vertrouwelijk
bijlage 1a tekening slibvangput 3e PET.pdf	Nee
Bijlage 1b tekening langsdoorsnede slibvangput 3e PET.pdf	Nee
Bijlage 2 kadastrale gegevens.pdf	Nee

#### Coördinaten van de locatie ontgrondingsactiviteit

Geen documenten.

#### Mededeling mer-beoordelingsplichtig project

Document	Vertrouwelijk
Bijlage 6b instemming KRW toetsingskader.pdf	Nee
Bijlage 5a M.e.r.-beoordeling.pdf	Nee
bijlage 4 archeologisch advies Petroleumhaven R'dam.pdf	Nee
bijlage 5b AERIUS_projectberekening.pdf	Nee
Bijlage 6a Toetsingskader waterkwaliteit silbvang 3e PET.pdf	Nee
Bijlage 7b Klic melding.pdf	Nee
Bijlage 7a Klic melding.pdf	Nee

#### Omvang ontgraving

Geen documenten.

#### Rapportage hydrologisch en geohydrologisch onderzoek

Document	Vertrouwelijk
bijlage 3a compleet Waterbodemonderzoek slibvang 3e Petroleumhaven.pdf	Nee
bijlage 3b Aanvullend waterbodemonderzoek slibvang 3e Petroleumhaven.pdf	Nee

#### Reden van de ontgroning

*Geen documenten.*

**Soort ontgrondingsactiviteit en omvang**

*Geen documenten.*

**Tekening begrenzing ontgroning en in te richten locatie**

*Geen documenten.*

**Veiligheid en stabiliteit ontgroning**

*Geen documenten.*



**Memo**

**Openbaar**

Aan RWS

Van

Havenbedrijf Rotterdam N.V.

Datum 9 januari 2024

Telefoon +31 6

E-mail @portofrotterdam.com

Kopie aan

Onderwerp

**Aandachtspunten aanvraag  
ontgrondingenvergunning Slibvangput 3e  
Petroleumhaven**

Actie

Ter informatie

In deze bijlage worden de aanvullende aandachtspunten besproken.

Inrichtingsplan/omschrijving te realiseren project. Een beschrijving van het terrein of het water waarop de aanvraag betrekking heeft, onder vermelding van het huidig gebruik.	Het Havenbedrijf Rotterdam N.V. is voornemens om een slibvang te realiseren in de 3 <sup>e</sup> Petroleumhaven.  Om te zorgen dat vaarwegen en havens veilig en bevaarbaar blijven, worden voor onderhoud baggerwerkzaamheden uitgevoerd om voldoende waterdiepte te behouden. De functie van de slibvang is om het slib uit het water zoveel mogelijk op die plek te laten bezinken en daarmee het verspreid bezinken van het slib in de haven tegen te gaan.  Zie bijlage 1 voor een tekening van de slibvangput.
Kadastrale gegevens.	Zie bijlage 2 voor een kadastrale kaart van de locatie.
Oppervlakte van het te ontgronden perceel.	87.750 m <sup>2</sup>
Een beschrijving van de toestand waarin het terrein of de bodem van het water na de ontgroning wordt gebracht met vermelding van de daaraan te geven bestemming.	Het water is en blijft in gebruik als een havenbekken c.q. vaarweg voor schepen.
Doel van de ontgroning.	Realisatie van een slibvangput. De functie van de slibvang is om het slib uit het water zoveel mogelijk op die plek te laten bezinken en

	daarmee het verspreid bezinken van het slib in de haven tegen te gaan.
Tijdsduur van de ontgroning.	De start is direct nadat de ontgroningenvergunning onherroepelijk is. We gaan vooralsnog uit van juni 2024 met een doorlooptijd van 2 maanden. Zekerheidshalve wordt enige vertraging ingecalculeerd, en wordt een uitvoeringperiode van juni t/m september 2024 aangevraagd.
Totale hoeveelheid te winnen bodemmateriaal in m3.	De slibvang heeft een omvang van circa 260.000 m3
Wijze van uitvoering ontgroning cq te bezigen materiaal.	Ontgroning vindt grotendeels plaats door middel van baggerequipment (middels hopper en/of kraanschip).
Is er een bodemonderzoek uitgevoerd, zo ja rapport bijvoegen.	Ja, zie bijlage 3.
Is er onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke effecten zoals bijv kwel, stabiliteit primaire waterkering? Zo ja, onderzoeksrapporten bijvoegen Onderzoek naar geo en geohydrologische effecten van de ontgroning.	Met RWS heeft reeds afstemming plaatsgevonden met betrekking tot onderzoek naar de taludstabiliteit. Er is akkoord gegeven om geen verder onderzoek te doen naar de taludstabiliteit.
Zijn er alternatieve zandwinplaatsen gezocht?	Niet van toepassing. Het betreft geen zandwinning.
Onderzoek naar archeologische waarden.	Zie bijlage 4 voor de Beoordeling BOOR aangaande noodzaak Archeologisch onderzoek.
Zijn er andere vergunningen zoals een Wtw, Nb Wbb en Wm bij het betreffende bevoegd gezag aangevraagd?	Nee, geen andere vergunningen van toepassing.
Onderzoek naar de natuurwaarden voor het te ontgraven gebied (FF-wet en Nb-wet).	Zie bijlage 5 voor natuurwaarden voor het te ontgraven gebied.  Zie bijlage 6 voor Toetsingskader Waterkwaliteit.
Uitvoeren watertoets/gevolgen voor de waterhuishouding.	De ontgroning is van dusdanig geringe omvang dat effecten op de waterstanden op voorhand worden uitgesloten.  De sedimentatie heeft geen noemenswaardig effect op de waterhuishouding (waterstanden en stroomsnelheden).  De ontgroning is veel te kleinschalig om een debietverandering teweeg te brengen.

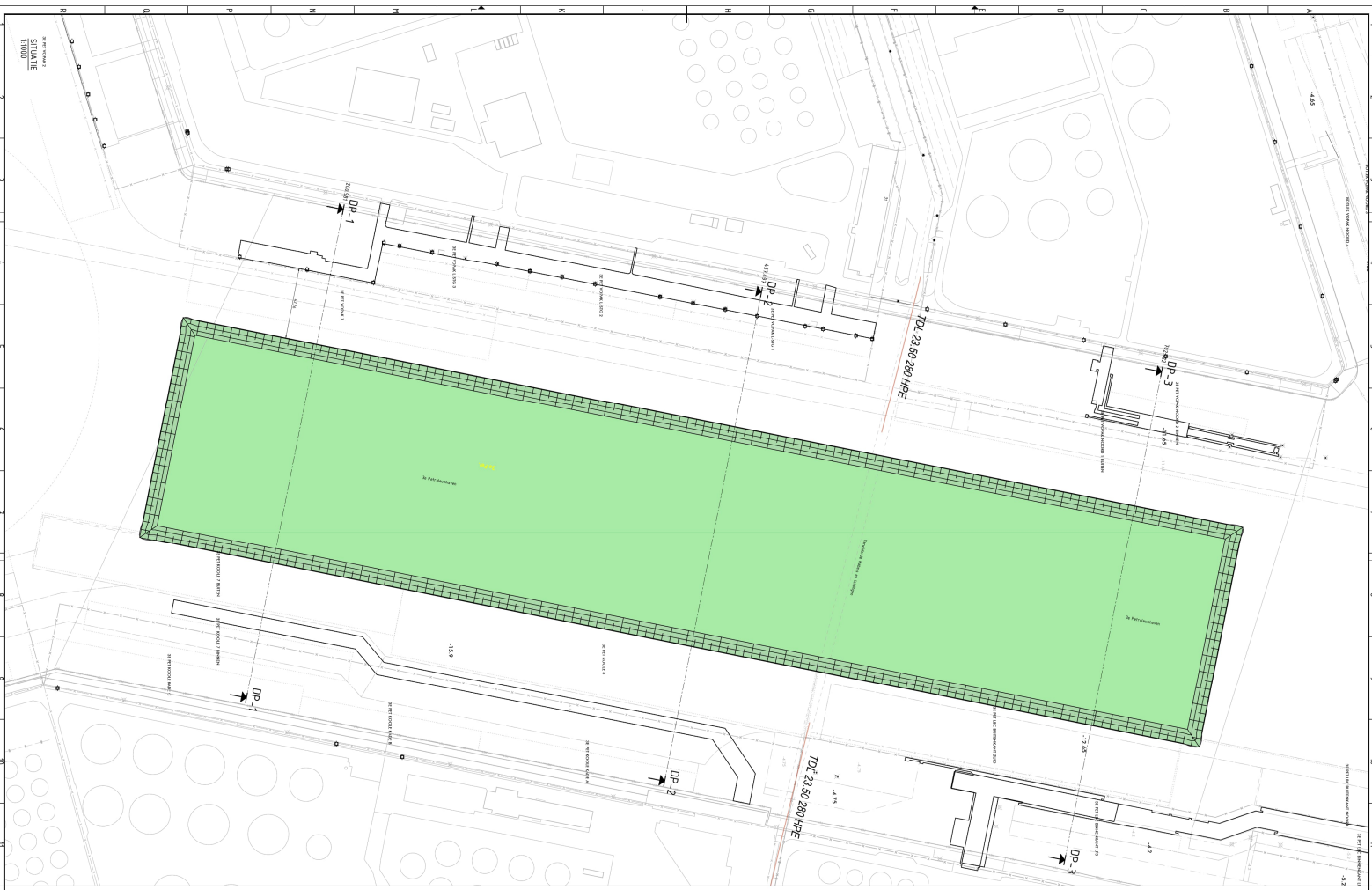
Ontgronding in overeenstemming met het gemeentelijk bestemmingsplan/provinciaal streekplan.	Niet van toepassing.
Aanlegvergunning van de gemeente.	Niet van toepassing.
Keurvergunning waterschap	Niet van toepassing.
Instemming waterkwaliteitsbeheerder, melding Besluit lozingen	Voor de baggerwerkzaamheden wordt bij Rijkswaterstaat een melding in het kader van het Besluit lozen buiten inrichtingen gedaan.
Instemming grondeigenaar.	Het Havenbedrijf Rotterdam N.V. heeft een eeuwig durend erfpacht van de gemeente Rotterdam. Dit zakelijk recht geeft Havenbedrijf de bevoegdheid zaak te houden en te gebruiken, waarmee de gemeente Rotterdam feitelijk instemt met de geplande werkzaamheden. De werkzaamheden worden in opdracht van het Havenbedrijf uitgevoerd.
Kabels en leidingen.	De Klic-melding is als bijlage 7 bij deze aanvraag toegevoegd.  Uit de Klic-melding komt naar voren dat de aannemer wettelijk verplicht is om drie dagen voor de geplande startwerkzaamheden contact op te nemen met verschillende netbeheerders
Beschrijven veiligheidsplan (oa scheepvaartverkeer tijdens baggerwerkzaamheden).	Uitvoerder/aannemer moet voldoen aan de vigerende wet- en regelgeving waaronder Binnenhavenpolitierglement en de Havenverordening. Hiermee is de nautische veiligheid in beginsel afdoende geborgd. Voorts worden de werkzaamheden gemeld aan de Dienst Havenmeester Rotterdam (DHMR). Indien noodzakelijk worden door de DHMR verdere voorwaarden gesteld om de nautische veiligheid te borgen.
Ontgrondingenplan.	Het werk wordt via aanbesteding op de markt gezet of als meerwerk op grote contract of onderhoudscontract gedaan worden of optiecharters.
MER (beoordeling) toetsing milieueffectrapportage.	Zie bijlage 5.
Aangevraagde geldigheidsduur	De start is direct nadat de ontgrondingenvergunning onherroepelijk is. We gaan vooralsnog uit van juni 2024 met een doorlooptijd van 2 maanden. Zekerheidshalve



	wordt enige vertraging ingecalculeerd, en wordt een uitvoeringperiode van juni t/m september 2024 aangevraagd.
Status vermelden van aanvraag Wabovergunning, melding besluit lozingen.	Voor de baggerwerkzaamheden en het lozen van grondwater is een melding besluit lozingen buiten inrichtingen ingediend bij Rijkswaterstaat.  Voor het werk zijn geen Wabovergunningen noodzakelijk.
Vaarwegenverordening.	De aannemer vraagt een ontheffing Havenverordening 2020 Rotterdam aan.
Waterwetvergunning.	Watervergunning is niet benodigd. Reden Artikel 6.12 sub g Waterbesluit bepaalt dat geen waterwetvergunningplicht geldt voor ontgrondingen in Rijkswater.
Artikel 7 Voor ontgrondingen in kanalen en in het zomerbedgedeelte van rivieren in beheer bij het Rijk, alsmede de daarmee in open verbinding staande havens onder beheer van het Rijk kan een ontgrondingsvergunning worden verleend, waarbij de ontgroning in ieder geval:	
b. het rivierkundig gewenste evenwicht in de bodemligging en de stabiliteit van infrastructuur niet verstoort,	Rivierkundig evenwicht wordt niet aangepast. Zie eerdere opmerking met betrekking tot het effect op waterhuishouding hierboven.
c. niet leidt tot substantiële waterstandsverhogingen in maatgevende situaties als bedoeld in de Beleidsregels grote rivieren en hoofdstuk 6, §6 van het Waterbesluit,	Geen effect op de waterstanden. Zie eerdere opmerkingen over aspect waterhuishouding hierboven.
d. geen belemmering vormt voor huidige/geplande/toekomstige rivierverruimingsprojecten als bedoeld in de Planologische kernbeslissing Ruimte voor de rivier en het project Zandmaas II,	Geen belemmeringen bekend.
e. niet leidt tot een structurele beperking van de scheepvaart, en	Niet van toepassing.
f. niet leidt tot ongewenste grondwaterstandveranderingen.	Niet van toepassing.
Morsverliezen en afwerking.	Er worden voorwaarden in het bestek voor de aannemer opgenomen om morsverlies tegen te gaan. De specificaties zijn gelijk aan de contracteisen die gelden voor huidige

**Datum** 9 januari 2024

	onderhoudsbaggerwerk in de haven van Rotterdam.
De aansluiting van het vak op de omliggende vaargeulen (RWS).	De ontgroning zal plaatsvinden in de 3 <sup>e</sup> Petroleumhaven. Dit havenbekken komt uiteindelijk uit op de vaargeul Nieuwe Waterweg/Nieuwe Maas (RWS).



Doorsnede DP-1  
 l.o.w. as Afd. - (D)  
 bij meting 500/81  
 2010000 l.o.w. M.P.

Doelgroep	Hoogte	Afstand	Breedte	Hoogte	Afstand	Hoogteverschil
DP-1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
DP-2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
DP-3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Doorsnede DP-2  
 l.o.w. as Afd. - (D)  
 bij meting 514/97  
 2010000 l.o.w. M.P.

Doelgroep	Hoogte	Afstand	Breedte	Hoogte	Afstand	Hoogteverschil
DP-1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
DP-2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
DP-3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Doorsnede DP-3  
 l.o.w. as Afd. - (D)  
 bij meting 102/22  
 2010000 l.o.w. M.P.

Doelgroep	Hoogte	Afstand	Breedte	Hoogte	Afstand	Hoogteverschil
DP-1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
DP-2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
DP-3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

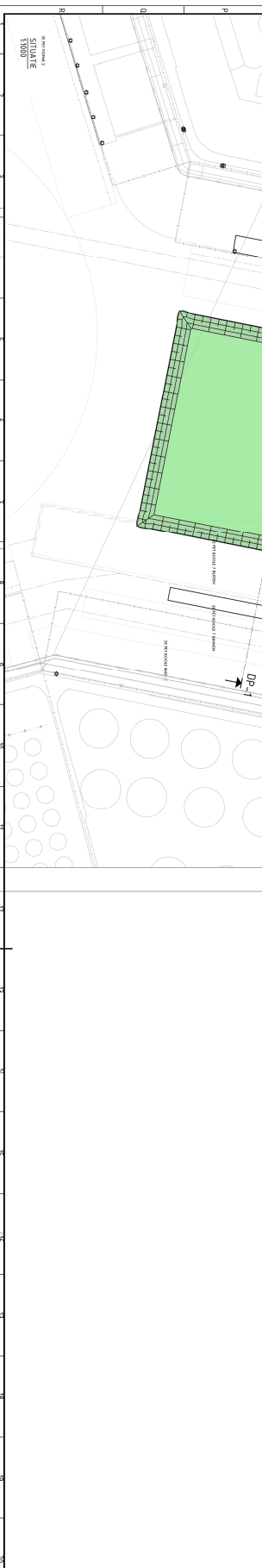
Legenda

! is ongevraagd gebied  
 Net volume = 98309 Cu.M-Cu+  
 CuI = 98132 Cu.M  
 CuII = 974 Cu.M

**Port of Rotterdam**  
 BTK-Silvaang 3de Peil  
 Omwerp Silvaang in de 3de Peil

2023-218

CONCEPT



**Veranderingen in stroming en  
grondwaterkwaliteit als gevolg van  
verdieping Nieuwe Waterweg**



**Titel**

Veranderingen in stroming en grondwaterkwaliteit als gevolg van verdieping Nieuwe Waterweg

**Opdrachtgever**                      **Pagina's**  
Havenbedrijf Rotterdam              1

**Trefwoorden**

Verdieping Nieuwe Waterweg, grondwater, verzilting, verontreinigingen, Botlek, MER

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	December 2015						

**Status**

concept

Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

# Deltares

**Titel**

Grondwaterstroming als gevolg van Nieuwe Waterweg

**Opdrachtgever**

Havenbedrijf Rotterdam

**Pagina's**

1



**Titel**

Veranderingen in stroming en grondwaterkwaliteit als gevolg van verdieping Nieuwe Waterweg

**Opdrachtgever**

Havenbedrijf Rotterdam

**Pagina's**

1

**Samenvatting**

In deze verkennende studie is het effect van de verdieping van de Nieuwe Waterweg (van Hoek van Holland tot de 2<sup>e</sup> Petroleumhaven) en de Botlekhavens op het grondwatersysteem beschreven. Bij de verdieping wordt op diverse locaties een deel van de deklaag en/of de sliblaag op de bodem van de Nieuwe Waterweg verwijderd. Verdieping van de Nieuwe Waterweg kan op drie manieren een risico vormen voor het grondwater systeem:

1. Toename stijghoogte en/of toename grondwaterstanden alsmede toename kwel en daarmee mogelijk verzilting van ondiep grondwater en/of oppervlaktewater in de polders;
2. Toename zouttransport vanuit de Nieuwe Waterweg naar het grondwatersysteem;
3. Verminderde afbraak van verontreinigingen in de Botlek.

Met behulp van conceptuele 2D numerieke dichtheidsafhankelijke grondwatermodellen is de verandering in kwel en zoutvracht berekend voor drie representatieve profielen: West (ten oosten van Hoek van Holland), Maassluis en Oost (ten westen van Vlaardingen). Gebieden waar relatief veel hydraulische weerstand wordt weggehaald van de bodem van de Nieuwe Waterweg, een laag polderpeil heerst en een lagere weerstand van de deklaag in de polder voorkomt zijn het meest gevoelig voor toename van de kweldruk. In het westen van het projectgebied is geen sliblaag aanwezig op de bodem van de Nieuwe Waterweg en wordt slechts beperkt verdiept. De risico's op de toename van kwel en zouttransport vanuit de Nieuwe Waterweg zijn hier zeer beperkt. In het midden en oosten van het projectgebied (van halverwege Maasdijk tot Schiedam) wordt (gedeeltelijk) wel de sliblaag verwijderd en wordt ook een groter deel van de deklaag verwijderd. In combinatie met lage polderpeilen ten noorden van de Nieuwe Waterweg zorgt dit voor een toename van de kwelflux voor een zone van maximaal 4 kilometer (midden in het projectgebied) en maximaal 2 kilometer (oosten projectgebied) vanaf de Nieuwe Waterweg. In deze gebieden zijn toenamen van de zoutvracht op korte termijn van 60% (midden projectgebied) en 40% (oosten projectgebied) niet uit te sluiten. In het oosten is daarnaast op de lange termijn een substantiële verdere toename van de zoutvracht niet uit te sluiten door infiltratie van zout water uit de NWW richting het grondwater. Ten zuiden van de Nieuwe Waterweg worden geen effecten verwacht, maar effecten voor het stedelijk gebied Rozenburg en ten zuiden van de Botlekhavens kunnen niet volledig worden uitgesloten.

Bij deze conceptuele sommen is gekozen voor een worst-case aanpak. Hogere polderpeilen of een dikkere deklaag in de polder zullen zorgen voor een kleiner invloedsgebied van de verdieping. Aanbevolen wordt om de stijghoogte, grondwaterstanden en zoet-zout verdeling van het grondwater te monitoren in deze mogelijke risicogebieden. Ook wordt aanbevolen om de mogelijke toename van stijghoogte, kwel en zoutvracht met een 3D dichtheidsafhankelijk grondwatermodel ruimtelijk en in de tijd te kwantificeren en dit resultaat te vertalen naar effecten op het oppervlaktewatersysteem in de polder. Ook het effect van mitigerende en adaptieve maatregelen kan met dit modelinstrumentarium berekend worden (indien nodig).

Met behulp van een 3D stroombanenmodel is de verplaatsing van verontreinigingen in de Botlek berekend. De flux van grondwater naar de havens zal met ongeveer 7% toenemen en de flux van het grondwater naar de Nieuwe Waterweg met ongeveer 9%. Uit deze toenames in combinatie met de locaties van de verontreinigingen kan geconcludeerd worden dat de toename van de emissie geen extra bedreiging zal vormen voor de kwaliteit van het oppervlaktewater. De verspreiding van verontreinigingen binnen het grondwater zal ook slechts beperkt toenemen; zodoende wordt geen tot nauwelijks verslechtering van de kwaliteit van het grondwater verwacht ten opzichte van de huidige situatie.

# Deltares

**Titel**

Grondwaterstroming als gevolg van Nieuwe Waterweg

**Opdrachtgever**

Havenbedrijf Rotterdam

**Pagina's**

1

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doel	2
1.3	Aanpak	2
<b>2</b>	<b>Systeembeschrijving</b>	<b>4</b>
2.1	Ondergrond	4
2.1.1	Doorlatendheid ondergrond	4
2.1.2	Deklaag omgeving Nieuwe Waterweg	4
2.1.3	Deklaag onder Nieuwe Waterweg	5
2.1.4	Sliblaag Nieuwe Waterweg	8
2.1.5	Totale hydraulische weerstand onder Nieuwe Waterweg	10
2.1.6	Eerste watervoerend pakket	12
2.2	Grondwater	13
2.2.1	Freatische grondwaterstand	13
2.2.2	Stijghoogte in het eerste watervoerende pakket	15
2.2.3	Chlorideconcentratie grondwater	16
2.2.4	Kwel/infiltratie	18
2.2.5	Zoutvrachten	20
2.3	Oppervlaktewater	21
2.3.1	Polderpeilen	21
2.3.2	Chlorideconcentratie oppervlaktewater	21
2.3.3	Chloride en peil Nieuwe Waterweg	22
2.4	Landgebruik	24
2.5	Kenmerken risicogebieden verzilting	24
<b>3</b>	<b>Verwachte veranderingen grondwaterstroming en zouttransport</b>	<b>28</b>
3.1	Inleiding	28
3.2	Methode	28
3.2.1	Beschrijving van het modelinstrument	28
3.3	Opzet van de modelscenario's	31
3.3.1	Keuze van karakteristieke worst-case profielen	31
3.3.2	Parameterisatie van de gekozen profielen	32
3.4	Resultaten	36
3.4.1	Effecten verdieping op stijghoogte en kwel	36
3.4.2	Effecten verdieping op zoutvrachten	40
<b>4</b>	<b>Verwachte uitstralingseffecten op verspreiding grondwaterverontreinigingen</b>	<b>47</b>
4.1	Inleiding	47
4.2	Huidig systeem in de Botlek	47
4.3	Effect van verdieping van de Nieuwe Waterweg	47
4.4	Effect van verdieping van de Botlekhavens	47
4.5	Ondergrondmodel onder Nieuwe Waterweg	49
4.6	Aanpak kwantitatieve analyse verdieping op de Botlek	49
4.6.1	Resultaten	51
4.6.2	Interpretatie	52
4.6.3	Conclusies	54

<b>5</b>	<b>Risico's voor stedelijk gebied</b>	<b>55</b>
5.1	Vlaardingen	55
5.1.1	Beknopte gebiedsbeschrijving	55
5.1.2	Mogelijke effecten verdieping Nieuwe Waterweg	55
5.1.3	Conclusies en aanbevelingen	56
5.2	Schiedam	57
5.2.1	Beknopte gebiedsbeschrijving	57
5.2.2	Mogelijke effecten verdieping Nieuwe Waterweg	57
5.2.3	Conclusies en aanbevelingen	57
5.3	Midden-Delfland	57
5.3.1	Beknopte gebiedsbeschrijving	57
5.3.2	Mogelijke effecten verdieping Nieuwe Waterweg	58
5.3.3	Conclusies en aanbevelingen	58
5.4	Westland	58
5.4.1	Beknopte gebiedsbeschrijving	58
5.4.2	Mogelijke effecten verdieping Nieuwe Waterweg	58
5.4.3	Conclusies en aanbevelingen	59
5.5	Maassluis	59
5.5.1	Beknopte gebiedsbeschrijving	59
5.5.2	Mogelijke effecten verdieping Nieuwe Waterweg	59
5.5.3	Conclusies en aanbevelingen	59
5.6	Rozenburg	59
5.6.1	Beknopte gebiedsbeschrijving	59
5.6.2	Mogelijke effecten verdieping Nieuwe Waterweg	61
5.6.3	Conclusies en aanbevelingen	62
<b>6</b>	<b>Risicogebieden</b>	<b>63</b>
6.1	Risicogebied 1	64
6.2	Risicogebied 2	65
6.3	Risicogebied 3	67
6.4	Risicogebied 4	67
<b>7</b>	<b>Meetplan</b>	<b>68</b>
7.1	Meetdoelen	68
7.2	Typen metingen	69
7.2.1	EC-sonderingen	69
7.2.2	Peilbuizen en metingen stijghoogte en grondwaterstand	69
7.2.3	Prikstokmetingen (TEC-probe) en EC-routing sloten	70
7.3	Meetperiode en meetfrequentie	70
7.4	Meetplan	70
7.4.1	Algemene aandachtspunten	70
7.5	Van meten naar monitoren	73
<b>8</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>74</b>
8.1	Conclusies	74
8.2	Aanbevelingen	76
8.2.1	Metingen	76
8.2.2	Grondwatermodel	76
8.2.3	Invoed op oppervlaktewatersysteem polder	77
8.2.4	Scenario's	77

## 9 Referenties

79



## 1 Inleiding

### 1.1 Achtergrond

Havenbedrijf Rotterdam N.V. is voornemens de Nieuwe Waterweg (NWW) te verdiepen tussen Hoek van Holland en de 2<sup>e</sup> Petroleum Haven en de Botlekhavens (Figuur 1.1, Figuur 1.2 en Figuur 1.3). Het gaat om een verlaging van de Nautisch Gegarandeerde Diepte (NGD) van NAP -15.0 / -14.5 m naar NAP -16.2 m (westelijk deel) resp. NAP -16.4 m (oostelijk deel). Het betreft alleen een verdieping van de vaargeul (maximaal 250-300 m), niet van de hele rivierbodem. Ook een deel van de havens wordt verdiept. Het grootste deel van de havens wordt verdiept naar een NGD van NAP -15.9 m, een tweetal ligplaatsen naar NAP -17.3 m. Twee slibputten worden initieel naar NAP -18.4 m verdiept, maar zullen in de praktijk tot ca. NAP -16 m gevuld zijn met slib. Omdat dit gebied een groot slibaanbod kent wordt overal een onderhoudsmarge van 0.5 m beneden NGD aangehouden. De verdieping heeft mogelijk invloed op de grondwatersysteem in de omgeving, zowel kwantitatief (richting en grootte van de grondwaterstroming), als kwalitatief (de zoet-zout verdeling van het grondwater en verontreinigingen).

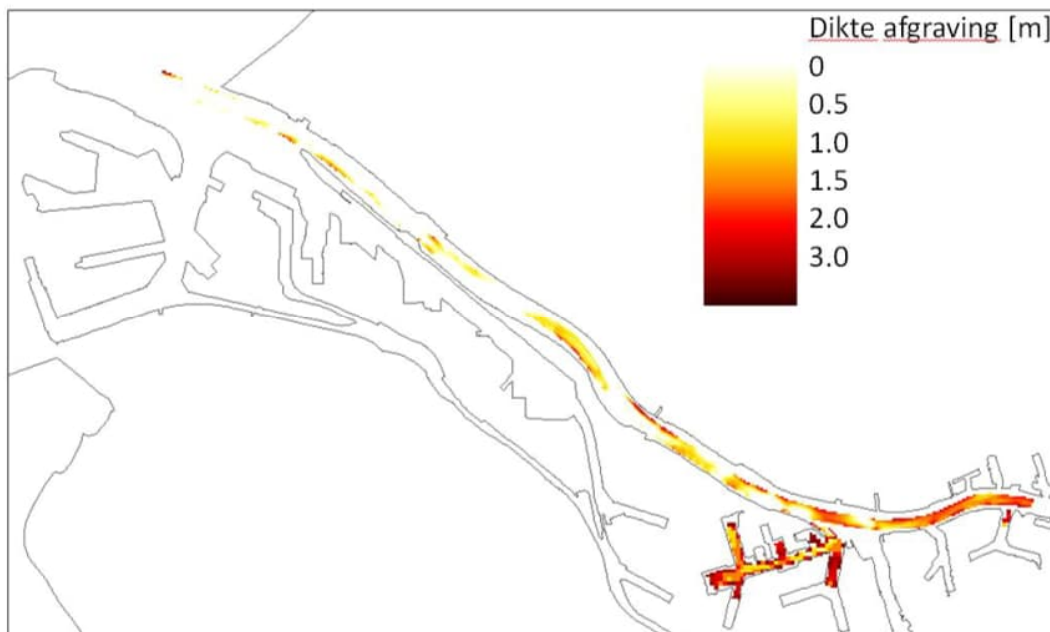


Figuur 1.1 Overzicht bodem Nieuwe Waterweg en havens zonder verdieping (peiling 4/12/2014, referentie voor het MER).



Figuur 1.2 Overzicht bodem Nieuwe Waterweg en havens met verdieping





Figuur 1.3 De dikte van de afgraving. De gebieden die niet afgegraven worden zijn nu al diep genoeg. De huidige diepte is de peiling bodemligging door RWS d.d. 4 december 2014.

## 1.2 Doel

In deze rapportage worden de volgende vragen beantwoord:

1. Is er een effect van de verdieping van de Nieuwe Waterweg te verwachten op de grondwaterstroming, (mogelijk zoute) kwel, zoet-zout verdeling van het grondwater en verspreiding van verontreinigingen naar de gebieden ten noorden en ten zuiden van de rivier?
2. Zo ja, hoe groot is dit effect?
3. Zo ja, waar liggen de risicogebieden?
4. Zo ja, wat zijn de aanbevelingen voor deze risicogebieden?

De ruimtelijke verdeling van de exacte grootte van het effect van de verdieping op de grondwaterstromen en (mogelijk zoute) kwel wordt in deze rapportage niet beantwoord, hier wordt alleen een kwalificatie gegeven. Bij deze kwalificatie wordt gebruikt gemaakt van een conceptueel 2D numeriek dichtheidsafhankelijk grondwatermodel voor eerste orde inschattingen. Voor de verspreiding van verontreinigingen in het grondwater en naar het oppervlaktewater (Nieuwe Waterweg en Botlek havens) is het Rotterdam model (Marsman, 2010) gebruikt voor de kwantificering van de reistijden.

## 1.3 Aanpak

De werkzaamheden om bovenstaande vragen te beantwoorden zijn:

- Analyse belangrijke parameters (doorlaatvermogen, deklaagweerstand, Waterpeilen oppervlaktewater, kwel, zoet-zout verdeling grondwater etc.) voor het inschatten van het effect via veranderingen in het grondwatersysteem (stroming en verzilting).
- Identificatie mogelijke risicogebieden met potentiële risico's.
- Kwantificering van mogelijke effecten met behulp van conceptuele 2D numerieke modellen.

- Kwantificering van verspreiding van verontreinigingen met behulp van een bestaand stroombanenmodel.

Er is gebruik gemaakt van beschikbare data over het regionale grondwatersysteem: chloridemetingen en stijghoogtemetingen uit DINO; van de provincie Zuid-Holland en van Delfland; modelresultaten stijghoogte, kwel, zoet-zout verdeling grondwater en zoutvrachten van numerieke grondwatermodellen Deltares (Provincie Zuid-Holland zoet-zout model (Minnema et al. 2004; Oude Essink et al. 2008), DSM model (Roelofsen et al. 2008)). Voor de locatie en spreiding van verontreinigingen in het Botlekgebied is gebruik gemaakt van bestaande studies voor de gemeente Rotterdam (Marsman, 2010). Voor informatie over de ondergrond is gebruik gemaakt van GeoTOP (Van der Meulen 2013; Stafleu 2013) en nieuwe parameters van aanvullend grondonderzoek (Wiersma 2015; Tauw 2015; Kreischer 2014; Van Kesteren 2015). Voor informatie over de sliblaag van de Nieuwe Waterweg is gebruik gemaakt van o.a. (Perk 2015). Voor de verwachtingen voor zoutgehalte Nieuwe Waterweg na verdieping van de Nieuwe Waterweg zijn resultaten gebruikt uit (Van Leeuwen 2015). Voor landgebruik is LGN6 (Landelijk Grondgebruik Nederland) gebruikt en voor maaiveldhoogte het AHN (Actueel Hoogtebestand Nederland). Het Havenbedrijf Rotterdam heeft een kaartje geleverd met informatie over de exacte locatie van de verdieping (Figuur 1.3).

## 2 Systeembeschrijving

### 2.1 Ondergrond

#### 2.1.1 Doorlatendheid ondergrond

De doorlatendheid is een maat voor het gemak waarmee water door een poreus medium kan stromen. TNO heeft voor de parametrisatie van het Holoceen van Zeeland metingen verzameld van de verticale doorlatendheid (o.a. Wijnsma, 1979; Van den Berg, 2003 en Todd, 1980). Voor het riviereengebied is op basis van metingen de verticale doorlatendheid bepaald in (Weerts, 1996, zie Gunnink 2004). De verticale doorlatendheid (kv in [m/d]) van deze twee studies staat gecombineerd weergegeven in Tabel 2.1.

De hydraulische weerstand<sup>1</sup> van klei ligt tussen de 200 en 1000 dagen/meter. De hydraulische weerstand van een laag met 10% klei en 90% zand (een samenstelling die in het vervolg van dit hoofdstuk zal terugkomen) ligt op basis van deze tabel tussen de 20 en 100 dagen/meter.

lithologie	kv [m/d]
Klei	1.0E-03 – 5.0E-03
Zandige klei	0.16E-02 - 5.25E-02
Fijn zand	0.50 - 0.52
Matig fijn tot matig grof zand	2.6-8.7
Grof zand	16 – 17
Grind	270
Hollandveen	0.18 - 0.25
Basisveen	4.00E-04

Tabel 2.1: verticale doorlatendheid per lithologie.

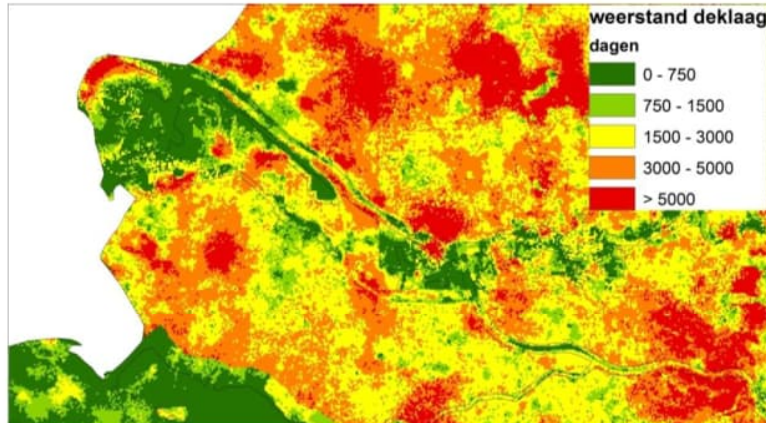
#### 2.1.2 Deklaag omgeving Nieuwe Waterweg

Ten noorden van de Nieuwe Waterweg is de weerstand van de Holocene deklaag<sup>2</sup> hoog: minimaal 750 dagen maar vaker 1500-5000 dagen met uitschieters tot boven de 5000 dagen (bron: GeoTOP, zie Marsman 2010 voor beschrijving aanpak) (Figuur 2.1). De weerstand van de deklaag ten zuiden van de Nieuwe Waterweg wisselt: onder het Calandkanaal is de deklaag gedeeltelijk al doorsneden, bij Rozenburg is een weerstand van enkele duizenden dagen te vinden. De dikte van de deklaag is in het gehele studiegebied gemiddeld 20 meter. Wellen<sup>3</sup> worden niet verwacht in dit gebied door de dikke deklaag (De Louw 2010). Wel dient lokaal rekening te worden gehouden met infrastructurele werken in de ondergrond die voor preferente stroombanen van het grondwater kunnen zorgen (b.v. metrotunnels), dat is in deze studie buiten beschouwing gelaten.

