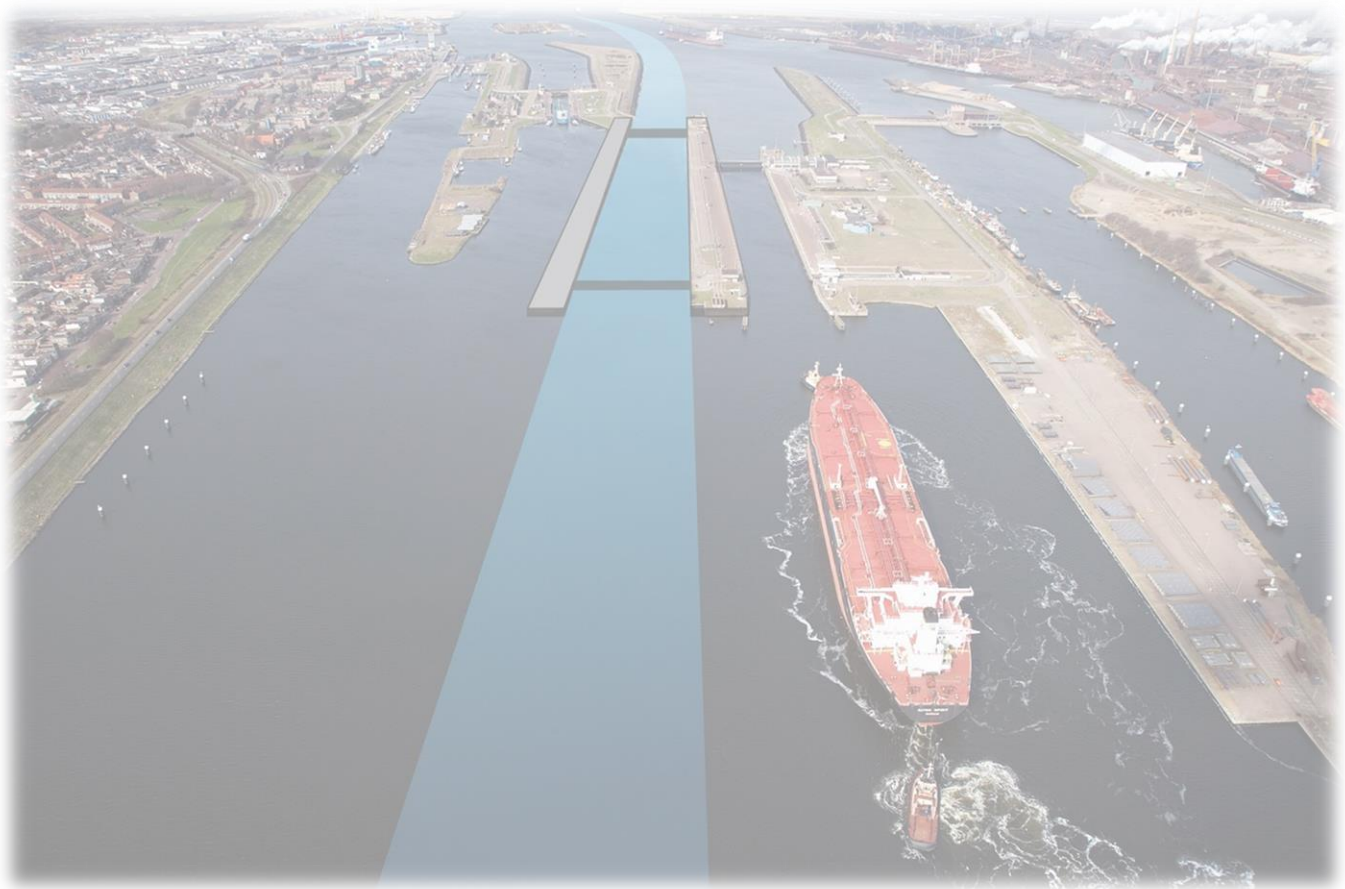


Zoutwaterproblematiek Nieuwe Zeesluis IJmuiden

Matthijs Willem van Rhijn

Geobest BV

Stageperiode 13-04-2015 t/m 05-06-2015





Zoutwaterproblematiek Nieuwe Zeesluis IJmuiden

**Analyse van de maximale zoutconcentratie voor omliggende actoren aan het Noordzeekanaal en
afweging van de zoutlekbeperkende maatregelen van Deltares**

Foto voorblad: MaritiemNederland.com



Zoutwaterproblematiek Nieuwe Zeesluis IJmuiden

Analyse van de maximale zoutconcentratie voor omliggende actoren aan het Noordzeekanaal en afweging van de zoutlekbeperkende maatregelen van Deltares

Definitief verslag

Bachelorscriptie

Universiteit Twente

Faculteit Construerende Technische Wetenschappen (CTW)

Afdeling Civiele Techniek

Auteur

dhr. M.W. van Rhijn

thijsvanrhijn@gmail.com

s 1367927

UT-begeleider

dhr. J.F. Schyns, MSc

Bedrijfsbegeleider

ing. E. de Jong

Vakgroepcoördinator

dr. ir. M.J. Booij

Stagecoördinator

mw. E.D. van Oosterzee – Nootenboom

Mijdrecht, 5 juni 2015



Voorwoord

Acht weken geleden ben ik begonnen met mijn allereerste stage. Werkervaring in de horeca heb ik wel, maar zeker niet op dit gebied. Door gewend te zijn te rennen op het werk (en niet continu een computer voor je neus), vielen de eerste dagen in een bureaustoel tegen. Dit heeft echter in de loop van de stageperiode plaats gemaakt voor (een klein beetje?) kennis van werken in het civieltechnisch werkgebied en een mooi onderzoek naar zoutindringing. Met zeker ook plezier heb ik in acht weken kunnen zien hoe vergaderingen in een bedrijf eraan toegaan en hoe werken in een civieltechnische omgeving is. Bovendien is de route naar het koffieautomaat mijn vaste loopje geworden en kon ik mijn energie op de heen- en terugweg kwijt met bij elkaar ruim anderhalf uur fietsen.

De collega's van Geobest; Raoul Broekens, Roel Brouwer, Emmy Post en Martijn Willeboer wil ik bedanken voor de ontvangst en hulp die ik heb mogen ontvangen tijdens mijn stage. Ze hebben me geassisteerd met kennis en met nieuwe dingen, van het printen van documenten en een ronde door het bedrijf tot mijn looproute naar de koffieautomaat.

In het bijzonder wil ik mijn begeleider bij Geobest bedanken, (de directeur) Erwin de Jong. Reeds maanden voor de stage heb ik stukken doorgestuurd gekregen die unieke informatie gaven over de zeesluis. Ook was het erg leuk te horen hoe het proces bij de sluis vlotte. De conclusie is: er moet nog een hoop gebeuren en het wordt nog wat!

Mijn UT-begeleider Joep Schyns verdient een speciaal bedankje voor zijn assistentie voor en tijdens de stageperiode. Vooraf is er behoorlijk veel feedback ontvangen en verwerkt alvorens het voorverslag compleet was. Tijdens de stageperiode is er wekelijks contact geweest met de nodige tips. Bedankt hiervoor. Martijn Booij van de universiteit verdient hierom een bedankje voor het koppelen van de studenten met de begeleiders. Ik heb een hoop aan mijn begeleider gehad.

Op het kantoor hebben een aantal personen van buiten Geobest me geassisteerd bij lastige zaken. Sandra Lobbe wil ik bedanken voor de hulp bij de KLIC-meldingen, die toch wel slim waren te doen alvorens er kon worden ge(grond)boord! In het laboratorium heb ik hulp gehad van Erwin Snäll en Hans Leeuwesteijn. Ze hebben tevens het rapport opgesteld met de zoutconcentraties van de zoutmonsters. Eveneens mijn dank voor hen.

Tijdens de veldmetingen zijn mijn goede vrienden Florian Morren en Maarten van Paridon mee geweest. Buiten de nuttige resultaten was het vooral erg gezellig. In de bijlage (K) van het onderzoek is een kleine fotoreportage opgenomen van deze dag. Zonder de heren was het knap lastig geworden, zeker bij het meten van de dijk met de drukke weg er overheen.. Ja die ene!

Voor de veldmetingen heb ik gebruik mogen maken van het arsenaal aan klusmaterialen van strandpaviljoen Willy Zuid. Dolf Groenewegen, ze zijn nog heel, bedankt.

Otto Weiler en Gualbert Oude Essink, beide van Deltares verdienen ook een bedankje. De beste mannen heb ik niet ontmoet, maar ze hebben veel informatie via mailcontact toegestuurd. Met name Otto Weiler, die zelf verantwoordelijk is voor het ontwerp van de zoutlekbeperkende maatregelen heeft mij zeer geholpen. Bedankt.

Voor de allerlaatste controle wil ik mijn vader Johan van Rhijn bedanken. Hij hep me geholoen de lastigste spellings en gramaatika regeltjes uit nederland te doen laten kloppen in deze skriptie! Dus, vor fouts moet je zijn hebben!

Veel leesplezier,
Matthijs Willem van Rhijn,

Mijdrecht, 5 juni 2015

Samenvatting

Het probleem

In IJmuiden wordt een nieuwe zeesluis gebouwd, omdat de huidige zeesluis zijn maximale capaciteit heeft bereikt en omdat hij bijna aan het einde van zijn technische levensduur zit. De nieuwe sluis wordt groter, waarmee het reeds aanwezige probleem van zoutindringing verder zal toenemen. Dit probleem uit zich bijvoorbeeld in verminderde gewasopbrengst en corrosieschade. Het probleem wordt ook groter door drogere periodes in de toekomst en de relatieve zeespiegelstijging.

Er zijn verschillende alternatieven om de zoutindringing van zeesluizen te beperken. Deltares heeft de taak deze maatregelen bij de nieuwe zeesluis in IJmuiden te verzorgen. Er is echter nog geen keuze gemaakt uit de alternatieven en bovendien is het niet precies duidelijk hoe groot het zoutprobleem is. Er wordt nu vanuit gegaan dat de huidige zoutconcentraties acceptabel zijn en als maatgevend kunnen worden beschouwd, maar er zijn nu al problemen gedurende droge periodes en dus lijkt deze aanname onjuist.

Het doel en de vraagstelling

De precieze omvang van het zoutprobleem voor aangrenzende actoren is nog niet onderzocht. Met de actoren rond het Noordzeekanaal worden bedrijven (industrie/ land- en tuinbouw) of individuen (eigenaren vastgoed, maar ook flora en fauna) bedoeld die schade kunnen ondervinden door een hoge zoutconcentratie in het oppervlaktewater. De zoutconcentratie waarbij schade ontstaat is voor elke actor verschillend en afhankelijk van het betreffende gebruik. Door van de verschillende actoren langs het Noordzeekanaal (en in aansluitende wateren) vast te stellen bij welke zoutconcentraties er schade optreedt (grenswaarde), kan een betere afweging worden gemaakt welke zoutconcentratieverlagende maatregelen, zoals voorgesteld door Deltares, kunnen zorgen dat het gewenste effect wordt bereikt. Dit leidt tot twee hoofdvragen voor dit onderzoek:

- *Wat zijn, afhankelijk van de actoren, de grenswaarden van zoutconcentraties op verschillende afstanden van de sluis op het Noordzeekanaal?*
- *Welk ontwerpalternatief voor de zeesluis bij IJmuiden heeft naar verwachting de minste schade door zoutindringing tot gevolg?*

Voor de beantwoording van de tweede vraag zijn de alternatieve zoutbelasting verlagende maatregelen van Deltares afgezet tegen de vastgestelde grenswaarden uit de eerste vraag.

Het onderzoek

Het onderzoek start met het in kaart brengen van actoren die mogelijk hinder zouden kunnen ondervinden van een hoge zoutconcentratie in het Noordzeekanaal. Met behulp van een literatuuronderzoek zijn de grenswaarden bepaald voor deze actoren en vertaald in maatgevende grenswaarden voor zoutconcentraties. Sommige maatgevende grenswaarden zijn concentraties binnendijs (in de polder) terwijl andere concentraties buitendijs zijn (op het Noordzeekanaal). De binnendijkse waarden (in een polder) zijn met een model van in- en uitgaande stromen in een polder vertaald naar zoutconcentraties buitendijs, op het Noordzeekanaal. Het dijkprofiel en de grondsoort waaruit een dijk is opgebouwd zijn bepalend voor de mate waarin (zout)water zich van buiten- naar binnendijs verplaatst. Er is veldwerk verricht waarbij de dijken zijn opgemeten en er is grondonderzoek gedaan om de waterverplaatsing (kwel) te kunnen vaststellen.

Deltares heeft een aantal verschillende alternatieven vastgesteld om zoutindringing te beperken en deze zijn omgerekend naar te verwachten zoutconcentraties op het Noordzeekanaal. Door dit in verband te brengen met de maatgevende grenswaarden van zoutconcentraties voor de actoren is bepaald welk alternatief van Deltares het beste aan de eisen voldoet.



De resultaten

De akkerbouw in de Wijkermeerpolder, ten noorden van het Noordzeekanaal, is de meest kritieke locatie wat betreft zoutproblematiek. Deze heeft een zeer lage grenswaarde alvorens er schade optreedt aan de gewassen, evenals de bollenteelt in Lisse, op grotere afstand van het sluizencomplex.

De akkerbouw in de Wijkermeerpolder wordt, net als de overige actoren, het beste beschermd door een combinatie van een zoutvang met een selectieve onttrekkinginstallatie. Hierbij wordt een verdiepte kom aangelegd aan de landzijde van de nieuwe zeesluis, waar het zwaardere zoute water in wordt opgevangen en wordt weggepompt door een gemaal. Zo wordt er met eenzelfde volume meer zout afgevoerd, immers is het afvoervolume (debiet) van het Noordzeekanaal beperkt. Om ook in drogere periodes de schade door zoutinstroom te beperken (wanneer er geen of weinig debiet is) kan de sluis worden uitgebreid met een bellenscherm. Dit alternatief is even effectief ongeacht het debiet van het Noordzeekanaal. Wel is de effectiviteit gemiddeld minder dan de selectieve onttrekking met zoutvang.

Discussie

Het belangrijkste discussiepunt van het onderzoek is dat er is gekozen om geen financiële belangen mee te wegen in het advies voor een alternatief, omdat dit het hoofddoel van het in kaart brengen van grenswaarden voor actoren zal overschaduwen. Bovendien zijn dergelijke onderzoeken al gedaan in het Hoogheemraadschap van Rijnland. Zij hebben met het €ureyeopener model een afweging gemaakt tussen de kosten van maatregelen en het deels toestaan van schade. Een toepassing hiervan in het studiegebied zou een mooie aanvulling zijn met de in dit onderzoek opgestelde grenswaarden.



Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting.....	4
Inhoudsopgave	6
Introductie.....	9
Doelstelling en onderzoeksvragen	13
Methode.....	14
1. Actorenanalyse.....	17
1.1 Agrarische sector.....	17
1.2 Waterinnamepunt Amsterdam-Rijnkanaal	20
1.3 Waterbeheersingpunten (inlaten/sluizen).....	20
1.4 Natuurgebieden	21
1.5 Recreatie.....	21
1.6 Vastgoed.....	22
1.7 Koeling industrie.....	22
1.8 Flora en Fauna	23
2. Huidige en toekomstige situatie.....	24
2.1 Sluizencomplex IJmuiden (Zie bijlage A)	24
2.2 Spuisluizen en gemalen	24
2.3 Huidige situatie.....	25
2.4 Nieuwe zeesluis	26
3. Kritieke punten	27
3.1 Ondergrondgegevens	27
3.2 Zouttransport door grond	27
3.3 Zoutconcentraties veldwerk.....	28
3.4 Kweldebiet.....	28
3.5 Wijkermeerpolder	28
4. Analyse alternatieven Deltares	30
4.1 Zoutvang.....	30
4.2 Selectief onttrekken	30
4.3 Bellenpluimen.....	32
4.4 Bellenscherm	34
5. Advies	35
6. Conclusie	36
Discussie	38
Bibliografie	42



Bijlagen	46
A. Bijlage sluizencomplex	47
B. Bijlage grondgebruik studiegebied	48
C. Bijlage technieken zoutreductie zeesluizen	49
D. Bijlage gemeenten studiegebied	50
E. Bijlage hoogteligging	51
F. Bijlage uitleg promillage	52
G. Bijlage uitleg NaCl.....	53
H. Bijlage gemalen en sluizen Noordzeekanaal	54
I. Bijlage maatgevende zoutconcentraties	55
J. Bijlage alternatieven Deltares	56
K. Bijlage onderzoeksopzet.....	59
L. Bijlage ondergrondgegevens	66
M. Bijlage laboratoriumresultaten	71
N. Bijlage kweldebieten	72
O. Bijlage Wijkmeerpolder.....	74
P. Bijlage grenswaarden actoren.....	80



Lijst van figuren

Figuur 1 Sluizencomplex IJmuiden met locatie nieuwe sluis	9
Figuur 2 Studiegebied met de verschillende soorten grondgebruik	9
Figuur 3 Situatie 2008 in PSU Rechts Amsterdam, links het sluizencomplex	15
Figuur 4 Dwarsdoorsnede op km 5, van zuid naar noord (vlnr)	15
Figuur 5 Schadedrempel bij gewassen	16
Figuur 6 Zoutconcentraties huidige situatie, met grenswaarden	25
Figuur 7 Zoutconcentraties nieuwe sluis zonder maatregelen	26
Figuur 8 Kwelmechanismen door een dijk	27
Figuur 9 Samenvatting ondergrondgegevens	27
Figuur 10 In- en uitstromen Wijkermeerpolder	28
Figuur 11 Huidige zoutconcentratie in de Wijkermeerpolder van 1996-2006	29
Figuur 12 Groeiende zoutconcentratie sinds 1965,	29
Figuur 13 Verwachte zoutconcentraties bij selectieve onttrekking.	31
Figuur 14 Verwachte zoutconcentraties bij selectieve onttrekking + zoutvang.	32
Figuur 15 Verwachte zoutconcentraties bij bellenpluimen.	33
Figuur 16 Verwachte zoutconcentraties bij bellenpluimen + zoutvang	33
Figuur 17 Verwachte zoutconcentraties bij bellenscherm.	34
Figuur 19 Verloop zoutconcentraties in de Wijkermeerpolder in de jaren 1997-2006 bij verschillende alternatieven	35
Figuur 20 Maatgevende grenswaarden van de zoutconcentratie voor de actoren rond het Noordzeekanaal.	36
Figuur 21 Opkegeling in de kuststrook.	41
Figuur 22 Onttrekking TATA steel	41

Lijst van tabellen

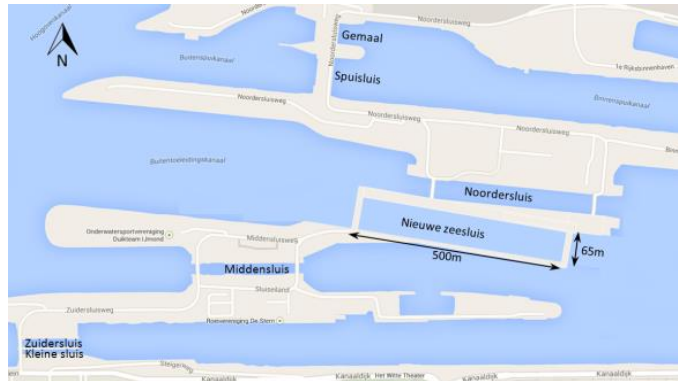
Tabel 1 Maatgevende grenswaarden op het Noordzeekanaal	17
Tabel 2 Grenswaarden concentraties drinkwater voor verschillende soorten vee, bron (DGZ, 2015)	18
Tabel 3 Maximale zoutconcentraties voor bollenteelt en eigen metingen d.d. 5 mei 2015, zie bijlage M.	19
Tabel 4 Zoutlek sluizen, bron: (Weiler & Uittenbogaard, 2014) Deltares, bewerkt	24
Tabel 5 Zoutconcentraties eigen metingen, op het Noordzeekanaal en in de polder	28
Tabel 6 Kweldebieten kritieke dijkvakken	28

Introductie

Deze opdracht is uitgevoerd bij Geobest B.V. in Mijdrecht. Geobest is een adviesbureau in de geotechniek. Ze maken deel uit van het tenderteam Heijmans/ Jan de Nul bij de aanbesteding voor de nieuwe zeesluis in IJmuiden. Geobest heeft de kennis voor het ontwerpen van de fundering, maar heeft geen direct belang bij een onderzoek naar zoutproblematiek. Niettemin heeft Geobest alle up-to-date informatie over de gang van zaken bij het project.

Aanleiding

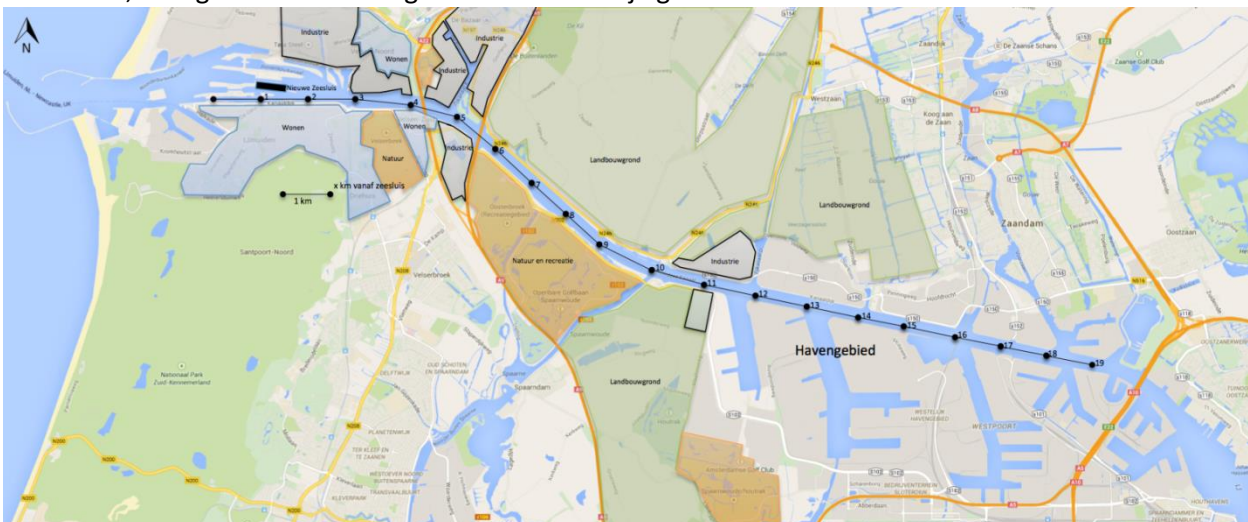
In IJmuiden wordt in 2016 gestart met de bouw van een nieuwe zeesluis. Op dit moment is de aanbesteding bezig en worden de eerste werkzaamheden ter voorbereiding van de realisatie uitgevoerd. De sluis wordt een stuk groter dan de huidige sluisen, namelijk: 500m lang, 65-70m¹ breed en 18m diep. Hij zal gesitueerd worden zuidelijk van de Noordersluis en ten noordoosten van de middensluis, zoals te zien is in figuur 1 en in bijlage A.