<sup>1</sup> Hydraulische weerstand: weerstand die een bepaalde laag biedt tegen (meestal verticale) grondwaterstroming, in dagen. De weerstand per lengtemaat is de inverse van de doorlatendheid.

<sup>2</sup> Een slechtdoorlatende laag aan het maaiveld waarmee het geheel van diepere oudere afzettingen wordt afgedekt. Hoe hoger de hydraulische weerstand (dus hoe dikker de deklaag bij gelijk materiaal of hoe slechter doorlatend de deklaag), hoe kleiner de verhoging van de kwel indien de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket toeneemt.

<sup>3</sup> Wellen zijn gaten in de deklaag die min of meer een open verbinding vormen tussen het eerste watervoerend pakket en het oppervlak en waardoorheen met grote snelheid grondwater vanuit het eerste watervoerend pakket naar de oppervlakte stroomt.



Figuur 2.1 Weerstand deklaag zoals afgeleid uit GeoTOP. De weerstanden zijn zoals bepaald door TNO. GeoTOP bevat per modelcel / voxel een kans op een bepaalde lithologie. Deze kansen kunnen in een effectenstudie meegenomen worden zodat de effecten van de onzekerheid in deklaagweerstand op bijvoorbeeld toename van de zoutconcentratie in de polder inzichtelijk wordt.

### 2.1.3 Deklaag onder Nieuwe Waterweg

GeoTOP is niet geschikt voor het bepalen van de weerstand van de deklaag onder de Nieuwe Waterweg: er zijn namelijk geen beschikbare data onder de rivier. Om waarden te verkrijgen onder de Nieuwe Waterweg zijn voor GeoTOP metingen aan beide kanten van de Nieuwe Waterweg geïnterpoleerd. Deze verkregen waarden zijn vaak niet representatief omdat juist rivieren insnijden in onderliggende afzettingen. Dit is ook de situatie bij de Nieuwe Waterweg. Het Havenbedrijf Rotterdam heeft aanvullend grondonderzoek laten uitvoeren (Wiersma, 2015) waarin de deklaag onder de Nieuwe Waterweg ruimtelijk gekarteerd is in drie eenheden. Van diep naar ondiep (Figuur 2.2, zie Figuur 2.3 voor locaties riviercoördinaten):

- Eenheid I: zand, onderdeel van het watervoerend pakket.
- Eenheid II: klei, Laag van Wijchen en kleiige getijdeafzettingen.
- Eenheid III: getijdeafzettingen van zandige klei of kleiig zand.

Onder de Nieuwe Waterweg zelf ligt de Laag van Wijchen. Dit is een stugge zandige kleilaag van gemiddeld 1.5-2 meter dik. De hoogste top van deze kleilaag ligt op -16.3 m NAP. De Nieuwe Waterweg zal deze kleilaag na verdieping dus niet doorsnijden of verkleinen, want de verdieping van de Nieuwe Waterweg gaat tot -16.3 m NAP. De Laag van Wijchen varieert in hoogteligging en dikte, met een trend van ongeveer -18.5 m NAP in het westen aan de kust tot -16.5 m NAP richting Rotterdam. Boven de Laag van Wijchen liggen getijdeafzettingen (klei, zand met kleilaagjes, klei met zandlaagjes). De exacte samenstelling van deze getijdeafzettingen is lastig te karteren. Preferente stroombanen kunnen om de kleilagen heen stromen, maar over dat proces is weinig bekend. De weerstand van de getijdeafzetting is geschat door 10% klei en 90% zand aan te nemen in de getijdegeul. Lokaal kan de kleilaag van de Laag van Wijchen ontbreken doordat de getijdeafzettingen erdoorheen gesneden zijn. Dit is dan in de vorm van een getijdegeul (wederom zand met kleilaagjes, klei met zandlaagjes) tot ~-22 m NAP diep. De samenstelling van de getijdegeul is te zien in Figuur 2.4. Het ontbreken van de Laag van Wijchen kan tot honderden meters breedte rondom de huidige ligging van de de Nieuwe Waterweg voorkomen. Zo komt rond de Maeslantkering regelmatig (gestort) grind voor (Wiersma 2015).

Na de afronding van de kartering van Wiersma heeft Tauw bodemprofielen (tot maximaal 2 m-waterbodem) getekend op basis van boormonsters in de vaargeul (Tauw, 2015). Deze bodemprofielen tonen in het oosten van het projectgebied (deellocatie 5, zie Figuur 2.5) zand met fracties silt en zeer lokaal klei met fracties silt. Nog meer naar het oosten (deellocatie 6, zie Figuur 2.5) wordt regelmatig klei met fracties silt gekarteerd. In een aantal boorprofielen komt de bovenkant van de kleilaag tot boven -16.3 m NAP en zal deze kleilaag dus na verdieping van de Nieuwe Waterweg gedeeltelijk verwijderd worden. De aanwezigheid van ondiepe klei in het oosten van het studiegebied (grofweg ten oosten van rivierkilometer 1016 (Figuur 2.3), vanaf Tauw deellocatie 6 (Figuur 2.5)) wordt ook in (Van Kesteren, 2015) en (Kreischer, 2014) aangetoond. In het westen van het projectgebied (deellocaties 2 en 3, zie Figuur 2.5) bestaan de bodemprofielen uit zand met silt en/of grind of alleen zand. De laag zand met silt eindigt in veel profielen boven -16.3 m NAP en zal dus gedeeltelijk verwijderd worden. In het midden, bij deellocatie 4 (Figuur 2.5) bestaat de bodem van de Nieuwe Waterweg vooral uit zand met silt (en lokaal alleen zand).

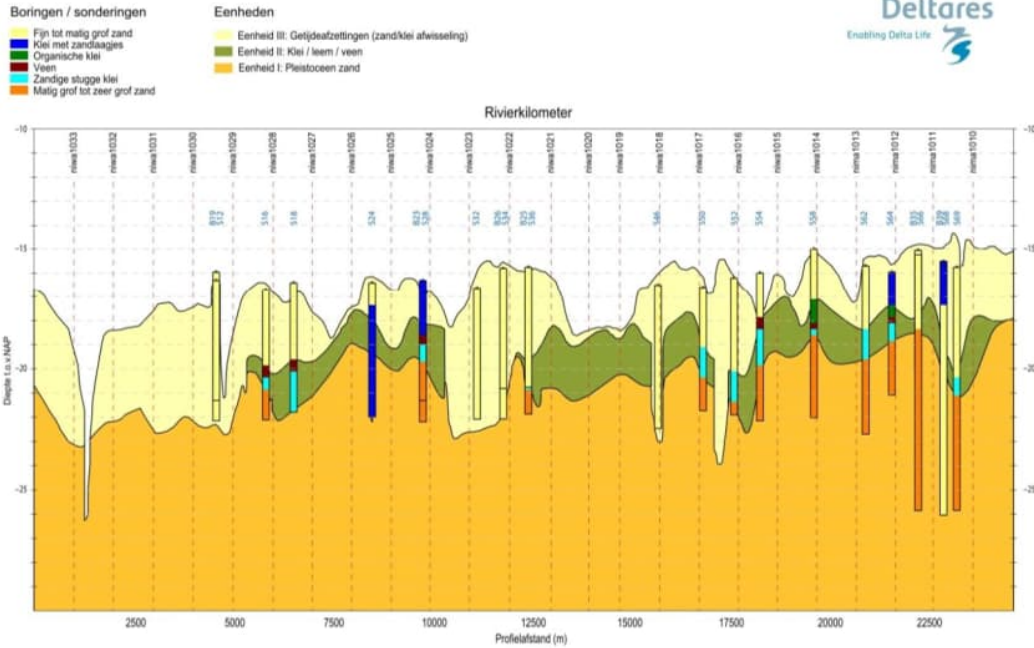
In deze studie is het ondergrondmodel (Wiersma, 2015) niet aangepast naar aanleiding van de nieuwe bodemmonsters van (Tauw, 2015). De ondiepe aanwezigheid van klei volgens (Tauw, 2015) ten oosten van rivierkilometer 1016 zou kunnen duiden op een hogere grens van Eenheid II of aanwezigheid van meer klei in Eenheid III. De grens van Eenheid II wordt niet aangepast in deze studie. Daarom wordt de aanwezigheid van klei verwerkt in de weerstand van Eenheid III ten oosten van rivierkilometer 2016. Onbekend is waar deze klei of silt aanwezig is en waar niet. Aangenomen wordt dat de klei en silt van de bodemmonsters in de volledige Eenheid III aanwezig is ten oosten van rivierkilometer 1016. Dit is een 'worst-case' situatie omdat door verwijdering van klei en silt relatief veel weerstand wordt verwijderd. Alles bij elkaar resulteert dit in de volgende parameters voor de hydraulische weerstand:

- Eenheid I weerstand: zand, onderdeel van het watervoerend pakket (en dus niet van de weerstand van de deklaag).
- Eenheid II weerstand: klei met weerstand van 200 - 1000 dagen/meter.
- Eenheid III weerstand: 10% klei en 90% zand met weerstand van 20 - 100 dagen/meter ten westen van rivierkilometer 1016 en klei met weerstand van 200 – 1000 dagen/meter ten oosten van rivierkilometer 1016.



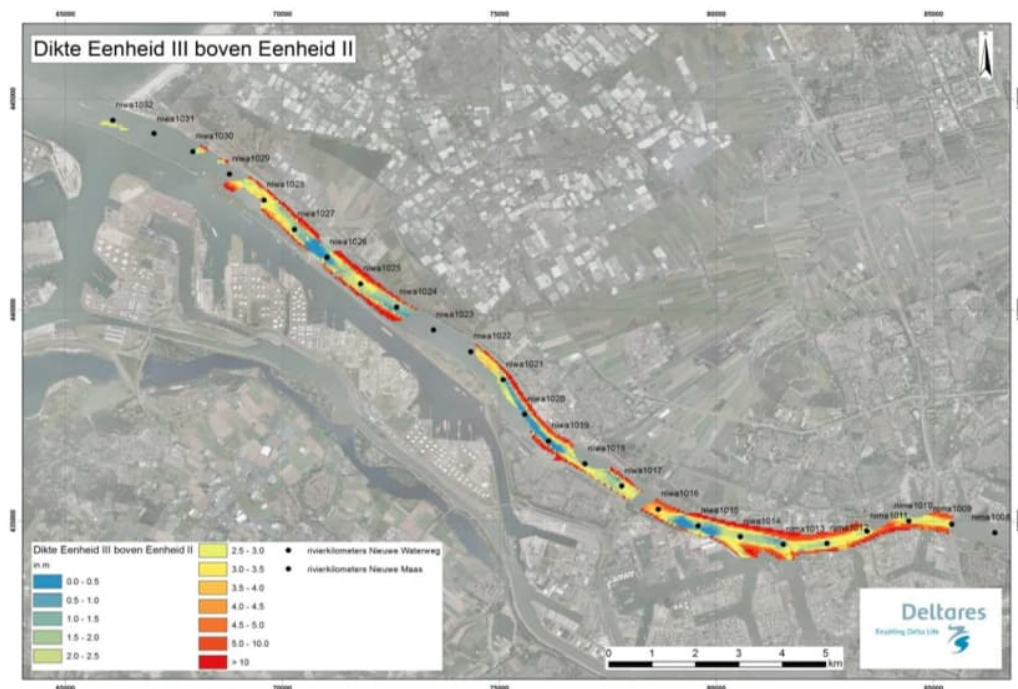
## Bijlage B2: West - Oost profiel rivieras Nieuwe Waterweg

Boringen en sonderingen binnen een straal van 50 meter zijn geprojecteerd op de rivieras.

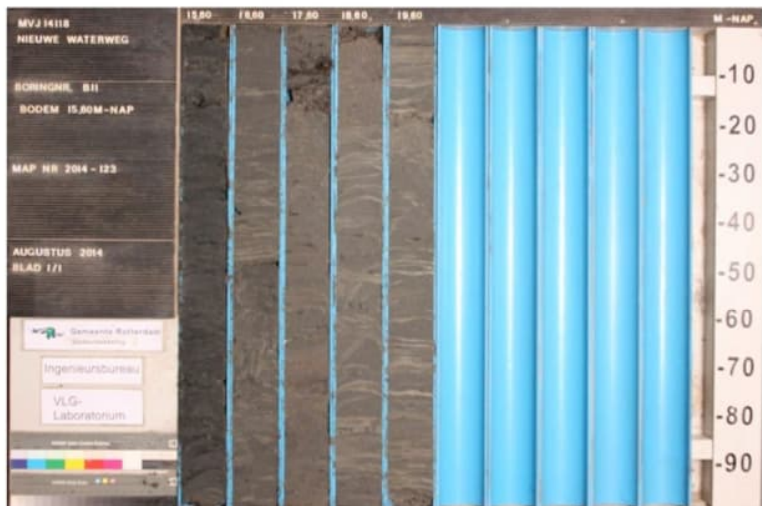


Figuur 2.2 West-Oost profiel van de deklaag onder de Nieuwe Waterweg (Wiersma, 2015).

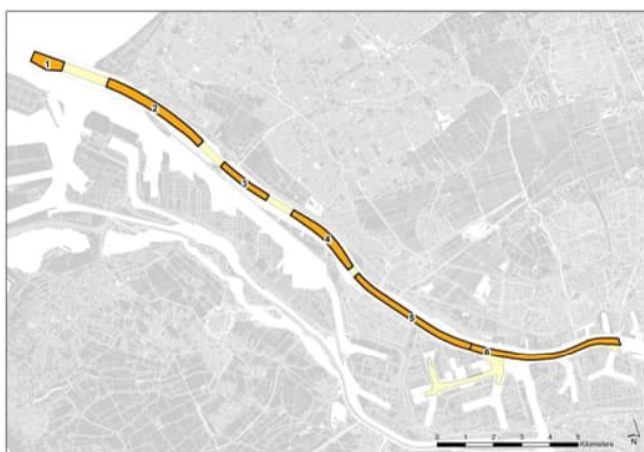
## Bijlage C1: Dikte Eenheid III boven Eenheid II



Figuur 2.3 Dikte eenheid III (zandige klei/kleig zand) boven eenheid II (klei). Daar waar dit niet gekarteerd is ligt eenheid III direct op eenheid I (zand) en is de relatieve afname van de hydraulische weerstand groot na verdieping van de Nieuwe Waterweg. De getallen geven de rivierkilometers weer. (Wiersma 2015).



Figuur 2.4 Materiaal uit de getijdegeul (Kreischer, 2014).



Figuur 2.5 Zes deellocaties met monsteranalyses van de bodem van de Nieuwe Waterweg (Tauw, 2015)

## 2.1.4 Sliblaag Nieuwe Waterweg

De bodemlaag van de Nieuwe Waterweg bestaat grotendeels uit fijn zand terwijl het silt+lutum gehalte laag is. De samenstelling van de bodem (sediment en sliblaag) varieert voor de fijnste fractie (silt+lutum) van 38% bij km 1010 (ter hoogte van de Benelux tunnel) tot 10% in de zone km 1030 (ter hoogte van Hoek van Holland) (Perk, 2015). Zie Figuur 2.6.

Op de rivier is niet overal een permanente sliblaag op de bodem aanwezig. Tussen de Oude Maas en Hoek van Holland is het meer een slibwolk die met het getij over de bodem heen en weer beweegt en grotendeels in suspensie blijft. Het bodemmateriaal bestaat hier vooral uit zand, met fracties lutum en silt. Deze kleinste deeltjes kunnen neerslaan tot een zeer dun laagje (veel minder dan centimeters), maar zullen naar verwachting elke getijdebeweging weer in beweging komen. De sliblaag zal tussen Hoek van Holland en rivierkilometer 1024 en tussen de rivierkilometers 1018 en 1015 waarschijnlijk nauwelijks bijdragen aan de hydraulische weerstand van de waterbodem (mondelijke communicatie Luitze Perk, WaterProof Marine Consultancy & Services B.V.; Arcadis, 2015).



Bij de binnenbocht bij Maassluis moet wel rekening worden gehouden met een sliblaag, die niet in beweging is, en een hoger percentage silt en lutum bevat (mondelinge communicatie Luitze Perk, WaterProof Marine Consultancy & Services B.V.; Arcadis, 2015). Na verdieping zal deze sliblaag verwijderd zijn.

Tussen de Oude Maas en de Beneluxtunnel is meer slib aanwezig en bestaat de toplaag (die wordt verwijderd bij verdieping) veelal uit geconsolideerd slib. Na verdieping zal de nieuwe diepte onderhouden moeten worden en zal aanslibbing (oostelijk deel, over praktisch hele vaarweg) en aanzanding (westelijk deel, veel meer plaatselijk) regelmatig worden verwijderd. Deze sliblaag vanaf rivierkilometer 1015 richting het oosten zal na verdieping verwijderd zijn.

De havenbekkens slibben veel sterker en bijna continu aan, met als resultaat dat de onderhoudsbuffer van 0,5 m, die initieel wordt gerealiseerd, binnen korte tijd (eerder weken dan maanden) zal aanslibben. Aangenomen mag worden dat een groot deel van deze 0,5 m sliblaag / weerstand die is weggebaggerd bij verdieping weer snel zal aangroeien.

Eerdere studies laten zien hoe lastig het is om de weerstand van sliblagen in te schatten zonder hier specifiek aan te meten. Uit ervaringen (bijvoorbeeld bij IJsseloog, zie De Lange 2010) blijkt bijvoorbeeld dat bij infiltratiestroming de siltige deeltjes binnen korte tijd (enkele uren) voor het dichtslaan van een bodem kunnen zorgen. Dat wordt verklaard (De Lange, 2011) doordat de silt-deeltjes verplaatsen met het grondwater totdat ze vast blijven zitten in kleine poriën wat vooral gebeurt in de poriën waar doorheen het grondwater stroomt. Dit betekent dat meer weerstand wordt weggehaald maar binnen enkele uren is deze weerstand weer terug.

Uit onderzoek (De Lange, 2011) van een groot aantal slibhoudende monsters (van slib in Haringvliet en Slufter) is gebleken dat door de aanwezigheid van silt de stroming naar het grondwater systeem snel wordt tegengehouden. De doorlatendheid van het bodemmateriaal wordt op basis van de samenstelling geschat op 0.001 – 0.0001 m/d, ofwel een hydraulische weerstand van 1000 – 10000 dagen per meter dikte (Figuur 2.7).

Onderzoek naar de hydraulische weerstand in kanalen in relatie tot grondwater systemen (Stoppelenburg, 1999) geeft aan dat de zogenaamde intreeweestanden (van grondwater naar waterloop) gebruikt in numerieke grondwatermodellen voor grote kanalen en rivieren vaak tussen de 1 en 40 dagen liggen, met uitschieters naar 500 – 1000 dagen. Nog hogere uittreeweestanden (van waterloop naar grondwater) tot 1000 dagen met uitschieters naar 5000 dagen werden aangetroffen bij onderzoek aan het Oranjekanaal, waar een relatief groot stijghoogteverschil van 2 tot 5 meter bestaat tussen het waterpeil van het kanaal en de grondwaterstijghoogte in de omgeving.

Naast het feit dat weerstanden van sliblagen moeilijk zijn in te schatten, is bovendien de dikte van de sliblaag in de Nieuwe Waterweg (waar aanwezig) lastig te meten en waar deze gekarteerd is (Tauw, 2015) zeer variabel. Daarom kan niet direct een conclusie getrokken worden over de weerstand van de sliblaag van de NWW. Ook de snelheid van het herstel van de sliblaag bij een intensiever baggerregime (het neerslaan van de kleinste deeltjes die de bodem dichtslaan), is een nog onbekend proces voor de Nieuwe Waterweg.

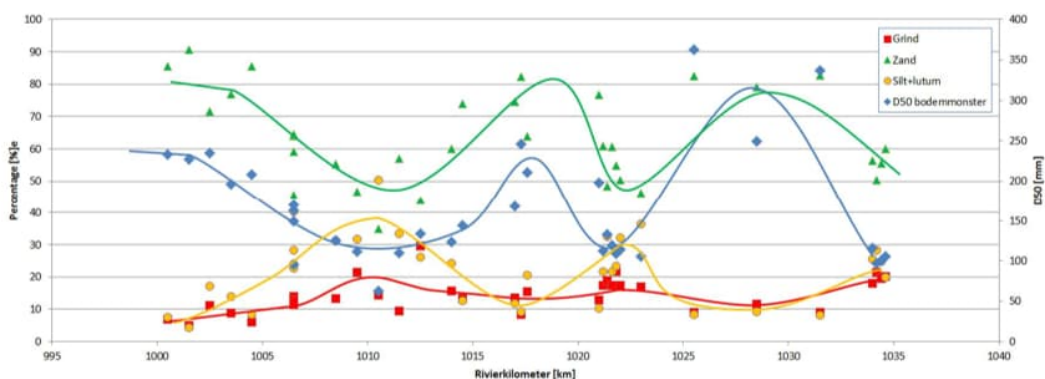
In deze studie is op basis van bovenstaande kennis gekozen voor:

- Geen sliblaag aanwezig tussen Hoek van Holland en rivierkilometer 1024 en tussen rivierkilometer 1018 en 1015.

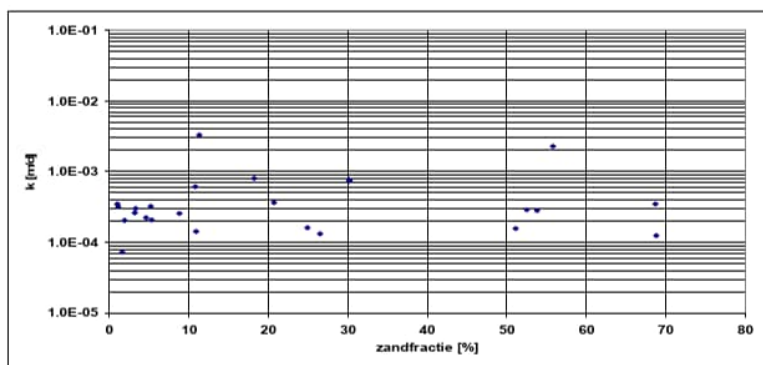
- Een sliblaag met een weerstand van 300 dagen aanwezig tussen rivierkilometer 1024 en 1018 en ten oosten van rivierkilometer 1015.

Opgemerkt moet worden dat de genoemde weerstand van 300 dagen veel hoger kan zijn (De Lange, 2011; Stoppelenburg, 1999), wellicht snel kan aangroeien (De Lange, 2010) of veel lager kan zijn (Stoppelenburg, 1999). In het spectrum van in Stoppelenburg (1999) genoemde waarden betreft de gekozen waarde echter een relatief hoge weerstand en bevindt deze waarde zich dus met het oog op de worst-case in steek van de uitgeverde berekeningen (zie Hoofdstuk 3) aan de veilige kant.

Deze weerstand is additioneel op de weerstand van de deklaag onder de Nieuwe Waterweg (paragraaf 2.1.3). Bij het construeren van de rekenvarianten in Hoofdstuk 3 wordt de weerstand van de sliblaag dus opgeteld bij de gekozen waarden voor de weerstand van de deklaag onder de Nieuwe Waterweg. Bij verdieping wordt de weerstand van de sliblaag in de berekeningen altijd volledig verwijderd.



Figuur 2.6 Sedimentsamenstelling in de Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas. Bron: Arcadis (2015).



Figuur 2.7 Doorlatendheid (verticaal) versus (korrelgrootte-, zand-)fractie (horizontaal) van ongerijpt slib in Haringvliet en Slufter in relatie tot de zandfractie (uit De Lange 2011).

### 2.1.5 Totale hydraulische weerstand onder Nieuwe Waterweg

Het is van belang om een goede inschatting te maken van de huidige totale hydraulische weerstand tussen de Nieuwe Waterweg en het grondwater en de hydraulische weerstand na verdieping. Dit bepaalt namelijk het verschil in grondwater-oppervlaktewaterinteractie tussen de situaties voor en na. De totale hydraulische weerstand onder de Nieuwe Waterweg

bestaat uit de som van de weerstand van de deklaag en de weerstand van de sliblaag (waar aanwezig).

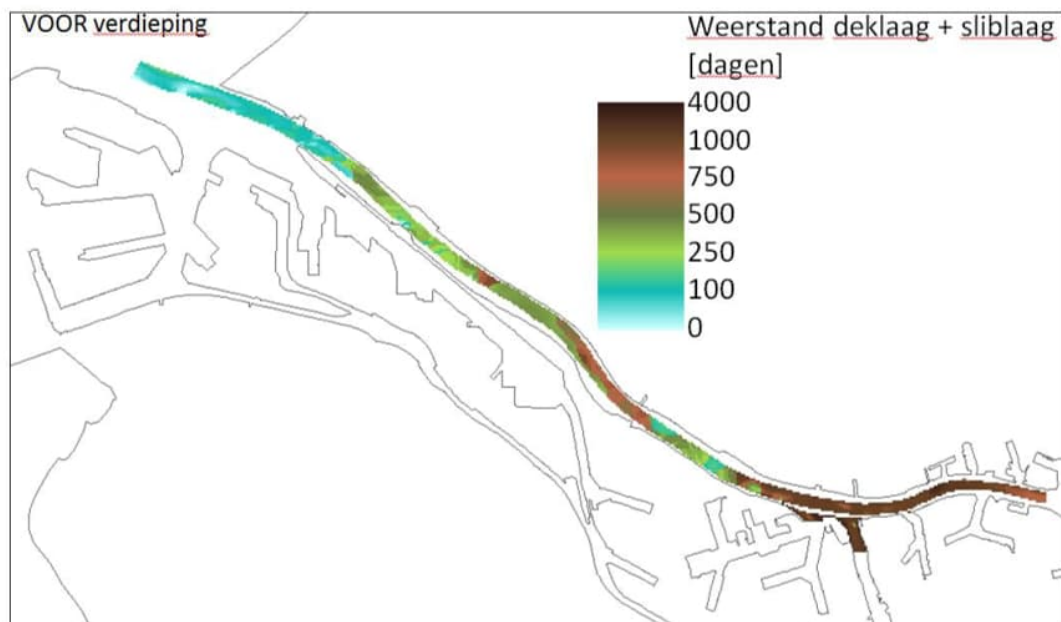
Hydraulische weerstand deklaag (herhaling van paragraaf 2.1.3):

- Eenheid I weerstand: zand, onderdeel van het watervoerend pakket.
- Eenheid II weerstand: klei met weerstand van 200 - 1000 dagen/meter.
- Eenheid III weerstand:
  - 10% klei en 90% zand met weerstand van 20 - 100 dagen/meter ten westen van rivierkilometer 1016.
  - klei met weerstand van 200 – 1000 dagen/meter ten oosten van rivierkilometer 1016.

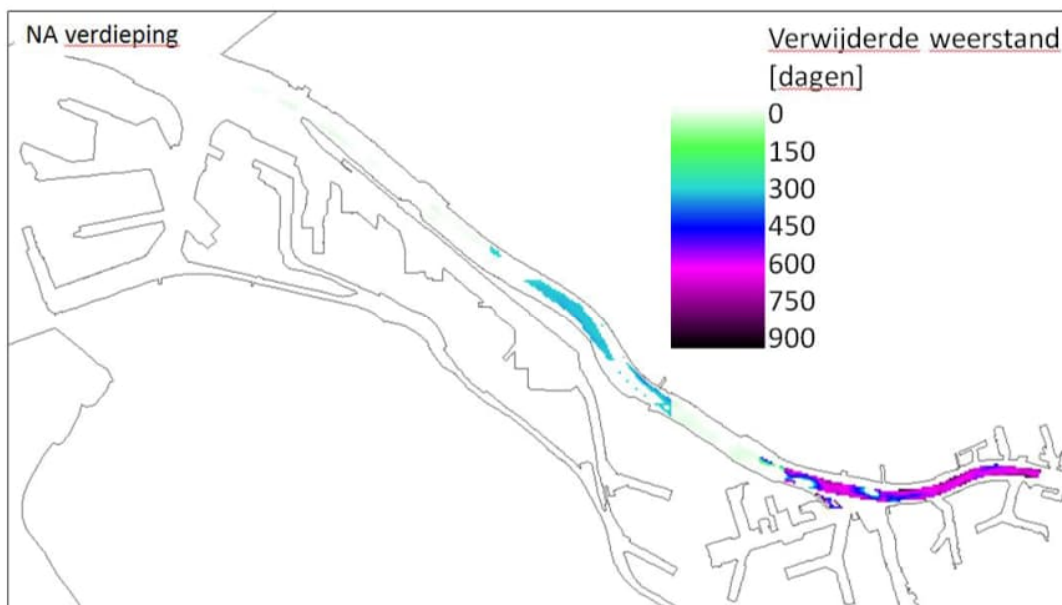
Hydraulische weerstand sliblaag (herhaling van paragraaf 2.1.4):

- 0 dagen voor en na verdieping tussen Hoek van Holland en rivierkilometer 1024
- 300 dagen voor en 0 dagen na verdieping tussen rivierkilometer 1024 en 1018
- 0 dagen voor en na verdieping tussen rivierkilometer 1018 en 1015
- 300 dagen voor en 0 dagen na verdieping ten oosten van rivierkilometer 1015

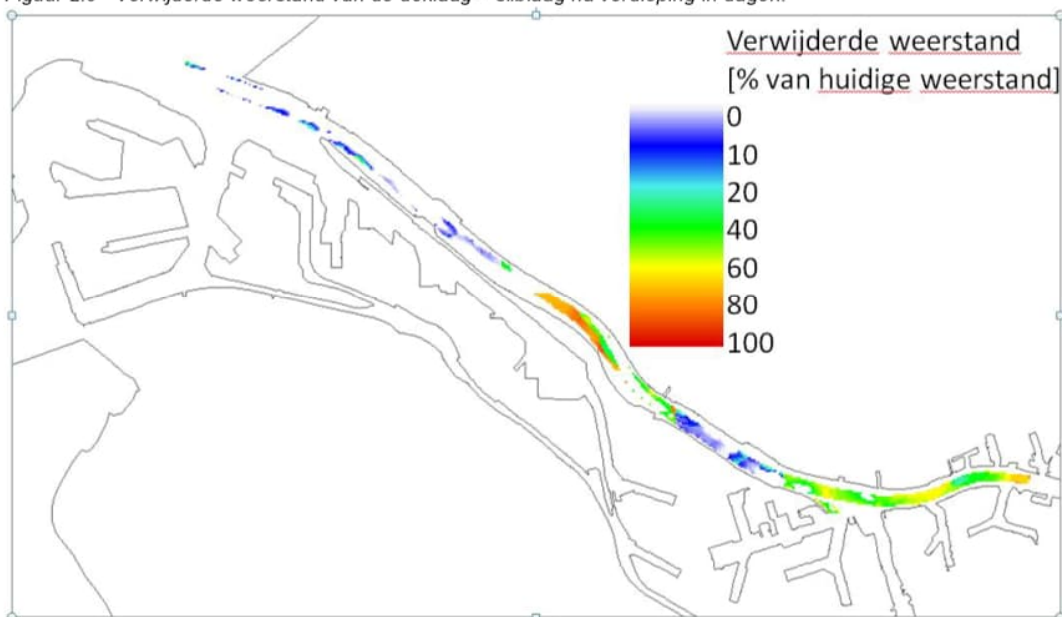
De laagste weerstand van Eenheid II (20 dagen/meter) en de laagste weerstand van Eenheid III (200 dagen/meter) zorgen in combinatie met verwijdering van de sliblaag voor de grootste procentuele afname van weerstand na verdieping. Dit is dus een 'worst-case' keuze. De huidige situatie van de weerstand van de deklaag staat weergegeven in Figuur 2.8, de verwijderde weerstand na verdieping staat weergegeven in Figuur 2.9 (absoluut in dagen) en in Figuur 2.10 (relatief, percentage van de weerstand zonder verdieping).



Figuur 2.8 Hydraulische weerstand van de deklaag + sliblaag onder de Nieuwe Waterweg, huidige situatie zonder verdieping.



Figuur 2.9 Verwijderde weerstand van de deklaag + sliblaag na verdieping in dagen.



Figuur 2.10 Verwijderde weerstand van de deklaag + sliblaag na verdieping als percentage van de weerstand voor verdieping.

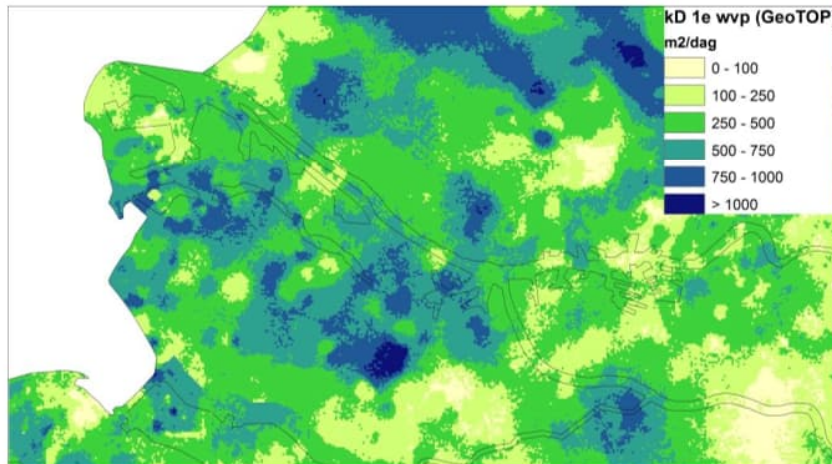
## 2.1.6 Eerste watervoerend pakket

Het eerste watervoerend pakket<sup>4</sup> loopt ten noorden van de Nieuwe Waterweg grofweg van -20 m NAP tot -40 m NAP. Ten zuiden van de Nieuwe Waterweg is het eerste watervoerend pakket onder de grens van GeoTOP (-50 m NAP). In Figuur 2.11 is de kD weergegeven voor het eerste watervoerend pakket met als ondergrens -50 m NAP op basis van GeoTOP.

<sup>4</sup> Een bodemlaag die water doorvoert en die aan boven- en onderzijde begrensd wordt door een ondoorlatende laag of door een vrije waterspiegel. Het eerste watervoerend pakket is de bodemlaag direct onder de deklaag.



Echter, tot de formatie van Maassluis op ongeveer 200 meter diepte is weinig weerstand te vinden. Er is dus geen sprake van een afgesloten eerste watervoerend pakket. Het totale doorlaatvermogen kD tot de formatie van Maassluis is gemiddeld 1800 m<sup>2</sup>/dag (Hoogewoud 2011).



Figuur 2.11 Doorlaatvermogen kD van het eerste watervoerend pakket zoals afgeleid uit GeoTOP.

## 2.2 Grondwater

### 2.2.1 Freatische grondwaterstand

De freatische grondwaterstanden in het gebied liggen over het algemeen ondiep, met name in het landelijke gebied.

De beschikbare bronnen met meetgegevens van de freatische grondwaterstand zijn:

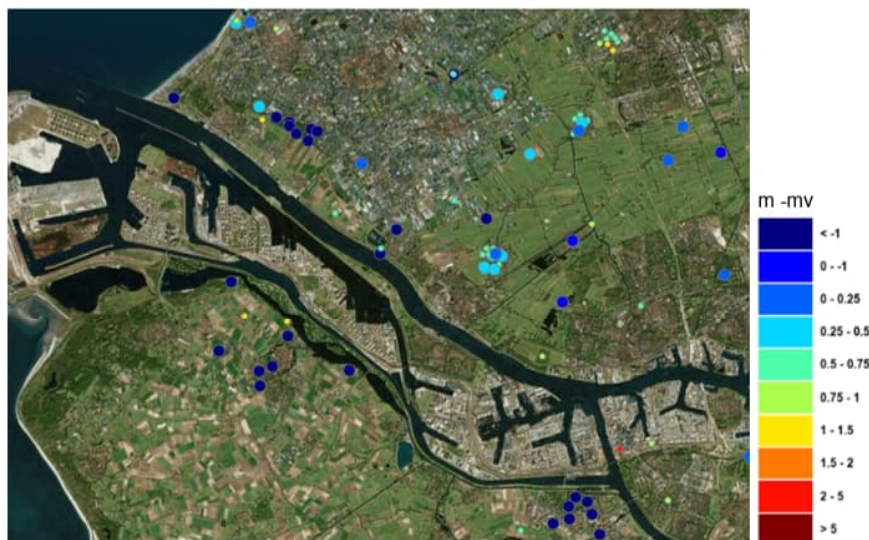
- DINO (TNO)
- Meetnet Hoogheemraadschap van Delfland
- Meetnet Gemeente Midden-Delfland

De meetreeksen vanaf 2000 zijn meegenomen, om een recent beeld te krijgen. Binnen de focus van deze analyse is geen validatie op de meetreeksen uitgevoerd.