Figuur 1 Sluizencomplex IJmuiden met locatie nieuwe sluis

De grootste sluis op dit moment, de Noordersluis (400m * 50m * 15m) is bijna aan het einde van zijn technische levensduur, als hij in 2029 100 jaar oud is. Bovendien heeft de sluis zijn maximale capaciteit bereikt. Opdrachtgever Rijkswaterstaat geeft aan dat een nieuwe, grotere zeesluis gewenst is voor het groeiende goederentransport via het Noordzeekanaal en om de internationale 'allure' van de Amsterdamse havenregio te behouden (Rijkswaterstaat, 2014a).

De Zeesluizen bij IJmuiden vormen de scheiding tussen de Noordzee en het Noordzeekanaal, welke in open verbinding staan met het IJ, de grachten van Amsterdam en het Amsterdam-Rijnkanaal. Het Noordzeekanaal is de primaire vaarverbinding tussen het westelijk havengebied in Amsterdam en de Noordzee, zie figuur 2 en een vergrootte versie in bijlage B.



Figuur 2 Studiegebied met de verschillende soorten grondgebruik

¹ De breedte van de sluis is nog onderwerp van discussie. In de aanbesteding is een 'korting' opgenomen voor de combinatie die een bredere sluis kan passen in de kleine ruimte tussen de Noorder- en de Middensluis. De maximale breedte wordt 70m.



Problemen bij een grotere zeesluis

Een grotere sluis brengt een grotere zoutindringing op het Noordzeekanaal met zich mee, wat in combinatie met drogere periodes kan leiden tot grotere schade voor actoren aan het Noordzeekanaal.

De problemen die ontstaan bij een grotere sluis worden onderstaand toegelicht. Allereerst worden veroorzakers; groeiende zoutindringing door de grotere sluis, meer vrachtverkeer en vervolgens drogere periodes in de toekomst verduidelijkt. De laatste geeft problemen met de doorspoeling van polders en het Noordzeekanaal. Uiteindelijk is het belangrijk te weten welke concentraties er voor problemen zorgen en welke actoren hier last van hebben, deze worden in hoofdstuk 1 uitgewerkt.

Groeiende zoutindringing

De grotere sluis brengt een groter lozingsvolume (kolkoppervlak vermenigvuldigd met het waterstandsverschil) met zich mee. In de voorstudie voor de bouw van de nieuwe zeesluis (Arcadis, 2011) is bevestigd dat dit leidt tot een grotere zoutindringing, ondanks de mogelijke schaalvoordelen van een grotere sluis. Een grotere sluis kan natuurlijk wel met minder cycli meer schepen doorlaten, maar dit weegt niet op tegen het grote lozingsvolume, aldus Arcadis. Uit het rapport blijkt dat de zoutindringing gemiddeld zal toenemen tot 20 km landinwaarts, met een stijging van 3-5 ‰ zout. Dit is een aanzienlijke stijging omdat er gemiddeld een waarde van 7‰ aan de binnenzijde van de sluis is (Arcadis, 2011). (Uitleg promillage in bijlage F)

Slechts bij een 'nat scenario' neemt de zoutindringing af (2-4‰). Deze is gedefinieerd als een afvoervolume (verder aangeduid als debiet) over het Noordzeekanaal van 191m³/s en een droog scenario als 52 m³/s. Gemiddeld is er een debiet van 91m³/s (Weiler & Uittenbogaard, 2014), wat dichterbij de buurt komt van het droge scenario.

Groei vrachtverkeer over water

Een 'probleem' dat bijdraagt aan een groeiende zoutlast op het Noordzeekanaal is de groeiende overslag in de Amsterdamse haven. De havenregio Amsterdam is afgelopen jaar met 1,7% gegroeid (MaritiemNederland, 2014). Deze groei brengt de totale overslag op 97,4 miljoen ton goederen en daarmee is de maximale capaciteit van de Noordersluis bereikt (Dijkhuizen, 2015). De nieuwe zeesluis maakt een groei mogelijk tot 125 miljoen ton (Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam, 2013). De verwachting is dat de groei de komende jaren gemiddeld 1,5-2% zal toenemen, zoals het afgelopen decennium het geval was. Deze groei van overslag heeft een groter aantal schuttingen tot gevolg met een grotere zoutindringing naar het Noordzeekanaal.

Drogere periodes in de toekomst

Met de klimaatverandering is het denkbaar dat er in de toekomst meerdere drogere periodes ontstaan (Beersma, Buishand, & Buiteveld, 2004), waarmee het zoutprobleem met een nieuwe grotere zeesluis dus groter wordt. De huidige Noordersluis veroorzaakt bij grote droogte reeds problemen, zoals te lezen was in het Algemeen Dagblad op 17 mei 2011 (ANP, 2011). Een woordvoerder van Rijkswaterstaat zegt hierin dat door de droge zomer, het zoute water steeds verder het Noordzeekanaal intrekt en dat het lastig is om het zout uit de landbouwgebieden te houden. Te weinig spoelwater vanuit het Noordzeekanaal veroorzaakt hier de problemen. Drogere zomers die als gevolg van de klimaatverandering kunnen optreden vergroten hierbij de problemen en de urgentie voor oplossingen.

Bovendien is er de te verwachten zeespiegelstijging waar we in de nabije toekomst naar zullen moeten handelen. Het KNMI (2014c) spreekt van een meter zeespiegelstijging tot 2100.

Verdringingsreeks

Zoals reeds aangegeven, is er bij voldoende doorspoeling van het Noordzeekanaal geen probleem te verwachten door zoutindringing met verzilting tot gevolg. Echter bij droogte is spoelwater schaars én



gewild. Bij droogte is de vraag naar water namelijk relatief groot voor de drinkwatervoorziening, landbouw en industrie en is er tevens veel water nodig voor doorspoeling van polders en brakke gebieden. De prioritering van de afnemers is vastgelegd in de wet met de verdringsreeks, artikel 2.9 van de Waterwet. (Rijksoverheid, 2003). De doorspoeling van polders voor het tegengaan van blijvende verzilting heeft de hoogste prioriteit in deze verdringsreeks, dit ten kostte van doorspoeling van het Noordzeekanaal.

Doorspoeling

Om verzilting van Zuid-Hollandse polders tegen te gaan, wordt bij langdurige droogte het water van het Amsterdam-Rijnkanaal gebruikt, omdat het water van de Hollandse IJssel dan te brak is geworden door de verbinding met de Nieuwe Waterweg. In droge tijden is dit water van het Amsterdam-Rijnkanaal echter ook de grootste bron voor doorspoeling van het Noordzeekanaal. In het nieuwe Deltaprogramma is opgenomen dat er door uitdieping van het Amsterdam-Rijnkanaal meer water voor uitspoeling moet kunnen doorstromen naar het Noordzeekanaal (Rijksoverheid, 2014). De uitdieping is nog niet ingepland, maar vormt één van de maatregelen die de verzilting van polders en waterwegen tegen kan gaan.

Kwel

Er is in Nederland veel onderzoek gedaan naar het voorkomen en bestrijden van zoutindringing, zoals te lezen is in 'Deltafact zoutindringing' (Deltares, 2014b). Naast de zoutindringing door zeesluizen is er namelijk ook veel verzilting van polders door kwel. Hierbij komt door het hydrostatisch drukverschil tussen zout- en zoetwater, het zoute water omhoog, daar waar de polders dichtbij zee liggen (KiWa Water research, 2004). Acacia Water (2012) geeft eveneens aan dat er kwel ontstaat doordat deze gronden vroeger zeebodems waren², waarbij zoutwater tot op grote dieptes in de grond is gedrongen. Om verzilting hier te voorkomen móét dus wel worden uitgespoeld. Duidelijk hieruit wordt dat de zoutindringing bij zeesluizen tegengehouden moet worden, omdat uitspoeling bij droogte nauwelijks mogelijk is. Het zoete water moet dan worden gebruikt voor drinkwatervoorziening en doorspoelen van door kwel bedreigde polders, zoals bij wet is vastgelegd.

Wanneer de zoutconcentraties exact een probleem vormen is nog niet precies duidelijk, er is in ieder geval bij droogte een te hoge concentratie zout in het Noordzeekanaal (Arcadis, 2011). De verschillende actoren langs het Noordzeekanaal hebben echter verschillende grenswaarden voor de zoutconcentratie, zo kan de land- en tuinbouw van nature weinig verdragen, terwijl aanliggende (haven)-industrie vanzelfsprekend weinig last heeft van hogere concentraties zout.

Oplossingen

In Nederland zijn reeds sluizen uitgerust met verschillende technieken om zoutindringing tegen te gaan. Zo wordt er al een bellenscherm toegepast in de Rozenburgsluis sinds 1971 en worden de Haringvlietsluizen afgesloten om voldoende uitspoeling over de Nieuwe Waterweg te behouden wanneer er droogte heerst. Naast deze maatregelen geeft Deltares (2014b) in het 'Deltafact zoutindringing' ook meer recente oplossingen aan. Zo is de Krammerjachtensluis in Terneuzen uitgerust met een combinatie van technieken zoals; een luchtbellenscherm, waterscherm, zoutvang, zoet-zout scheidingssysteem en een 'lekkende ebdeur'. Deze technieken zijn toegelicht in bijlage C.

Toepasbaarheid IJmuiden

De technieken uit bijlage C zijn ook toepasbaar in IJmuiden, omdat het eveneens een zeesluis betreft. De sluis in Terneuzen is wel een stuk kleiner (* 10) dan die in IJmuiden, waardoor een zoet-zout scheidingssysteem op de schaal van IJmuiden onmogelijk lijkt. Wanneer al het water vervangen moet worden per cyclus zal dit zeer lang duren en bovendien het schaarse zoete water verbruiken.

² Tijdens de eigen grondboringen zijn er in verschillende grondlagen schelpen aangetroffen die dit beeld bevestigen. De schelpen bevonden zich op dieptes vanaf NAP -6m, in de Wijkermeerpolder.

Alternatieven Deltares

In het huidige ontwerptraject worden verschillende alternatieven door Deltares onderzocht. Hierbij is het eerste alternatief het bellenscherm en het tweede een zoutvang, zoals beschreven in bijlage C. Er wordt ook gesproken over een combinatie van de zoutvang met 'selectief onttrekken' en 'uitstroom mengen' (Weiler O. , 2014). Deze worden toegelicht in hoofdstuk 4.

Deltares doet onderzoek naar oplossingen tegen zoutindringing op verschillende locaties in Nederland, bij de Krammerjachtensluis in Terneuzen, de Haringvlietsluizen en in de Nieuwe Waterweg, kijken zij naar de effectiviteit van oplossingen. Ook hebben ze een schaalmodel gemaakt van de nieuwe sluis in IJmuiden, om de schutcyclus te simuleren en de uitwisselingsstromen (zoutindringing) te berekenen. Deltares is door Rijkswaterstaat aangewezen om de zoutlekbeperkende maatregelen te ontwerpen voor de nieuwe zeesluis in IJmuiden.

Overigens is deze situatie voor de aanbestedende partij niet ideaal. Deltares heeft nog niet naar buiten gebracht welk alternatief geadviseerd gaat worden en met welke afmetingen. Hierdoor blijven er een hoop onzekerheden over bijvoorbeeld het bellenscherm. Deze wordt normaliter geplaatst ter hoogte van de sluishoofden, waar zich ook de omloopriolen bevinden voor het nivelleren van de kolk. Er moet dus in het ontwerp ruimte worden vrijgehouden, maar hoeveel precies is onbekend. Volgens Erwin de Jong van Geobest kan heel 2016 nog nodig zijn om het ontwerp af te maken, door de complexe raakvlakken met het zoutlekbeperkende systeem.

Grenswaarden

Met een grotere zeesluis bij IJmuiden neemt de zoutindringing toe op het Noordzeekanaal wanneer er geen maatregelen getroffen worden. De zoutlek van de huidige grootste sluis, de Noordersluis is gemiddeld 680 kg/s (kilogram zout dat er gemiddeld per seconde het Noordzeekanaal binnenkomt). De nieuwe sluis krijgt een zoutlek van 1045 kg/s, bijna het dubbele van de huidige (Deltares, 2014a). Om geen verdere problemen te laten ontstaan voor de actoren rond het Noordzeekanaal, wordt er in het Provinciaal Inpassings Plan (PIP) (RoyalHaskoning-DHV, 2014a) als grenswaarde van de zoutindringing de huidige zoutlek aangenomen. Deze zoutlek is echter reeds een probleem bij een laag debiet van het Noordzeekanaal en daarom moet er beter in kaart worden gebracht wat de daadwerkelijke grenswaarde is voor de verschillende actoren.

Ontbrekend onderzoek

In het beschikbare onderzoeksmateriaal wordt geen aandacht besteed aan welke zoutconcentraties daadwerkelijk voor problemen zorgen voor actoren aan het Noordzeekanaal en daarbuiten. Door deze concentraties in beeld te brengen kan worden vastgesteld waar de grens ligt voor de mate van zoutindringing onder verschillende omstandigheden (nat en droog scenario). Er moet gericht gekozen worden voor de meest effectieve oplossing tegen zoutindringing. Het verschilt namelijk per alternatief wat het effect is op de zoutconcentratie. Verschillen in de stromingsprofielen die ontstaan bij de alternatieven zijn hierop van grote invloed.

Leeswijzer

Het verslag start in het volgende hoofdstuk met de doelstelling, welke voortvloeit uit de problemen die in deze introductie zijn voorgedragen. Vervolgens worden onderzoeksvragen gedefinieerd die op volgorde behandeld worden. In de methode wordt verduidelijkt hoe er antwoord is gevonden op de vraagstellingen. De eerste hoofdvraag wordt beantwoord in de actorenanalyse, hoofdstuk 1. In de actorenanalyse worden de verschillende grenswaarden voor zoutconcentraties op bepaalde afstanden van de nieuwe zeesluis vastgesteld, waarmee de alternatieven van Deltares vergeleken kunnen worden. Hiertoe wordt allereerst een analyse gemaakt van de huidige situatie, hoofdstuk 2 en vervolgens worden de kritieke punten nader toegelicht. Uiteindelijk kunnen de alternatieven van Deltares hiermee vergeleken worden, waarna een advies kan worden gegeven welk alternatief het beste kan worden toegepast.



Doelstelling en onderzoeksvragen

Vanuit de probleemstelling kunnen doelstelling geformuleerd worden, de doelstelling van het onderzoek is tweeledig. Wanneer de eerste doelstelling is behaald kan deze worden toegepast in de tweede doelstelling.

Doelstelling 1

Kwantificeren van de maximaal toelaatbare zoutindringing op het Noordzeekanaal alvorens er schade optreedt.

Voordat een goed ontwerp kan worden gemaakt om de schade van zoutindringing te voorkomen moet eerst duidelijk zijn bij welke waarden van zoutconcentraties daadwerkelijk schade ontstaat. Er moet hiervoor onderzocht worden welke actoren er zijn rondom het Noordzeekanaal die hinder kunnen ondervinden aan een hoge zoutconcentratie in het oppervlaktewater en wat de maximaal toelaatbare concentraties hierbij zijn.

Doelstelling 2

Bestaande alternatieven toetsen aan de grenswaarden van maximaal toelaatbare zoutindringing.

Wanneer de eis gekwantificeerd is kunnen de alternatieven van Deltares worden getoetst. Dit zijn de alternatieven die Deltares ontwikkelt om toe te passen op de zeesluis, om zoutindringing te beperken. Hiervoor moet onderzocht worden welke zoutlast de alternatieven tot gevolg hebben en hoe deze waarden te vertalen zijn naar concentraties in het oppervlaktewater nabij de actoren.

Onderzoeksvragen

De doelstellingen leiden tot de volgende onderzoeksvragen:

Hoofdvraag 1

Wat zijn, afhankelijk van de actoren, de grenswaarden van zoutconcentraties op verschillende afstanden van de sluis op het Noordzeekanaal? (**Hoofdstuk 1; Actorenanalyse**)

Deelvragen

- ▣ Welke actoren aan het Noordzeekanaal kunnen hinder/schade ondervinden aan een hoge zoutconcentratie?
- ▣ Wat zijn grenswaarden voor zoutconcentraties voor de verschillende actoren?

Hoofdvraag 2

Welk ontwerpalternatief voor de zeesluis bij IJmuiden heeft naar verwachting de minste schade door zoutindringing tot gevolg? (**Hoofdstuk 5; Advies**)

Deelvragen

- ▣ Hoe verhouden de verwachte zoutconcentraties op het Noordzeekanaal per alternatief zich tot de grenswaarden op de verschillende locaties langs het Noordzeekanaal? (**Hoofdstuk 2 en 4; Huidige situatie en alternatieven Deltares**)
- Voor slechts de kritieke punten langs het Noordzeekanaal:
 - ▣ Hoe vertaalt de verwachte zoutconcentratie op het Noordzeekanaal zich naar een daadwerkelijke zoutconcentratie op het perceel van de actor? (**Hoofdstuk 3; kritieke punten**)



Methode

In dit hoofdstuk wordt per hoofdstuk uitgelegd hoe deze is aangepakt en welke aannamen er daarbij zijn gemaakt. Er wordt ook duidelijk gemaakt waarom bepaalde keuzes in het onderzoeksproces zijn gemaakt. Onderstaande volgorde is die van het verslag, startend met het in kaart brengen van de actoren.

Onderzoek

Actorenanalyse

Een analyse van de actoren is door middel van literatuuronderzoek beantwoord. Hiervoor is voor de start van de stageperiode al veel informatie verzameld. Door middel van een analyse met satellietbeelden (Google, 2015) is een eerste inschatting gemaakt van de actoren aan het Noordzeekanaal. Met behulp van bestemmingsplannen (Kadaster & geonovum, 2015) van omliggende gemeenten, zie bijlage D, is deze uitgebreid en geverifieerd. Bij het bezoek aan het studiegebied is deze verder verfijnd.

Nadat door de uitgebreide analyse de actoren in beeld zijn gebracht worden de bijbehorende grenswaarden van zoutconcentraties in literatuur opgezocht. Deze zijn gekoppeld aan een afstand vanaf de zeeluis, waarbij een scheiding wordt gemaakt tussen binnen- en buitendijkse grenswaarden. Een lijst met maatgevende grenswaarden is het eindproduct en tevens het antwoord op de eerste hoofdvraag. Bij de stap naar maatgevende grenswaarden zijn veel waarden weggevallen. Deze zijn overbodig, omdat een voorgaande grenswaarde al strenger/lager is.

De grenswaarden worden in promillages (‰) uitgedrukt, een omrekening naar andere gebruikelijke waarden is te vinden in bijlage F. Voor de zeer diverse land- en tuinbouw wordt in dit hoofdstuk nog niet ingegaan op één vaste grenswaarde, omdat er een grote spreiding is tussen de diverse gewassen.

Huidige en toekomstige situatie

Het tweede deel van het onderzoek complexer. Al voor de stage is gestart, is er veel contact geweest met betrokken partijen. Vooral Deltares heeft veel informatie verstrekt en ir. Otto Weiler in het bijzonder. Hij is verantwoordelijk voor de advisering van de zoutlekbeperkende maatregelen bij de nieuwe zeeluis. Om een beeld te krijgen van de impact van deze maatregelen wordt eerst de situatie op het Noordzeekanaal van dit moment geanalyseerd en vertaald naar een grotere sluis, zonder zoutbeperkende maatregelen. Er zijn hierbij onderzoeken van Deltares en Arcadis gebruikt. Zij hebben beide diverse studies gedaan naar de zoutconcentraties op het Noordzeekanaal.

Van de alternatieven van Deltares zijn nog geen kwantitatieve berekeningen beschikbaar. Wel zijn er rapporten die de werking van de alternatieven uitleggen en beredeneren: (Weiler & Uittenbogaard, 2014; Uittenbogaard, 2013; Weiler en Cornelisse, 2014). Van hieruit is een kwantitatieve benadering gemaakt.

De gekwantificeerde alternatieven van Deltares zijn vervolgens getoetst aan de grenswaarden van hoofdvraag één. De conclusie is een advies voor uitvoering van één van de zoutlekbeperkende maatregelen.

Kritieke punten

Uit het eerste hoofdstuk komt een lijst kritieke locaties naar voren. Bij de kritieke punten binnendijkse locaties (dus in de polder) moet een relatie worden gelegd tussen de zoutconcentraties in de grond (het grondwater) en de zoutconcentraties die op hetzelfde moment worden gemeten in het Noordzeekanaal. Hiervoor heeft veldwerk plaatsgevonden om de ondergrond te classificeren en de dijkprofielen in te meten. De eigen grondboringen zijn uitgebreid met gegevens van DINOloket (TNO, 2015). Met deze gegevens is vervolgens het theoretische kweldebiet door de dijken op de kritieke plaatsen bepaald. Tijdens het veldwerk zijn ook watermonsters genomen waarvan de zoutconcentraties zijn bepaald. De monsters zijn genomen om de loop van de zoutconcentraties over

de lengte van het Noordzeekanaal en de Ringvaart te verifiëren en de zoute kwel door de kritieke dijkvakken te kunnen bevestigen.

Alternatieven Deltares

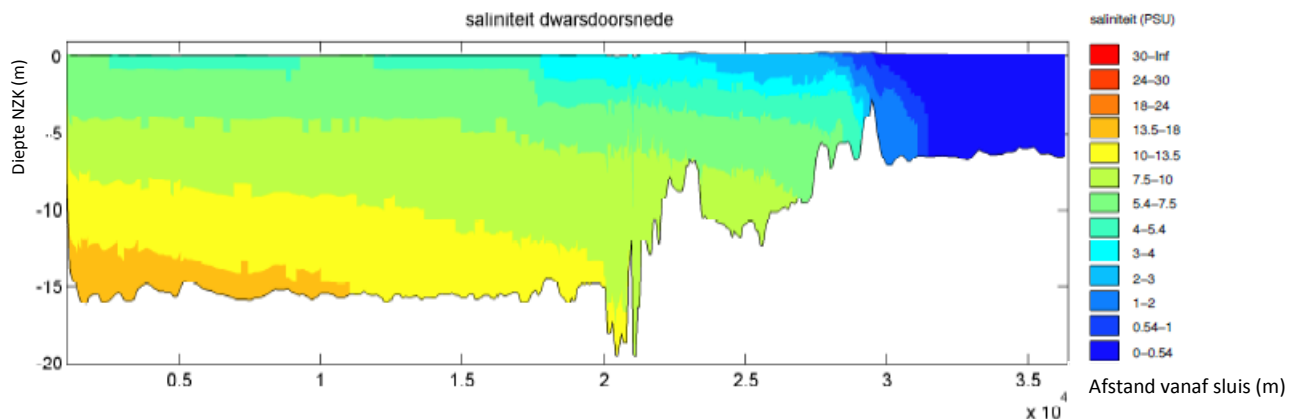
Deltares heeft verschillende mogelijkheden om de zoutindringing te beperken in onderzoek. Hiervan zijn nog geen kwantitatieve berekeningen beschikbaar, maar met behulp van stromingsprofielen van Kikkert (2011) en verwachtingen van concentraties bij verschillende alternatieven (Uittenbogaard, 2013) (Weiler, 2014) kan een verwachting worden geschetst. Bij deze verwachtingen kunnen vervolgens maatgevende grenswaarden worden geplaatst en geanalyseerd in hoeverre aan deze waarden wordt voldaan. Van hieruit kan een advies worden gegeven welk alternatief het beste kan worden gerealiseerd, om schade door zoutindringing te voorkomen.