In Figuur 2.12 is de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) t.o.v. maaiveld weergegeven. De GHG geeft een indruk van de plekken waar op dit moment risico's op grondwateroverlast kunnen zijn. Afhankelijk van het landgebruik kan bij een GHG ondieper dan 0.5 m onder maaiveld een risico op grondwateroverlast zijn. Dat geldt met name voor bebouwing met funderingen of kruipruimtes, maar ook voor bepaalde akkerbouwgewassen. Graslanden kunnen ondiepere GHG's aan.

Op veel plekken ligt de GHG dicht aan maaiveld of zelfs erboven. In Figuur 2.12 is te zien dat in de bebouwde kernen de GHG veelal wat dieper ligt.

Indien de verdieping van de Nieuwe Waterweg leidt tot een grotere druk van onderaf en de freatische grondwaterstanden daardoor hoger kunnen komen te liggen, dan zijn de plekken met ondiepe GHG potentiële risicogebieden.

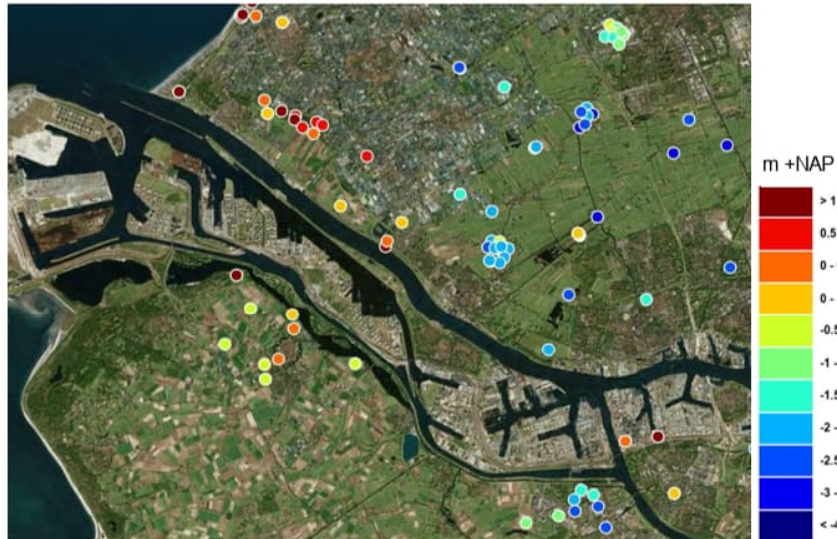


Figuur 2.12 Freatische GHG (m –mv). GHG-waarden ondieper dan 0.5 m –mv (blauwe kleuren) zijn met grotere symbolen weergegeven. Dit zijn punten met risico op grondwateroverlast (afhankelijk van landgebruik). De gemiddelde hoogste grondwaterstand GHG is berekend over beschikbare meetreeks binnen de periode 2000-2015.

De gemiddelde freatische grondwaterstand t.o.v. NAP is weergegeven in Figuur 2.13. De grondwaterstand neemt van oost naar west toe. In het oostelijk deel ligt de grondwaterstand veelal op -2 tot -4 m NAP, lager dan de gemiddelde waterstand in de Nieuwe Waterweg van 0 m NAP<sup>5</sup>. Naar het westen toe komt de grondwaterstand hoger te liggen, tot ruim boven NAP.

De meetreeksen van Delfland zijn op uurbasis beschikbaar, wat het mogelijk maakt naar een eventueel getijde-sigitaal te kijken (doorwerking van getijde op de Nieuwe Waterweg naar het eerste watervoerende pakket). Echter, alle meetpunten van Delfland betreffen freatische meetpunten in de deklaag. Een eventueel getijde-sigitaal in het eerste watervoerende pakket is dan ook niet meer zichtbaar in deze freatische meetreeksen, omdat dit sigitaal door de weerstand van de deklaag is uitgedempt.

<sup>5</sup> De waterstand varieert in de tijd en neemt toe naar het oosten. Het 0 m +NAP referentieniveau is handig ter vergelijking van (grond)waterstanden.



Figuur 2.13 Gemiddelde freatische grondwaterstand (m NAP). Gemiddelde is berekend over beschikbare meetreeks binnen de periode 2000-2015.

### 2.2.2 Stijghoogte in het eerste watervoerende pakket

In Figuur 2.14 is de gemeten gemiddelde stijghoogte in het eerste watervoerende pakket weergegeven. De bron voor deze meetgegevens is DINO (TNO). De meetreeksen vanaf 2000 zijn meegenomen, om een recent beeld te krijgen. Binnen de scope van deze analyse is geen validatie op de meetreeksen uitgevoerd en is ook geen correctie van de stijghoogte voor het chlorideconcentratie uitgevoerd. Ten noorden van de Nieuwe Waterweg neemt de stijghoogte grofweg toe van oost naar west. In het oostelijk deel ligt de stijghoogte op -1.5 tot 0 m NAP. Naar het westen toe komt de stijghoogte hoger te liggen: 0 tot +0.5 m NAP. Ten zuiden van de Nieuwe Waterweg is het oost-west verschil minder duidelijk.

De beschikbare meetreeksen in het eerste watervoerende pakket zijn alle op dagbasis of minder frequent. Het is dus niet mogelijk om een eventueel getijde-sigitaal te onderscheiden. Een dergelijk sigitaal had gebruikt kunnen worden om een schatting te maken van de mate van doorwerking van fluctuaties op de Nieuwe Waterweg naar het watervoerende pakket.

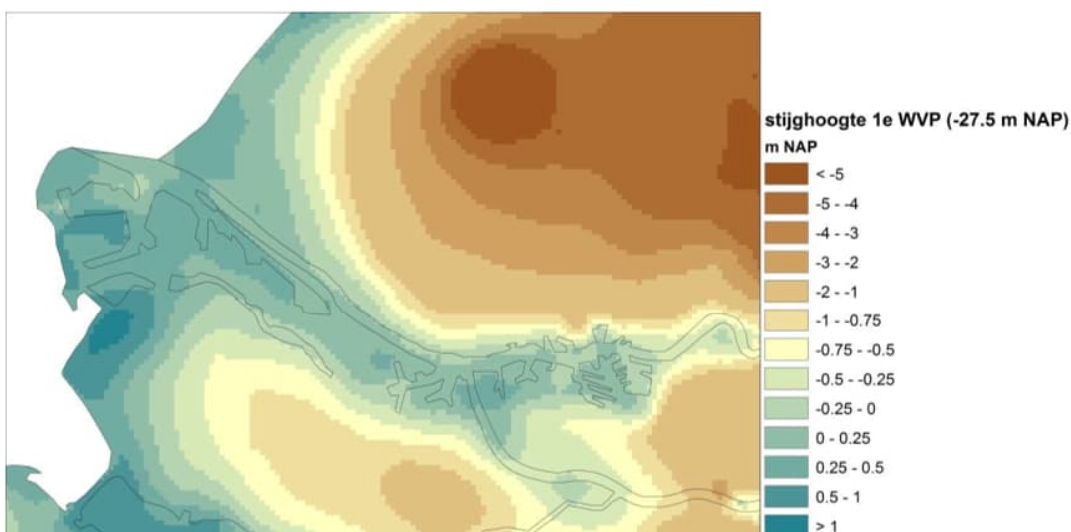
Een vlakdekkend beeld van de stijghoogte is weergegeven in Figuur 2.15 (stijghoogte op -27.5 m NAP). Voor deze stijghoogte is het grondwatermodel van de Provincie Zuid-Holland gebruikt (Minnema et al. 2004; Oude Essink, 2008). Dit is een 3D dichtheidsafhankelijk grondwatermodel met gekoppeld zouttransport met een horizontale resolutie van 250 x 250 m. Het model is gekalibreerd op stijghoogte, door doorlaatvermogen watervoerend pakket en hydraulische weerstanden slechtdoorlatende lagen aan te passen. Duidelijk is de waterscheiding te zien ten noorden van het Brielse meer en ten zuiden van de Nieuwe Waterweg. In het noorden is de stijghoogte laag door de DSM onttrekking.

Het gemodelleerde beeld komt redelijk overeen met de meetgegevens (Figuur 2.14). Lokale details zijn echter niet zichtbaar.





Figuur 2.14 Gemiddelde stijghoogte in het eerste watervoerende pakket (m NAP). Gemiddelde is berekend over beschikbare meetreeks binnen de periode 2000-2015.

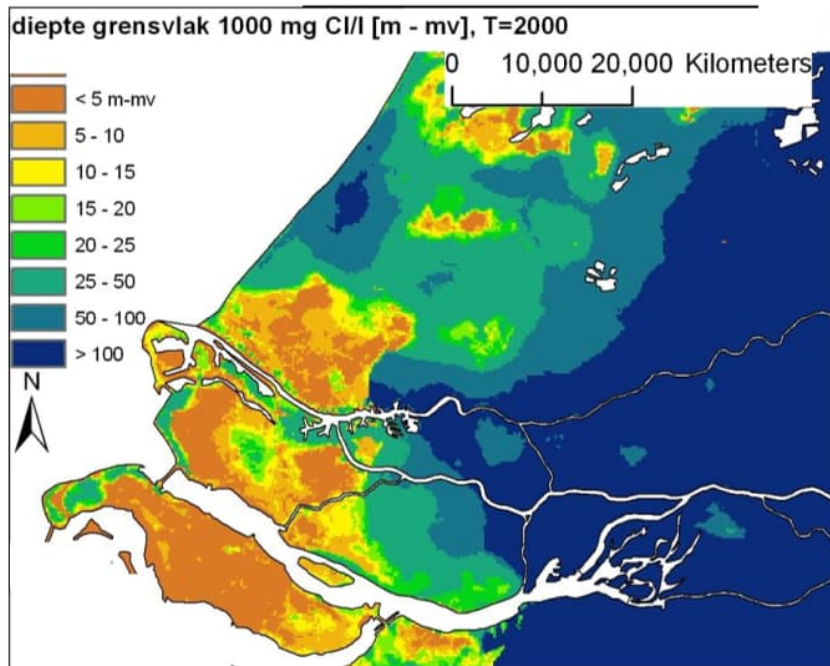


Figuur 2.15 Stijghoogte eerste watervoerend pakket (WVP1) in m NAP jaargemiddeld Zuid-Holland model huidige situatie.

### 2.2.3 Chlorideconcentratie grondwater

De chlorideconcentratie van het grondwater in Figuur 2.16 is bepaald met behulp van het Zuid-Holland model (Minnema et al. 2004; Oude Essink et al. 2008; Van Baaren 2011). De chlorideconcentratie is bepaald met behulp van puntmetingen (slechts beperkt beschikbaar) en berekeningen. De bovenste modellagen zijn 5 m dik, waardoor een hogere resolutie voor de diepte van het zoet-zout grensvlak niet mogelijk is met dit model. De horizontale resolutie is  $250 \times 250 \text{ m}^2$  waardoor lokale verschillen niet te berekenen zijn of zichtbaar zijn. De beschikbare metingen van de chlorideconcentratie van het grondwater zijn gebruikt in de initiële verdeling van de chlorideconcentratie in het model.





Figuur 2.16 diepte 1000mg Cl/l grensvlak Zuid-Holland model huidige situatie.

In Figuur 2.17 en Figuur 2.18 zijn een aantal gemeten chlorideconcentraties in het grondwater (freatisch respectievelijk eerste watervoerend pakket) weergegeven.

De beschikbare bronnen met meetgegevens van de chlorideconcentratie van het grondwater zijn:

- DINO (TNO)
- Meetnet Hoogheemraadschap van Delfland
- Meetnet Gemeente Midden-Delfland

Dit betreft de in DINO (TNO) beschikbare gegevens. Waarden tot 300 mg/l worden als zoet gezien, tussen 300 en 1000 mg/l als brak en daarboven als zout. In zowel het freatische grondwater als het grondwater in het eerste watervoerende pakket komt brak tot zout water voor. Op basis van het beperkt aantal beschikbare meetpunten lijkt er geen groot verschil tussen beide pakketten. Bij de Staalduinen is zoet freatisch grondwater en zout grondwater in het watervoerende pakket aanwezig: een zoetwaterlens.



Figuur 2.17 Gemiddelde chlorideconcentratie (mg/l) in het freatische grondwater. Gemiddelde is berekend over beschikbare metingen binnen de periode 1990-2015. Merk op dat de chlorideconcentratie van het meest noordelijke punt zout aangeeft en zouter is dan de diepere meting (Figuur 2.18).



Figuur 2.18 Gemiddelde chlorideconcentratie (mg/l) in het eerste watervoerende pakket. Gemiddelde is berekend over beschikbare metingen binnen de periode 1990-2015.

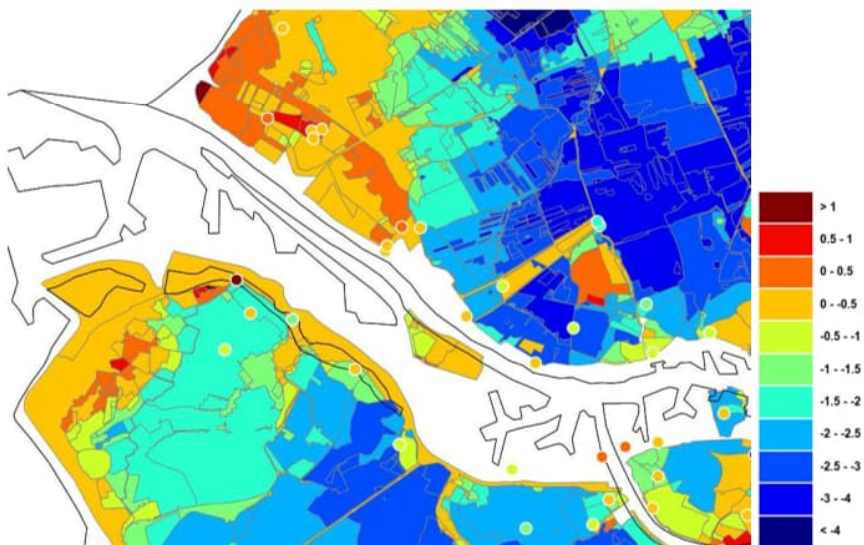
## 2.2.4 Kwel/infiltratie

Indien door de verdieping van de Nieuwe Waterweg de kweldruk toeneemt of de infiltratie afneemt, kan de zoutvracht toenemen en/of de dikte van de aanwezige zoetwaterlenzen afnemen. De verticale kwelflux is afhankelijk van de potentiaalverschillen over de deklaag (dus het verschil in stijghoogte tussen het eerste watervoerend pakket en freatisch) en de weerstand van de deklaag.

In Figuur 2.19 zijn de stijghoogtemetingen weergegeven met op de achtergrond de gemiddelde/vaste oppervlaktewaterpeilen (zie ook paragraaf 2.3.1). Dit geeft een eerste indruk van infiltratie of kwel: waar de stijghoogte hoger is dan het polderpeil, is er potentieel



een waterflux omhoog (kwel). Waar de stijghoogte lager is dan het polderpeil, is er potentieel sprake van infiltratie. Aan de noordkant van de Nieuwe Waterweg komt in het oostelijk deel vooral een kwelsituatie voor, met uitzondering van de Foppenpolder en Vlietlanden, waar een hoog polderpeil tot een infiltratiesituatie leidt. In het westelijk deel zijn de polderpeilen en stijghoogtes min of meer gelijk, dus geen of geringe kwel/infiltratie. Aan de zuidkant van de Nieuwe Waterweg overheerst kwel.



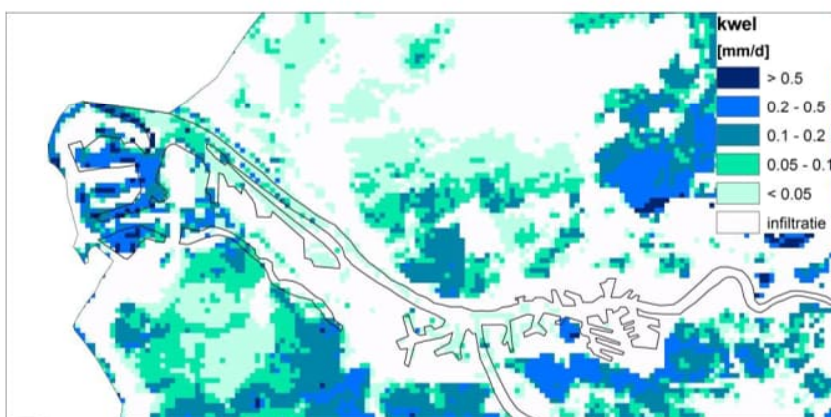
Figuur 2.19 Oppervlaktewaterpeil (vlakken) en gemiddelde stijghoogte in het eerste watervoerende pakket (ballen, idem als in Figuur 2.11) (m NAP).

Een vergelijking tussen de freatische grondwaterstand en de stijghoogte geeft ook een beeld van kwel/infiltratie. In Figuur 2.20 is dit gedaan voor de meetpunten die ook zijn afgebeeld in Figuur 2.13 en Figuur 2.14. Enkele opvallende kwel- en infiltratiesituaties zijn in groen respectievelijk rood weergegeven. In oostelijk deel van het gebied komt op sommige plekken kwel voor. Naar het westen toe overheerst infiltratie. Dit komt grofweg overeen met de vergelijking tussen polderpeil en stijghoogte (Figuur 2.19).



Figuur 2.20 Vergelijking freatische grondwaterstand en stijghoogte. Enkele opvallende verschillen zijn gemarkeerd: groen = kwelsituatie, rood = infiltratiesituatie.

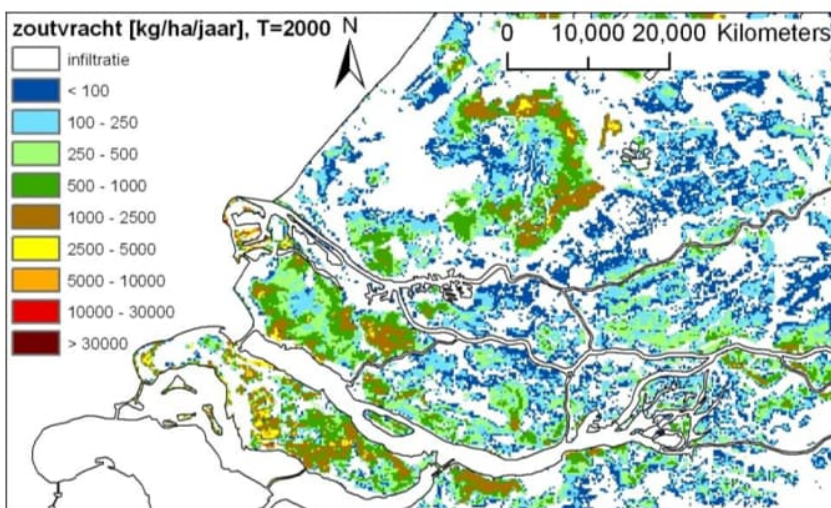
Een vlakdekkend beeld van de kwelflux is weergegeven in Figuur 2.21, bepaald met behulp van het Zuid-Holland model (Minnema et al. 2004; Oude Essink et al. 2008; Van Baaren 2011). Ook hier is te zien dat in het oostelijk deel van het projectgebied een duidelijke kwelflux voorkomt, met uitzondering van bijvoorbeeld de Broekpolder (met hoge polderpeilen een infiltratiegebied). Naar het westen toe komt vaker infiltratie voor of een geringere kwelflux.



Figuur 2.21 Kwel in mm/d jaargemiddeld Zuid-Holland model huidige situatie.

## 2.2.5 Zoutvrachten

De zoutvracht van het grondwater naar het oppervlaktewater is gedefinieerd als kwelflux vermenigvuldigd met chlorideconcentratie aan de onderkant van de deklaag. De zoutvracht in Figuur 2.22 is bepaald met behulp van het Zuid-Holland model (Minnema et al. 2004; Oude Essink et al. 2008; Van Baaren 2011). Voor de zoutvrachtberekening is de kwelflux ter hoogte van -7.5m NAP gebruikt en de chlorideconcentratie van -12.5 m NAP.



Figuur 2.22 Zoutvracht [kg/ha/jaar] Zuid-Holland model huidige situatie.

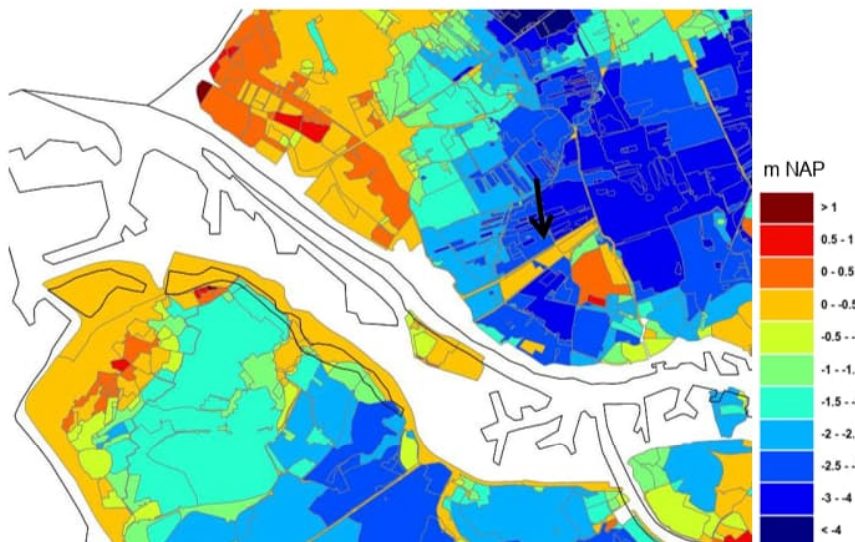


## 2.3 Oppervlaktewater

### 2.3.1 Polderpeilen

In Figuur 2.23 zijn de huidige polderpeilen van Hoogheemraadschap van Delfland (ten noorden van de Nieuwe Waterweg) en van Waterschap Hollandse Delta (ten zuiden) weergegeven. Het gaat om een vast peil, het gemiddelde van zomer- en winterpeil of het gemiddelde van de uiterste grenzen van flexibel peil. De polderpeilen zijn in het oostelijk deel van het gebied over het algemeen lager dan in het westen, tot enkele meters onder NAP. Naar het westen toe worden hogere peilen gehandhaafd, tot boven NAP. Opvallend zijn de Broekpolder, Foppenpolder en Vlietlanden (zie pijl Figuur 2.23) waar hogere peilen dan de omgeving voorkomen.

In Figuur 2.19 zijn deze polderpeilen vergeleken met de stijghoogtes in het eerste watervoerende pakket om een eerste indruk van kwel/infiltratie te krijgen.

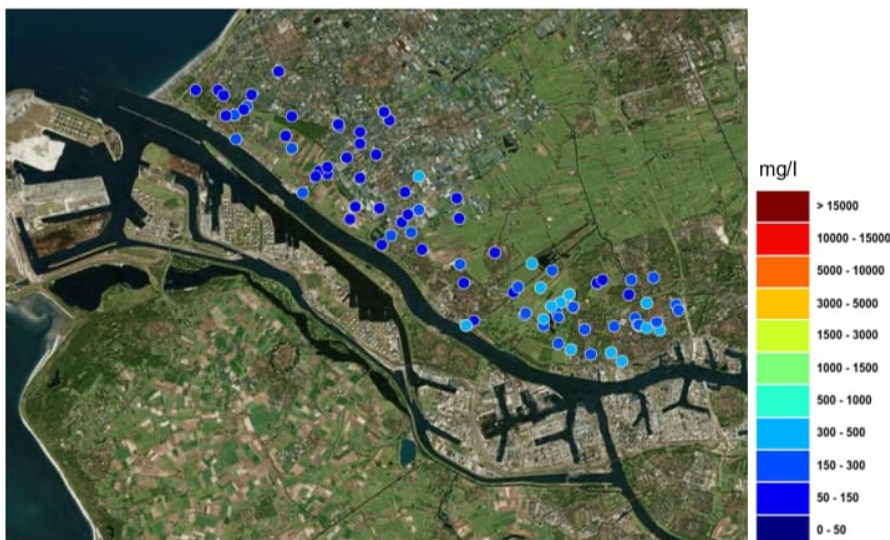


Figuur 2.23 Gemiddeld of vast oppervlaktewaterpeil (m NAP).

### 2.3.2 Chlorideconcentratie oppervlaktewater

Hoogheemraadschap van Delfland heeft metingen beschikbaar van chlorideconcentraties in het oppervlaktewater. Deze zijn weergegeven in Figuur 2.24. Te zien is dat overal de concentratie <500 mg/l is, veelal zelfs <150 mg/l. Hoewel het grondwater (licht) brak is, is het oppervlaktewater dus als vrijwel zoet te beschouwen. Delfland heeft aangegeven het slotensysteem door te spoelen met zoet water, wat het verschil tussen chlorideconcentratie in grondwater en oppervlaktewater verklaart. Het beleid van Delfland is echter niet om actief door te spoelen om een bepaalde chlorideconcentratie te waarborgen. Zonder doorspoeling zou het oppervlaktewater verbrakken.

Indien de zoutvracht vanuit het eerste watervoerende pakket toeneemt, moet er rekening gehouden worden met een toename van het risico op verzilting van het oppervlaktewatersysteem. Een toename van de vraag naar doorspoelwater is dan het gevolg. Naast extra kosten, levert dit in tijden van waterschaarste mogelijk een knelpunt op.

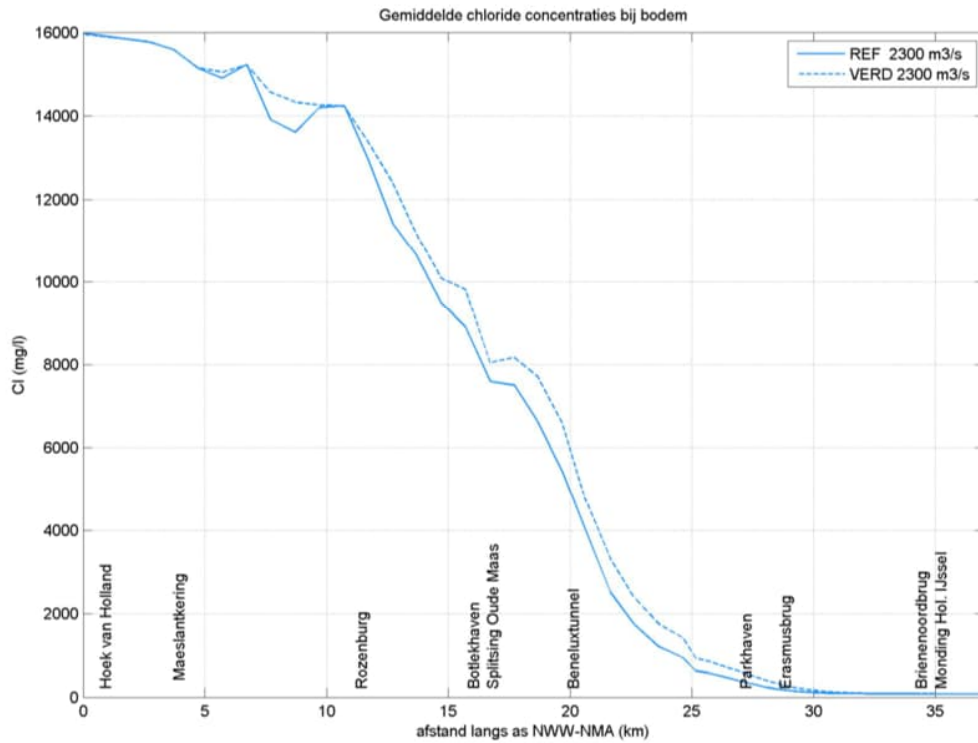


Figuur 2.24 Gemiddelde chlorideconcentratie (mg/l) in het oppervlaktewater. Gemiddelde is berekend over beschikbare metingen binnen de periode 1990-2015.

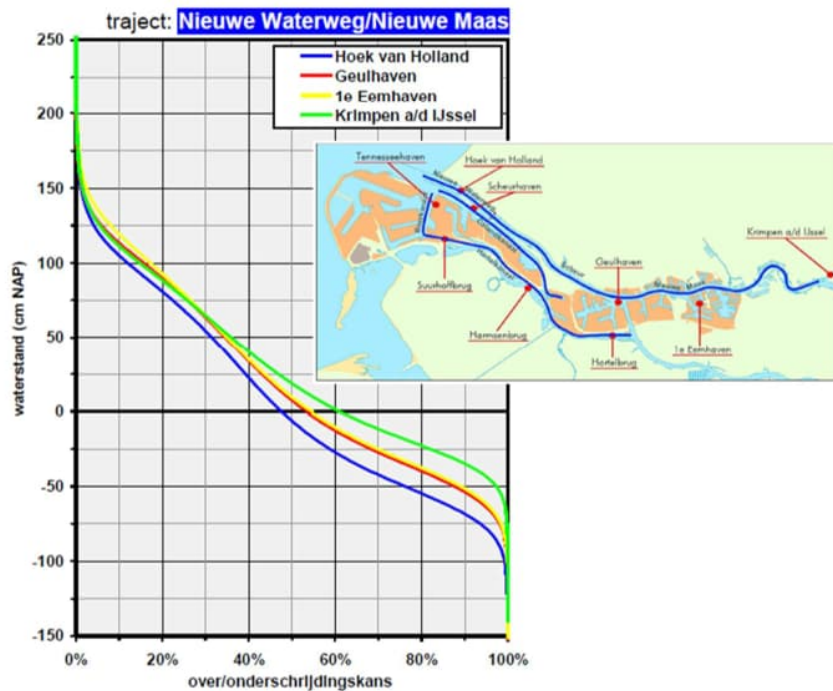
### 2.3.3 Chloride en peil Nieuwe Waterweg

Een schatting van de concentratie van het infiltrerende water van de Nieuwe Waterweg is ontleend aan modelresultaten uit een studie naar de effecten van een verdieping van de Nieuwe Waterweg op de saliniteit in de Nieuwe Waterweg (Svasek, 2015). De gebruikte modelresultaten zijn afgebeeld in Figuur 2.25 en betreffen resultaten voor een maatgevend afvoerdebiet van 2300 m<sup>3</sup>/s. De resultaten zijn vergeleken met meetwaarden uit De Nijs (2012) en met modelresultaten verkregen met het 3D-Zeedeltamodel (Van der Werf 2014). De resultaten zijn hiermee in redelijke overeenstemming bevonden. De gekozen waarden voor saliniteit per doorgerekende case worden toegelicht in Hoofdstuk 3.

Een schatting van de waterstand van de Nieuwe Waterweg is ontleend aan de in Figuur 2.26 getoonde overschrijdingskansen van waterstanden in de Nieuwe Waterweg (Havenbedrijf Rotterdam, 2012). De 50% over- of onderscheidingsgrens zit op ongeveer 0 m NAP. Voor het peil van de Nieuwe Waterweg is deze waarde gebruikt.



Figuur 2.25 Gemodelleerde Chlorideconcentraties langs de as van de rivier bij de bodem, referentie (REF) en verdiept (VERD) (Svasek, 2015).

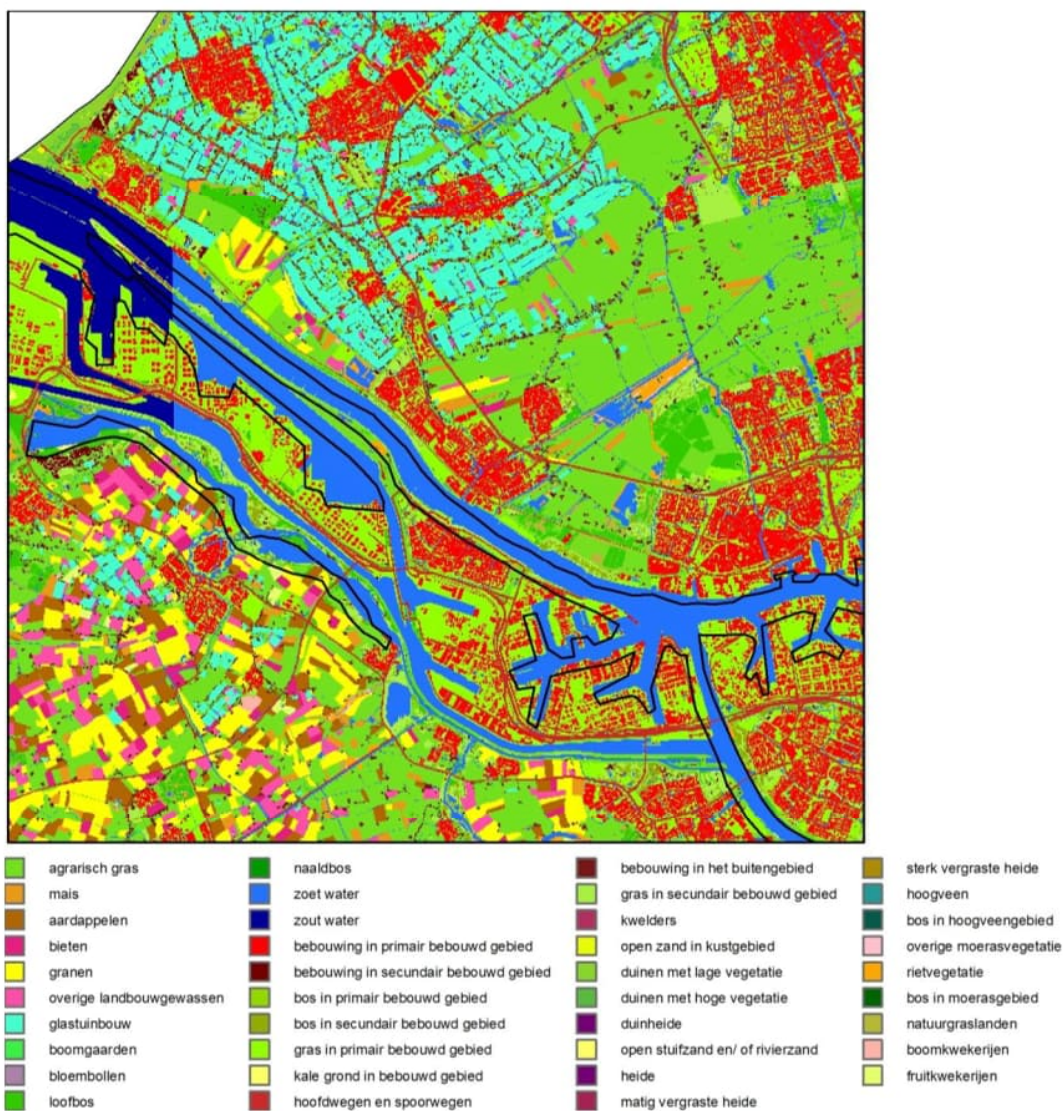


Figuur 2.26 Overschrijdingskansen van waterstanden in de Nieuwe Waterweg (Havenbedrijf Rotterdam, 2012).



## 2.4 Landgebruik

Het landgebruik rond de Nieuwe Waterweg volgens het Landelijk Grondgebruikbestand LGN6 is weergegeven in Figuur 2.27.



Figuur 2.27 Landgebruik (LGN6).

## 2.5 Kenmerken risicogebieden verzilting

Verdieping van de Nieuwe Waterweg kan op twee manieren een risico vormen voor verzilting van het grondwatersysteem in de nabije omgeving:

### 1. Toename stijghoogte, kwel en verzilting

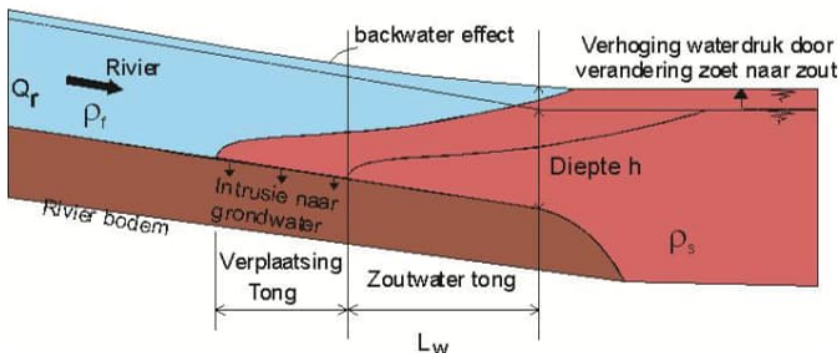
Door het verwijderen van de de sliblaag (waar aanwezig) en (een deel van) de deklaag kan de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket significant toenemen (dit omdat de waterstand in het oppervlaktewater hoger is dan in het grondwatersysteem). Hierdoor kan ook de freatische grondwaterstand toenemen of de afvoer van water naar drainagesysteem (sloten en buizen) toenemen, indien voldoende drainagecapaciteit aanwezig is in een nabij



gebied. Daarnaast kan de kweldruk in de polder toenemen. Indien het grondwater brak tot zout is kan door de grotere kweldruk het ondiepe grondwater verzilten. Ondiepe regenwaterlenzen kunnen nog dunner worden en de zoutvrucht van het grondwater naar het oppervlaktewater kan toenemen, zie o.a. De Louw et al. (2011).

## 2. Zouttransport vanuit Nieuwe Waterweg

Aangenomen wordt dat de zoutconcentratie van de Nieuwe Waterweg slechts beperkt verandert (paragraaf 2.3.3). De zoutwater tong van de Nieuwe Waterweg zal zich verder landinwaarts bewegen (zie het concept daarvan in Figuur 2.28). Dit heeft alleen invloed op zoutconcentratie op de bodem van de Nieuwe Waterweg in het oosten van het studiegebied. In het westen van het studiegebied blijft de chlorideconcentratie constant. Wel kan door de verdieping van de Nieuwe Waterweg en diensgevolge een verminderde weerstand het zoute oppervlakte water sneller infiltreren in het grondwatersysteem.



Figuur 2.28 Verplaatsing van de zoutwater tong in het oppervlaktewater systeem.

Belangrijke risico indicatoren voor toename van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket, toename van de kweldruk en verzilting van het grondwatersysteem (en daarmee de verzilting van het oppervlaktewater in de polder) zijn:

### A. Hydraulische weerstand onder de Nieuwe Waterweg

De sliiblaag op de bodem van de Nieuwe Waterweg (waar aanwezig) en de dikte en samenstelling van de deklaag onder de Nieuwe Waterweg bepalen samen de hydraulische weerstand. Hoe kleiner deze weerstand, hoe groter de interactie tussen de Nieuwe Waterweg en het grondwatersysteem. Dit geldt voor de stijghoogte: doorsnijding van de deklaag onder de Nieuwe Waterweg zorgt voor een gemiddelde stijghoogte in het eerste watervoerend pakket die nagenoeg gelijk is aan het gemiddelde peil van de Nieuwe Waterweg (neem in gedachten dat deze vaak hoger is dan het naastgelegen polderpeil). Maar dit geldt ook voor transport van zout water: zoutwater kan vanuit de zoutwater tong beter infiltreren in het grondwater.

### B. Weerstand deklaag naastgelegen polder

Hoe kleiner de weerstand van de deklaag in de polder, hoe groter het effect van een verhoging van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op de kwelflux in de polder (met verder gelijke parameters). Voor deze parameter is GeoTOP gebruikt. Gekalibreerde deklaagweerstand (Roelofsens, 2008) zijn veelal hoger maar gebaseerd op oude data (van voor 2008) en niet geschikt voor de bepaling van kwelfluxen en zoutvrachten in het topsysteem. Immers, voor kwelfluxen en zoutvrachten naar het oppervlaktewatersysteem is heterogeniteit van de ondergrond van belang. In de aanpak hebben we voor deze parameter gekozen voor de laagst voorkomende waarde die in combinatie met de voor de andere

parameters gekozen waarden voorkomt (dus gebiedsspecifiek). Dit is een 'worst-case' aanpak: de gemiddelde weerstand van de deklaag over een willekeurig profiel vanaf de Nieuwe Waterweg richting de polder zal vaak hoger zijn. We verwachten geen 'gaten' in de deklaag in dit gebied: de deklaag is dik (gemiddeld 20 meter) en sloten en plassen zijn ondiep (GeoTOP). In het bijzonder is de Krabbeplass tussen Maassluis en Vlaardingen van oorsprong een veenafraving en slechts 2 m diep. Ook verwachten we geen wellen die zouttransport van het grondwater naar het oppervlaktewater versnellen (Hoogewoud, 2011; De Louw, 2013). Preferente stroombanen kunnen een rol spelen bij de verzilting van ondiep grondwater; gebruik van een heterogene ondergrond in 3D modellen is daarom aan te bevelen.

#### C. Verskil tussen peil Nieuwe Waterweg en polderpeil

Hoe groter het verschil tussen het polderpeil en het peil van de Nieuwe waterweg, hoe groter de kweldruk in de polder (met verder gelijke parameters en polderpeil lager dan peil Nieuwe Waterweg). In de aanpak hebben we gekozen voor een gemiddeld peil van zomer en winter en voor het laagst voorkomende peil in een specifiek profiel/deelgebied.

#### D. Doorlaatvermogen eerste watervoerend pakket kD

Hoe hoger het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket, hoe groter de invloed van de stijghoogte onder de Nieuwe Waterweg op de stijghoogte in de polder en hoe groter de kweldruk (bij verder gelijke parameters en polderpeil lager dan peil Nieuwe Waterweg). Voor deze parameter is GeoTOP (Van der Meulen, 2013) gebruikt in combinatie met REGIS (Vernes, 2005). De kD is minder van belang voor de invloed op het grondwatersysteem dan de weerstand van de deklaag: De spreidingslengte is hier van belang ( $\sqrt{kD \cdot \text{hydraulische weerstand } c}$ ), kD varieert weinig (zeg factor 3), weerstand deklaag is hoog in dit gebied en varieert veel meer en is dus maatgevender.

#### E. Dikte zoetwaterlens

In een gebied met dunne regenwaterlensen (Figuur 2.29) komt het zoute grondwater in de buurt van de wortelzone van gewassen en kwelt het zout grondwater naar het slotensysteem. Hierdoor kan zoutchade aan gewassen optreden en worden sloten brak of zout. Verhoging van de kweldruk zorgt in gebieden met dunne regenwaterlensen voor nog dunnere regenwaterlensen en een verhoging van de zoutvracht van het grondwater naar het oppervlaktewatersysteem. Voor deze parameter is het 3D zoet-zout grondwatermodel van de Provincie Zuid-Holland gebruikt (Oude Essink et al., 2008). Opgemerkt moet worden dat het aantal chloridemetingen of EC metingen beperkt is en dat voor een meer gedetailleerd beeld van de huidige zoet-zout verdeling van het grondwater aanvullende metingen nodig zullen zijn. Opgemerkt wordt ook dat dit een regionaal model is met modelcellen van  $250 \times 250 \text{ m}^2$  en met relatief dikke modellagen en niet geschikt is voor lokale verschillen of berekeningen.

#### F. Zoutwater tong

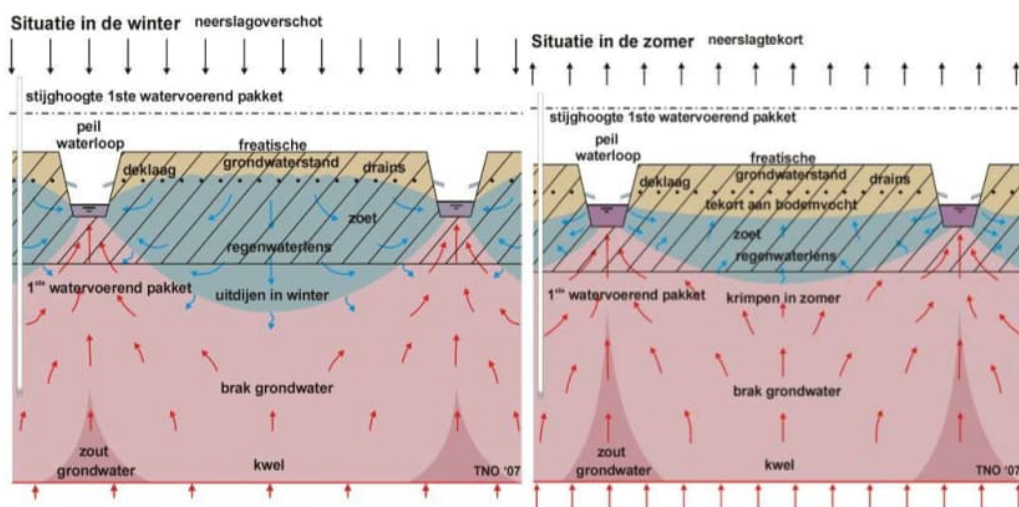
De zoutwater tong zal na verdieping verder opschuiven naar het oosten. Jaargemiddeld zal de chlorideconcentratie onderin in de Nieuwe Waterweg in het westen constant blijven en in het oosten enigszins toenemen (paragraaf 2.3.3). Deze informatie is afkomstig uit (Svasek, 2015) en bepaald met behulp van berekeningen die zijn gedaan in het kader van het verdiepingsonderzoek van de NWW met het Operationeel Stroomingsmodel Rotterdam (OSR).

#### G. Landgebruik

Een verhoogde grondwaterstand, grotere stijghoogte en dus toename van kwel en grotere afvoer van grondwater kan in bebouwde gebieden een probleem zijn. Verzilting in bebouwde gebieden en havengebieden is veel minder een probleem (of zelfs geen) indien geen

ecologische functies worden bedreigd. Wel wordt zout water uit stedelijk gebied afgevoerd naar andere peilgebieden en kan de zoutlast van het oppervlaktewatersysteem daar toenemen. Verzilting in landbouwgebieden of natuurgebieden kan zoutschade tot gevolg hebben (Stuyt et al, 2011) en de zoutvracht richting het oppervlaktewater kan toenemen.

De indicatoren A tot en met D bepalen hoe groot de verandering in grondwaterstroming (en dus kweldruk) is, de indicatoren E en F bepalen of deze verandering in grondwaterstroming ook zorgt voor transport van zout grondwater en verzilting van het grondwater. Indicator G bepaalt of er vanuit toename stijghoogte, toename kweldruk of verzilting van het grondwater ook daadwerkelijk een risico uitgaat.



Figuur 2.29 Dynamiek van een regenwaterlens in een zoute omgeving: conceptueel stromingsbeeld in de winter- en zomersituatie. De pijlen symboliseren de stromingsrichting van zoet en zout grondwater.

### 3 Verwachte veranderingen grondwaterstroming en zouttransport

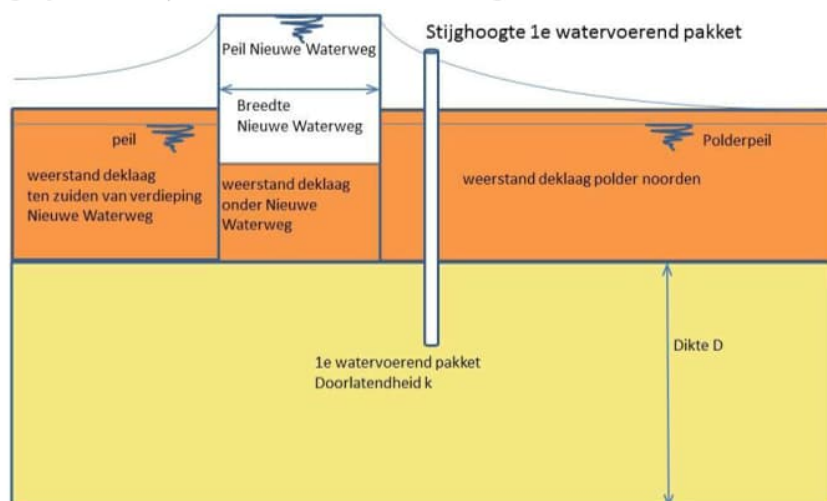
#### 3.1 Inleiding

Om een gevoel te krijgen van de mogelijke effecten van het verdiepen van de Nieuwe Waterweg op het zoutgehalte van het grondwater, is een conceptueel 2D numeriek dichtheidsafhankelijk grondwatermodel opgezet waarmee op een efficiënte wijze een aantal scenario's verkend kan worden. Paragraaf 3.2 zal ingaan op het conceptuele model en de numerieke implementatie ervan. Paragraaf 3.3 beschrijft de totstandkoming van de verschillende modelscenario's en de daarbij gemaakte keuzes. Tot slot beschrijft paragraaf 3.4 de resultaten.

#### 3.2 Methode

##### 3.2.1 Beschrijving van het modelinstrument

Het gehanteerde conceptuele profielmodel wordt getoond in Figuur 3.1. Er worden 3 gebieden onderscheiden: rechts de polder ten noorden van de Nieuwe Waterweg, in het midden het gebied met verdieping Nieuwe Waterweg en links het gebied ten zuiden van de Nieuwe Waterweg (Calandkanaal en Europoort, havengebied of Rozenburg). Onder de Nieuwe Waterweg, en het gebied ten noorden en het gebied ten zuiden van de Nieuwe Waterweg is een deklaag aanwezig. Onder de Nieuwe Waterweg is waar aanwezig naast de deklaag een sliblaag aanwezig. De hydraulische weerstandswaarde van de deklaag onder de Nieuwe Waterweg is gedeeltelijk afgegraven en niet gelijk aan de hydraulische weerstandswaarde in de polder. Onder de weerstandslaag bevindt zich het eerste watervoerend pakket met een doorlaatvermogen  $kD$  in  $m^2/dag$ . Deze wordt constant verondersteld in het gebied. De Nieuwe Waterweg heeft een opgegeven peil en de noordelijke polder heeft een polderpeil. Het peil van het Calandkanaal en het havengebied is gelijk aan het peil van de Nieuwe Waterweg.



Figuur 3.1: Het conceptuele profielmodel achter de numerieke berekening. Opmerking: de breedte van de Nieuwe Waterweg betreft de breedte van de vaargeul (= 300m in het model).

In het Calandkanaal ten zuiden van de Nieuwe Waterweg is relatief weinig oppervlaktewaterbeweging en ligt een dikke sliblaag op de bodem, daardoor is er weinig



interactie met het grondwatersysteem. Ten zuiden van de Nieuwe Waterweg is gekozen voor een peil van 0 m NAP.

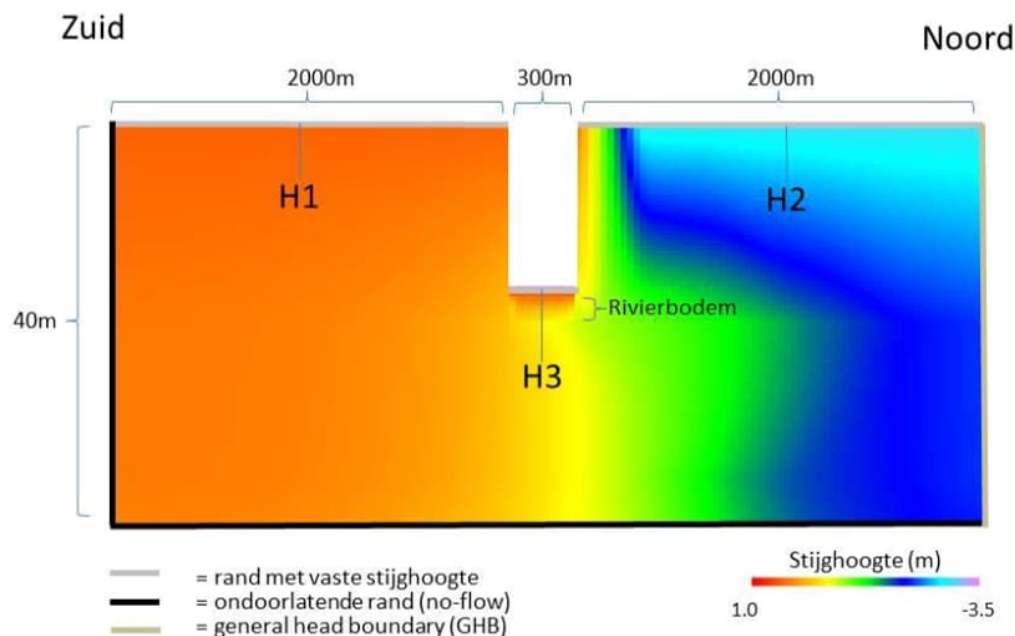
Uit diverse modelstudies is bekend dat de waterscheiding ten noorden van het Brielse meer en ten Zuiden van de Nieuwe Waterweg ligt (zie ook Hoofdstuk 2). Opgemerkt kan worden dat dit slechts een randvoorwaarde is om de invloed rond de Nieuwe Waterweg te bepalen, de polders ten zuiden van het Brielse meer liggen buiten het invloedsgebied van een verdieping van de Nieuwe Waterweg. De aanwezigheid van de waterscheiding biedt de mogelijkheid de zuidrand van het model als dichte rand te modelleren.

Het conceptuele profielmodel is opgezet voor en doorgerekend met de code SEAWAT (v4, Langevin et al., 2008). Het profielmodel is opgebouwd zodanig dat een situatie is verkregen die representatief is voor de situatie langs de profielen Oost, West en Maassluis (zie volgende sectie).

Het profielmodel bestaat uit 90 modellaagen en 630 kolommen. De kolommen hebben een laterale dimensie van 10x10m. De laagdiktes staan vermeld in tabel 3.1, samen met de parametrisatie van doorlatendheden en weerstanden per modellaag. Schematisering en parametrisatie zijn afgeleid uit REGIS2, met uitzondering van de weerstand van de deklaag welke gekozen is volgens tabellen 3.2-3.4. De modelopzet wordt getoond in Figuur 3.2. Het ondergrondmodel is afgeleid van REGIS2 voor de situatie langs profiel Oost; vanwege het geringe verschil met de situatie langs de andere doorgerekende profielen (West en Maassluis) is voor deze profielen geen aparte schematisering gemaakt.

Modellaag	Diepteinterval (m –NAP)	Dikte modellaag (m)	REGIS2 Formatie	Totale KD over diepteinterval ( $m^2/d$ )	Totale C over diepteinterval (d)
1-40	0 - 20	0.5	Holocene deklaag	4.0	case-specifiek (zie tabellen 3.2-3.4)
41-70	20 - 35	0.5	pzwaz1+2	500	30
71-75	35 - 40	1.0	wak1	0.5	100
76-77	40 - 45	2.5	pzwaz3+4	125	2
78-79	45 - 55	5.0	pzwaz3+4	125	2
80	55 - 60	5.0	wak2	0.1	50
81-83	60 - 75	5.0	pzwaz5	375	3
84	75 - 80	5.0	wak3	0.1	150
85-90	80 - 200	20.0	pzwa5	150	6
			Msc		

Tabel 3.1: Eigenschappen van de modellaagen.



*Figuur 3.2 Modelschematisatie, afgekapt op de bovenste 40 meter en de meest zuidelijke en noordelijke 2000 meter, gerekend vanaf de Nieuwe Waterweg. De ondoorlatende onderrand ligt in werkelijkheid op 200 meter diepte. De GHB rand in het noorden bevindt zich op 4000 meter ten noorden van de Nieuwe Waterweg. Ter illustratie is het stijghoogteverloop (waarin dichtheidsverschillen zijn meegenomen) van een van de doorgerekende scenario's weergegeven. H1, H2 en H3 zijn vaste stijghoogtes. De GHB-rand (noordelijke opstaande modelrand) is in alle scenario's geparametriseerd met een stijghoogte van -3.5m en een conductance van 50 m<sup>2</sup>/dag voor alle modellagen. Dit resulteert in alle gemaakte profielmodellen realistische stijghoogten aan de noordzijde van het model.*

De hydrologische basis wordt gevormd door de formatie van Maassluis. Dit is tevens de hydrologische basis van het NHI (Nationaal Hydrologisch Modelinstrument). De vaste peilen op de bovenrand vertegenwoordigen het peilbeheer door het waterschap. De rivierbodem ligt in het model op -16m NAP. Met de 5 modellagen daaronder (dus gelegen tussen rivierbodem en het watervoerend pakket) wordt in de modelvarianten gespeeld met de weerstand van rivierbodem; de aangenomen weerstand in deze modelvarianten wordt verdeeld over deze 5 modellagen.

De ondoorlatende rand in het zuiden (links in Figuur 3.2) is gekozen vanwege het feit dat er zich ten zuiden van de Nieuwe Waterweg een waterscheiding bevindt. In alle geraadpleegde modellen (NHI, PZH, DSM) penetreert deze waterscheiding het gehele pakket tot de formatie van Maassluis (Msc) en dus het gehele profielmodel. Ten zuiden van de Nieuwe Waterweg vindt infiltratie plaats. Ten noorden vindt kwel plaats.

Infiltratie vanuit de Nieuwe Waterweg vindt in het profielmodel alleen plaats door de bodem van de Nieuwe Waterweg. De zijranden van de Nieuwe Waterweg zijn als ondoorlatend aangenomen. Hiermee wordt de focus gelegd op het effect van het verkleinen van de weerstand van de waterbodem door afgraven, doordat in het profielmodel deze weerstand volledig de infiltratie bepaalt. In werkelijkheid zullen ook de zijranden bijdragen aan de infiltratie. Hoe groot die bijdrage is, is onbekend (wel dat deze bijdrage als gevolg van de verdieping niet verandert).

Met het model is per case (hieronder genoemd: "Profiel") doorgerekend:

1. Een inspeelperiode van 1915-2015;
2. Een basisrun van 2015-2215, zonder verdieping van de Nieuwe Waterweg;
3. Een scenariorun van 2015-2215, met verdieping van de Nieuwe Waterweg.

Kwelfluxen en stijghoogtes tussen basisrun en scenariorun zijn steeds berekend voor de situatie na 1 tijdsstap (decade; 10 dagen) in 2015. Zoutvrachten en concentratievelden zijn berekend voor diverse tijdstappen in de periode 2015-2215.

### 3.3 Opzet van de modelscenario's

#### 3.3.1 Keuze van karakteristieke worst-case profielen

Het 2D profielmodel is opgesteld voor drie profielen, welke representatief zijn voor worst-case situaties die aangetroffen worden langs het verdiepingstraject. Deze representativiteit heeft betrekking op:

- Geografische positie: de drie profielen "samplen" zowel het westen, het midden en het oosten van het interessegebied;
- De aan/afwezigheid van een sliblaag bovenop de deklaag onder de Nieuwe Waterweg; bij verdiepen wordt deze verwijderd waarmee veel weerstand wordt weggehaald;
- De aan/afwezigheid van Eenheid II (Boomse klei, zie Hoofdstuk 2); deze wordt bij verdieping nooit aangetast. Omdat Eenheid 2 slechtdoorlatend is, zal bij verdieping relatief veel weerstand achterblijven als Eenheid 2 aanwezig is.
- Gevoeligheid van het "achterland" voor effecten (lage peilen, lage weerstand deklaag).

De drie gekozen profielen zijn genaamd "West", "Maassluis" en "Oost". Zij zijn getekend in Figuur 3.3. Hieronder wordt per profiel toegelicht waarom deze is gekozen en wat het profiel worst-case maakt.

#### Profiel West

Dit profiel is gekozen om het westelijk deel van het interessegebied af te dekken (geografische representativiteit). Het westelijk deel onderscheidt zich van het oostelijk deel, grofweg vanwege de hogere peilen in het noordelijke "achterland" van de Nieuwe Waterweg en vanwege de hogere zoutconcentraties in het rivierwater.

In het westelijk deel van het interessegebied is geen sliblaag aanwezig (o.a. Perk (2015)). Eenheid II is in een deel van dit gebied aanwezig (zie Hoofdstuk 2). Een representatief worst-case profiel is gekozen daar waar de grootste relatieve verandering van de weerstand plaatsvindt bij verdieping. Dit is een locatie waar afwezigheid van Eenheid II gecombineerd is met een (voor het westelijk deel) relatief diepe afgraving. Langs het gekozen profiel is Eenheid II overigens wel deels aanwezig, maar niet op die locaties langs het profiel waar daadwerkelijk uitgegraven wordt (i.e. alleen aan de zuidelijke kant van de vaargeul). Opgemerkt wordt dat in het westelijk deel van het interessegebied de verdieping overigens zeer beperkt is.

#### Profiel Maassluis

Dit profiel is zowel gekozen om het midden van het interessegebied af te dekken (geografische representativiteit), als vanwege het feit dat bij Maassluis een sliblaag aanwezig is, welke een verhoogd risico met zich meebrengt bij afgraving. In het midden van het interessegebied komt zowel de situatie voor met een dikke Eenheid II, als de situatie waarin Eenheid II afwezig is.

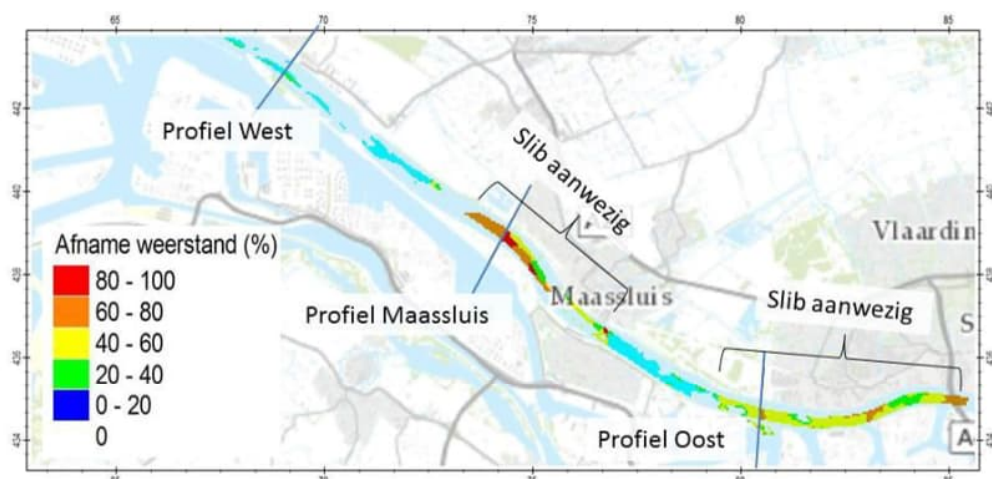


Als representatieve worst-case is hier het profiel gekozen waar door verdieping de grootste relatieve reductie van de weerstand wordt bereikt (zie Figuur 3.3). Dit is een profiel waar Eenheid II afwezig is en waar relatief veel grond wordt weggegraven.

## Profiel Oost

Profiel Oost dekt het oostelijk deel van het interessegebied af. Ook in het oostelijk deel zijn zones met en zonder sliblaag te vinden (Figuur 3.3). Tussen de Oude Maas en de Beneluxtunnel is slib aanwezig. Eenheid II is in het oostelijk deel vrijwel overal aanwezig, op een dunne zone van ongeveer 300 meter tussen rivierkilometers 1016 en 1017 na. Op die locatie is echter geen sliblaag aanwezig (o.a. Perk (2015)). Als representatieve worst-case is een profiel gekozen waar relatief de meeste weerstand wordt weggehaald met verdieping (zie Figuur 3.3). Dit is een locatie met een sliblaag, waar Eenheid II relatief dun is en waar relatief veel verdieping plaatsvindt.

Vergelijkbare locaties zijn ook oostelijker dan de gekozen locatie te vinden. Echter, de gekozen locatie bevindt zich tevens nabij polders met lage oppervlaktewaterpeilen, welke verhoogde risico's voor effecten met zich meebrengen.



Figuur 3.3: Locatie profielen West, Maassluis en Oost. Profielen zijn realistische worst-case scenario's voor de omgeving.

### 3.3.2 Parameterisatie van de gekozen profielen

De parameterisatie van de 2D profielmodellen voor Profiel West, Maassluis en Oost zijn op worst-case basis ingestoken. Een worst-case situatie heeft een relatief lage deklaagweerstand in de polder zodat de verhoging van de stijghoogte de meeste invloed heeft op de kwelflux. Een worst-case situatie heeft ook lage polderpeilen zodat het verschil tussen peil van de Nieuwe Waterweg en de polder groot is. De waarden zijn wel realistisch gekozen: volgens de beschreven bronnen zijn de waarden voor profiel 'west' aanwezig in het westen nabij de profiellocatie, de waarden voor profiel Maassluis aanwezig in het midden nabij de profiellocatie en de waarden voor profiel 'oost' aanwezig in het oosten nabij de profiellocatie. De profielen komen qua parameterisatie dus niet overeen met een exacte locatie maar zijn representatief als worst-case voor de omgeving van de gekozen profiellocatie.

De gekozen waarden voor de benodigde modelparameters staan vermeld in Tabel 3.2-3.4. De gekozen waarden voor som van de weerstand van de deklaag en de sliblaag onder de Nieuwe Waterweg (voor en na verdieping) staan in Figuren 3.4.-3.6. Dit betreffen berekende

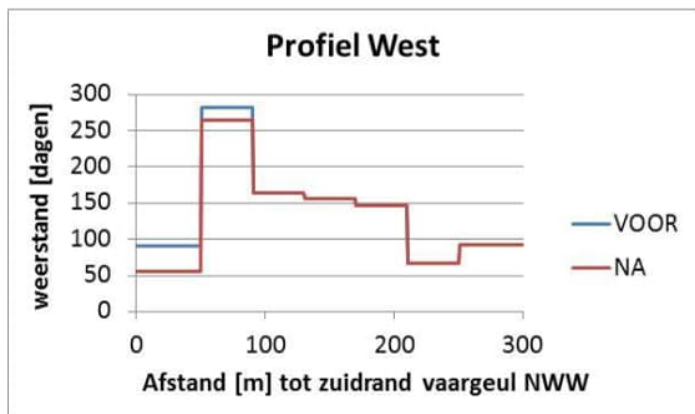


waarden, op basis van de dikte van het weggehaalde pakket, de dikte en aangenomen weerstand (per meter) van Eenheden II en III (zie Hoofdstuk 2), en het al dan niet aanwezig zijn van een sliblaag (welke altijd wordt aangenomen verwijderd te worden met verdieping van de Nieuwe Waterweg). De berekening van weerstand voor en na verdieping onder de Nieuwe Waterweg is op een resolutie van 50x50m<sup>2</sup> langs de profielen uitgevoerd. Dit leverde 6 cellen (profiel Oost) of 7 cellen (Maassluis en West) op langs de profielen, welke vervolgens gelijkmatig zijn verdeeld over de 300m vaargeulbreedte in het numerieke conceptuele model.

De gekozen waarden voor de chlorideconcentraties voor en na verdieping zijn ontleend uit Figuur 2.25 en daarmee gebaseerd op Svasek (2015).

Gebied ten zuiden van verdieping Nieuwe Waterweg	Nieuwe Waterweg	Land ten noorden van Nieuwe Waterweg
<b>Weerstand deklaag</b>		
2000 dagen	Ruimtelijk variabel langs het profiel, zie figuur 3.4	750 dagen Dit is de laagste waarde in profiel
<b>kD eerste watervoerend pakket</b>		
500 m <sup>2</sup> /dag	500 m <sup>2</sup> /dag	500 m <sup>2</sup> /dag
<b>Peil oppervlaktewater</b>		
Polderpeil: 0 m NAP	Nieuwe Waterweg: 0 m NAP	Polderpeil: -0.4 m NAP
<b>Breedte</b>		
	300 m	
<b>Chlorideconcentratie in de NWW</b>		
	Voor verdieping: 15 mg/L Na verdieping: 15 mg/L	
<b>Initiële chlorideconcentratie grondwater (1900, aanvang inspeelrun)</b>		
Laag 1-20: 0,18 g/L	Laag 1-10: 0,18 g/L	Laag 1-10: 0,18 g/L
Laag 21-40: 3,0 g/L	Laag 11-85: 3,0 g/L	Laag 11-85: 3,0 g/L
Laag 41-85: 8,0 g/L	Laag 86-90: 8,0 g/L	Laag 86-90: 8,0 g/L
Laag 86-90: 14 g/L		

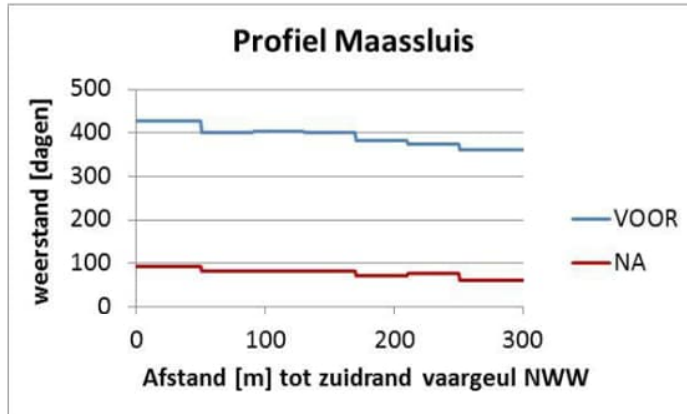
Tabel 3.2: parameters voor profiel West. Het polderpeil rond rivierkilometer 1022 – 1023 (Figuur 2.4) ten noorden van de Nieuwe Waterweg is -0.4 m NAP. Dit is een landbouwpolder met o.a. gras en graan. In de verdere omgeving zijn de peilen echter meestal (veel) hoger. De weerstand van de deklaag ten noorden van de Nieuwe Waterweg is hier minimaal 750 dagen, maar meestal (veel) hoger.



Figuur 3.4. Berekende weerstand deklaag onder de Nieuwe Waterweg voor en na verdieping, langs het profiel West.

Gebied ten zuiden van verdieping Nieuwe Waterweg	Nieuwe Waterweg	Land ten noorden van Nieuwe Waterweg
<b>Weerstand deklaag</b>		
1500 dagen	Ruimtelijk variabel langs het profiel. zie figuur 3.5	3000 dagen Dit is de laagste waarde in het profiel
<b>kD eerste watervoerend pakket</b>		
500 m <sup>2</sup> /dag	500 m <sup>2</sup> /dag	500 m <sup>2</sup> /dag
<b>Peil oppervlaktewater</b>		
Polderpeil: 0 m NAP	Nieuwe Waterweg: 0 m NAP	Polderpeil: -2.5 m NAP
<b>Breedte</b>		
	300 m	
<b>Chlorideconcentratie in de NWW</b>		
	Voor verdieping: 14 mg/L Na verdieping: 14 mg/L	
<b>Initiële chlorideconcentratie grondwater (1900, aanvang inspeelrun)</b>		
Laag 1-10: 0,18 g/L	Laag 1-10: 0,18 g/L	Laag 1-10: 0,18 g/L
Laag 11-85: 3,0 g/L	Laag 11-85: 3,0 g/L	Laag 11-85: 3,0 g/L
Laag 86-90: 8,0 g/L	Laag 86-90: 8,0 g/L	Laag 86-90: 8,0 g/L

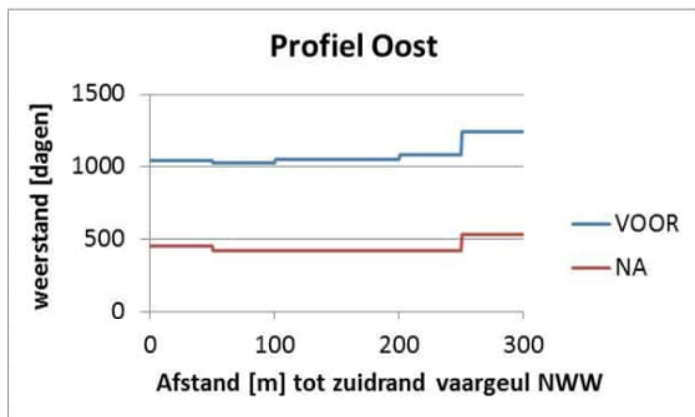
Tabel 3.3: parameters voor profiel Maassluis.



Figuur 3.5. Berekende weerstand deklaag onder de Nieuwe Waterweg voor en na verdieping, langs het profiel Maassluis.

Gebied ten zuiden van verdieping Nieuwe Waterweg	Nieuwe Waterweg	Land ten noorden van Nieuwe Waterweg
<b>Weerstand deklaag</b>		
300 dagen	Ruimtelijk variabel langs het profiel, zie figuur 3.6	2000 dagen Dit is de laagste waarde in profiel binnen 1.5 km vanaf Nieuwe Waterweg.
<b>kD eerste watervoerend pakket</b>		
500 m <sup>2</sup> /dag	500 m <sup>2</sup> /dag	500 m <sup>2</sup> /dag
<b>Peil oppervlaktewater</b>		
haven: 0 m NAP	Nieuwe Waterweg: 0 m NAP	Polderpeil: -3.0 m NAP
<b>Breedte</b>		
	300 m	
<b>Chlorideconcentratie in de NWW</b>		
	Voor verdieping: 11 mg/L Na verdieping: 12 mg/L	
<b>Initiële chlorideconcentratie grondwater (1900, aanvang inspeelrun)</b>		
Laag 1-10: 0,18 g/L	Laag 1-10: 0,18 g/L	Laag 1-10: 0,18 g/L
Laag 11-85: 3,0 g/L	Laag 11-85: 3,0 g/L	Laag 11-85: 3,0 g/L
Laag 86-90: 8,0 g/L	Laag 86-90: 8,0 g/L	Laag 86-90: 8,0 g/L

Tabel 3.4: parameters voor profiel Oost.