Grootheden en eenheden

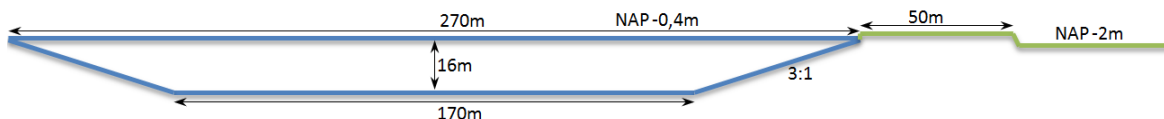
Zoutconcentraties Noordzeekanaal

Er is gekozen voor het gebruik van promillage voor het aangeven van zoutconcentraties. Een uitgebreide onderbouwing is te vinden in bijlage F. Er wordt hier eveneens een verrekening aangeboden naar andere gebruikelijke concentratieaanduidingen.

De zoutconcentraties waarover in deze scriptie worden gesproken zijn concentraties verlopend met de diepte. De zoutconcentratie is namelijk sterk toenemend met de diepte; aan het oppervlak bij de sluizen is de concentratie ongeveer 8‰, terwijl op de bodem van het Noordzeekanaal de concentratie tot wel 18‰ oploopt (Arcadis, 2011), zie figuur 3. De oorzaak hiervan is het dichtheidsverschil tussen zoet en zout water. In figuur 4 is een doorsnede van het Noordzeekanaal op een afstand van 5km van het sluizencomplex weergegeven. Dit is ongeveer maatgevend voor de rest van het kanaal op de eerste 10 km (Rijkswaterstaat, 1979). Tussen het Noordzeekanaal en de naastliggende polders zal een (zoute) kwelstroom gaan plaatsvinden, welke in hoofdstuk 3 uitgebreid wordt toegelicht. Voor deze kwelstroom is de zoutgradiënt met de diepte van belang.



Figuur 3 Situatie 2008 in PSU (Zie bijlage D). Rechts Amsterdam, links het sluizencomplex. Bron: (Arcadis, 2011)



Figuur 4 Dwarsdoorsnede op km 5, van zuid naar noord (vlnr)

De wisselende concentraties met de diepte zijn van belang voor de berekening van de verschillende kweldebieten (volgt in hoofdstuk 3.4). De kwel door de dijk zal de gemiddelde zoutconcentratie van de doorsnede hebben, omdat deze over de hele zijkant van het kanaal lekt, terwijl de kwel door het watervoerend pakket door de onderkant van het Noordzeekanaal lekt en zodoende de hoogste concentratie heeft.

Afstanden vanaf zeesluis

De afstanden vanaf het sluizencomplex bij IJmuiden zijn gemeten vanaf de Zuider- en kleine sluis. Dit zijn de oudste sluizen van het complex en liggen bovendien het verst naar het westen. De lengte van het Noordzeekanaal is hier dus op zijn langst. De afstanden waarover in deze scriptie worden gesproken zijn afstanden vanaf hier gemeten en de Noordersluis ligt dus al een kilometer in het Noordzeekanaal. Er is mede voor deze aanname gekozen omdat het gebruikelijk is in andere rapporten (Arcadis, 2011; RoyalHaskoning-DHV, 2014a).

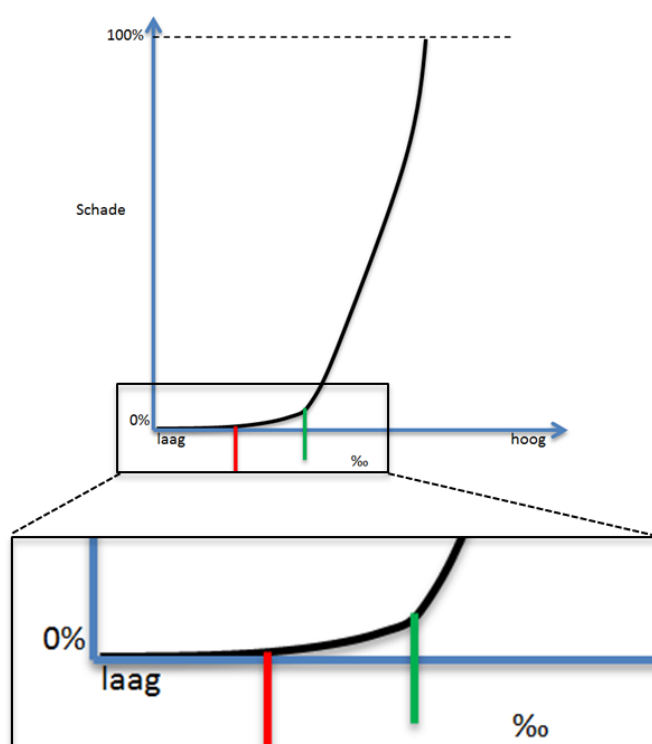
Afmeting zeesluis

Zoals te lezen is in de introductie staat de breedte van de sluis nog niet vast. De aanbiedende partij krijgt een 'korting' wanneer zij de sluis breder kunnen construeren. De minimale afmeting is 65 meter, de maximale 70 meter. In dit onderzoek is uitgegaan van 65 meter, omdat de ruimte tussen de sluizen zeer klein is en de 70 meter brede sluis naar alle waarschijnlijkheid niet gehaald zal worden.

Schadedrempel gewassen

De agrarische sector kan kortweg worden onderverdeeld in een zestal categorieën; de akkerbouw, grasboeren(weidebouw), veeteelt, glastuinbouw, bollenteelt en boomkwekerijen. De promillages van de verschillende agrarische activiteiten verschillen sterk en daarom worden de activiteiten apart uitgewerkt. Er is gewerkt met de zogenaamde schadedrempel, wanneer de zoutconcentratie in de ondergrond hoger wordt dan deze waarde zal er schade ontstaan en ook toenemen met de concentratie (Ayers & Westcot, 1994).

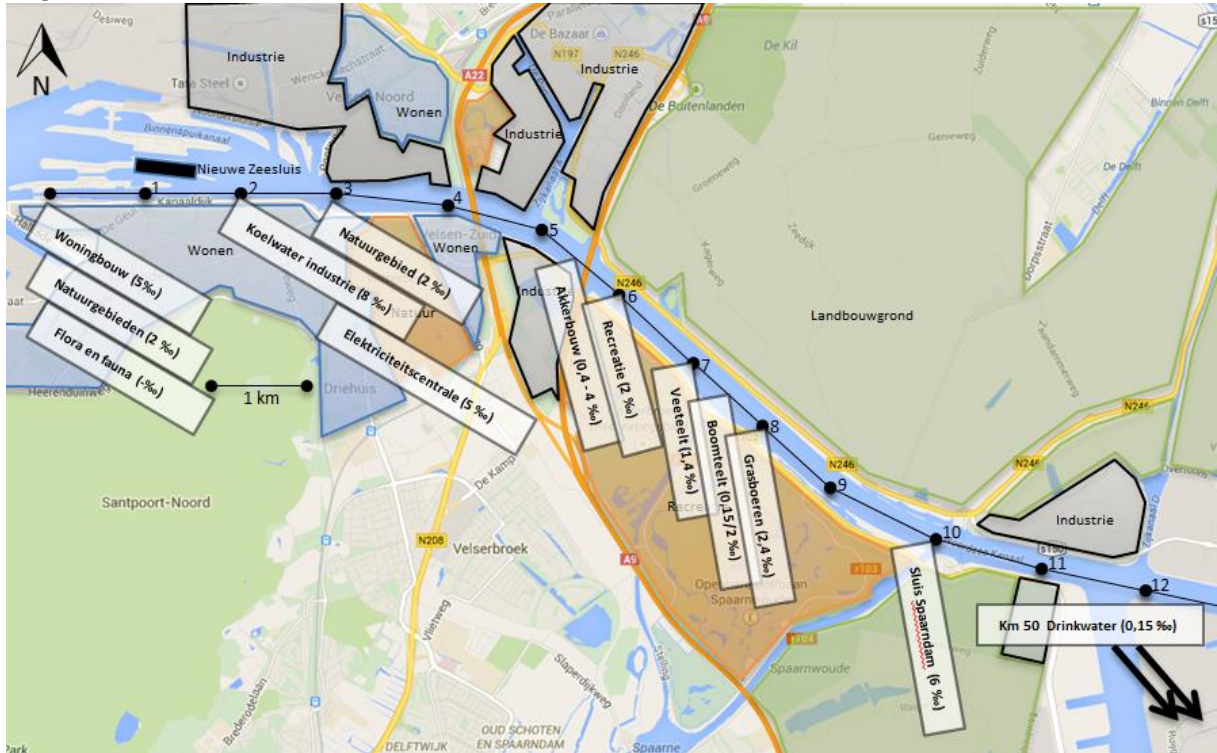
Andere onderzoeken (Bakel & Stuyt, 2011) gaan uit van mogelijk nog lagere grenswaarden dan in deze scriptie aangenomen. De schade bij deze verlaagde drempel is echter nog zo klein, dat deze niet significant is. De grenswaarden in deze scriptie zijn waarden waarbij de schade aan de gewassen direct significant aanwezig is. In figuur 5 is dit geïllustreerd aan de hand van een groene en een rode lijn. De groene lijn is de schadedrempel die in dit onderzoek wordt aangehouden, de rode lijn zijn de 'nieuwste' inzichten. De onderste figuur is ter verduidelijking een uitvergroting van degene erboven.



Figuur 5 Schadedrempel bij gewassen

1. Actorenanalyse

Om een beeld te krijgen van de verschillende grenswaarden van zoutconcentraties wordt allereerst een actorenanalyse uitgevoerd. In figuur 6 staat een samenvatting van de grenswaarden voor de verschillende actoren. De maatgevende grenswaarden zijn samengevat in tabel 1. Er is hierbij duidelijk aangegeven welke waarden binnen- en buitendijks zijn. Deze zijn in hoofdstuk 4 van waarde voor het vergelijken met de alternatieven van Deltares. In bijlage P is een figuur 6 in tabelvorm uitgewerkt.



Figuur 6 Actoren langs het Noordzeekanaal met bijbehorende grenswaarden voor de zoutconcentratie

Tabel 1 Maatgevende grenswaarden op het Noordzeekanaal

Afstand vanaf sluis	Grenswaarde zout‰	Actor	Dijkvak
3 km	8‰	Koelwater	
3,5 km	2‰ (binnendijks)	Natuur	Dijk IJmuiden- Velsen
5,5 km	0,4-4‰ (binnendijks)	Akkerbouw	Dijk Wijkermeerpolder
10 km	6‰	Bollenteelt	
50 km	0,15‰	Drinkwater	

1.1 Agrarische sector

De landbouw aan het Noordzeekanaal is gelegen tussen ongeveer 4 en 10 km van het sluisencomplex direct aan het Noordzeekanaal. Na 10 km begint het westelijk havengebied van Amsterdam. De landbouwgrond is voornamelijk gelegen aan de Noordzijde van het Kanaal, in de gemeente Assendelft. Er zijn verschillende agrarische activiteiten, er is glastuinbouw, veeteelt, akkerbouw, hooigrond en boomkwekerijen.