Figuur 3.6. Berekende weerstand deklaag onder de Nieuwe Waterweg voor en na verdieping, langs het profiel Oost.

### 3.4 Resultaten

#### 3.4.1 Effecten verdieping op stijghoogte en kwel

Voor de gekozen profielen is de invloed van de gedeeltelijke verwijdering van de deklaag en verwijdering van de eventuele sliblaag berekend voor de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket en de toename van de kwelflux als functie van de afstand loodrecht tot de Nieuwe Waterweg. Na verdieping van de Nieuwe Waterweg is aangenomen dat de sliblaag volledig verwijderd is (waar in de huidige situatie aanwezig).

Voor de monitoringsstudie van de Hedwigepolder (De Louw, 2015) is de grens van 2.5 cm stijghoogteverhoging aangehouden als grens voor inrichting van de monitoringscampagne. De weerstand van de deklaag rond de Hedwigepolder (60 – 330 dagen) is echter vele malen kleiner dan rond de Nieuwe Waterweg (>2000 dagen profiel 'oost' en >750 dagen profiel 'west'). Bovendien doorsnijden de sloten de deklaag in de Hedwigepolder, rond de Nieuwe Waterweg gebeurt dat niet. Een stijghoogteverhoging van 2.5 cm levert rond de Hedwigepolder dus een veel groter risico op dan rond de Nieuwe Waterweg. Voor het gebied rond het Volkerak Zoommeer is het invloedsgebied gedefinieerd als gebied waarbinnen meer dan 3 cm extra stijghoogte ontstaat (Oude Essink et al., 2008). Ook in dit gebied is de weerstand van de deklaag voor de meeste locaties kleiner dan rond de Nieuwe Waterweg (meestal 15 – 300 dagen). Voor de Nieuwe Waterweg met veel grotere weerstanden in de deklaag in de polder hanteren we daarom een andere definitie voor invloedsgebied verdieping Nieuwe Waterweg:

*Invloedsgebied = gebied met kwelverhoging groter dan 10% van huidige kwel met een ondergrens van 0.05 mm/d. De huidige kwel is bepaald met het grondwatermodel van de Provincie Zuid-Holland.*

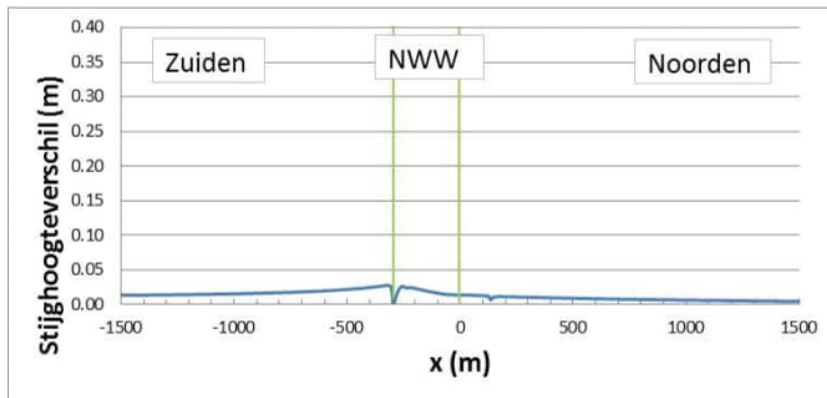
Deze definitie is gekozen op basis van expert judgement met de volgende argumenten:

- We willen juist naar (verschil in) kwel kijken en niet naar stijghoogte juist omdat de deklaag rond de Nieuwe Waterweg erg dik is en de sloten de deklaag niet doorsnijden;
- Een toename van kwel van 0.05 mm/d is zo minimaal dat er geen effecten meer te verwachten zijn;
- 10% kwelverhoging is arbitrair, de gedachte is dat toename een orde van grootte lager is dan de absolute waarde.

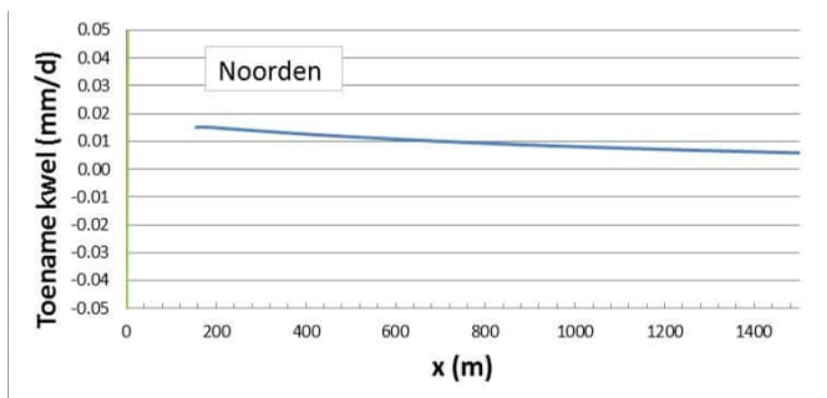
Opgemerkt moet worden dat dit invloedsgebied iets zegt over de toename van de kweldruk en niet over de verzilting van het grondwatersysteem. De risico indicatoren E (Dikte zoetwaterlens) en F (Zoutwater tong) zijn niet verwerkt in deze definitie, maar komen terug in de analyse in Hoofdstuk 6.

#### 3.4.1.1 Resultaten Profiel West

De resultaten voor Profiel West zijn gegeven in Figuur 3.7 en 3.8. De invloed van de verdieping van de Nieuwe Waterweg op de stijghoogte is in dit worst-case scenario overall minder dan 3 cm, en op de kwel minder dan 0.05 mm/d. Er is dus volgens de gehanteerde criteria geen invloedsgebied van de verdieping van de Nieuwe Waterweg. Opgemerkt kan worden dat deze conclusie onafhankelijk is van de gekozen deklaagweerstand ten zuiden van de Nieuwe Waterweg en onafhankelijk van de gekozen kD waarde (binnen realistische ranges).



Figuur 3.7. Berekend effect van de verdieping van de Nieuwe Waterweg op de stijghoogte voor het worst-case profiel West



Figuur 3.8. Berekend effect van de verdieping van de Nieuwe Waterweg op de kwelflux voor het worst-case profiel West. In de eerste 150 meter ten noorden van de Nieuwe Waterweg is een geleidelijke overgang van het NWW-peil naar het polderpeil geïmplementeerd. Deze zone wordt in deze en volgende kwelfluxfiguren niet getoond omdat hier (meestal) infiltratie plaatsvindt in het model en dit is niet conform de werkelijkheid.

#### 3.4.1.2 Resultaten Profiel Maassluis

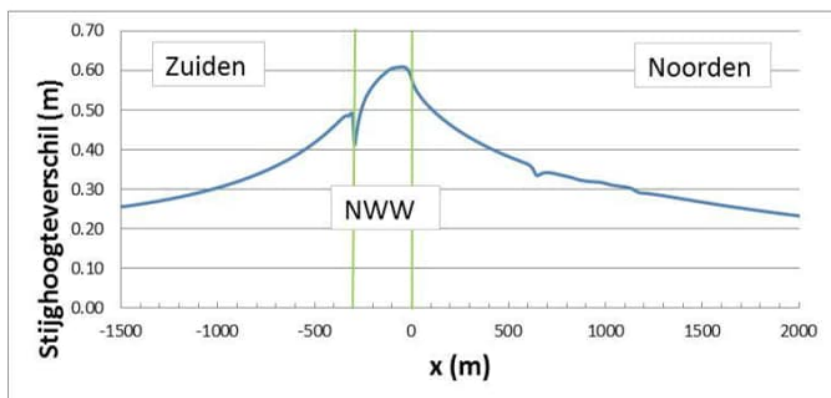
De resultaten voor Profiel West zijn gegeven in Figuur 3.9 en 3.10. Dit scenario geeft een relatief groot effect op stijghoogtes en kwelfluxen. Het effect op de stijghoogtes bedraagt



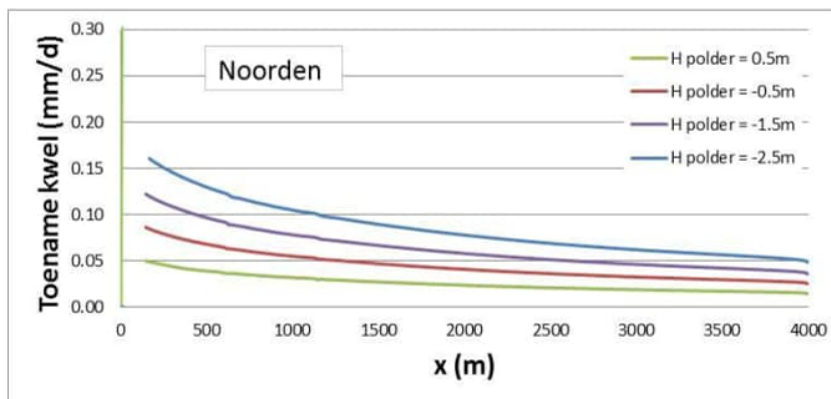
maximaal 55 cm buiten de vaargeul, echter snel afnemend tot maximaal 30cm vanaf 1 km tot de vaargeul.

Ten noorden van de Nieuwe Waterweg zou bij de in de worst-case aangenomen condities de toename van de kwelflux na 4 kilometer onder het gehanteerde criterium van 0.05 mm/dag komen. Procentueel zou dat eveneens een toename betekenen die groter is dan het gehanteerde criterium van 10%, omdat huidige kwelfluxen (Figuur 2.21, berekend met grondwatermodel provincie Zuid-Holland) in de nabijgelegen polders van dezelfde orde van grootte zijn.

Omdat het peilniveau in de polders nabij dit profiel sterk varieert, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd door het aangenomen peil in de berekening stapsgewijs te verhogen vanaf de aangenomen worst-case waarde van -2.5 meter tot een peilniveau van 0.5 meter (zie Figuur 3.10). Uit deze analyse blijkt dat pas bij een peil van 0.5 meter of hoger er geen invloedsgebied meer is (toename kwelflux < 0.05 mm/dag). Langs het deel van de Nieuwe Waterweg waar Profiel Maassluis representatief voor is komen dergelijk hoge polderpeilen niet voor. Op basis van polderpeilen kunnen dus geen zones uitgesloten worden als invloedsgebied.



Figuur 3.9. Berekend effect van de verdieping van de Nieuwe Waterweg op de stijghoogte voor het worst-case profiel Maassluis.



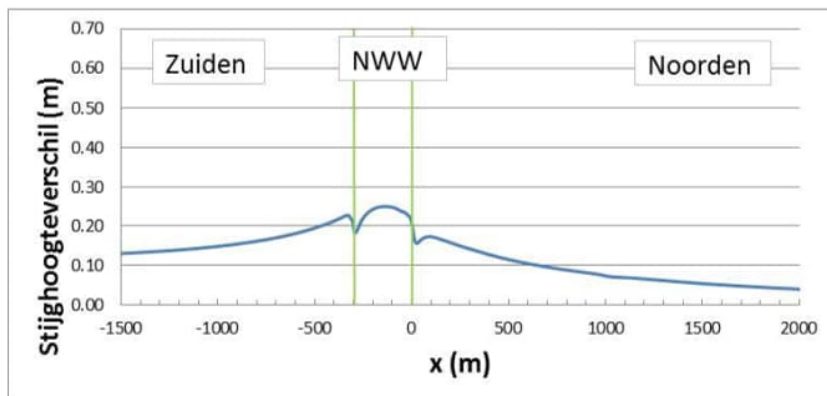
Figuur 3.10. Berekend effect van de verdieping van de Nieuwe Waterweg op de kwelflux voor het worst-case profiel Maassluis

### 3.4.1.3 Resultaten Profiel Oost

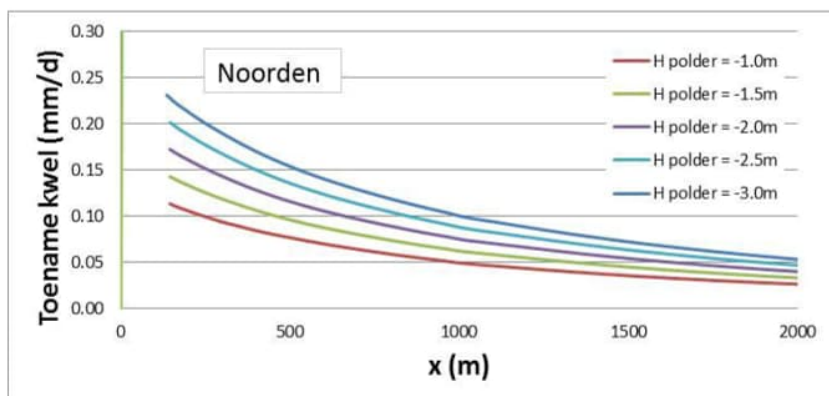
De resultaten voor Profiel West zijn gegeven in Figuur 3.11 en 3.12. De exacte locatie van Profiel Oost binnen het oostelijk deel van het interessegebied is mede gekozen vanwege de aanwezigheid van lage streefpeilen tussen Vlaardingen en Maassluis. De jaargemiddelde kwel in dit gebied is tot 1.5 km vanaf de Nieuwe Waterweg ongeveer 0.2 mm/d (Figuur 2.21, berekend met grondwatermodel provincie Zuid-Holland). 1.5 – 3 km vanaf Nieuwe Waterweg is de jaargemiddelde kwel ongeveer 0.1 mm/d. Het invloedsgebied van de verdieping van de Nieuwe Waterweg is in dit worst-case scenario berekend op maximaal 2000 meter vanaf de Nieuwe Waterweg (Figuur 3.12). Hier is de verhoging van de kwel zoals berekend met het model groter dan 0.05 mm/d.

Een gevoeligheidsanalyse waarin gevarieerd is met de polderpeilen (zie figuur 3.12) laat zien dat ook bij hogere peilen in de polder, tot minimaal -1m, er een invloedszone berekend wordt waarin de kwel toeneemt met meer dan 0.05 mm/dag. Bij een polderpeil van -1m bedraagt de invloedszone ongeveer 1000m. Nog hogere peilen zijn vrijwel niet aanwezig in de buurt van het gekozen profiel. Met de via deze gevoeligheidsanalyses verkregen bandbreedtes van polderpeilen waarbinnen voldaan wordt aan de definitie van een invloedsgebied is het niet uit te sluiten dat de omgeving die door Profiel Oost wordt gerepresenteerd inderdaad invloedsgebieden bevat.

De invloed van de verdieping op de stijghoogtes blijft in het worst-case geval beperkt tot minder dan 2 decimeter. In het noorden bedraagt de invloed vanaf 600 m tot de vaargeul minder dan 1 decimeter.



Figuur 3.11. Berekend effect van de verdieping van de Nieuwe Waterweg op de stijghoogte voor het worst-case profiel Oost.



Figuur 3.12. Berekend effect van de verdieping van de Nieuwe Waterweg op de kwelflux voor het worst-case profiel Oost.

#### 3.4.1.4 Ten zuiden van de Nieuwe Waterweg

Ten zuiden van het Brielse Meer worden geen veranderingen in het grondwatersysteem verwacht. De waterscheiding ligt tussen het Brielse meer en De Nieuwe Waterweg (Figuur 2.15) en zal daar blijven. De verhoging van de stijghoogte direct onder de Nieuwe Waterweg is maximaal 35 cm (Figuur 3.10) en deze kleine verhoging zorgt niet voor een significante verplaatsing van de waterscheiding (Figuur 2.15).

Rozenburg is een infiltratiegebied (Figuur 2.21) waar zoutbelasting dan ook geen rol speelt. Wel kan de grondwaterstand hier veranderen door afname van de infiltratie. De gebruikte berekening is hier echter niet toe te passen omdat het grondwatersysteem van Rozenburg onder invloed staat van al het omliggende oppervlaktewater. De mogelijk effecten van verdieping voor het grondwatersysteem van Rozenburg worden beschreven in paragraaf 5.6.

De Botlekavens ten zuiden van de Nieuwe Waterweg worden uitgediept tot 16,4 (en zeer plaatselijk 17.3 – 18.4) m -NAP. Volgens Perk (2015) neemt echter de sedimentatie in de havenbekkens na verdieping toe. Aangenomen kan worden dat de sliblaag zich hier zeer snel herstelt en dat een onderhoudsbuffer van 0.3 - 0.5 m aanwezig blijft zodat de vermindering van de weerstand vermoedelijk beperkt blijft.

De waterscheiding ligt in het midden van deze Botlekavens (Figuur 2.15). Het gebied direct ten zuiden van de Botlekavens en ten noorden van het Hartelkanaal is een infiltratiegebied (Figuur 2.21), hier wordt een ietwat hogere stijghoogte (en mogelijk grondwaterstand) verwacht. Het gebied direct ten zuiden van het Hartelkanaal is een kwelgebied, dit gebied ligt meer dan 900 meter van de verdiepte havens. De stijghoogteverhoging is hier waarschijnlijk beperkt.

### 3.4.2 Effecten verdieping op zoutvrachten

#### 3.4.2.1 Resultaten voor Profiel 'West'

Ter illustratie van het zoutindringingsproces geeft Figuur 3.13 de gemodelleerde chlorideconcentraties weer op 1, 50 en 200 jaar na de verdieping, en ter vergelijking tevens het resultaat na 200 jaar in de basisrun (zonder verdieping).

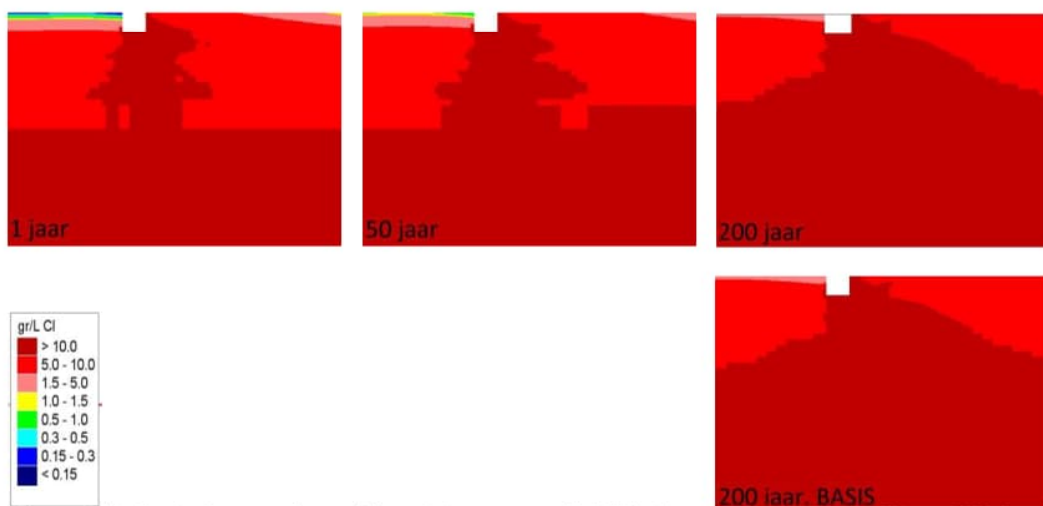
Het westelijk deel van het interessegebied wordt, vergeleken met het oostelijk deel, gekenmerkt door relatief hoge polderpeilen en hogere chlorideconcentraties van het



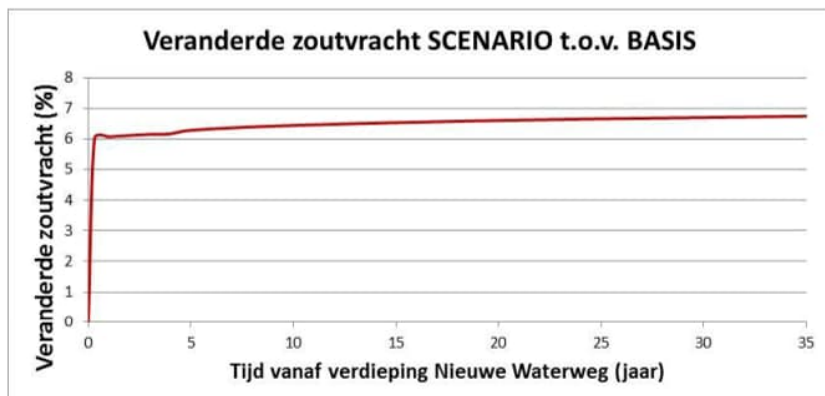
infiltrerende water (maar geen verandering in zoutconcentratie na verdieping). Daarnaast wordt in het westen veel minder afgegraven dan in het oosten.

Deze factoren samen resulteren in het volgende verspreidingspatroon van het zoute water dat door de bodem van de Nieuwe Waterweg infiltreert. In plaats van dat het zout, zoals bij Profiel Oost gebeurt (zie sectie 3.4.2.3) op relatief korte afstand van de Nieuwe Waterweg ten noorden van de rivier opkwelt, zakt het in West versneld door het omgevingsgrondwater heen door de combinatie van de hogere dichtheid van het infiltrerende water (als gevolg van de hoge chlorideconcentratie) en de geringe kwelflux (als gevolg van het kleine verschil in peil tussen het zuiden en de Nieuwe Waterweg enerzijds en de polders in het noorden anderzijds). Het zout wordt daardoor naar grotere dieptes afgevoerd alwaar het zich mengt met het zoutere diepe grondwater. Dit mechanisme zorgt ervoor dat de extra influx van zout als gevolg van de verlaagde weerstand van de waterbodem na afgraven, geen risico vormt voor de polders in de omgeving, in de vorm van verhoogde zoutvrachten naar het oppervlaktewater. Doordat de hoeveelheid weggegraven weerstand in West beperkt is, is de extra influx van zout water bovendien klein en zijn er geen grote verschillen waarneembaar in de modelresultaten na 200 jaar tussen de situaties met en zonder verdieping (Figuur 3.13).

Wel is er een instantaan drukeffect op de zoutvrachten, zie figuur 3.14. De zoutvracht is berekend ter hoogte van de onderkant van de deklaag op 20 meter – NAP door de daar berekende chlorideconcentraties te vermenigvuldigen met de kwelflux. Deze zoutvracht is een gemiddelde waarde voor een lijnstuk van 2 km aan de noordkant van en loodrecht op de Nieuwe Waterweg. De instantane toename wordt veroorzaakt door het verwijderen van een deel van de weerstand. Hierdoor heeft het peil van de Nieuwe Waterweg meer invloed op de stijghoogte in het watervoerend pakket. Deze stijghoogte wordt hoger en met gelijkblijvend polderpeil zal de kwelflux in de polder dientengevolge toenemen. Procentueel is de toename echter verwaarloosbaar klein (< 7%, zie Figuur 3.14). Bovendien moet bedacht worden dat de zoutvrachten aan de noordkant van Profiel 'West' in absolute zin al klein zijn (zie Figuur 2.22), een orde of factor tien kleiner dan het geval bij profiel 'Oost'. De berekende toename van de zoutvrachten zal daarom naar verwachting geen risico vormen.



Figuur 3.13 Illustratie van de modelresultaten van profiel 'West' voor de situatie 1, 50 en 200 jaar na verdieping van de NWW (boven), en ter vergelijking de situatie na 200 jaar eveneens voor het geval zonder verdieping (rechtsonder).



Figuur 3.14 Veranderde zoutvracht bij Profiel 'West' als gevolg van verdieping Nieuwe Waterweg, als percentage van de zoutvracht in het basisscenario.

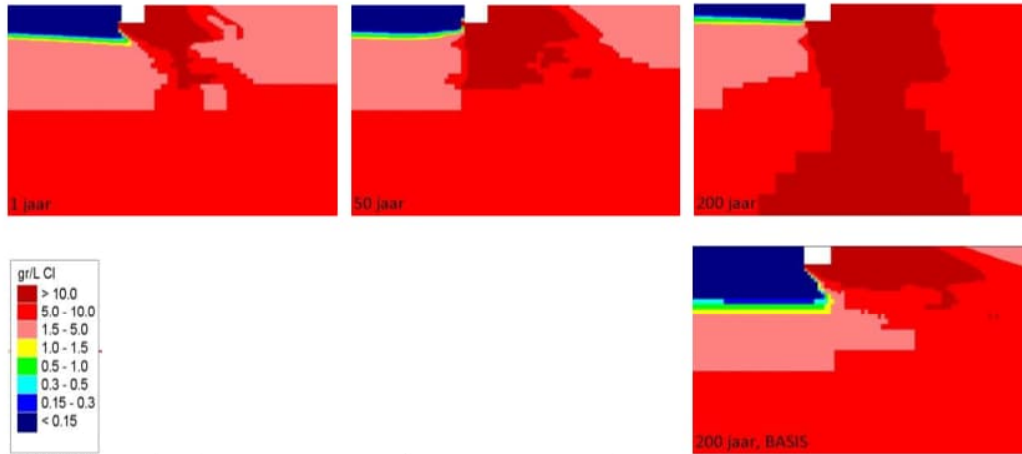
Verziltning van het grondwater in het Westland is ongewenst vanuit de Greenport functie. Voor de glastuinbouw is zoet gietwater nodig, van voldoende kwaliteit. Vaak wordt echter grondwater gebruikt dat is ontzilt met omgekeerde osmose. Daarnaast is er nog steeds een deel grondgebonden teelt die afhankelijk is van water uit het oppervlaktewater systeem. De sector werkt aan de emissieloze kas en één van de oplossingsrichtingen is de opslag van water in de ondergrond. De provincie heeft inmiddels in haar Verordening Ruimte en Mobiliteit opgenomen dat in (glas)tuinbouwgebieden het eerste watervoerend pakket als prioritair wordt beschouwd voor de toepassing van zoetwateropslag als (deel)oplossing voor de watervraag van de (glas)tuinbouw<sup>6</sup>. De berekeningen laten echter zien dat zelfs op de zeer lange termijn in dit worst-case scenario de extra verziltning van het grondwater onder de polders zeer beperkt is.

#### 3.4.2.2 Resultaten voor profiel Maassluis

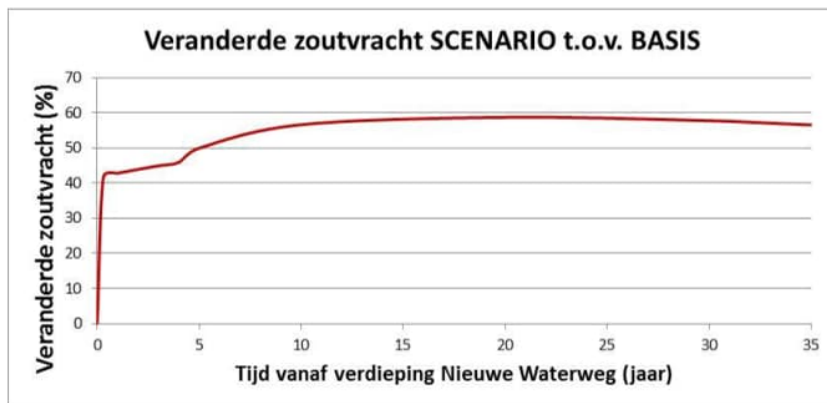
Figuur 3.15 illustreert het zoutindringingsproces bij Profiel Maassluis. Vooral door de relatief hoge chlorideconcentraties vindt de zoutindringing, en de extra zoutindringing na verdieping, ook hier voornamelijk in neerwaartse richting plaats. Aan de concentratieverdeling na 200 jaar, en de vergelijking tussen het resultaat van de basisrun en de scenariorun daarvan, is echter te zien dat de extra zoutindringing veel een veel grotere orde is dan in Profiel West. Dit is het gevolg van de aanname dat er bij Profiel Maassluis veel meer weerstand wordt verwijderd.

Doordat ook hier de extra zoutindringing voornamelijk in neerwaartse richting plaatsvindt en het ondiepere grondwater direct onder de deklaag dus grotendeels gevrijwaard blijft van extra verziltning, blijft ook hier het effect van de verdieping op de zoutvrachten (Figuur 3.16) grotendeels beperkt tot het instantane drukeffect en is de daaropvolgende additionele verhoging van de zoutvracht als gevolg van toenemende chlorideconcentraties in het watervoerend pakket direct onder de deklaag beperkter. Ook op de langere termijn (2050-2100) neemt deze additionele bijdrage niet toe. Wel is het drukeffect veel groter dan bij Profiel West (<60% bij Profiel Maassluis t.o.v. <7% bij Profiel West), doordat meer weerstand wordt verwijderd en doordat de peilen in de polders lager zijn. Bij Profiel Maassluis resulteert het drukeffect in een verhoging van de zoutvrachten in de zone tot 2 km ten noorden van de Nieuwe Waterweg van meer dan 40%.

<sup>6</sup> Informatie van de heer Renes, gemeente Westland.



Figuur 3.15. Illustratie van de modelresultaten voor profiel 'Maassluis'.

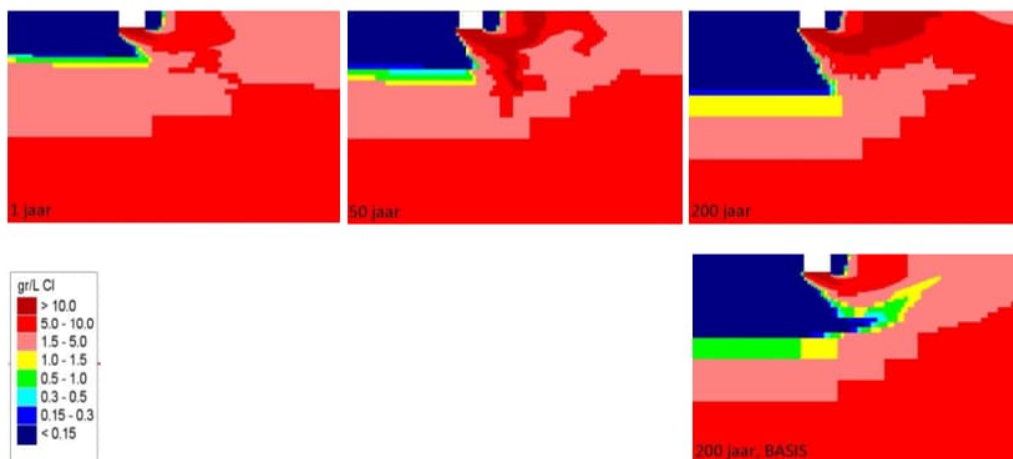


Figuur 3.16 Veranderde zoutvracht bij Profiel 'Maassluis' als gevolg van verdieping Nieuwe Waterweg, als percentage van de zoutvracht in het basisscenario.

#### 3.4.2.3 Resultaten voor profiel 'Oost'

Ter illustratie van het proces van zouttransport na verdieping van de Nieuwe Waterweg wordt in Figuur 3.17 voor verschillende momenten in de tijd (van 1 tot 200 jaar na verdieping) het modelresultaat gegeven van scenario voor profiel 'Oost'. Te zien is dat het verwijderen van weerstand tussen de Nieuwe Waterweg en het onderliggende grondwatersysteem resulteert in een extra impuls zout welke vervolgens stroomafwaarts van zuid naar noord in het grondwater meegevoerd wordt. Vervolgens kwelt het door de deklaag omhoog vanwege het lage peil in de polder op korte afstand van de Nieuwe Waterweg.



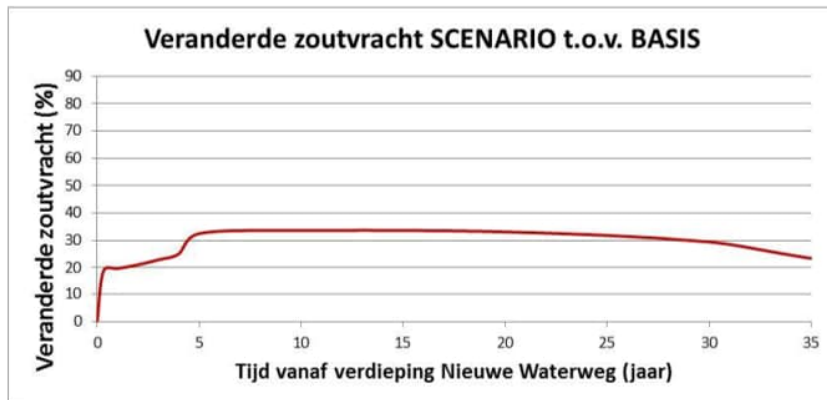


Figuur 3.17 Illustratie van de modelresultaten voor profiel 'Oost'.

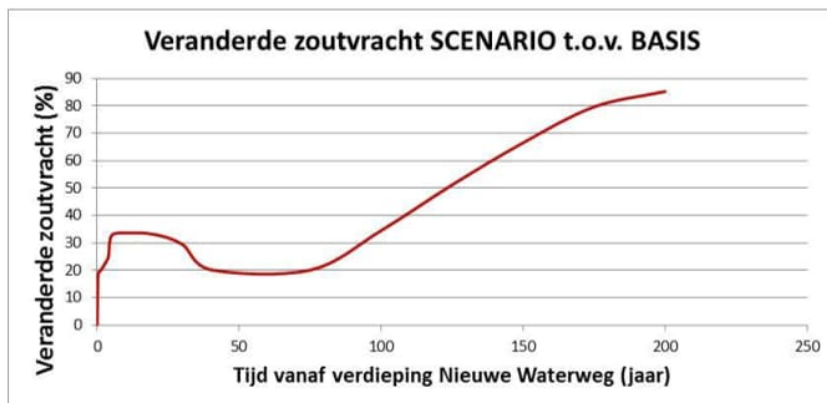
Figuur 3.18 geeft de veranderde zoutvracht als gevolg van de verdieping van de Nieuwe Waterweg, als percentage van de zoutvracht in de basisrun. Ook hier is weer een instantaan drukeffect op de zoutvrachten te zien (~20%), ditmaal kleiner dan bij Profiel Maassluis, vanwege het feit dat er relatief minder weerstand wordt weggehaald (met name als gevolg van de aanwezigheid van Eenheid 2). Het effect op de zoutvrachten is kleiner dan bij Profiel Maassluis, t.w. ongeveer 20%.

Anders dan bij Profiel Maassluis vindt er op de langere termijn significante additionele verzilting van het ondiepere grondwater (direct onder de deklaag) onder de polders plaats. De reden waarom dit bij Profiel Oost wel gebeurt en bij Maassluis niet is de lagere chlorideconcentratie van het infiltrerende oppervlaktewater, die ervoor zorgt dat dit infiltrerende water niet naar grote diepte wegzakt maar meer horizontaal met de regionale grondwaterstroming mee noordwaarts wordt getransporteerd: dichtheidseffecten spelen een te verwaarlozen rol. Ook de lage peilen in de polder (leidend tot een groot stijghoogteverschil) dragen hier aan bij. Dit alles heeft tot gevolg dat op de lange termijn de zoutvrachten significant toenemen (Figuur 3.19).

Dat gebeurt na een aanvankelijke (contra-intuïtieve) daling (zie figuur 3.19, tussen 10 en 60 jaar na verdieping). Deze daling is het gevolg van iets teruglopende chlorideconcentraties direct onder de deklaag. Er is in deze periode in de polder nog steeds zoet (tot brak) grondwater uit het zuiden aanwezig onder het zoute grondwater afkomstig de Nieuwe Waterweg (een inversie); dit zoete tot brakke grondwater is zoeter dan het bovenliggende zoute grondwater en zal met de kwel richting de deklaag stromen. De chlorideconcentratie van de kwelflux is in deze periode iets lager en daarom neemt de zoutvracht iets af. Dat gebeurt zowel in de scenariorun als in de basisrun. In de basisrun is de daling echter zeer langzaam. In de scenariorun wordt het proces versneld door dichtheidseffecten op de grondwaterstroming, maar is tegelijkertijd van kortere duur doordat het zakkende zoute water uit de Nieuwe Waterweg de toevoer van zoet water uit het zuiden op den duur volledig afsluit. De tijdelijke daling van de chlorideconcentraties aan de onderkant van de deklaag wordt zowel in de basisrun als in de scenariorun toegeschreven aan na-ijleffecten van zeer onzekere initiële condities verkregen na de inspeelperiode (1900-2000) en hier moet niet veel belang aan gehecht worden. De algemene tendens, zeker over een langere termijn, is verzilting van het grondwater en toename van de zoutvrachten, welke ook (veel) eerder dan nu berekend is zouden kunnen plaatsvinden. Bij de inschatting van de risico's van de verdieping van de Nieuwe Waterweg dient deze daling dan ook buiten beschouwing gelaten te worden, ook omdat de daling niet van invloed is op de zoutvracht op langere termijn (het gaat immers om een volledig wegebbend na-ijleffect van initiële condities).



Figuur 3.18 Veranderde zoutvracht bij Profiel 'Oost' als gevolg van verdieping Nieuwe Waterweg, als percentage van de zoutvrachten in het basisscenario; positief betekent hier een toename van de zoutvracht.