Locatie

Polders

De polders waarin deze agrarische activiteiten plaatsvinden liggen op dieptes van gemiddeld ongeveer NAP -1,5m aflopend tot NAP -2,7m (TNO, 2015). De grootste polder is het vroegere Wijkermeer, destijds het einde van de zeearm het IJ, die via de Zuiderzee in open verbinding stond met de Noordzee. Dit is interessant omdat dit betekent dat de zoutconcentraties in de ondergrond al aanwezig zijn vanuit de (vroegere) historie. Een zogenaamde zoetwaterlens houdt het zoute water van



het oppervlak vandaan. Een zoetwaterlens is een ‘bel’ zoetwater onder het maaiveld dat door zijn lagere soortelijke gewicht drijft bovenop het zwaardere zoute water. Bij aanhoudende droogte zou dit kunnen betekenen dat de lens dunner wordt (Oude Essink, 2015) en het zoutwater dichterbij het oppervlak komt met schade aan landbouwgewassen tot gevolg. Dit proces wordt beschreven door de Louw (2015) en versterkt het probleem.

Verder dan deze 10 km op het Noordzeekanaal ligt vlak voor het westelijk havengebied aan zuidzijde de Houtrakpolder. Deze polder is dieper dan voorgaande, met een gemiddeld maaiveld op NAP -2,7m (TNO, 2015). Er is hier met name veeteelt.

Achter het westelijk havengebied van Amsterdam ligt aan noordelijke zijde de Westzanerpolder. Deze polder ligt tussen NAP -1m en -1,5m en er wordt voornamelijk veeteelt bedreven. Ook deze gebieden hebben invloed van het Noordzeekanaal, want Royal Haskoning-DHV (2014b) geeft aan dat de kwel tot vijf kilometer landinwaarts te merken is, wat betekent dat alle landbouwgrond van het studiegebied (Bijlage E) hier mee te maken heeft.

Bollenstreek

Een bijzondere vorm van agrarische activiteit bevindt zich op een afstand van ruim 20 km van het Noordzeekanaal. Achter de sluis bij Spaarndam bevindt zich de boezem van Rijnland en deze loopt door de Bollenstreek bij Lisse. In droge periodes kan een verhoogde zoutconcentratie worden gemeten bij Lisse. De bloembollen zijn echter zeer gevoelig voor zout water en zodoende vormt het een punt van aandacht.

Grenswaarden

Akkerbouw

Voor de verschillende soorten akkerbouw verschillen de grenswaarden van zoutconcentratie. Tanji & Kielen (2002) geven aan dat de grenswaarde van zoutconcentratie voor pootaardappelen met 0,8‰ laag is. Uien kunnen nog minder verdragen, suikerbieten juist meer, 5‰. DHV (2012) spreekt in de deelrapportage water over een maximaal toelaatbare zoutconcentratie van 1,2‰ voor de akkerbouw. Hier wordt echter niet het onderscheid gemaakt tussen beregeningswater en oppervlaktewater. Beregeningswater (of irrigatiewater) heeft een concentratie waarbij schade optreedt die gemiddeld een factor 3 á 4 lager ligt dan oppervlaktewater (Dam, Clevering, Voogt, Aendekerk, & Maas, 2007). Beregeningswater verschilt van oppervlaktewater, omdat beregeningswater op het areaal verdampt en het zout achterlaat. Dit gebeurt in mindere mate bij oppervlaktewater. Grofweg is het promillage waarbij schade ontstaat voor akkerbouw tussen de 0,4‰ en 4‰. De grenswaarden gelden op het eigen areaal, binnendijs.

Gras

Voor hooiboeren is het gras maatgevend voor de grenswaarde. Gras groeit normaal tot een promillage van 2,4 wat matig tolerant voor zout betekent (Roest, van Bakel, & Smit, 2003). Voor veeteelt is het van belang dat het drinkwater een lage zoutconcentratie heeft. Reeds bij milde overschrijdingen kan het schadelijk zijn voor melkgevende en drachtige dieren (DGZ, 2015). Voor de verschillende dieren zijn grenswaarden opgesteld voor chlorideconcentraties. In tabel 3 zijn deze weergegeven inclusief omrekening naar zoutconcentratie, zoals wordt toegelicht in bijlage G.

Tabel 2 Grenswaarden concentraties drinkwater voor verschillende soorten vee, bron (DGZ, 2015)

	Chloridepromillage	Zoutpromillage
Varkens	1‰	1,4‰
Pluimvee	0,25‰	0,35‰
Kalveren	1‰	1,4‰
Koeien	2‰	2,8‰



Uitgaande van deze gegevens kunnen we stellen dat voor hooiboeren een zoutconcentratie van 2,4‰ de grens is en voor veeteelt 1,4‰, aangezien er geen pluimvee wordt gehouden in het studiegebied. Er is hierbij uitgegaan van drinkbaar slootwater voor het vee.

Glastuinbouw

De glastuinbouw is precair, een gemiddelde van 0,3‰ zout mag er in het irrigatiewater zitten alvorens er schade optreedt (Sonneveld, 1988). Dit geldt voor gewassen als paprika's, tomaten en aardbeien, die veel op Nederlandse grond geteeld worden. Voor sierbloemen als gerbera's en orchideeën is een promillage van 0,1 al schadelijk (Sonneveld & Voogt, 1983).

Echter, de grootste glastuinbouwer langs het Noordzeekanaal, firma Corn. Bak B.V., geeft aan dat zij voor de beregening van de gewassen zoveel mogelijk gebruik maken van regenwater dat op de kassen valt, om zo geen (mogelijk) brak oppervlaktewater te hoeven gebruiken. We kunnen uitgaan van een grenswaarde van 0,3‰, maar deze zal niet maatgevend zijn.

Bollenteelt

Bloembollenteelt is zoals in de actorenanalyse aangegeven eveneens zeer gevoelig. De grenswaarde loopt van slechts 0,04‰ voor irissen tot 0,2‰ voor hyacinten (Ploegman, 1977). Gemiddeld wordt een concentratie van 0,1‰ aangenomen.

Bij droogte zijn maximale concentraties gemeten in het Spaarne (boezem) van 1,0‰ en bij Lisse van 0,5‰. Deze waarden zijn te hoog voor de aanliggende bollenvelden en brengen een schade toe van €24 miljoen in het 10% droogtejaar 1989 (Stuyt, et al., 2013). Een 10% droogtejaar betekent dat deze elke 10 jaar voorkomt. Het probleem is dus reeds aanwezig en zonder zoutbeperkende maatregelen zal het nog verder gaan toenemen.

Grenswaarde

Om met de nieuwe zeesluis rekening te kunnen houden met de schade in Bollenstreek moet de grenswaarde bij Lisse worden gerelateerd aan een grenswaarde in het zijkanaal C. De huidige gemiddelde concentratie is reeds de grenswaarde voor schade aan de bloembollen. Wanneer het debiet lager wordt door droogte, neemt de zoutconcentratie op achtereenvolgens het Noordzeekanaal, het Spaarne en bij Lisse toe. Deze toename is door Deltares (2014b) berekend als relatief groot. De toename bij Lisse is vijf maal de huidige zoutconcentratie, wanneer het op het Noordzeekanaal 1,5‰ (éénvierde toename) toeneemt. Om deze concentratieverhoging te voorkomen moet de toekomstige maximale concentratie gelijk worden aan de huidige gemiddelde concentratie, dus 2‰ op het zijkanaal C, buitendijks. In tabel 4 zijn deze waarden samengevat.

Tabel 3 Maximale zoutconcentraties voor bollenteelt en eigen metingen d.d. 5 mei 2015, zie bijlage M.

Plaats	Maximaal toelaatbare zoutconcentratie	Bron	Eigen metingen
Noordzeekanaal (km 10)	6 ‰	(Arcadis, 2011)	4,1 ‰
Zijkanaal C	2,1‰	(Deltares, 2014b)	2,5 ‰
Spaarne	0,4‰	(Deltares, 2014b)	0,4 ‰
Lisse	0,1‰	(Deltares, 2014b)	0,2 ‰

Boomteelt

De laatste agrarische activiteit is de boomteelt, voor boomkwekerijen telt gemiddeld een zoutconcentratie waarbij schade ontstaat van 0,15‰ (Alterra, 2013). Voor bomen in het algemeen telt een promillage van ongeveer 2‰ alvorens er schade optreedt (Aendekerk, 2000). Deze zal van belang zijn voor de natuurgebieden.



1.2 Waterinnamepunt Amsterdam-Rijnkanaal

Op een afstand van 50 km van de sluizen bij IJmuiden wordt drinkwater gewonnen bij Nieuwersluis aan het Amsterdam-Rijnkanaal (Rijkswaterstaat, 2013). Op het Noordzeekanaal zelf is het water te zout voor drinkwaterwinning. Omdat het Amsterdam-Rijnkanaal in open verbinding staat met het Noordzeekanaal kan een grotere zoutindringing bij de sluizen in IJmuiden problemen opleveren voor de drinkwaterwinning. In het Provinciaal Inpassing Plan (PIP) (RoyalHaskoning-DHV, 2014a) wordt aangegeven dat een uitvoering van de sluis zonder zoutlekbeperkende maatregelen om deze reden geen optie is.

Rijkswaterstaat (2004) heeft eisen gesteld aan de chlorideconcentraties aan het begin van het Amsterdam-Rijnkanaal. Op kilometer 3,5 vanaf Amsterdam geldt een limiet van 0,2‰ zout en deze grenswaarde geldt ook voor het Buiten-IJ. Op het Amsterdam-Rijnkanaal geldt ter hoogte van Nieuwersluis een limiet van 0,15‰ voor de drinkwaterwinning. Deze waarde is bij wet vastgelegd in het drinkwaterbesluit (Rijksoverheid, 2011).

1.3 Waterbeheersingpunten (inlaten/sluizen)

In het Waterakkoord voor het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal (Rijkswaterstaat, 2013) is vastgesteld welke aan- en afvoeren er op de kanalen geloosd of afgenomen mag worden. De gemalen van Rijkswaterstaat pompen water uit de polders naar het Noordzeekanaal. De grote gemalen, Halfweg, Zaandam en Spaarndam hebben geen invloed op zoutconcentraties in het achterland, omdat er via deze routes nooit water wordt teruggevoerd. Bij grote droogte worden de polders namelijk doorgespoeld vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal en het Markermeer (HHNK, 2014). De sluizen zijn hierbij interessanter, gezien het schutproces waarbij zoutwater in het achterland lekt. Het betreft hier de sluizen van Spaarndam en in mindere mate Nauerna en Zaandam (HHNK, 2008a). Nauerna is een kleine sluis met zodoende minder uitwisselingsvolume en Zaandam ligt verder op het Noordzeekanaal waar de zoutconcentratie lager is. Zie bijlage H voor ligging gemalen en sluizen

Sluis Spaarndam

Het boezemwater van Rijnland (onder andere de Haarlemmermeer) staat met het gemaal en de sluis bij Spaarndam in verbinding met het Noordzeekanaal. De verbinding naar het Noordzeekanaal is het zogenaamde zijkanaal C. Dit kanaal splitst af van het Noordzeekanaal op 10 km afstand van de zeesluizen. Over het zijkanaal C is aanvullend onderzoek gedaan door Deltares, omdat blijkt dat dit een gevoelig punt is wanneer de sluis wordt vergroot. Bij toenemende zoutconcentratie op het Noordzeekanaal zal er meer zoutwater op de Rijnlandse boezem komen (Deltares, 2014b). Deltares spreekt in het geval van droogte en een groot aantal (recreatieve) schutcycli 's zomers, over een toename van 90% in de zoutlek van de sluis. De Bollenstreek ligt in het Hoogheemraadschap van Rijnland welke bekend staat om de gevoelige bloembollen. Lisse is de kern van de Bollenstreek en ligt op ruim 20 km van de sluis bij Spaarndam.

De sluis bij Spaarndam wordt reeds in de eerste planstudie (DHV, 2012) genoemd als risicopunt, met name door de achterliggende polders met de gevoelige bloembollenteelt. Bloembollen kunnen zoals aangegeven slechts een lage zoutconcentratie hebben, van ongeveer 0,1‰ (Ploegman, 1977). De zoutconcentraties op het Zijkanaal C zijn in de huidige situatie ongeveer 2‰, met uitschieters tot 3,6‰ (Deltares, 2014b). Volgens Deltares groeit de zoutconcentraties bij een grotere sluis met ongeveer 1,5‰ op het Noordzeekanaal en het Zijkanaal C. Dit betekent dus ongeveer een verdubbeling van de zoutconcentratie bij Spaarndam. De zoutconcentratie achter de sluis op het Spaarne is nu gemiddeld 0,4‰, wat resulteert in een zoutconcentratie in Lisse (hart van de Bollenstreek, zie ook figuur 16 in bijlage K onderzoeksopzet) van 0,1‰.



1.4 Natuurgebieden

Zuid-Kennemerland

Het grote natuurgebied nationaal park Zuid-Kennemerland ligt zuidelijk van IJmuiden en het sluizencomplex. Het gebied is een samenwerking van verschillende terreinbeheerders, zoals Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer en gemeenten. Het gebied onder IJmuiden heeft waarschijnlijk geen invloed van het kanaal, omdat dit relatief een grote invloed heeft van de Noordzee en bovendien hoog ligt. Uit ondergrondgegevens van DINOloket (TNO, 2015) blijkt dat dit gebied op hoogtes ligt van minimaal NAP +6m, zie ook bijlage E.

Parken

Er zijn twee parken aan het Noordzeekanaal, beide eigendom van gemeente Velsen; het Wijkeroogpark en de Velserbeek. De laatste heeft verschillende landgoederen en bestaat voornamelijk uit bos, het Wijkeroogpark is een stuk kleiner (Gemeente Velsen, 2013).

Uit de analyse blijkt dat het Velserbeek het enige natuurgebied is dat onder invloed van de zoutconcentratie op het Noordzeekanaal schade op kan lopen. Hier is de zouttolerantie voor bomen van kracht, 2,0‰ (Aendekerk, 2000).

1.5 Recreatie

Recreatieschap Spaarnwoude

De Zuidspaarndammerpolder (Buitenhuizen) is eigendom van Recreatieschap Spaarnwoude. Deze polder wordt in het PIP (RoyalHaskoning-DHV, 2014a) genoemd als plek waar de grondwaterkwaliteit als gevolg van een nieuwe grotere zeesluis achteruit zal gaan. In deze polder wordt gerecreëerd. Zo zijn er onder andere twee skeelerroutes, een golfterrein, campings, een vakantiepark en een jachthaven. Noordwest van Buitenhuizen ligt Oosterbroek, de oude Spaarndammerpolder. Hier zijn eveneens talloze recreatieve activiteiten (onder andere een skibaan) en deze is ook eigendom van Recreatieschap Spaarnwoude. Het recreatieterrein kan schade oplopen aan bomen door de zoutindringing, verder zijn er geen problemen te verwachten.

Golfterreinen

Er zijn nog twee golfterreinen gelegen op ongeveer 11 km afstand van de sluizen bij IJmuiden, ten zuiden van het havengebied van Amsterdam. De golfterreinen van de Amsterdamse golfclub en golfclub Houtrak liggen noordelijk van het recreatiegebied Spaarnwoude, welke wederom door Recreatieschap Spaarnwoude wordt beheerd. In het beheersingsplan van de Amsterdamse golfclub wordt aangegeven dat het beregeningswater van de Houtrak komt. De afstand tot het Noordzeekanaal is hier relatief groot. Golfbaan Spaarnwoude ligt in de Zuidspaarndammerpolder en treft maatregelen om verzilting tegen te gaan. De Boer (2012) spreekt in het golfblad Greenkeeper over de bijzondere oplossing om met het gebruik van koelwater de golfbanen tegen verzilting te beschermen. Droogte kan hierbij voor problemen zorgen.

De recreatieterreinen aan het Noordzeekanaal krijgen bij een vergrootte sluis te maken met een hogere zoutconcentratie, wanneer er geen zoutbeperkende maatregelen worden genomen. Met name de bebossing zal hierdoor schade oplopen. Bomen hebben een zouttolerantie van ongeveer 2 ‰ (Aendekerk, 2000). Andere activiteiten die plaatsvinden op deze grond hebben geen directe schade als gevolg van een verhoogde zoutconcentratie.



1.6 Vastgoed

Gewapende betonconstructies kunnen worden aangetast door chloriden. Zeezout bestaat voornamelijk uit natriumchloride welke oplost in natrium- en chlorideatomen. De chloriden hebben schadelijke gevolgen voor het wapeningsstaal (Gemert & Schueremans, 1997). Een toenemende zoutconcentratie in het grondwater kan dus meer corrosie tot gevolg hebben. De woonwijken in IJmuiden ten zuiden van het sluizencomplex hebben de grootste invloed van het zoute/ brakke water van het Noordzeekanaal.

Naast deze kans op betonrot moet er ook rekening gehouden worden met corrosie op andere materialen. Chloride heeft een negatieve invloed op onder andere; koper (gevoelig voor erosiecorrosie), gietijzer en staal (Clignett & Heselmans, 2015). Zij geven ook aan dat wisselende chlorideconcentraties slecht zijn.

Corrosie

Er bevinden zich woonwijken bij het begin van het Noordzeekanaal (bijlage B), rondom het sluizencomplex. Hier heeft het water de hoogste zoutconcentratie, maar liggen de woningen wel boven zeeniveau. Aangezien de ondergrond in IJmuiden voornamelijk uit zand bestaat (TNO, 2015), zal er toch gemakkelijk zoutwater doorspoelen richting de funderingen van de huizen met mogelijk corrosie tot gevolg. Wanneer door chloride-ionen het wapeningsstaal wordt aangetast, ook als dat beschermd is tegen corrosie met een oxidelaag, kan (put)corrosie ontstaan (Gemert & Schueremans, 1997). Voor de civiele werken als het sluizencomplex en de Wijker- en Velsertunnel zijn geen problemen te verwachten, omdat deze zijn gebouwd voor een agressief milieu.

Milieuklasse

De kritische chlorideconcentratie in gewapend beton hangt af van de milieuklasse waarin het is uitgevoerd. Waarschijnlijk zijn de meest voorkomende milieuklassen in IJmuiden XS-1 en XS-2, respectievelijk in zouthoudende lucht en blijvend in zeewater (Braam, 2011). Volgens Angst & Vennesland (2009) zijn de kritische chlorideconcentraties voor XS-1, 5‰ en voor XS-2, 8‰ alvorens er schade optreedt. Deze waarden gelden voor de concentratie binnendijks.

Schade

In 2009 is een persleiding gebroken die onder het Noordzeekanaal loopt. De breuk was op de noordoever. Na analyse bleek dat de gietijzeren leiding slechts van de buitenzijde gecorrodeerd was (Jonker & Kunst, 2011). De gevolgen waren meer dan een miljoen euro schade en enkele dagen geen treinverkeer. Het zoute grondwater speelt hierbij zonder twijfel een rol. Wanneer de concentraties toenemen, kunnen dergelijke problemen vaker voorkomen.

1.7 Koeling industrie

Er zijn verschillende afnemers van koelwater aan het Noordzeekanaal. Er zijn drie energiecentrales; Amsterdam(Hemweg), AVI en Velsen. De AVI is een afvalenergiecentrale en eigendom van gemeente Amsterdam (AEB Amsterdam, 2015). De beide andere centrales zijn eigendom van NUON (NUON, 2015). Bovendien gebruiken aanliggende industrieën koelwater, waarbij TATA steel de grootste is. In de eerste planstudie Zeetoegang IJmuiden (DHV, 2012) wordt vermeld dat 60% van het debiet van het Noordzeekanaal voor koelwater wordt gebruikt, TNO (2003) bevestigt dit.

Corrosie en afzetting

Uit een onderzoek naar koelsystemen door TNO (1991) blijkt dat hogere zoutconcentraties in koelwater verschillende negatieve gevolgen hebben. Allereerst is toenemende corrosie een probleem, alsmede afzetting van zout op hete oppervlakken in het koelsysteem. Ook is er een beperkte mogelijkheid tot gebruik van maatregelen om groei van organismen tegen te gaan. Zo kan er geen ozon en UV bestraling worden toegepast, echter is dit nu reeds het geval en verandert deze situatie niet bij een groeiende zoutindringing.



Met name de energiecentrale bij Velsen gebruikt veel, relatief zout koelwater uit het Noordzeekanaal op een afstand van 3 kilometer van de sluisen. TATA steel gebruikt zout grondwater waarbij een toenemende zoutconcentratie op het Noordzeekanaal weinig invloed zal hebben. De energiecentrale Amsterdam (Hemweg) en AVI liggen op een grotere afstand, ongeveer 14km, en hebben daardoor minder te maken met de invloed van zouter oppervlaktewater. Energiecentrale Velsen gebruikt net als Amsterdam Hemweg éénderde van het gehele koelwaterdebiet. De overige industrieën en AVI zijn verantwoordelijk voor de rest (TNO, 2003).

Er is bekend dat koelwater met hogere chlorideconcentraties meer corrosie tot gevolg heeft (Gemert & Schueremans, 1997). Het koelwater dat gebruikt wordt heeft op dit moment bij IJmuiden en Velsen een zoutpromillage van ongeveer 8‰. Wanneer dit gekoppeld wordt aan de milieuklasse van beton dan is dit promillage gelijk aan de grenswaarde voor milieuklasse XS-2, alvorens er corrosie optreedt (Angst & Vennesland, 2009). Er zijn geen berichten over corrosieschade voorhanden, er kan dus vanuit gegaan worden dat bij een gelijkblijvende concentratie de problemen niet zullen ontstaan. TATA steel maakt reeds gebruik van een tweederde deel zeewater voor koeling. De rest wordt opgepompt uit de grond en dus zal een zoutconcentratie verhoging in het Noordzeekanaal op deze industrie weinig invloed hebben. De gehele koelinstallatie van dit bedrijf is gemaakt voor hoge chlorideconcentraties (TATA Steel, 2012).

1.8 Flora en Fauna

Zoet-zoutovergang

In het Noordzeekanaal is een bijzondere zoet-zoutovergang, wat brakwatervissen ten goede komt. In feite is het een natuurlijkere overgang dan wanneer er geen zoutwater uit de Noordzee zou doorspoelen. In het PIP (RoyalHaskoning-DHV, 2014a) en het deelrapport natuur (RoyalHaskoning-DHV, 2014b) wordt gesproken over een geringe verbetering van de ecologische functie van het Noordzeekanaal bij een vergroting van de zeesluis.