Figuur 3.19 Als 3.18, maar voor de langere termijn.

#### 3.4.2.4 Ten zuiden van de Nieuwe Waterweg

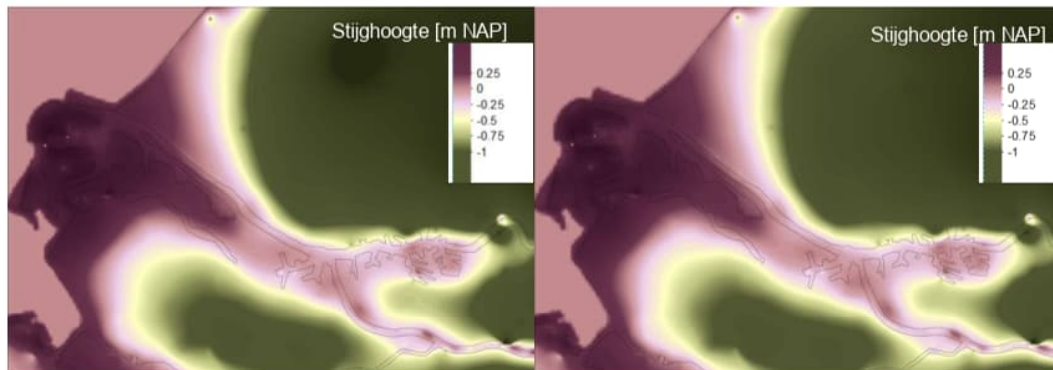
##### Nieuwe Waterweg

De waterscheiding in het eerste watervoerend pakket ligt ten zuiden van de Nieuwe Waterweg (Figuur 2.15). De richting van de grondwaterstroming is regionaal gezien van zuidzuidwest naar noordnoordoost. Dit is onafhankelijk van de aanwezigheid van de DSM onttrekking (Figuur 3.20) (Roelofsen 2008). In deze situatie zal het water van de Nieuwe Waterweg niet richting het zuiden stromen en dus zal verzilting van de Nieuwe Waterweg geen risico vormen voor verzilting van het grondwatersysteem ten zuiden van de Nieuwe Waterweg. Dit verandert als de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket onder de Nieuwe Waterweg grofweg 0.5 meter hoger wordt. Uit de eerste risicobenadering in paragraaf 3.2 (Figuur 3.11) blijkt dat een verhoging van 0.5 m niet waarschijnlijk is.

##### Botlekhavens

De verdieping van de Botlekhavens kan invloed hebben op het verplaatsen van het zoute water uit de Nieuwe Waterweg naar het grondwatersysteem in het zuiden. De waterscheiding ligt halverwege de Botlekhavens.





Figuur 3.20. Stijghoogte eerste watervoerend pakket uit het DSM model in m NAP a. met DSM onttrekking en b. zonder DSM onttrekking (Roelofsen, 2008). De waterscheiding in het eerst watervoerend pakket ligt in beide gevallen onder de Nieuwe Waterweg.

## **4 Verwachte uitstralingseffecten op verspreiding grondwaterverontreinigingen**

### **4.1 Inleiding**

Het Rotterdamse havengebied is aangemerkt als uitzonderingsgebied in het kader van de Kaderrichtlijn water. De bodem- en grondwaterverontreiniging in het havengebied zal worden beheerst, gemonitord en gesaneerd (bronnen) door middel van gebiedsgericht grondwaterbeheer. Dit betekent dat het gebied als één geheel wordt bekeken in plaats van alle individuele verontreinigingen. Dit geeft meer ruimte en tijd voor biologische afbraak. Om dit te realiseren is een transportmodel ontwikkeld waarin de verspreiding van alle bekende verontreinigingen in de Botlek wordt gesimuleerd. In dit hoofdstuk wordt een kwalitatieve en kwantitatieve analyse beschreven van de mogelijke effecten van verdieping van de Nieuwe Waterweg en een gedeelte van de Botlekhavens op het geohydrologische systeem in de Botlek en de verspreiding van de verontreinigingen.

### **4.2 Huidig systeem in de Botlek**

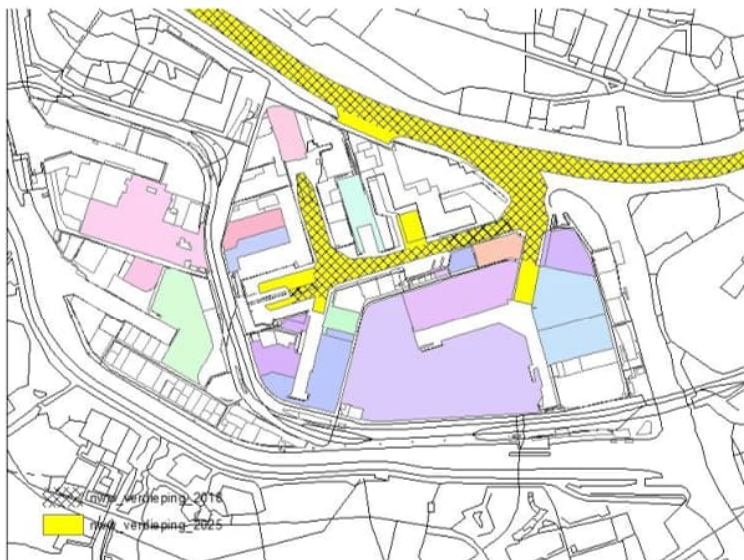
Het watersysteem van het Rotterdamse havengebied en omgeving bestaat uit een infiltrerend gebied in het havengebied waarna de stroming zich splitst in een waterscheiding die van oost naar west dwars door het havengebied loopt: de stroming van het noordelijke deel gaat noordwaarts richting de noordelijke polders en kwelt daar pas op na vele honderden jaren. De stroming ten zuiden van de waterscheiding stroomt zuidwaarts naar de zuidelijke polders alwaar het grondwater opkwelt. Door de geohydrologische situatie met een diep insnijdende waterloop (Nieuwe Waterweg) ten noorden van het Botlekgebied, zijn de reistijden van het grondwater ten noorden zeer lang. Aan de noordkant stroomt het grondwater eerst heel diep onder de Nieuwe Waterweg door en wordt dan heel langzaam aangetrokken door de onttrekking van DSM Gist in Delft en de diepe polders aan de oostkant. De lange reistijd zorgt ervoor dat er langs de noordelijke gebiedsgrens (gelijk aan gemeentegrens) nauwelijks verontreinigingen het gebied zullen verlaten in de periode 2025-2050. Langere modelberekeningen geven aan dat pas na honderden jaren het grondwater de noordelijke polders bereikt. De meeste pluimen hebben dan reeds door afbraak een stabiele eindsituatie bereikt.

### **4.3 Effect van verdieping van de Nieuwe Waterweg**

Zoals reeds beschreven in het rapport Systeemgrens grondwaterverontreiniging Rotterdamse Haven (Marsman, 2010), zijn er nauwelijks tot geen verontreinigingen in de Botlek ten noorden van de waterscheiding. Recent zijn alle verontreinigingsdata in de Botlek geüpdatet met nieuwe metingen. Opnieuw blijkt er aan de noordzijde van de waterscheiding geen verspreiding van verontreinigingen richting de polders plaats te vinden. De kwalitatieve analyse in dit rapport wat betreft de effecten van verdieping van de Nieuwe Waterweg op de stijghoogten in het gebied zullen dus geen invloed hebben op de huidige transportberekeningen. In paragraaf 4.6 wordt een kwantitatieve analyse uitgevoerd.

### **4.4 Effect van verdieping van de Botlekhavens**

Naast verdieping van de Nieuwe Waterweg is ook een verdieping van de Botlekhavens gepland. Het gaat om de volgende (gedeelte van de) havens (Figuur 1.3 en Figuur 4.1):



Figuur 4.1 Overzicht van verdieping Botlekhavens en bedrijven die mee doen aan de gebiedsgerichte aanpak Pilot Botlek.

In geel is de verdieping in 2025 aangegeven, gearceerd de verdieping in 2018. De overige kleuren horen bij de bedrijven die op dit moment mee doen aan de Pilot Botlek en waarvan verontreinigingsgegevens bekend zijn.

Verdieping van de Botlekhavens zal waarschijnlijk leiden tot licht hogere stijghoogtes. Dit is gebaseerd op de kwalitatieve analyse in de voorafgaande hoofdstukken over de verdieping van de Nieuwe Waterweg. De volgende effecten kunnen optreden:

- 1 Het grondwater infiltreert minder diep, stroomt sneller richting de kwelgebieden ten noorden en ten zuiden van het gebied. Voor transport van verontreinigingen betekent dit dat de reistijd tot de gebiedsgrens (in het zuiden ook gelijk aan de gemeentegrens) korter wordt en dus de tijd voor biologische afbraak wordt korter. De verspreiding van de verontreiniging richting de kwelgebieden neemt toe.
- 2 Er is een zeer beperkte emissie van verontreinigingen vanuit het Holoceen naar het oppervlaktewater. Door toegenomen stijghoogte zal deze emissie toenemen.

De verdieping betreft de noordelijke helft van het Botlekgebied en loopt door tot het centrale deel van de waterscheiding. Het verspreidingspatroon van verontreinigingen in het centrale en zuidelijke deel van de Botlek zal veranderen door verdieping in het centrale deel van de Botlek. Reistijden van verontreinigingen kunnen korter worden en daardoor de gebiedsgrens overschrijden. Daarnaast kan de emissie van verontreinigingen vanuit het Holoceen naar het oppervlaktewater in het hele Botlekgebied toenemen.

In Hoofdstuk 3 is met conceptuele numerieke berekeningen getoond dat het stijghoogte effect van verdieping van de NWW op de stijghoogte in het WVP niet groot is (enkele decimeters in de meest ongunstigste scenario's maar meestal slechts enkele centimeters) en met de afstand tot de NWW (snel) wegebt in het regionale stijghoogtepatroon. Het is de verwachting dat dit bij de verdieping van de Botlekhavens niet anders is of zelfs minder door de blijvende aanwezigheid van een sliblaag in de havens.

Gezien het grote stijghoogteverval richting zuidelijke polders wordt niet verwacht dat die extra centimeters stijghoogte in het havengebied, die bovendien naar het zuiden toe verdwijnen, veel zullen betekenen voor de snelheid waarmee de pluimen eventueel richting zuidelijke

polders stromen. Ook van het effect op de vrachten naar oppervlaktewater wordt niet verwacht dat deze van betekenis zullen zijn. In paragraaf 4.6 wordt edoch een kwantitatieve analyse uitgevoerd.

#### 4.5 Ondergrondmodel onder Nieuwe Waterweg

Voor de kwantificering van de verspreiding van de verontreinigingen is het ondergrondmodel (Wiersma, 2015; Figuur 2.2) onder de Nieuwe Waterweg verwerkt in het Rotterdam model.

De volgende parameters voor hydraulische weerstand zijn gebruikt (zie ook paragraaf 2.1.3):

- Eenheid I weerstand: 0.2 dagen/meter (zand met k-waarde van 5 m/dag)
- Eenheid II weerstand: 200 dagen/meter
- Eenheid III weerstand: 20 dagen/meter ten westen van rivierkilometer 1016 en 200 dagen/meter ten oosten van rivierkilometer 1016.

Voor de weerstand van de sliblaag in de buurt van de Botlekhavens is 300 dagen gebruiken voor verdieping en 0 dagen na verdieping. De sliblaag in de Botlekhavens blijft 300 dagen na verdieping. Zie paragraaf 2.1.4. De dikte van de afgraving is weergegeven in Figuur 1.3. Een deel van de Botlekhavens wordt ook uitgediept tot -16.4 m NAP en lokaal tot -17.3 m NAP. Aangenomen kan worden dat de sliblaag zich hier (zeer) snel herstelt en dat een onderhoudsbuffer van 0.3 - 0.5 m aanwezig blijft. De nieuwe diepte van de havens wordt daarom ca. -16.0 m NAP. Hierbij is de regel 'indien diepte havens in huidige situatie dieper dan -10.65 m NAP dan verdieping tot -16.0 m NAP' gebruikt in het model. Het gebied met diepte -18.4 m NAP in het noorden van de haven in Figuur 1.2, is een slibput en zal dus snel gevuld worden met weerstandhoudend materiaal.

#### 4.6 Aanpak kwantitatieve analyse verdieping op de Botlek

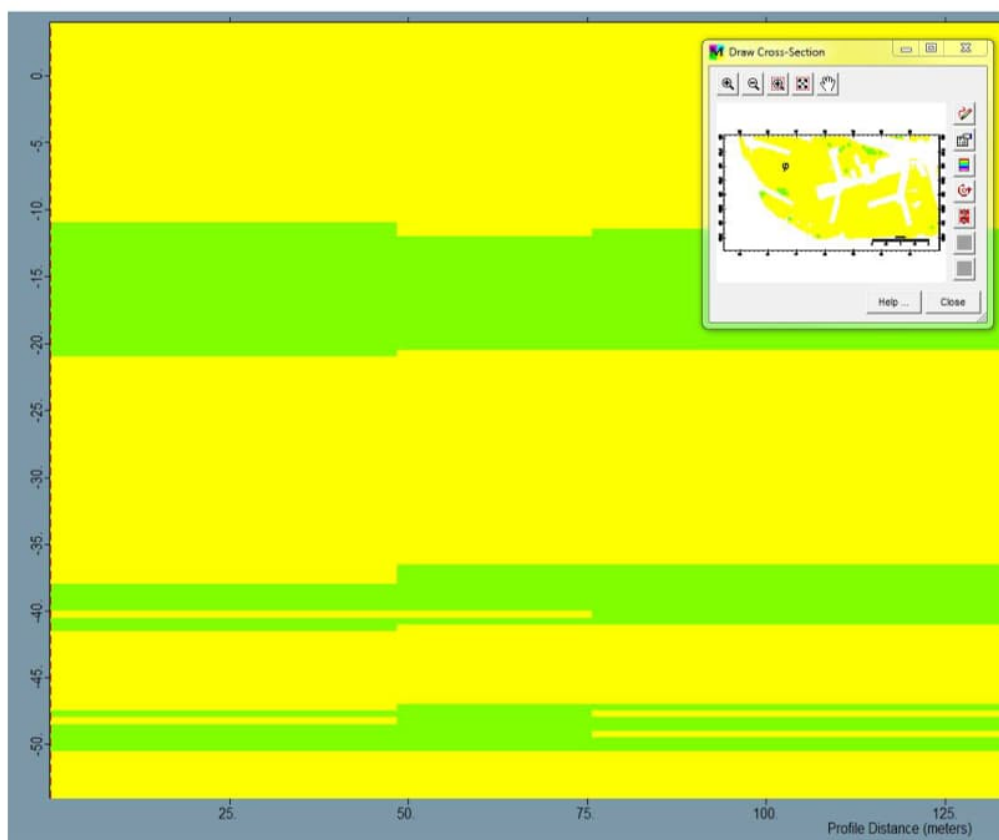
Omdat de verontreinigingsgegevens in de Botlek betrouwbaar zijn, wordt gewerkt met een generieke aanpak op basis van het stromingsmodel (Het Rotterdammodel (Marsman, 2010)). Het stromingsmodel genereert stroombanen die de snelheid en verplaatsing van het grondwater aangeven. Dit kan worden beschouwd als een worst-case benadering van het transport van verontreinigingen. In de praktijk gaan de verontreinigingen langzamer dan het grondwater door processen zoals hydrodynamische dispersie, retardatie en biologische afbraak. De resultaten van de stroombanenbenadering zullen wel naast de meest recente verontreinigingsgegevens vanuit de Pilot Botlek worden gelegd om de resultaten in de context van de verontreinigingssituatie in de Botlek te plaatsen.

Voor de kwantificering zijn stroombanen op een grid van 250x250m vanuit de Botlek doorgerekend en is de flux naar het oppervlaktewater (havens en Nieuwe Waterweg) berekend. Dit is gedaan voor het huidige Rotterdammodel inclusief de verbetering van het ondergrondmodel Nieuwe Waterweg en inclusief aannamen voor de hydraulische weerstand van de huidige sliblaag op de bodem van de Nieuwe Waterweg. Dit noemen we het basisscenario. Daarnaast zijn de stroombanen en fluxen naar het oppervlaktewater voor het verdiepingsscenario berekend. Beide scenario's zijn weergegeven in Figuur 1.1 en Figuur 1.2.

De stroombanen zijn gestart op verschillende dieptes:

1. Maaiveld
2. 10 m-mv
3. 15 m-mv
4. 20 m-mv

Hier is voor gekozen omdat het bekend is dat de huidige verontreinigingen zich niet allemaal op dezelfde diepte bevinden. De globale bodemopbouw is te zien in Figuur 4.2. Globaal bestaat de bovenste 4-5 meter uit de ophooglaag, hieronder een slechtdoorlatende deklaag, tot 15-20 m -mv en daaronder een Holocene klei-/veenlaag. Het eerste watervoerend pakket ligt tussen ca. 20 m-mv en ca. 40 m-mv. We gaan uit van het startjaar 2015 en berekenen de afgelegde afstand tot het jaar 2025 en tot het jaar 2050 voor de stroombanen gestart vanaf verschillende dieptes. Deze aanpak herhalen we voor het model waarin de verdieping is verwerkt.



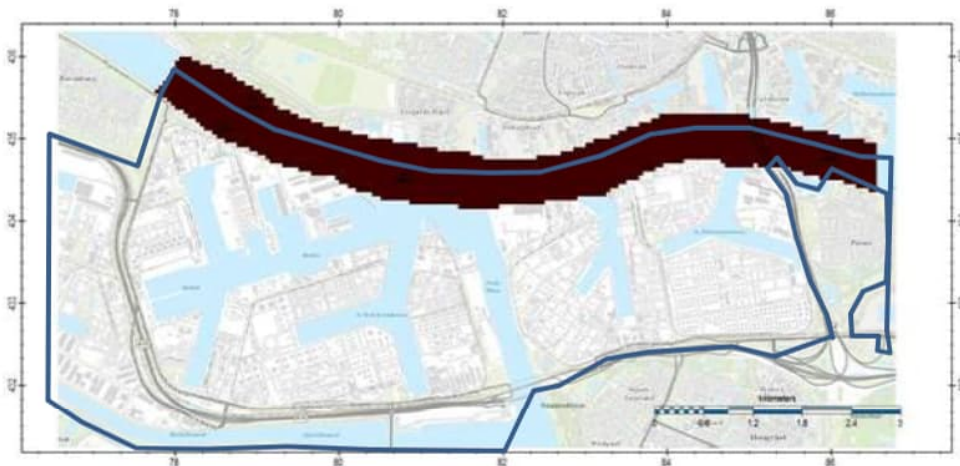
Figuur 4.2 Doorsnede globale bodemopbouw Botlek tov NAP: geel is zand, groen is klei/veen.

Voor het effect van de verdieping op de emissie vanuit het grondwater naar het oppervlaktewater, wordt apart gekeken naar de totale grondwater flux naar de Botlekhavens (Figuur 4.3) en naar de totale grondwater flux naar de Nieuwe Waterweg (Figuur 4.4) voor beide scenario's. Het effect van de verdieping wordt gekwantificeerd door het verschil in flux naar het oppervlaktewater te berekenen en het verschil in de afgelegde afstand binnen een bepaalde reistijd (tot het jaar 2025 of tot het jaar 2050) van de stroombanen te berekenen.





Figuur 4.3 Overzicht zones voor de fluxberekening voor de havens.



Figuur 4.4 Overzicht zones voor de fluxberekening voor de Nieuwe Waterweg.

#### 4.6.1 Resultaten

##### 4.6.1.1 Emissie naar het oppervlaktewater

De totale grondwater flux vanuit de havens naar het grondwater voor het basisscenario is 570 m<sup>3</sup>/dag terwijl de totale grondwater flux vanuit het grondwater naar de havens toe 446 m<sup>3</sup>/dag bedraagt. De laatste is relevant voor de emissie van verontreinigingen. Voor het verdiepingsscenario is de totale grondwater flux vanuit de haven naar het oppervlaktewater 559 m<sup>3</sup>/dag en de totale flux vanuit het grondwater naar de havens 487 m<sup>3</sup>/dag. Het procentuele verschil voor de flux van de havens naar het grondwater is -1.96% en het procentuele verschil van het grondwater naar de havens is 9.1%.

	Totale flux van havens naar grondwater m <sup>3</sup> /dag	Totale flux van grondwater naar havens m <sup>3</sup> /dag	Totale flux van NWW naar grondwater m <sup>3</sup> /dag	Totale flux van grondwater naar NWW m <sup>3</sup> /dag
Basisscenario	570	446	2930	160
Verdiepingsscenario	559	487	3360	172
Procentueel verschil	-2.0%	9.1%	14.6%	7.2%

Tabel 4.1 Fluxen van en naar en van het oppervlaktewater

#### 4.6.1.2 Verspreiding van verontreinigingen in het grondwater

Er zijn 8 varianten voor de stroombanen doorgerekend voor beide scenario's voor verschillende startdiepte van de stroombaan en verschillende reistijd (zie tabel 4.2). De reistijd van 10 jaar is de berekening voor het jaar 2025 en de reistijd van 35 jaar correspondeert met het jaar 2050. Ca. 1000 stroombanen worden per variant doorgerekend. Hiervan zijn de stroombanen geselecteerd die een versnelling in het verdiepingsscenario laten zien. Van deze selectie is het totale procentuele verschil berekend en de standaarddeviatie. Dit is voor alle varianten gedaan. De resultaten staan in onderstaande tabel.

Stroombanen met startdiepte ..m en reistijd ..jaar	Gemiddeld verschil	percentage	Standaarddeviatie
0m 10 jaar	0.5%		1.4%
0m 35 jaar	1.4%		3.8%
10m 10 jaar	0.9%		3.1%
10m 35 jaar	1.9%		7.2%
15m 10 jaar	1.4%		4.1%
15m 35 jaar	3.1%		9.2%
20m 10 jaar	3.5%		21.0%
20m 35 jaar	6.4%		46.1%

Tabel 4.2 Procentueel verschil in afstand afgelegd van 2015 tot 2025 en 2050 tussen scenariozonder en met verdieping vanaf verschillende dieptes (0,10,15,20m)

#### 4.6.2 Interpretatie

##### Emissie naar oppervlaktewater

Door de verdieping van de Nieuwe Waterweg zien we een toename van de totale emissie vanuit het grondwater naar de Nieuwe Waterweg van 7.2%. Dit betreft slechts de toename van de grondwaterflux naar de Nieuwe Waterweg. Als dit in de context van de Pilot Botlek plaatsen, zien we dat er geen emissies vanuit het grondwater naar de Nieuwe Waterweg plaats vinden. Dit betekent dat een toename van 7.2% op nul, nul wordt. Er is geen enkel risico op toename van emissies vanuit het grondwater naar het oppervlaktewater. De totale emissie naar de Botlekhavens bedraagt 9.1%. Ook hier geldt dat slechts een fractie van de totale grondwaterflux verontreinigingen zal bevatten. Binnen het project Pilot Botlek is de totale vracht aan verontreinigingen vanuit het grondwater naar de havens berekend. Daarvoor is per stof de maximale flux, die naar de Botlekhavens gaat, berekend. Hierbij is natuurlijke afbraak in het grensvlak en in het oppervlaktewater niet meegenomen, terwijl dit door zeer significante afbraak wordt gekenmerkt. Deze worst-case benadering laat een maximale emissie van 0.8 kg/jaar zien voor minerale olie en 0.6 kg/jaar voor benzeen. Overige stoffen maximaal 0.2 kg/jaar. Dit zijn (worst-case) vrachten ver beneden de normen en de directe emissies op het oppervlaktewater. Deze resultaten zijn met RWS besproken.

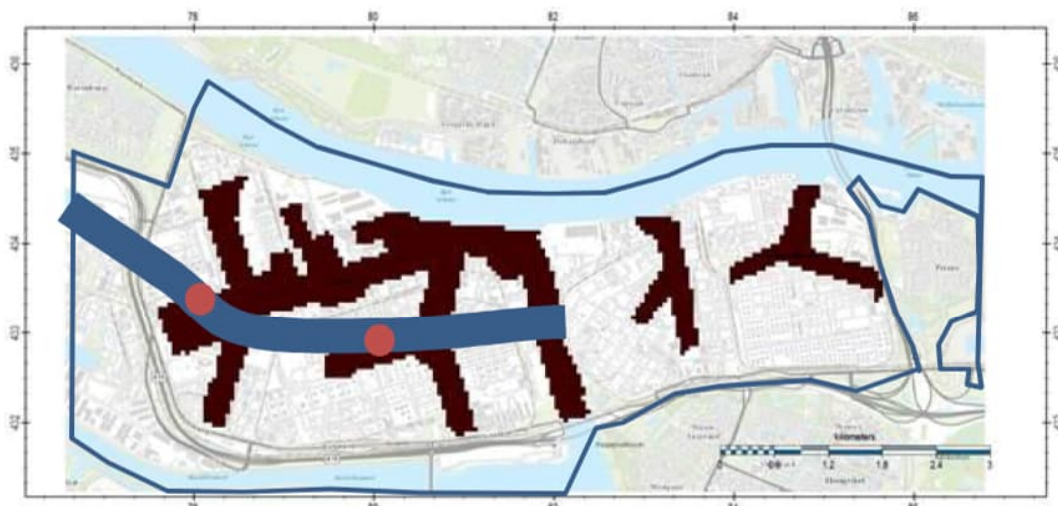
DCMR Milieudienst Rijnland stelt beleid op voor deze emissies (eind 2015) en bevestigt dat het hier om verwaarloosbare vrachten gaat. Een toename van 9.1% op een verwaarloosbare hoeveelheid, is geen significante toename en daarmee verwaarloosbaar.

#### Verspreiding van verontreinigingen in het grondwater

Door de verdieping van de Nieuwe Waterweg en de Botlekhavens zien we voor de verspreiding die start in het Holoceen (1m, 10m en 15m), dat het procentuele verschil onder de 3.1% gemiddeld blijft, met een standaarddeviatie van maximaal 9.2%. Vanaf 20 m is de grondwatersnelheid veel hoger in het watervoerend pakket dan in het Holoceen en daardoor wordt het verschil ook groter tot gemiddeld 6.4% met een standaarddeviatie die naarmate de reistijd toeneemt, maximaal 46.1% wordt. Deze grote standaarddeviatie wordt veroorzaakt door het feit dat er op de waterscheiding (waar ook de Botlekhavens liggen) veel stroombanen zijn die een korte afstand afleggen in 35 jaar, maar op die korte afstand grote afwijkingen plaats vinden. In sommige gevallen verschuift de waterscheiding waardoor stroombanen op korte afstand van noordelijke richting in zuidelijke richting veranderen (zie Figuur 4.5: hier is de waterscheiding te zien, donkerblauwe band en twee locaties waar grote afwijkingen in stroombanen zijn, rode stippen). De procentuele verandering is dan zeer groot terwijl het absolute verschil in afgelegde afstand klein is. Bovendien kan dit zelfs een positief effect opleveren: verontreinigingen die eerder richting de zuidelijke gebiedsgrens bewegen, gaan door verdieping in noordelijke richting, waarbij de noordelijke grondwaterstroming langzamer is dan de zuidelijke stroming.

Om deze lokale effecten uit te sluiten, worden de stroombanen geselecteerd, die 5 m of meer afleggen in 35 jaar vanaf 20m diepte. Deze stroombanen zijn relevant voor verspreiding richting de gebiedsgrens. Het procentuele verschil is dan 1.9%, met een standaarddeviatie van 5.4% (vanaf 20 m –mv, in 2050). Vervolgens zijn van deze selectie de stroombanen bekeken met het grootste absolute verschil in afstand: deze stroombanen starten niet op de locaties waar bekend is dat daar verontreinigingen bevinden (kennis uit Pilot Botlek). Het berekende verschil valt ruim binnen de onzekerheden die er zijn wat betreft transport van verontreinigingen in de Botlek. Dit wordt veroorzaakt door heterogeniteiten in de ondergrond, onzekerheden in de daadwerkelijke concentraties in het grondwater en grote onzekerheden in de mate van biologische afbraak. Deze onzekerheden worden meegenomen in het risico model van de Pilot Botlek.

Samengevat betekent dit dat het effect van verdieping op verspreiding van verontreinigingen in het grondwater: 1. Er zijn zowel negatieve als positieve effecten te zien 2. De negatieve effecten in ogenschouw genomen worden die voornamelijk bepaald door effecten of korte afstanden op de waterscheiding 3. Negatieve effecten richting de gebiedsgrenzen zijn gemiddeld 1.9% met een standaarddeviatie van 5.4% 4. Stroombanen met maximaal verschil in afstand beginnen niet op verontreinigde locaties 5. Effecten van hydrodynamische dispersie, retardatie en natuurlijk afbraak zijn niet meegenomen.



Figuur 4.5 Overzicht waterscheiding in de Botlek.

### 4.6.3 Conclusies

Er is gekeken naar het effect van de verdieping van de Nieuwe Waterweg en de Botlekhavens op de emissie van verontreinigingen naar de havens en verspreiding van verontreinigingen via het grondwater:

1. Effect op emissie vanuit grondwater naar Nieuwe Waterweg: er zijn geen emissies vanuit het grondwater onder de Botlek naar de Nieuwe Waterweg. Een toename van 7.2% op niets betekent dus geen effect en geen risico.
2. Effect op emissie vanuit grondwater naar Botlekhavens: de huidige emissie is verwaarloosbaar. Een toename van 9.1% op een verwaarloosbare hoeveelheid vormt geen risico.
3. Effect op verspreiding verontreinigingen grondwater. Maximale verplaatsing vindt niet plaats op locaties met verontreinigingen, er is geen risico.

Belangrijk hierbij zijn de volgende aannames:

- 1 Er is worst-case gerekend met grondwatersnelheden. Verontreinigingen gaan altijd langzamer dan grondwater door o.a. hydrodynamische dispersie en retardatie.
- 2 De stroombanen starten homogeen verdeeld over het gehele Botlekgebied, terwijl maximaal 20% van de Botlek verontreinigd is (vanaf 20 m-mv is dat percentage nog kleiner omdat het oppervlakte onder de havens ook mee telt).
- 3 Natuurlijke afbraak is niet meegenomen: vrijwel alle verontreinigingen in de Botlek zijn organische verontreinigingen die biologisch afbreekbaar zijn. Meeste verontreinigingen bereiken een stabiele eindsituatie voor de gebiedsgrens. Dit verandert niet door verdieping. Natuurlijke afbraak in grensvlak en oppervlaktewater zijn niet meegenomen, terwijl deze zeer significant zijn, en indien meegenomen de effecten significant verkleinen.



## 5 Risico's voor stedelijk gebied

### 5.1 Vlaardingen

#### 5.1.1 Beknopte gebiedsbeschrijving<sup>7</sup>

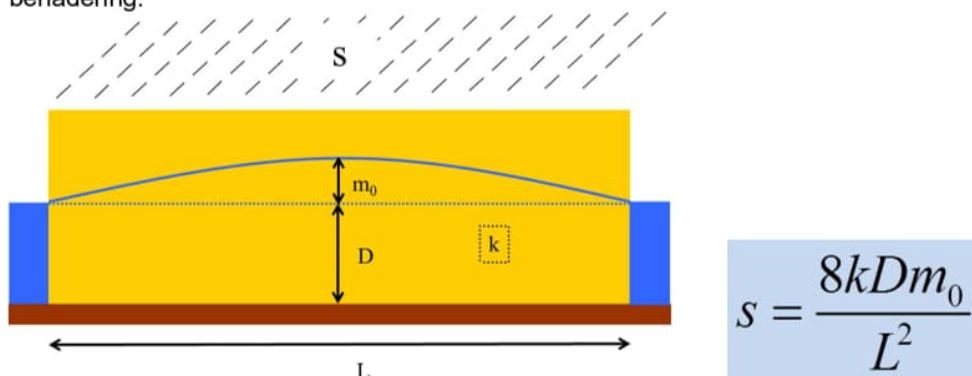
Het bebouwde gebied van Vlaardingen is verdeeld in vijf polders waarin peilgebieden voorkomen uiteenlopend van NAP -3 m tot enkele decimeters onder NAP. Overigens is er weinig oppervlaktewater in het bebouwde gebied aanwezig, met slootafstanden in de orde van grootte van honderden meters. De bodemopbouw is over het algemeen kleiig of venig tot minimaal NAP – 10 m. De deklaagweerstand ligt volgens GeoTOP tussen 1500 en 3000 dagen, in Vlaardingen-West toenemend tot bijna 10.000 dagen.

Bodemdaling vormt in Vlaardingen een knelpunt. Als gevolg treedt op een aantal plaatsen grondwateroverlast op, met name bij niet-onderheide en kwetsbare funderingen en nabij open wateren op boezempeil. Ook wortelopdruk van stedelijk groen wordt gezien als een nadelig gevolg van de bodemdaling. De gemeente Vlaardingen heeft in een aantal gevallen drainage aangelegd als tegenmaatregel. Dit is lokaal ook het geval bij begraafplaatsen met een te kleine drooglegging.

Lokaal treden waterkwaliteitsproblemen op door een diversiteit aan oorzaken, onder meer percolatiewater uit begraafplaatsen, onvoldoende doorstroming, vervuild havenslib. Alle stadswateren in Delfland hebben een zoete ecologische functie (brakke functie komt niet voor). In de polders Vettenoord en Vlaardingen-Oost wordt echter zilt water ingelaten vanuit de Oude Haven. In de toekomst komt dit water als gevolg van nieuwe doorverbindingen mogelijk ook terecht in de Babberspolder en de polder Vlaardingen-West. In de andere peilgebieden vormt de wateraanvoer geen knelpunt, met uitzondering van twee peilgebieden in Vlaardingen-West, die geen wateraanvoermogelijkheid hebben.

#### 5.1.2 Mogelijke effecten verdieping Nieuwe Waterweg

De effecten op grondwateroverlast worden ingeschat met een simpele benadering op basis van de Formule van Hooghoudt (Figuur 5.1). Aannemende dat de bovenste paar meters van de bodem iets doorlatender zijn dan de diepere klei- en veenlagen is dit een afdoende benadering.



Figuur 5.1: Schematisatie formule van Hooghoudt. Verklaring der tekens:  $m_0$  is opbolling grondwaterstand;  $s$  is de af te voeren hoeveelheid water;  $L$  is afstand tussen sloten, singels of drains;  $k$  is doorlatendheid van de bodem;  $D$  is afstand tussen drainageniveau en ondoorlatende basis.

<sup>7</sup> Grotendeels betrokken uit HH Delfland (2012) Toelichting peilbesluiten Vlaardingen



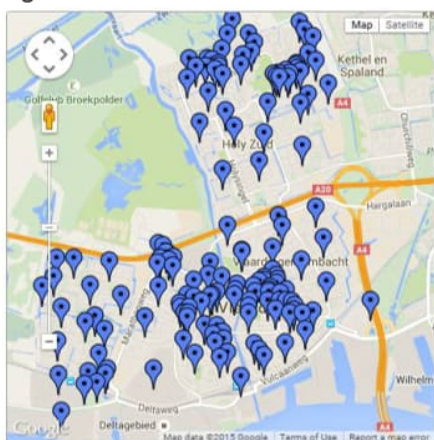
In afwezigheid van kwel of wegzijging is  $s$  gelijk aan het neerslagoverschot. Voor stedelijk gebied wordt dit geschat op gemiddeld 0,5 mm/d; het is in de praktijk afhankelijk van de verdeling verhard – onverhard – bebouwd en groen. In de huidige situatie is er echter ook al sprake van kwel. Deze is bijvoorbeeld 1 mm/d bij een stijghoogteverschil van 2 m over de deklaag, in combinatie met een deklaagweerstand van 2000 dagen. De totale af te voeren hoeveelheid water  $s$  wordt dan 1,5 mm/d. Een kweltoename van 0,05 mm/d betekent dan dat  $s$  met 3% toeneemt. Bij gelijkblijvende  $k$ ,  $D$  en  $L$  neemt de opbolling in de grondwaterstand  $m_0$  dan ook met 3% toe. Bij realistische huidige opbollingen van 0,5 m tot 1,0 m in (nog) niet gedraineerde gebieden betekent dit een toename van enkele cm. Daar waar de toename van de kwel groter zal zijn dan 0,05 mm/dag zal ook de grondwaterstand meer toenemen. In gedraineerde gebieden is de huidige opbolling naar verwachting nog kleiner, en daarmee ook de te verwachten toename. In afwezigheid van huidige kwel zou  $s$  met 10% toenemen (0,05 mm/d op 0,5 mm/d), met als gevolg een toename in de opbolling van maximaal 5 à 10 cm. Gebieden zonder huidige kwel zijn echter niet realistisch in Vlaardingen, of liggen zo ver van de Nieuwe Waterweg dat geen effect te verwachten is.

Er worden geen effecten van betekenis voorzien op de waterkwaliteit in Vlaardingen, mogelijk met uitzondering van de twee van wateraanvoer verstoken peilgebieden in Vlaardingen-West. In de polders Vetto Noord en Vlaardingen-Oost is nu al een aanzienlijk verziltingsprobleem, dat mogelijk verder verspreidt naar de Babberspolder en Vlaardingen-West indien de geplande doorverbindingen worden gerealiseerd. Dit huidige verziltingsprobleem stelt een mogelijk effect van 0,05 mm/d extra kwel in de schaduw. In de overige peilgebieden is voldoende wateraanvoermogelijkheid, en wordt eveneens geen effect van betekenis verwacht waardoor de doorspoelbehoefte naar verwachting niet zal toenemen.

### 5.1.3 Conclusies en aanbevelingen

De met het grondwatermodel berekende toename van kwel van 0,05 mm/d is klein ten opzichte van de nu al heersende kwel in Vlaardingen. De maximale toename van de grondwaterstand is naar schatting enkele cm. Bij een grotere toename van kwel zal ook de grondwaterstand toenemen. Dit is het geval in de buurt van de Nieuwe Waterweg.

Omdat het bovenstaande gebaseerd is op berekeningen met een onzekerheidsmarge, wordt aanbevolen om de grondwaterstanden te blijven volgen met het bestaande gemeentelijke grondwatermeetnet (zie Figuur 5.2). Dit meetnet lijkt voor het onderhavige doel voldoende uitgebreid.



Figuur 5.2: Huidig grondwatermeetnet Vlaardingen. Bron: H. Sondorp, gemeente Vlaardingen

Gezien de huidige waterkwaliteitssituatie, met enerzijds voldoende wateraanvoermogelijkheden en anderzijds in een deel van Vlaardingen nu al inlaat van zilt water, is het verwachte effect van verdieping van de Nieuwe Waterweg op de waterkwaliteit verwaarloosbaar.

Een mogelijke uitzondering wordt gevormd door peilgebieden die nu en in de toekomst verstoken blijven van wateraanvoer. Mogelijk is het zinvol om deze peilgebieden nader te analyseren op de te verwachten kwelflux en lokale waterhuishouding.

## 5.2 Schiedam

### 5.2.1 Beknopte gebiedsbeschrijving<sup>8</sup>

De bodemopbouw is over het algemeen kleiig of venig tot minimaal NAP – 10 m. De deklaagweerstand ligt volgens GeoTOP tussen 1500 en 5000 dagen. Bodemdaling vormt in Schiedam een knelpunt. Als gevolg treedt op een aantal plaatsen grondwateroverlast op. Er zijn meerdere meldingen van te hoog grondwater in Schiedam. Het betreft hier veelal een verzakte kruipruimte. In de wijk West heerst een relatief hoog grondwaterpeil. Hier zijn ook overlastgevallen van bekend. De bodem daalt in deze gebieden, het boezempeil blijft gehandhaafd. Hierdoor wordt de kans op overlast steeds meer vergroot.

Er is geen informatie bekend met betrekking tot de waterkwaliteit in Schiedam. Alle stadswateren in Delfland hebben een zoete ecologische functie (brakke functie komt niet voor).

### 5.2.2 Mogelijke effecten verdieping Nieuwe Waterweg

Schiedam ligt ten noordoosten van de kopse kant van het verdiepingstraject. De gebiedskenmerken van Schiedam zijn vergelijkbaar met Vlaardingen, de verwachte effecten van de verdieping zijn echter kleiner. Binnen een straal van ca. 1500 m van het verdiepingstraject ligt namelijk alleen haven- en industriegebied in Schiedam; de (oude) woonwijken in Schiedam-West liggen op grotere afstand. Op basis hiervan is de verwachting dat de effecten van de verdieping op de grondwaterstand verwaarloosbaar zijn. Hierbij wordt er wel van uitgegaan dat het industrie- en havengebied, gezien de aard van de bebouwing en ophooggeschiedenis, niet gevoelig is voor een eventuele toename in de grondwaterstand.

### 5.2.3 Conclusies en aanbevelingen

Gezien de grote afstand tot het verdiepingstraject is de verwachting dat de effecten op de grondwaterstand verwaarloosbaar zijn. Omdat het bovenstaande gebaseerd is op berekeningen met een onzekerheidsmarge, wordt aanbevolen om de grondwaterstanden in Schiedam-West te volgen. Niet bekend is of het huidige grondwatermeetnet hiervoor toereikend is.

## 5.3 Midden-Delfland

### 5.3.1 Beknopte gebiedsbeschrijving<sup>9</sup>

In Midden-Delfland is Maasland de enige bebouwde kern die enigszins in de buurt van de Nieuwe Waterweg ligt. Van de bodemopbouw zijn weinig gegevens bekend; in de beschikbare DINO-boringen komt klei voor tot minimaal NAP – 10 m. De deklaagweerstand ligt volgens GeoTOP tussen 700 en 3000 dagen.

<sup>8</sup> Deels op basis van informatie verstrekt door de heer O. Claassen, gemeente Schiedam.

<sup>9</sup> Deels op basis van informatie verstrekt door de heer T. Helderma, gemeente Midden-Delfland.

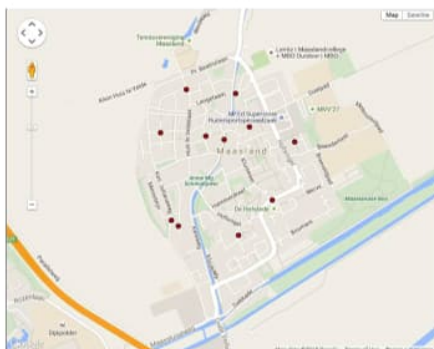
In de Commandeurspolder, in Maasland-Oost, is er regelmatig sprake van natte kruipruimtes. Er is geen specifieke informatie bekend met betrekking tot de waterkwaliteit. Alle stadswateren in Delfland hebben een zoete ecologische functie (brakke functie komt niet voor).

### 5.3.2 Mogelijke effecten verdieping Nieuwe Waterweg

De toename van de kwel is klein in dit gebied, er is een te verwaarlozen invloedsgebied van de verdieping Nieuwe Waterweg op de toename van de kwel. De gebiedskenmerken van Maasland zijn vergelijkbaar met Vlaardingen, de verwachte effecten van de verdieping zijn echter kleiner gezien de grotere afstand tot het verdiepingstraject (meer dan 2 km).

### 5.3.3 Conclusies en aanbevelingen

Gezien de grote afstand tot het verdiepingstraject is de verwachting dat de effecten op de grondwaterstand verwaarloosbaar zijn. Omdat het bovenstaande gebaseerd is op berekeningen met een onzekerheidsmarge, wordt aanbevolen om de grondwaterstanden in Maasland te volgen (Figuur 5.3). Het huidige grondwatermeetnet lijkt hiervoor toereikend.



Figuur 5.3: Huidig grondwatermeetnet Midden-Delfland in Maasland. Bron: Gemeente Midden-Delfland.

## 5.4 Westland

### 5.4.1 Beknopte gebiedsbeschrijving<sup>10</sup>

In de gemeente Westland is Maasdijk de enige bebouwde kern die enigszins in de buurt van de Nieuwe Waterweg ligt. Van de bodemopbouw zijn weinig gegevens bekend; in de beschikbare DINO-boringen komt klei voor tot minimaal NAP – 10 m. De deklaagweerstand ligt volgens GeoTOP tussen 4000 en 6000 dagen.

Er is geen specifieke informatie bekend met betrekking tot de waterkwaliteit in bebouwd gebied. Alle stadswateren in Delfland hebben een zoete ecologische functie (brakke functie komt niet voor). Bovendien is vanuit de glastuinbouw in het Westland verzilting van het oppervlaktewater ongewenst.

### 5.4.2 Mogelijke effecten verdieping Nieuwe Waterweg

De toename van de kwel is klein in dit gebied, er is een te verwaarlozen invloedsgebied van de verdieping Nieuwe Waterweg op de toename van de kwel. De gebiedskenmerken van Maasdijk zijn vergelijkbaar met Vlaardingen, de verwachte effecten van de verdieping zijn echter kleiner gezien de grotere afstand tot het verdiepingstraject (ca. 2 km) en de zeer hoge deklaagweerstand.

<sup>10</sup> Deels op basis van informatie verstrekt door de heer Renes, gemeente Westland

#### 5.4.3 Conclusies en aanbevelingen

Gezien de grote afstand tot het verdiepingstraject en de zeer hoge deklaagweerstand is de verwachting dat de effecten op de grondwaterstand verwaarloosbaar zijn.

### 5.5 Maassluis

#### 5.5.1 Beknopte gebiedsbeschrijving<sup>11</sup>

Het bebouwde gebied van Maassluis ligt op korte afstand van het verdiepingstraject. In de binnenbocht van de Nieuwe Waterweg wordt de sliblaag en een deel van de deklaag verwijderd en ontbreekt de Laag van Wijchen. De invloed van de verdieping van de Nieuwe Waterweg is hier dus relatief groot. Er is weinig oppervlaktewater in het bebouwde gebied aanwezig, met slootafstanden in de orde van grootte van enkele honderden meters. De bodemopbouw is over het algemeen kleiig tot circa NAP – 10 m. Met name in Maassluis-West worden echter in diverse DINO-boringen fijnzandige lagen aangetroffen op geringere diepte. De deklaagweerstand ligt volgens GeoTOP tussen 1000 en 5000 dagen.

De gemeente geeft aan dat in Maassluis nauwelijks overlast wordt ervaren door hoge grondwaterstanden. Ongeveer de helft van het oppervlaktewater in het oude deel van Maassluis bestaat uit een getijdhaven met brak water. De wateren aan de binnenzijde van oude Maasdijk hebben een zoete ecologische functie (brakke functie komt niet voor).

#### 5.5.2 Mogelijke effecten verdieping Nieuwe Waterweg

Momenteel zijn geen problemen met grondwateroverlast of verzilting van oppervlaktewater bekend. Doordat geen grondwatermonitoring plaatsvindt, is niet bekend hoe groot de marges zijn t.o.v. de voor deze problemen kritische grondwaterstanden en kwelfluxen. Het is dan ook onbekend in hoeverre de verdieping van de Nieuwe Waterweg zou kunnen leiden tot dergelijke problemen in Maassluis.

#### 5.5.3 Conclusies en aanbevelingen

Wegens ontbrekende locatiespecifieke informatie en een toch vrij korte afstand tot het verdiepingstraject kunnen geen uitspraken worden gedaan met betrekking tot risico's van de verdieping voor het stedelijke gebied van Maassluis. Aanbevolen wordt om hier de grondwaterstanden en stijghoogten in het eerste watervoerend pakket te monitoren.

### 5.6 Rozenburg

#### 5.6.1 Beknopte gebiedsbeschrijving<sup>12</sup>

Rozenburg ligt op korte afstand van het verdiepingstraject. De afstanden tussen de oppervlaktewateren in het bebouwde gebied bedragen enkele honderden meters. De deklaagweerstand ligt volgens GeoTOP tussen 1500 in het zuidoosten en 4500 dagen in het noordwesten. Diverse boringen, onder meer uit DINO-Loket (bv. B37D0337) laten echter een zandige bodemopbouw zien al vanaf enkele meters diepte (Figuur 6.5).

Het oppervlaktewaterpeil in Rozenburg varieert tussen NAP -0,1 m in het zuidoosten en NAP -0,7 m in het noordwesten (zie Figuur 5.4). Het verschil van deze peilen met het Nieuwe Waterwegpeil is daarmee aanzienlijk kleiner (0,2 tot 0,8 m) dan ten noorden van de Nieuwe Waterweg.

<sup>11</sup> Deels op basis van informatie verstrekt door de heer van er Leeuw-Damee, gemeente Maassluis.

<sup>12</sup> Deels op basis van informatie uit het Waterplan Rozenburg (2008).

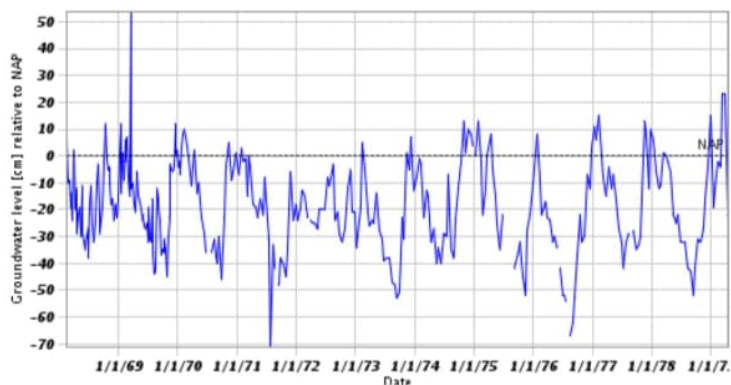




Figuur 5.4: Oppervlaktewatersysteem Rozenburg. Bron: Waterplan Rozenburg (2008)

Er is één grondwatermeetpunt in Rozenburg waar de relatie tussen diepe stijghoogte en ondiepe grondwaterstand kan worden geëvalueerd (B37D0337, Figuur 5.5.), echter niet voor een recente periode (1968-1979). Uit de metingen blijkt dat de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket rond NAP fluctueert, vergelijkbaar met het peil in de Nieuwe Waterweg (overigens hier Scheur genoemd) en het Calandkanaal. De oorzaak van de lagere stijghoogte vóór 1971 is overigens niet bekend. Mogelijk gaat het om de sluiting van een grondwateronttrekking of de aanleg / aanpassingen rond het Calandkanaal.

Volgens gegevens van het grondwatermeetnet van de gemeente Rotterdam varieert de freatische grondwaterstand in Rozenburg globaal tussen NAP -0,5 en NAP +0,5 m. Lokale afwijkingen naar boven of beneden komen echter voor. In de gehele kern Rozenburg komen incidenteel natte en vochtige kruipruimten voor. In het Waterplan wordt een hoge grondwaterstand als mogelijke oorzaak hiervoor genoemd.







Figuur 5.5: Stijghoogte op ca. NAP -7 m (boven), NAP -25 m (midden) en locatie en bodemopbouw van het betreffende DINO-grondwatermeetpunt B37D0337. Bron: DINOloket.

Een belangrijk knelpunt is de achterblijvende waterkwaliteit, vooral in het westelijke deel van Rozenburg. De grote mate van vertakking van het watersysteem en daarmee de slechtere doorspoelbaarheid is hiervan een structurele oorzaak. Factoren die een verslechtering verder in de hand werken zijn de baggerachterstand, de vrijwel overal aanwezige bomen die voor overschaduw van de watergangen en veel bladval zorgen en de slechts beperkte aanwezigheid van natuurvriendelijke oevers. Verder wordt verzilting door zoute kwel als probleem genoemd.

#### 5.6.2 Mogelijke effecten verdieping Nieuwe Waterweg

Het potentiaalverschil tussen Nieuwe Waterweg en oppervlaktewaterpeil in Rozenburg is relatief klein. Een verdieping van de Nieuwe Waterweg zal dan naar verwachting weinig effect hebben op het watersysteem in Rozenburg. Daar staat tegenover dat de weerstand tussen eerste watervoerend pakket en ondiep grondwater lokaal ook laag is (bv. DINO-boring B37D0337). Dit betekent dat een kleine verandering in het systeem toch een merkbaar effect kan hebben. Verder ligt Rozenburg mogelijk in het gebied waar de zoutconcentratie op de bodem van de Nieuwe Waterweg kan toenemen als gevolg van de verdieping. Dit zoutere water kan als gevolg van de lage hydraulische weerstanden het ondiepe grondwater en oppervlaktewater in Rozenburg bereiken.

## 5.6.3 Conclusies en aanbevelingen

De effecten van verdieping van de Nieuwe Waterweg op Rozenburg lijken beperkt, gezien het kleine potentiaalverschil tussen Nieuwe Waterweg en oppervlaktewaterpeil in Rozenburg. Anderzijds wijst de beschikbare informatie er op dat momenteel weinig hydraulische weerstand aanwezig is tussen de Nieuwe Waterweg en het watersysteem in Rozenburg. Dit maakt Rozenburg gevoelig voor mogelijke effecten van de verdieping. Een verschuiving van de zoutwatertong in de Nieuwe Waterweg kan een hogere saliniteit van de kwel in Rozenburg tot gevolg hebben, de absolute waarde van de kwel lijkt klein te zijn.

Aanbevolen wordt om door middel van nieuw te plaatsen diepe peilbuizen aanvullende informatie te verzamelen over stijghoogten en chlorideconcentraties in het eerste watervoerend pakket onder Rozenburg, zowel voorafgaand als na verdieping van de Nieuwe Waterweg.

## 6 Risicogebieden

Invloedsgebied verdieping Nieuwe Waterweg is gedefinieerd als:

*'gebied met kwelverhoging groter dan 10% van huidige kwel met een ondergrens van 0.05 mm/d.'*

Bij het bepalen van het invloedsgebied volgens deze definitie zijn de volgende risico indicatoren verwerkt (zie paragraaf 2.5 Kenmerken risicogebieden verzilting): A. Hydraulische weerstand onder Nieuwe Waterweg; B. Weerstand deklaag naastgelegen polder; C. Verschil tussen peil Nieuwe Waterweg en polderpeil en D. Doorlaatvermogen eerste watervoerend pakket.

Voor alle gebieden geldt vervolgens risicoindicator G Landgebruik. In stedelijk gebied kan een verhoging van de stijghoogte leiden tot hogere grondwaterstanden of verhoogde afvoer van water. Verzilting van grondwater is in stedelijk gebied echter minder een probleem, behalve voor oppervlaktewater en ecologie. Voor landbouwgebieden is de toename van de kweldruk en de toename van chlorideconcentratie van het grondwater van belang. Indien de kwel zout is kan verzilting van het aanwezige grondwater in het topsysteem optreden en kan de zoutvracht naar het oppervlaktewatersysteem toenemen.

Risicoindicator E Dikte zoetwaterlens. De dikte zoetwaterlens bepaalt of verzilting van het grondwater ook voor problemen kan zorgen. Er is op dit moment onvoldoende bekend over de dikte van de zoetwaterlens en over de zoutvracht naar het oppervlaktewater. De modelresultaten (Figuur 2.16) zijn te grof om hier op lokale schaal conclusies over te kunnen trekken.

Risicoindicator F Zoutwater tong. Door de verwijdering van de sliblaag en deel van de deklaag kan het zoute water uit de Nieuwe Waterweg gemakkelijker naar het grondwatersysteem stromen. Waar dit zoute water precies naartoe stroomt en of dit voor verzilting van het ondiepe grondwater zorgt, is afhankelijk van temporele veranderingen in de zoutconcentratie op de bodem van de Nieuwe Waterweg, maar met name van 3D effecten zoals heterogeniteit ondergrond, verschillen in polderpeilen, grondwateronttrekkingen en infrastructurele werken.

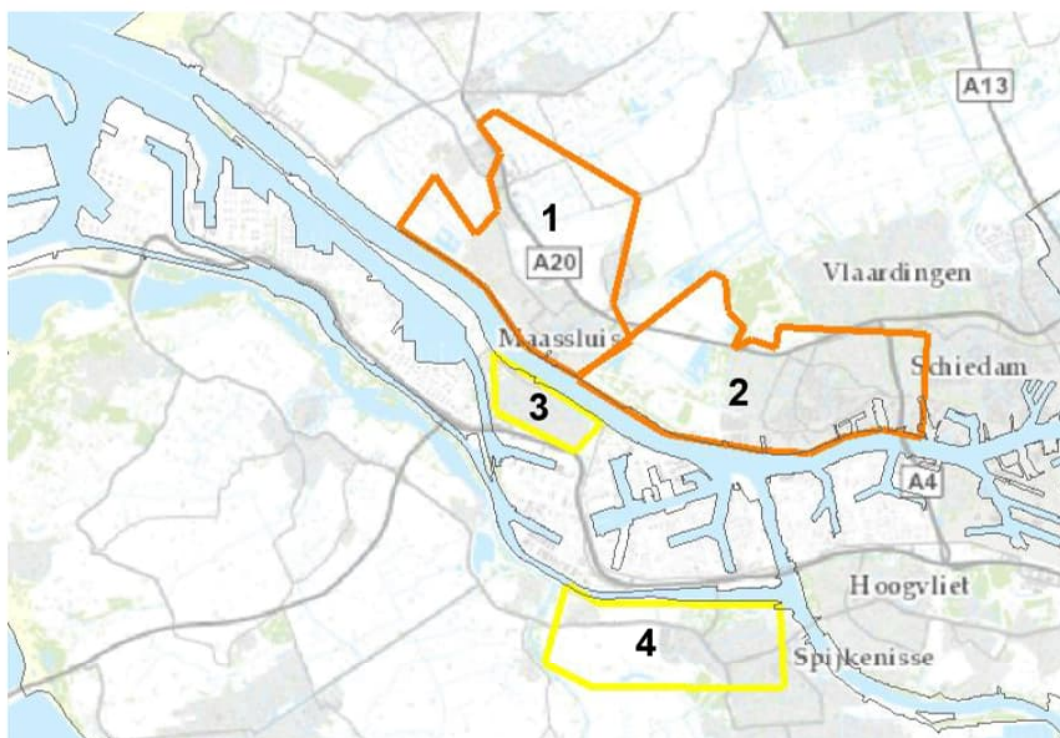
Er is geen risico op verspreiding van verontreinigingen binnen het grondwater rond de Botlek door verdieping van de Nieuwe Waterweg (zie Hoofdstuk 4). Ook is het effect van de verdieping op de emissies vanuit het grondwater naar de Nieuwe Waterweg en naar de Botlekhavens verwaarloosbaar (zie Hoofdstuk 4). Deze risico's worden daarom niet per deelgebied beschreven.

De risicogebieden staan weergegeven in Figuur 6.1. Het westen van het studiegebied ten noorden van de Nieuwe Waterweg is geen risicogebied: de toename van kwel en zoutvracht is onder de gekozen aannames verwaarloosbaar. De verdieping van de Nieuwe Waterweg vormt hier waarschijnlijk geen risico voor de Greenport functie: de verwijderde weerstand is klein en het zoute water uit de Nieuwe Waterweg zakt naar het diepere grondwater. Aandachtspunt is wel tot hoe diep het grondwater eventueel zal verzilten.

Het westen van het studiegebied ten zuiden van de Nieuwe Waterweg is geen risicogebied: de waterscheiding blijft ten noorden van het Brielse meer.

Daar waar de polderpeilen hoog zijn ( $\sim >+0.5$  m NAP) wordt geen verandering verwacht; dit blijven infiltratiegebieden. Deze gebieden zijn geen risicogebied voor toename kwel of verzilting.

Er zijn twee oranje risicogebieden (1 en 2 in Figuur 6.1), waar een toename van de kwel onder de huidige aannames verwacht wordt. Er zijn twee gele risicogebieden waar risico's niet uit te sluiten zijn (3 en 4 in Figuur 6.1). Deze gebieden worden apart beschreven.



Figuur 6.1 Risicogebieden op basis van de risico indicatoren A t/m D en G.

## 6.1 Risicogebied 1

De afname van de (absolute en relatieve) verwijdering van hydraulische weerstand van de bodem (deklaag + sliblaag) van de Nieuwe Waterweg is hier groot ten opzichte van andere gebieden. De verdieping zorgt tot maximaal 4 kilometer vanaf de rand van de Nieuwe Waterweg voor een kwelverhoging van meer dan 0.05 mm/dag. Deze toename van kwel kan zorgen voor verzilting ondiep grondwater, toename van de zoutvracht naar het oppervlaktewatersysteem en toename van de afvoer en/of grondwaterstand. Hoe hoger het polderpeil, hoe kleiner het invloedsgebied en hoe hoger de deklaagweerstand van de polder hoe kleiner het invloedsgebied. Deze 4 kilometer is dus het maximale invloedsgebied.

Of een toename van kwel met 0.05 mm/dag erg is voor de gebruiksfuncties is op dit moment niet te bepalen: dit hangt af van de huidige geohydrologische situatie in de polder (zoet-zout verdeling, stijghoogte, grondwaterstanden) en zal vastgesteld moeten worden met behulp van monitoring en modelberekeningen met meer detail, liefst in 3D om de ruimtelijke component mee te nemen.

De extra zoutvracht op de lange termijn door infiltratie van zout water uit de Nieuwe Waterweg richting het grondwatersysteem is klein ten opzichte van de toename van de zoutvracht door toename van de kweldruk.

Ten noorden van Maassluis is een landbouwgebied (mais, granen, bieten en gras) met een laag polderpeil (zomerpeil -2.3 m NAP en winterpeil -2.4 m NAP), zie paragraaf 2.4. De afstand tot de Nieuwe Waterweg is 800 meter. Dit gebied valt binnen het invloedsgebied van de verdieping van de Nieuwe Waterweg.

Wegens ontbrekende locatie specifieke informatie en de korte afstand tot het verdiepingstraject kunnen onvoldoende uitspraken worden gedaan met betrekking tot risico's van de verdieping voor het stedelijke gebied van Maassluis.

Opgemerkt kan worden dat dit risicogebied 1 breder is (verder naar het oosten en verder naar het westen) dan het stuk van de Nieuwe Waterweg waar veel weerstand weggehaald wordt (Figuur 2.10). Dit is omdat de verdieping in dit risicogebied weliswaar meer invloed zal hebben richting het noorden, door de richting van de regionale grondwaterstroming, maar 3D effecten richting oost of west niet uitgesloten kunnen worden met deze conceptuele aanpak.

## 6.2 Risicogebied 2

Gebied 2 is een risicogebied voor toename van de kwel tot een afstand van ongeveer 2 kilometer vanaf de rand van de Nieuwe Waterweg. Dit is de maximale afstand waar de toename van de kwel groter is dan 0.05 mm/dag. Deze toename van kwel kan zorgen voor verzilting ondiep grondwater, toename van de zoutvracht naar het oppervlaktewatersysteem en toename van de afvoer en/of grondwaterstand. Hoe hoger het polderpeil, hoe kleiner het invloedsgebied en hoe hoger de deklaagweerstand van de polder hoe kleiner het invloedsgebied.

Of een toename van kwel met 0.05 mm/dag erg is voor de gebruiksfuncties is op dit moment niet te bepalen: dit hangt af van de huidige geohydrologische situatie in de polder (zoet-zout verdeling, stijghoogte, grondwaterstanden) en zal vastgesteld moeten worden met behulp van monitoring en berekeningen met meer detail. De sloten zijn ondiep en de Krabbepas is 3 meter diep, deze doorsnijden echter de dikke deklaag niet. Het is op dit moment onbekend waar en hoeveel zoute kwel reeds in het oppervlaktewater terecht komt of in de toekomst kan komen; dit is afhankelijk van de huidige zoet-zout verdeling van het grondwater en de kwelflux. Hoogheemraadschap Delfland heeft plannen voor het aanleggen van de 'waterharmonica', voor nazuivering van water uit de afvalwaterzuivering met een moeras. Omdat de 'waterharmonica' bestemd is voor zoetwatervoorziening mag de zoutbelasting hier niet toenemen. Zoute kwel is in deze ondiepe waterplas (~1 meter diep) ongewenst. Hoogheemraadschap Delfland verwacht weinig interne verzilting in de huidige situatie en verwacht dat een verdubbeling van de zoutvracht niet voor veranderingen zal zorgen in het doelspoelregime. De beschikbare zoutconcentraties van Delfland van het oppervlaktewater dienen gecombineerd te worden met ruimtelijke metingen van het oppervlaktewater en metingen van zoutconcentratie onder de sloten. Zo kan bepaald worden waar de zoute kwel in de sloten terecht komt in de huidige situatie. Bij het doorspoelen van de sloten wordt op dit moment niet gestuurd op zoutconcentratie. Of de extra zoutvracht wel/niet voor een probleem zorgt is een nog openstaande vraag (Mondelinge communicatie Jochem Fritz Hoogheemraadschap Delfland). Een 3D modelinstrumentarium kan dit uitrekenen.

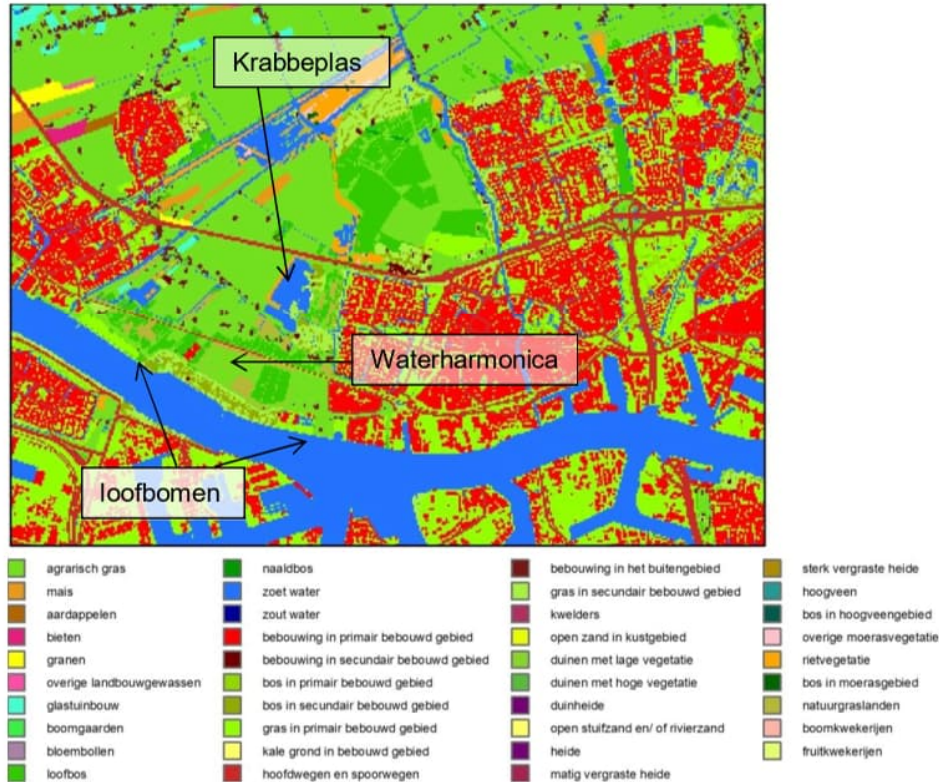


Berekeningen (Hoofdstuk 3) laten zien dat bij de in de worst-case aangenomen condities, significante extra verzilting van het grondwater door extra infiltratie van zout vanuit de Nieuwe Waterweg aannemelijk is.

In het noordwesten van risicogebied 2 wordt een zomerpeil van -3.00 m NAP en winterpeil van -3.10 m NAP gehanteerd. Het landgebruik is hier overwegend agrarisch gras met lokaal mais en loofbos. Gras valt binnen de zoutgevoeligheidsklasse 'tolerant', de streefwaarde voor chlorideconcentratie in beregeningswater ligt op 2400 mg Cl/l (Stuyt et al. 2011).

Het landgebruik in het zuidwesten van risicogebied 2 is voornamelijk agrarisch gras (lichtgroen) en daarnaast loofbos (donkerder groen, langs de Nieuwe Waterweg en ten noorden van Vlaardingen), bos in secundair bebouwd gebied (licht legergroen, direct langs de Nieuwe Waterweg), gras in primair en secundair bebouwd gebied (heel lichtgroen, westen risicogebied 3 direct langs de Nieuwe Waterweg) en natuurgraslanden (licht bruin) (Figuur 6.2). Gras valt binnen de zoutgevoeligheidsklasse 'tolerant' en boomkwekerij binnen de klasse 'gevoelig' (Stuyt et al. 2011). Voor alle gewassen is berekening met te zout water of te zout water in de wortelzone schadelijk. De loofbomen in het zuiden van risicogebied 3 liggen in een peilvak met zomerpeil -2.46 m NAP en winterpeil -2.57 m NAP, behalve de bomen in het zuidwesten waar een peil van -1.95 m NAP gehandhaafd wordt.

In Vlaardingen zal de maximale toename van de grondwaterstand bij een toename van de kwel van 0.05 mm/dag naar schatting enkele cm zijn. Bij een grotere toename van de kwel zal ook de grondwaterstand toenemen. Waarschijnlijk is de toename van de kwel relatief klein ten opzichte van de huidige kwel in Vlaardingen. Waar drainage aanwezig is wordt dit extra water gemakkelijk afgevoerd. Er zijn op dit moment voldoende monitoringslocaties voor freatische grondwaterstand in beheer van de gemeente Vlaardingen, die gebruikt kunnen worden in kwantitatieve analyses. Twee peilgebieden in Vlaardingen-West hebben geen wateraanvoer. Bij toename van zoute kwel kan dit oppervlaktewater mogelijk brakker worden.



Figuur 6.2 Landgebruik risicogebied 2.

### 6.3 Risicogebied 3

In risicogebied 3 (Rozenburg) kan de 2D berekening lastig toegepast worden: een klein gebied omsloten door verschillende oppervlaktewateren. Een forse verhoging van de stijghoogte onder de Nieuwe Waterweg kan invloed hebben op de stijghoogte in dit risicogebied. Het peil van het oppervlaktewater in dit risicogebied is echter vrij hoog (tussen de -0.1 m NAP (oosten) en -0.8 m NAP (westen)) en daarmee het invloedsgebied van verdieping van de Nieuwe Waterweg relatief klein.

Anderzijds wijst de beschikbare informatie er op dat weinig hydraulische weerstand aanwezig is tussen de Nieuwe Waterweg en het watersysteem in Rozenburg. Dit maakt Rozenburg mogelijk toch gevoelig voor effecten van de verdieping.

### 6.4 Risicogebied 4

Door verdieping van de Botlekhavens (ook al groeit de sliblaag gedeeltelijk aan) kan het zoute water beter infiltreren in het grondwater. Dit is een kwelgebied met relatief lage polderpeilen (tot -2.6 m NAP). De afstand van de verdieping van de Botlekhavens tot de landbouwpolder is meer dan 900 meter. Verwacht wordt dat door deze relatief grote afstand de kwelflux in het landbouwgebied nauwelijks zal toenemen. Het is echter niet uit te sluiten dat de chlorideconcentratie van het grondwater in deze landbouwpolder (o.a. aardappels en granen) op de lange termijn zal toenemen door verplaatsing van zout vanuit de havens.

## 7 Meetplan

In dit rapport is een eerste schatting gemaakt van de risicogebieden in relatie tot de verdieping van de Nieuwe Waterweg. Deze schatting is gebaseerd op beschikbare (meet)informatie en ondersteund met verkennende berekeningen in dwarsprofielen. Het gaat daarbij om verwachtingen over de effecten van de verdieping op stijghoogtes, kweldruk, chlorideconcentratie grondwater en zoutvrachten op het niveau van representatief geachte situaties.

Aanvullende metingen zijn noodzakelijk om de volgende redenen:

- Binnen de grof afgekaderde risicogebieden is verdere ruimtelijke detaillering nodig, wat met de bestaande meetdata niet mogelijk is.
- Voor een verdere kwantificering en ruimtelijke differentiatie in de risicogebieden over de tijd is de inzet van een 3D tijds- en dichtheidsafhankelijk grondwaterstromingsmodel noodzakelijk.
- De noodzaak van een modelstudie zou echter ook op basis van nieuwe metingen uitgesloten kunnen worden, indien uit deze nieuwe informatie blijkt dat de risicogebieden komen te vervallen (voorbeeld: indien de reeds aanwezige zoetwaterlenzen groot zijn in een kwelgebied en er slechts een kleine toename van de kwel te verwachten is, dat zijn de effecten verwaarloosbaar klein).

De beschikbare informatie over grondwaterstanden, stijghoogtes en vooral ook chlorideconcentraties en -vrachten is onvoldoende voor een goede kwantificering van de huidige situatie (nul-situatie) en onvoldoende voor een doorvertaling naar chlorideconcentratie in het oppervlaktewater. Met name in gebieden waarvan nu aan de hand van modelberekeningen ingeschat wordt dat er een hoger risico is op nadelige effecten van de verdieping – bijv. waar een significante verlaging van de waterbodemweerstand verwacht wordt en er in het aangrenzende poldergebied een laag peil (= hoge kweldruk) wordt gehandhaafd of een zout-gevoelig landgebruik aanwezig is – is het van belang om modelonzekerheden te beperken door de inzet van extra meetinformatie.

In de onderstaande paragrafen wordt een meetplan beschreven waarmee enkele belangrijke hiaten in de beschikbare informatie kunnen worden verkleind. Het gaat om metingen t.b.v. een nul-situatie schatting. Dit meetplan kan eenvoudig uitgebreid worden tot monitoringsplan voor vaststellen effecten langere termijn.

Het is overigens niet realistisch en noodzakelijk om “overal” en “alles” te meten. Het beschreven meetplan is er reeds op gericht om voldoende informatie op enkele cruciale plekken te verzamelen. Een modelinstrumentarium kan hiermee (en met de reeds beschikbare data) worden geparametriseerd en geoptimaliseerd. Dan kan ook eenvoudiger de vertaling naar zoutconcentratie van het oppervlaktewater gemaakt worden.

In paragraaf 7.5 wordt aanbevolen hoe het meetplan (korte periode) uitgebreid kan worden naar een monitoringsplan (langere periode voor vastleggen eventuele effecten).

### 7.1 Meetdoelen

De belangrijkste meetdoelen zijn:

1. Aanscherpen nul-situatie zoet-zout:
  - Overgangsdiepte van zoet naar brak/zout grondwater in de percelen
  - Zoutgehalte in slootbodem en sloot

2. Aanscherpen nul-situatie stijghoogte en grondwaterstanden:

- Stijghoogte eerste watervoerende pakket en freatische grondwaterstand (waaruit kwel/infiltratie geschat kan worden)
- Aanwezigheid getijdesignaal van de Nieuwe Waterweg in stijghoogte eerste watervoerende pakket (voor het bepalen van weerstand tussen meetpunt en Nieuwe Waterweg)
- Optreden van grondwateroverlast in bebouwd gebied

De metingen worden bij voorkeur gedaan op plekken waar:

- Risico op nadelige effecten van de verdieping aanwezig is (gebieden 1 en 2 en mogelijk gebieden 3 en 4 in Figuur 6.1).
- Beschikbare data ontbreken of onvoldoende zijn.
- Zout-gevoelig landgebruik aanwezig is.
- Lage polderpeilen voorkomen, waardoor (sterke) kwel verwacht wordt.

Deze punten gelden vooral als aandachtspunten en hoeven niet op alle meetpuntlocaties van toepassing te zijn.

## 7.2 Typen metingen

### 7.2.1 EC-sonderingen

EC-sonderingen worden uitgevoerd waarbij de conusweerstand, de plaatselijke kleef en de elektrische geleidbaarheid wordt gemeten tot een diepte van bij voorkeur 40-50 meter. Dit geeft informatie over de dikte van de deklaag en de diepte van de overgang van zoet naar zout grondwater. Op basis van de resultaten van deze sonderingen wordt de exacte filterdiepte en einddiepte van de diepe peilbuizen bepaald. De sonderingen kunnen pas worden uitgevoerd na toestemming van de eigenaren. Indien geen zout grondwater gevonden wordt met de EC-sondering wordt op deze locatie geen peilbuis geplaatst (immers geen risico verzilting en geen (grote) kweldruk (want aanwezigheid van diep zout grondwater in combinatie met grote kweldruk zorgt voor ondiep zout grondwater). Deltares beveelt aan om deze metingen eenmalig in de zomer laten uitvoeren door derden. EC-sonderingen zijn relatief goedkoop en leveren veel nuttige informatie voor de plaatsingen van peilbuizen en de zoetzout verdeling van het grondwater. Daarom wordt op alle meetlocaties een EC-sondering uitgevoerd. Nadeel van EC-sonderingen is dat geen herhaalmeting uitgevoerd kan worden voor het vaststellen van trends in zoet-zout verdeling van het grondwater. Zie hiervoor paragraaf 7.5. SlimFlex metingen zijn in geval van monitoring beter.

### 7.2.2 Peilbuizen en metingen stijghoogte en grondwaterstand

Diepe (onder de Holocene deklaag) en ondiepe (vlak onder de laagste grondwaterstand) peilbuizen worden geplaatst met divers die de stijghoogte vastleggen. Verschillen in stijghoogte tussen de ondiepe en diepe buis geven informatie over de kwel- of infiltratieflux. De einddiepte en filterdiepte van de diepe peilbuizen worden vooraf bepaald op basis van de resultaten van de sonderingen. Alle meetpunten worden voorzien van een beschermende schutkoker

De diepe peilbuizen zijn vaste meetpunten die ook na de verdieping van de Nieuwe Waterweg eventueel gebruikt kunnen worden voor monitoring zoet-zout verdeling grondwater.

## 7.2.3 Prikstokmetingen (TEC-probe) en EC-routing sloten

Om de zoutconcentratie van de kwel te meten worden TEC-probe metingen uitgevoerd in slootbodems in de polder. Vervolgens worden de prikstokmetingen uitgewerkt: tot chloride concentratie grondwater en ruimtelijk op een kaart vastgelegd. Omdat de metingen alleen in de slootbodem zullen plaatsvinden is de zomersituatie voldoende.

Daarnaast wordt de Elektrische geleidbaarheid (EC) van het slootwater zelf gemeten. Deze EC kan vertaald worden naar de zoutconcentratie van de sloot.

## 7.3 Meetperiode en meetfrequentie

Om voldoende metingen te verzamelen is een meetperiode van 3 maanden noodzakelijk en een meetperiode van 2 jaar wenselijk. Uit het verloop van de grondwaterstanden en stijghoogtes in een dergelijke periode, kan een beeld verkregen worden over de richting van de verticale flux (kwel of infiltratie) en over een eventueel aanwezig getijdesignaal in het eerste watervoerend pakket (en daarmee de interactie tussen de Nieuwe Waterweg en het grondwatersysteem). Bij meerjarige metingen kunnen seizoenstrends vastgesteld worden.

Voor de zoet-zout nul-situatie is eenmalig meten voldoende. In de tijd verandert de zoet-zout verdeling in het diepere systeem slechts heel langzaam (langjarig proces) of beperkt (seizoenseffecten).

Om een getijdesignaal in de stijghoogte te kunnen onderscheiden is het nodig om minimaal op uurbasis te meten. De getijdegolf op de Nieuwe Waterweg kan dan gerelateerd worden aan de stijghoogte fluctuatie, bijvoorbeeld door analyse van een hysteresecurve.

Zie paragraaf 7.5 voor een beschrijving wat er nodig is om het meetplan aan te passen naar een monitoringsplan voor een langere periode.

## 7.4 Meetplan

In Figuur 7.1 zijn de beoogde meetlocaties voor EC-sondering en/of peilbuismetingen weergegeven. De meetpunten zijn beschreven in tabel 7.1.

De gebieden waar EC-routing in het oppervlaktewater en prikstokmetingen in de slootbodem zijn voorzien, worden getoond in Figuur 7.2 en worden beschreven in tabel 7.2. In gebied C is dit slechts voor de 2 peilvakken zonder wateraanvoer.

### 7.4.1 Algemene aandachtspunten

- De exacte locaties worden in het veld vastgesteld en hangen o.a. af van toestemmingen van grondeigenaren, landgebruik, ligging t.o.v. sloten etc.
- Waar peilbuizen aanwezig zijn in DINO of in de datasets van andere partijen, wordt gekeken of deze peilbuizen nog in werking zijn en voor het beschreven doel geschikt zijn.
- Peilbuizen worden bij voorkeur op minimaal 10 meter afstand van sloten geplaatst, om te voorkomen dat het grondwater/stijghoogtesignaal gedomineerd wordt door oppervlaktewaterpeilfluctuaties.
- De meetopstelling zal uitgaan van 3 maanden meten. Dat betekent o.a. dat peilbuizen niet met telemetrie zullen worden uitgerust en dat divers gehuurd kunnen worden van Deltares. In paragraaf 7.5 wordt aangegeven hoe de meetopstelling aangepast kan worden voor monitoring.





Figuur 7.1 Meetpunten waar EC-sondering en (niet overal) peilbuismetingen uitgevoerd worden.



Figuur 7.2 Gebieden waar EC-routing in het oppervlaktewaterstelsel en prikstokmetingen in de slootbodembodem uitgevoerd worden.

Tabel 7.1: Overzicht meetpunten en typen metingen.

NR	Afstand t.o.v. NWW of Botlekgebied (m)	Doel	EC-sondering	GW-stand	Stijghoogte
<b>Raai noordkant NWW risicogebied 2</b>					
1	100	• Verwachte sterke reductie van weerstand in NWW bodem.	x	x	x
2	250	• Nul-situatie vastleggen (zoet-zout, grondwaterstanden, stijghoogte, kwel).	x	x	x
3	1000		x	x	x
4	2500	• Raai om invloed vanaf NWW over afstand te volgen ter plaatse van risicogebied.	x	x	(x)
5	5000	• Kalibratie dataset voor evt. model.	x	x	x
<b>Overige meetpunten risicogebied 2</b>					
6	250	• Twee meetpunten in risicogebied ter plaatse aanwezigheid kleilaag onder NWW. Vergelijking met raai 1-5 mogelijk.	x	x	x
7	750		x	x	x
8	250	• Aanvulling op data binnen risicogebied (ruimtelijke dekking).	x	x	x
9	750	• Zoet-zout grondwater bij landgebruik loofbomen. • Twee meetpunten in risicogebied ter plaatse aanwezigheid kleilaag onder NWW. Vergelijking met raai 1-5 mogelijk. • Aanvulling op data binnen risicogebied (ruimtelijke dekking).	x	x	x
<b>Noordkant NWW risicogebied 1</b>					
10	950	• Verwachte sterke reductie van weerstand in NWW bodem	x	x	x
11	2300	• Nul-situatie vastleggen (zoet-zout, grondwaterstanden, stijghoogte, kwel).	x	x	x
12	250		x	x	x
13	275	• Raai om invloed vanaf NWW over afstand te volgen ter plaatse van risicogebied.	x	x	x
14	1500		x	x	x
15	80	• Ruimtelijke dekking van data over zoet-zout. • Lage oppervlaktewaterpeilen ten noorden van Maassluis. • Meetpunt 12: onduidelijkheid over chlorideconcentratie in freatisch grondwater: hoog peil, dus infiltratie van zoet water verwacht, maar toch een hoog chlorideconcentratie in freatisch grondwater (meting)	x	x	x
<b>Raai zuidkant NWW risicogebied 4</b>					
16	100	• Ter plaatse van ingreep in waterbodembotlekgebied.	x	x	x
17	250	• Nul-situatie vastleggen (zoet-zout, grondwaterstanden, stijghoogte, kwel).	x	x	x
18	1000		x	x	(x)
19	2500	• Raai om invloed vanaf Botlekgebied over afstand te volgen ter plaatse van risicogebied. • Validatie dataset voor stoftransportmodel.	x	x	x
<b>Meetpunten risicogebied 1</b>					
20	300	• Aanvullende informatie over stijghoogte en	x	x	x
21	300	chlorideconcentratie onder Rozenburg.	x	x	x

Tabel 8.2: Overzicht meetgebieden EC-routing in het oppervlaktewaterstelsel en prikstokmetingen in de slootbodem.

NR	Doel	EC-routing	Prikstokmetingen
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nul-situatie chlorideconcentratie in oppervlaktewater en slootbodem in risicogebied 4.</li> </ul>	selectie sloten	~15
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>Metten EC in plas en waterbodem</li> <li>Onduidelijkheid over chlorideconcentratie in freatisch grondwater en oppervlaktewater: hoog peil, dus infiltratie van zoet water verwacht, maar toch een hoog chlorideconcentratie in freatisch grondwater.</li> </ul>	1 meting	1
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peilgebieden in bebouwd gebied waar geen wateraanvoer plaatsvindt en dus risico op verbraking aanwezig is (Vlaardingen, risicogebied 5).</li> </ul>	selectie sloten	~5
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nul-situatie chlorideconcentratie in oppervlaktewater en slootbodem.</li> <li>Peilgebieden in landelijk gebied met lage polderpeilen en binnen invloedsgedebied verdieping NWW</li> <li>Nul-situatie chlorideconcentratie in oppervlaktewater en slootbodem</li> </ul>		~10

## 7.5 Van meten naar monitoren

Het meetplan gaat uit van een beperkte periode van meten, enerzijds om de noodzaak van modellering nader vast te stellen of uit te sluiten, en anderzijds om een betere schatting en ruimtelijke dekking van de nul-situatie te verkrijgen.

Er zijn redenen om het meetplan uit te breiden naar monitoring:

- Langer meten levert meer informatie op, b.v. ook zomer-winter verschillen.
- Het effect van ingrepen kan beter worden geanalyseerd en verklaard, o.a. door middel van tijdreeksanalyse. Zonder lange meetreeksen wordt primair teruggevallen op het model. Het gaat hier vooral om "verklaring achteraf" en niet zozeer om "voorspelling".
- Met andere belanghebbenden (b.v. waterschap, gemeente en provincie) kan samen worden opgetrokken om de meetinspanning/kosten te delen. Hierbij kan ook gedacht worden aan combinatie met de aanleg van de Blankenburgtunnel.

Aanbevolen wordt om het meetplan op de volgende punten aan te passen indien voor monitoring gekozen worden:

- Uitrusten van peilbuizen met telemetriesysteem. De investering van zo'n systeem verdient zich terug omdat veldbezoeken (controle, loggers uitloggen) in aantal verminderd worden en alleen ingezet worden als dit noodzakelijk is (storingen worden real-time zichtbaar in de meetreeksen).
- Periodiek uitvoeren van EM-Slimflex metingen in peilbuizen om zoet-zout overgangen te volgen. Een seizoenale en eventueel langjarige trend kan onderzocht worden. Indien voor dit type meting gekozen wordt, dient deze meting ook aan het begin van de meetperiode uitgevoerd te worden, ook al lijkt dat overlappende informatie met de EC-sonderingen op te leveren. Er zal namelijk een verschil tussen beide metingen zijn.

## 8 Conclusies en aanbevelingen

### 8.1 Conclusies

In deze verkennende studie is het effect van de verdieping van de Nieuwe Waterweg en de Botlekhavens op het grondwatersysteem in termen van stijghoogte, kwel, grondwaterstand stedelijk gebied, verzilting en verontreinigingen) gekwalificeerd. Dit is gedaan met behulp van een conceptueel 2D numeriek dichtheidsafhankelijk grondwatermodel die de verandering in kwel en zoutvracht bepaalt en met behulp van een 3D stroombanenmodel die de verplaatsing van verontreinigingen berekent. Verdieping van de Nieuwe Waterweg kan op drie manieren een risico vormen:

- 1 Toename stijghoogte en kwel, en daarmee verzilting van ondiep grondwater en/of oppervlaktewater in de polder;
- 2 Zouttransport vanuit de zoutwater tong in de Nieuwe Waterweg richting het grondwatersysteem;
- 3 Minder tijd voor voldoende afbraak van verontreinigingen in de Botlekgebied.

De geïdentificeerde risico indicatoren zijn:

- A. Hydraulische weerstand onder Nieuwe Waterweg
- B. Weerstand deklaag naastgelegen polder
- C. Verschil tussen peil Nieuwe Waterweg en polderpeil
- D. Doorlaatvermogen eerste watervoerend pakket kD
- E. Dikte zoetwaterlens
- F. Zoutwater tong
- G. Landgebruik

#### 1. Toename stijghoogte en kwel

Met behulp van conceptueel 2D numerieke dichtheidsafhankelijk grondwatermodel is de invloed van de verdieping van de Nieuwe Waterweg op de toename van de kwel en zoutvracht berekend. Er is een conceptueel profielmodel opgesteld voor 3 gebieden: West, Maassluis en Oost. In het projectgebied zullen de Nieuwe Waterweg en enkele Botlekhavens verdiept worden. De verwijderde laag bestaat uit deklaag en een bodem met o.a. slib. De deklaag kan uit de Laag van Wijchen (klei) bestaan, een kleilaag of getijdeafzettingen (zand met klei). De sliblaag is niet overal aanwezig maar aangenomen wordt dat deze sliblaag waar aanwezig niet terug komt na verdieping in de Nieuwe Waterweg. In de Botlekhavens komt de sliblaag wel terug. De verdieping zorgt voor een afname van de hydraulische weerstand tussen het oppervlaktewater en het grondwater. Hierdoor kan de stijghoogte van het grondwater onder de Nieuwe Waterweg toenemen. In poldergebieden met een laag polderpeil en/of een lagere deklaagweerstand kan hierdoor de kwelflux significant toenemen. Bij aanwezigheid van zout grondwater kan het ondiepe grondwater verzilten en de zoutvracht naar het oppervlaktewater toenemen. De risicogebieden 1 en 2 (zie Figuur 6.1) bestaan uit landbouwgebieden en stedelijk gebied (Maassluis en Vlaardingen), waar in een zone van maximaal 4 kilometer (risicogebied 1) of maximaal 2 kilometer (risicogebied 2) vanaf de Nieuwe Waterweg de kwelflux met meer dan 0.05 mm/d kan toenemen. In risicogebied 2 (Figuur 6.1) kan in twee peilvakken van Vlaardingen-west die geen wateraanvoer hebben verzilting van het oppervlaktewater optreden. Bij de risicogebieden 3 en 4 zal toename van de kwelflux naar verwachting geen problemen opleveren maar dit is niet uit te sluiten. Voor alle parameters is gekozen voor een worst-case situatie; er is dus slechts sprake van een mogelijk risico.



## 2. Zouttransport vanuit de Nieuwe Waterweg

Het tweede risico, zouttransport vanuit de Nieuwe Waterweg naar het grondwatersysteem, is met behulp van dezelfde conceptuele 2D numerieke dichtheidsafhankelijk grondwatermodellen geschat. Om de risico's te kwantificeren zijn de zoutvrachten richting het oppervlaktewater van de polder berekend over een afstand van 2 km tot de Nieuwe Waterweg. Over deze afstand worden met de worst-case benadering toenames berekend van 60% bij Maassluis en 40% in het oosten van het projectgebied en zijn op de korte termijn substantiële toenames van de zoutvracht, met de gekozen benadering, niet uit te sluiten. Het grootste deel van de toename van deze zoutvracht komt door de toename van de kweldruk door verdieping van de Nieuwe Waterweg en zal dus direct na verdieping optreden. Voor de lange termijn (na 2050) is voor het oostelijk deel van het projectgebied ten noorden van de Nieuwe Waterweg een substantiële verdere toename van de zoutvracht niet uit te sluiten door stroming van zout water uit de Nieuwe Waterweg richting het grondwater systeem. De termijn waarop het zoute water uit de Nieuwe Waterweg de onderkant van de deklaag bereikt is afhankelijk van de afstand tot de Nieuwe Waterweg, maar ook van polderpeilen, de heterogeniteit van de ondergrond en initiële zoet zout condities van het grondwater. Het conceptuele model is niet toereikend om hier meer expliciete gedetailleerde uitspraken over te doen. Voor het westen is de toename van de zoutvracht zeer klein (<6%) en vormt daarmee naar verwachting geen risico.

In werkelijkheid zullen de toenames van de zoutvrachten kleiner zijn dan de berekende toenames, omdat de worst-case situaties zich meestal niet voordoen en er een 3D dissipatie van effecten plaats zal vinden door de aanwezigheid van gebieden/zones waar de situatie gunstiger is. Deze dissipatie wordt door het 2D model niet meegenomen. Daarentegen kunnen lokale verschillen in dikte deklaag (o.a. door paleochannels (oude zandige rivierafzettingen)) of laag polderpeil ook weer zorgen voor een lokaal (veel) grotere zoutvracht.

Ten zuiden van de Nieuwe Waterweg wordt geen verhoogde zoutvracht verwacht door verdieping van de Nieuwe Waterweg. Of verdieping van de Botlekhavens zorgt voor verzilting van het zuiden kan niet volledig uitgesloten worden.

## 3. Verontreinigingen

Reistijden van verontreinigingen kunnen korter worden en daardoor de gebiedsgrens overschrijden. Daarnaast kan de emissie van verontreinigingen vanuit het Holoceen naar het oppervlaktewater in het hele Botlekgebied toenemen.

De verdieping van de Nieuwe Waterweg en de Botlekhavens heeft een maximaal berekend effect op de emissie van grondwater naar de havens van 7.2% en van grondwater naar de Nieuwe Waterweg van 9.1%. Er zijn nauwelijks tot geen ernstige verontreinigingen in de Botlek ten noorden van de waterscheiding dus deze toename van de flux betekent nauwelijks toename van de verontreinigingen in de Nieuwe Waterweg. Het project Pilot Botlek laat zien dat de totale vracht aan verontreinigingen naar de havens zeer laag is. De toename van de emissie naar de havens zal geen extra bedreiging vormen voor de kwaliteit van het oppervlaktewater.

De verdieping van de Nieuwe Waterweg en de Botlekhavens heeft een maximaal berekend effect in 2050 op de verspreiding van verontreinigingen binnen het grondwater van 0.65% met standaarddeviatie 7.82%. Bij alle getallen is geen rekening gehouden met transportprocessen zoals hydrodynamische dispersie, retardatie en biologische afbraak. Deze processen spelen een belangrijke rol in de verspreiding van de meeste



verontreinigingen en zullen het effect nog kleiner maken. De verdieping van de Nieuwe Waterweg en de Botlekhavens veroorzaakt geen tot nauwelijks verslechtering van de kwaliteit van het grondwater ten opzichte van de huidige situatie.

## 8.2 Aanbevelingen

### 8.2.1 Metingen

Aanbevolen wordt om het meetplan zoals voorgesteld in hoofdstuk 7 uit te voeren. Deze metingen leveren informatie over: 1. de zoet-zout verdeling van het grondwater, 2. Zout verdeling van het oppervlaktewater, en 3. de stijghoogte in combinatie met freatische grondwaterstanden (en dus indirect de kwel-infiltratie fluxen). Met deze metingen kan de nul-situatie van het grondwatersysteem aangescherpt worden voor een verdere gedetailleerde kwantificering van de effecten of kunnen gebieden uitgesloten worden als risicogebied. Daarnaast wordt aanbevolen om samen met andere gebiedspartijen na te denken over monitoring van de stijghoogte van het grondwater en van veranderingen van de zoet-zout verdeling van het grondwater voor de komende jaren tot na verdieping van de Nieuwe Waterweg (paragraaf 7.5).

### 8.2.2 Grondwatermodel

Aanbevolen wordt om gebruik te maken van het bestaande 3D grondwatermodel dat Deltares voor de gemeente Rotterdam heeft opgesteld voor de spreiding van verontreinigingen (Marsman, 2010). Dit model is op dit moment niet geschikt voor dichtheidsafhankelijk transport van zout in het grondwater systeem en niet geschikt voor berekeningen in het topsysteem, maar kan hiervoor aangepast worden. In opdracht van de gemeente Rotterdam wordt in 2016 een stap gemaakt richting het dichtheidsafhankelijk maken van het Rotterdam model. Aanbevolen wordt om aan te sluiten bij deze ontwikkelingen. Dit resulteert in één modelinstrumentarium waarmee consistent gekwantificeerd en gelokaliseerd kan worden wat het ruimtelijke effect (als een functie van de tijd) is van de verdieping van de Nieuwe Waterweg op:

1. Verhoging van de kweldruk;
2. Toename van de zoutvracht naar het oppervlaktewatersysteem;
3. Verzilting van het grondwater in het eerste en tweede watervoerend pakket;
4. Toename grondwaterstand stedelijk gebied;

Enkele risicogebieden (hoofdstuk 6) zijn aangeduid als 'risico niet uit te sluiten'. Daarom wordt aanbevolen om een grondwatermodel te gebruiken met een grovere resolutie voor het hele gebied (met risicogebieden 1, 2, 3 en 4 in Figuur 6.1) waarbij specifiek met hogere resolutie naar de risicogebieden 1 en 2 wordt gekeken. Hierbij wordt aanbevolen om direct aan te sluiten bij het Rotterdam model en de lopende ontwikkelingen.

De volgende aanpassingen worden (in ieder geval) aanbevolen voor het bestaande modelinstrumentarium:

1. Omzetten naar dichtheidsafhankelijk grondwatermodel (voor transport van zout).
2. Implementatie topsysteem en nieuwste peilgebieden.
3. Nul-situatie zoet-zout verdeling grondwater verbeteren m.b.v. metingen.
4. Rekening houden met de onzekerheid in weerstand Holocene deklaag in de polders.
5. Waar relevant kennis over eventuele kademuuren, damwanden, tunnels en andere infrastructurele werken implementeren in model.
6. Implementatie chlorideconcentratie Nieuwe Waterweg.
7. Calibratie m.b.v. stijghoogtemetingen.
8. Validatie m.b.v. zoet-zout metingen.

### 8.2.3 Invloed op oppervlaktewatersysteem polder

Aanbevolen wordt om de berekende verandering in zoutvracht van het grondwater naar het oppervlaktewatersysteem te vertalen naar invloed op de zoutconcentratie van het oppervlaktewater in de polder. Het opstellen van een water- en zoutbalans op peilvak of polderniveau met behulp van SOBEK data van Delfland zal resulteren in een berekening van de verandering van de zoutconcentratie van het oppervlaktewater in de polder. Deze berekening kan getoetst worden aan de metingen van de chlorideconcentratie van het polderwater. Deze tool kan ook gebruikt worden voor het berekenen van de effectiviteit van mitigerende maatregelen.

### 8.2.4 Scenario's

Het aanbevolen modelinstrumentarium kan de gevolgen van de verdieping van de Nieuwe Waterweg in het perspectief plaatsen van andere scenario's. Belangrijke scenario's hierbij zijn: klimaatverandering (neerslag en verdamping), bodemdaling, zeespiegelstijging (en de daarbij horende verplaatsing van de zoet-zout tong), (nieuwe) infrastructurele werken (bv. Blankenburgtunnel), en de DSM onttrekking. Daarnaast kan de effectiviteit en het ontwerp van eventuele mitigerende maatregelen onderzocht worden. De noodzaak, effectiviteit en locatie van mitigerende maatregelen is op dit moment nog niet voldoende bekend. Voorbeelden van mogelijk interessante mitigerende maatregelen zijn:

#### Kwelsloten

Kwelsloten direct achter een dijk vangen (zout) kwelwater af waardoor een eventuele toename van de kweldruk verder de polder in zal afnemen. Rondom de Nieuwe Waterweg zal deze maatregel waarschijnlijk minimaal effectief zijn door de aanwezigheid van een dikke (20 meter) deklaag met relatief hoge weerstand in de polder. De kwelsloot zal waarschijnlijk slechts voor een beperkte afname van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket zorgen.

#### Kwelscherm

In Perkpolder (Zeeuws-Vlaanderen) heeft Rijkswaterstaat een kwelscherm aangelegd om de zoetwaterbel in het landbouwgebied te beschermen tegen zout water uit de naastgelegen Westerschelde. Het kwelscherm bestaat uit 61 buizen die diep de grond in gaan en onderling verbonden zijn. De buizen regelen de grondwaterdruk door het zoute water naar de sloten achter de dijken te transporteren. Daar wordt het vervolgens door een gemaal afgevoerd naar de Westerschelde. Het kwelscherm is in 2015 aangelegd en wordt nu ingeregeld ([helpdeskwater.nl](http://helpdeskwater.nl)).

#### Hydraulische barrière

Een ondergrondse hydraulische barrière is een systeem van kunstmatige infiltratie van zoet water in het grondwater om zo ondergrondse indringen van zout oppervlaktewater tegen te gaan. In Barcelona ligt langs de kust een dergelijk systeem sinds 2007. Door 14 infiltratieputten op een rij te plaatsen kan een hydraulische overdruk worden gegenereerd die als een hydraulische 'ondergrondse dijk' functioneert. Het water dat wordt geïnfilteerd in Barcelona is een combinatie van voorgezuiverd rivier- en afvalwater (Droge kost, 2010; Teijón, 2009). Deze techniek kan de stroming van zout en verontreinigd water vanuit de NWW richting de polder tegen gaan. De kweldruk in de polder zal echter niet afnemen. Daarnaast is een forse bron van zoet water voor infiltratie noodzakelijk.

#### Vergroten weerstand bodem Nieuwe Waterweg

Ijzeroer zijn grotere, verharde ijzeroxide-ijzerhydroxide-concreties, die van nature aanwezig zijn in de Nederlandse ondergrond. Deltares ontwikkelt in samenwerking met Rijkswaterstaat

een methode om IJzeroer te gebruiken voor het vergroten van de hydraulische weerstand op enkele meters onder kanaalbodems. Dit is een kansrijke methode om infiltratie van water uit de Nieuwe Waterweg richting het grondwatersysteem en kweldruk in de omgeving te verkleinen. Deze techniek is naar verwachting veel beter over grote oppervlaktes aan te brengen en te monitoren dan bestaande methoden. De verwachting is dat deze techniek in het voorjaar van 2016 in de praktijk toepasbaar is, te beginnen op kleine schaal.

## BioSealing

BioSealing is een technologie om ondergrondse lekkages te dichten, bijvoorbeeld bij dammen, dijken en tunnels. Nabij het vermoedelijke lek worden voedingsstoffen in de grond geïnjecteerd, waardoor de groei van bodembacteriën wordt gestimuleerd. Hierdoor wordt de waterdoorlatendheid van de grond sterk verminderd en het lek langzaam gedicht. BioSealing is een duurzaam en goedkoop alternatief voor traditionele methoden voor in-situ lekdichting, zoals grout of chemische injecties. BioSealing is te gebruiken voor het vergroten van de hydraulische weerstand van de bodem van de Nieuwe Waterweg. Sinds 2004 zijn door Deltares enkele pilots uitgevoerd in Nederland en Oostenrijk. De resultaten waren bemoedigend maar het is nog onbekend waar en wanneer de techniek toe te passen is. Deze techniek zit nog in de onderzoeksfase. Bovendien heeft deze techniek tijd nodig om weerstand op te bouwen, de weerstand is niet direct aanwezig in de bodem van de NWW (Deltalife, januari 2014; mondeling communicatie Bas van der Zaan, Deltares).

De planperiode van de MER is 2025 waarbij een doorkijk wordt gegeven naar 2050. Aanbevolen wordt om deze termijn voor verzilting van het grondwater te verlengen: verplaatsing van zout grondwater is een traag proces en alleen omkeerbaar op hele lange tijdschalen in combinatie met compenserende maatregelen.

## 9 Referenties

De Lange, W.J., Hunink, J.C., Hoogewoud J.C., 2010. Geohydrologische analyse van stroming uit met slib gevulde zandwinputten. Deltares-rapport 1202368-000.

De Lange, W.J., 2011, Handreiking geohydrologische beoordeling bij herinrichting van diepe plassen. Deltares rapport 1203224

De Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., Stuyfzand, P.J., Zee, van der, S.E.A.T.M., 2010, Upward groundwater flow in boils as the dominant mechanism of salinization in deep polders, The Netherlands, *J. Hydrol.* 394, 494-506, doi: [10.1016/j.jhydrol.2010.10.009](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.009)

De Louw, P.G.B., Eeman, S., Siemon, B., Voortman, B.R., Gunnink, J., van Baaren, E.S., and Oude Essink, G.H.P., 2011, Shallow rainwater lenses in deltaic areas with saline seepage, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 3659-3678, doi: [10.5194/hess-15-3659-2011](https://doi.org/10.5194/hess-15-3659-2011)

De Louw, P.G.B., 2013. Zoute kwel in delta's. Preferente kwel via wellen en interacties tussen dunne regenwaterlenzen en zoute kwel. Academisch proefschrift, Vrije Universiteit Amsterdam, ISBN/EAN 9789461085429.

De Louw, P.G.B., Van Baaren, E.S., 2015. Nulmeting Hedwigepolder grondwater. Deltares rapport 1210110-000.

De Nijs, M.A.J. On sedimentation processes in a stratified estuarine system. Ph.D. Thesis. TU Delft.

Droge kost,  
<http://www.innoverenmetwater.nl/upload/documents/nieuw/Drogekost/Droge%20kost%20innoveren%20op%20droogte%20en%20watertekort.pdf>

Gunnink, Veldkamp, Dam, Weerts en van de Linden, 2004. Deklaagmodel en geohydrologische parametrisatie voor het beheersgebied van het Hoogheemraadschap "De Stichtse Rijnlanden". TNO-rapport 04-090-B0609.

Hoogewoud, Veldhuizen, Prinsen en Hunink, 2011. NHI 2.2. Beschrijving van de veranderingen en toetsing in NHI 2.2. Deltares-rapport 1204179-000-BGS-0003

Kreischer, M., 2014. Verdieping Nieuwe Waterweg. Rapportage veldwerk en laboratoriumonderzoek. Gemeentewerken gemeente Rotterdam, MVJ14118-1.

Langevin, C.D., Thorne, D.T., Jr., Dausman, A.M., Sukop, M.C., en Guo, Weixing, 2008, SEAWAT Version 4: A Computer Program for Simulation of Multi-Species Solute and Heat Transport. Techniques and Methods Book 6, Chapter A22. U.S. Geological Survey.

Marsman, A., van Nieuwkerk, E., 2010, Systeemgrens grondwaterverontreiniging Rotterdamse Haven. Deltares rapport 1203320-000-BGS-0005.

Minnema, B., Kuijper, B., & Oude Essink, G.H.P., 2004, Bepaling van de toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland, NITG 04-189-B, 86 p., Utrecht, TNO Bouw en Ondergrond.

Oude Essink, van Baaren, De Lange en De Wit, 2008. Beschouwing van de effecten van een zout Volkerak Zoommeer op het grondwatersysteem. Deltares rapport 2008-U-R0774/A.

Oude Essink, G.H.P., Baaren, E.S., van & Vliet, M. van, 2008, Verkennende studie klimaatverandering en verzilting grondwater in Zuid-Holland, Deltares-rapport 2008-U-R0322/A, 60 p.

Perk, Steijn, Adema en Grasmeijer, 2015. MER Verdieping Nieuwe Waterweg en Botlek. Achtergrondstudie Morfologie. Arcadis rapport 078678890-A (concept)

Roelofsen, Frans et al. 2008. Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht). Onderzoek naar effecten van stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft - Hoofdrapport. TNO Rapport 2008-U-R0960/A, 102 pg.

Roelofsen, Frans et al. 2008. Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht). Onderzoek naar effecten van stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft - Technisch rapport. TNO Rapport 2008-U-R1084/A, 196 pg.

Stafleu, J., Maljers, D.M., Busschers, F.S., Gunnink, J.L., Schokker, J., Dambrink, R.M., Hummelman, H.J., Schijf, M.L., 2013. GeoTop modeling. TNO-report 2012-R10991, 216pp.

Stoppelenburg, F.J. 1999. Een overzicht van de toepassing van intreeweestanden in modelstudies. NOV-rapport 13.3.

Stuyt, L. C. P. M., Bakel, P. J. T. van, & Massop, H. T. L. (2011). Basic Survey Zout en Joint Fact Finding; effecten van zout. Naar een gedeeld beeld van het zoetwaterbeheer in laag Nederland. Alterra-rapport 2200. Wageningen.

Svasek Hydraulics, 2014. Effectbepaling verdieping Nieuwe Waterweg tot NAP-16,3m op basis van TRIWAQ simulaties OSR model.

Tauw, 2015. Boorstaten, analysesresultaten en toetsingsresultaten van bodemonsters van de Nieuwe Waterweg.

Teijón, G., Tamoh, K., Soler, M., and L. Candela, 2009. Treated wastewater reuse for a seawater intrusion hydraulic barrier implementation in the Llobregat delta aquifer (Barcelona, Spain), First phase, Options Méditerranéennes, Nr. 88, Technological Perspectives for Rational Use of Water Resources in the Mediterranean Region

Van Baaren, E.S., 2011. Zoutvrachten en diepte zoetzout grensvlak Zuidwestelijke Delta. Deltares memo.

Van der Meulen, M.J., Doornenbal, J.C., Gunnink, J.L., Stafleu, J., Schokker, J., 2013. 3D geology in a 2D country: perspectives for geological surveying in the Netherlands 217–241.

Van der Werf, J.J., Van der Mark, C.F., Van Kessel, T., Huismans, Y., 2014. Effect verdieping Nieuwe Waterweg tot 16.3 m NAP op vaargeulonderhoud. Verkenning. Deltares-rapport 1210587-001.

Van Kesteren, G.M., 27 juli 2015. Spreidingsgedrag van Nieuw Waterweg-baggerspecie op stortlocatie Noordzee. Deltares Memorandum 1220640.



Van Leeuwen, B., 2014. Effectbepaling verdieping Nieuwe Waterweg tot NAP -16.3m op basis van TRIWAQ simulaties OSR model. Svasek rapport 1712/U14253/C/BvL.

Van Leeuwen, 17 november 2015. Memo randvoorwaarden indringen riviergedragen vervuiling in grondwater. Svasek Hydraulics.

Vernes, R.W., Van Doorn, Th.H.M. Van gidslaag tot hydrogeologische eenheid. Uitleg over het opstellen van de dataset. TNO rapport NITG 05-038-B. Website: [www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl).

Weerts, J.T., 1996. Complex Confining Layers. Architecture and Hydraulic Properties of Holocene and Late Weichselian deposits in the Fluvial Rhine-Meuse Delta, The Netherlands. PhD thesis, University of Utrecht.

Wiersma, A., Hijma, M., 2015. Ondergrondopbouw van de Nieuwe Waterweg. Deltares rapportage 1210219-001.