Koelwater

Er zijn ook rapporten waaruit blijkt dat een hogere zoutconcentratie schadelijk kan zijn voor vissen. TNO (2003) geeft aan dat vissen zich graag in het gechlloreerde, gebruikte koelwater begeven. Met een verhoogde zoutconcentratie (eveneens chloride) kan dit mogelijk schade opleveren voor vissen.

Voor de vissen op het Noordzeekanaal is een grotere uitvoering van de sluisen bij IJmuiden niet van invloed. De 'zouttong' (gebied van brak water) zal verder het Noordzeekanaal in reiken, wat voor de mariene vissoorten positief uitpakt (DHV, 2012). Verder oostwaarts, richting Amsterdam, zullen de zoetwatervissen minder aanwezig zijn en de grens tussen beiden zal oostwaarts verplaatsen, aldus DHV. (RoyalHaskoning-DHV, 2014a; RoyalHaskoning-DHV, 2014b) spreken eveneens van positieve gevolgen. Een schadepromillage valt hier dus niet aan te koppelen.



2. Huidige en toekomstige situatie

Alvorens er gekeken wordt naar de invloed van de verschillende maatregelen op de zeesluis (hoofdstuk 4) moet er een analyse van de actuele situatie worden gedaan. Ook moet een uitvoering van de nieuwe zeesluis zonder zoutlekbeperkende maatregelen worden geanalyseerd om het probleem te kwantificeren.

Allereerst een tabel, nr. 5, met de zoutlek van de vier bestaande sluizen in IJmuiden en de nieuwe:

Tabel 4 Zoutlek sluizen, bron: (Weiler & Uittenbogaard, 2014) Deltares, bewerkt

Sluis	Volume (*1000 m ³)	Zout per schut (ton)	Aantal schuttingen (/dag)	Uitwisselings- debiet (m ³ /s)	Zoutlek (kg/s)
Noordersluis	300	5651	10,4	34,0	680
Middensluis	56	1174	12,4	8,4	168
Zuidersluis	16	367	18,4	3,9	78
Kleine sluis	5	116	10,7	0,7	14
Totaal				47,0	940
Nieuwe sluis	585	8688	10,4	52,7	1045
Nieuw totaal				47,0	1305

2.1 Sluizencomplex IJmuiden (Zie bijlage A)

De nieuwe sluis zal de Noordersluis vervangen. In de aanbidding is uitgegaan van een nieuwe sluis met maximaal dezelfde zoutlast als de Noordersluis. In dit onderzoek wordt hier niet zomaar vanuit gegaan en worden de grenswaarden van actoren als leidend gezien. Toch zal de Noordersluis als leidraad worden genomen, aangezien hierover veel informatie beschikbaar is. De Midden-, Kleine en Zuidersluis hebben slechts een beperkt aandeel in de zoutlek en blijven bovendien functioneren na het in werking treden van de nieuwe zeesluis. De situatie verandert dus niet en worden daarom in de verdere analyse niet meegenomen. De Noordersluis heeft zoals te zien is in tabel 5 een zoutlek van 680 kg/s en is voor twee derde van de totale, huidige zoutlek verantwoordelijk.

2.2 Spuisluizen en gemalen

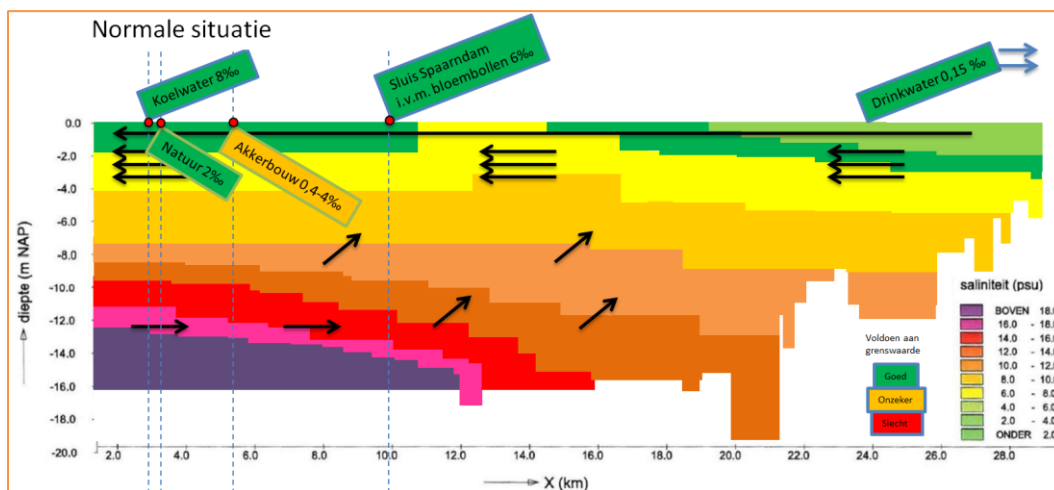
De spuisluizen in IJmuiden hebben een maximale capaciteit van 500 m³/s en kunnen alleen bij laagtij worden ingezet. De spuisluizen maken immers gebruik van het natuurlijke verval. De gemalen kunnen te allen tijde worden ingezet met een capaciteit van 260 m³/s maar zullen in praktijk alleen in werking zijn wanneer de spuisluizen niet functioneren. Het gemiddelde debiet bedraagt jaarlijks 91m³/s (het spuidebiet) (Deltares, 2014a), welke voor ongeveer 50m³/s door de spuisluizen wordt afgevoerd en de overige 40 m³/s door het gemaal. De tijd dat de spuisluizen kunnen werken is ongeveer 3 uur per etmaal, aangezien het verval naar het buitenwater minimaal 8 tot 12 cm moet zijn (Slootjes, 2003). De spuisluis of het gemaal spuien gemiddeld 25% van de tijd water naar de Noordzee (Uittenbogaard, 2013).

Volgens Weiler en Uittenbogaard (2014) zal het zoutgehalte op het Noordzeekanaal uniform met 1‰ per dag toenemen en de sterk zoute onderlaag zal met 1,5m per dag groeien wanneer er niet wordt gespuid. De spuisluizen zijn dus van groot belang voor de zoutindringing op het Noordzeekanaal. Er moet hierbij wel worden gezegd dat Weiler en Uittenbogaard uit zijn gegaan van een 5% grotere sluis dan nu het plan is.

2.3 Huidige situatie

Op het buitenwater van IJmuiden wordt een zoutconcentratie van 31 ‰ gemeten (Arcadis, 2011) en ten hoogte van de buitenvoorhaven (voor het sluizencomplex) 27 ‰. Het afgevoerde water van de spuisluis en het gemaal heeft een gemiddelde zoutconcentratie van 10,2 ‰ (Weiler & Uittenbogaard, 2014) en het gemiddelde zoutgehalte aan het wateroppervlak op het Noordzeekanaal is 7 ‰.

Figuur 7 geeft het stromingsprofiel over de diepte van het Noordzeekanaal weer in de huidige situatie, zoals beschreven door Uittenbogaard (2013). De gegeven zoutconcentraties zijn gegeven in PSU, wat nagenoeg gelijk is aan '‰', zie ook bijlage F. De zwarte lijnen geven de stroming aan (Kikkert, 2011). In de figuur zijn de maatgevende grenswaarden geplaatst, om in één oogopslag duidelijk te maken of deze voldoen (voortkomend uit hoofdstuk 1). Zoals reeds in de introductie aangegeven, is er voor de akkerbouw langs het Noordzeekanaal de grootste zorg omtrent schade door zout water. Duidelijk te zien in figuur 6 is de zogenaamde zouttong, dit pakket van zeer zout water beweegt zich door zijn hoge dichtheid slechts over de onderste meters.



Figuur 7 Zoutconcentraties huidige situatie, met grenswaarden. Bron: (Weiler & Uittenbogaard, 2014), bewerkt.

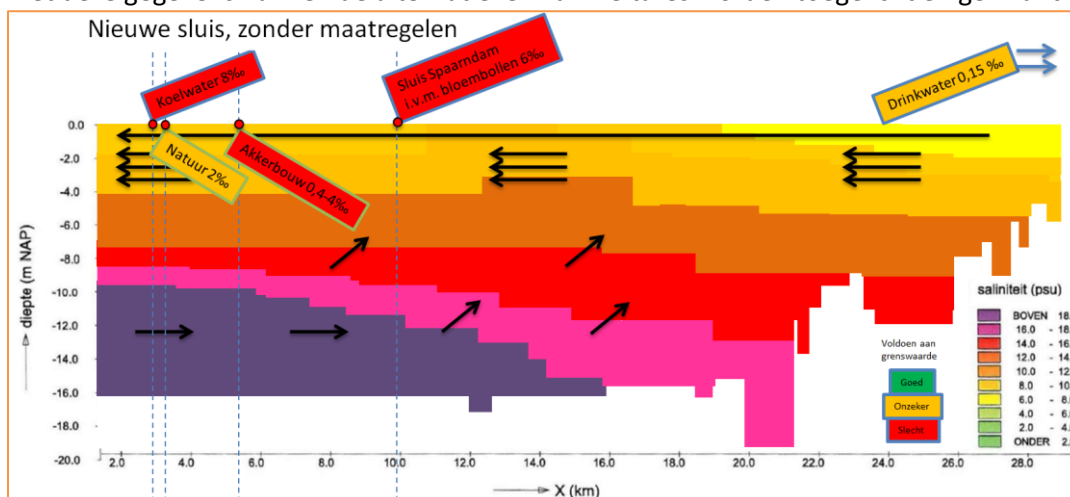
2.4 Nieuwe zeesluis

In tabel 5 is de nieuwe zeesluis onder de huidige geplaatst. Hierbij is een herberekening gemaakt ten opzichte van Weiler en Uittenbogaard, omdat zij zijn uitgegaan van een nieuwe zeesluis met de afmetingen 550*70*18 in plaats van 500*65*18 (l*b*h). De overige gegevens van de nieuwe sluis zijn met dezelfde factor verkleind. In het 'nieuwe totaal' is uitgegaan van een vervanging van de Noordersluis wat wil zeggen dat de Noordersluis niet meer wordt gebruikt na in werking treden van de nieuwe zeesluis. De nieuwe totale zoutlek bedraagt 1305 kg/s bij eenzelfde aantal schuttingen als de Noordersluis. Ook wordt er bij de nieuwe zeesluis vanuit gegaan dat eenzelfde deuropentijd gehanteerd kan worden als bij de Noordersluis op dit moment het geval is, deze bedraagt 50 minuten. Deze kennis is van belang om te bepalen of de gehele sluis wordt uitgewisseld, wat inderdaad het geval is (Weiler & Uittenbogaard, 2014).

De vergrootte zoutlek zal resulteren in een uniforme toename van 3-5‰ zout in het Noordzeekanaal (Arcadis, 2011). Deze toename zal naar verwachting zoals in figuur 7 optreden.

In figuur 8 is gebruik gemaakt van de huidige situatie die beschreven is door Uittenbogaard (2013). De maatgevende grenswaarden voldoen hierbij niet meer, of zijn onzeker. Duidelijk is in ieder geval dat het water van het Noordzeekanaal schade kan veroorzaken aan de koelinstallaties, te zout wordt voor de bloembollen bij Lisse en de akkerbouw direct aan het Noordzeekanaal schade zal oplopen. Een uitvoering van de zeesluis zonder zoutlekbeperkende maatregelen is dus geen optie.

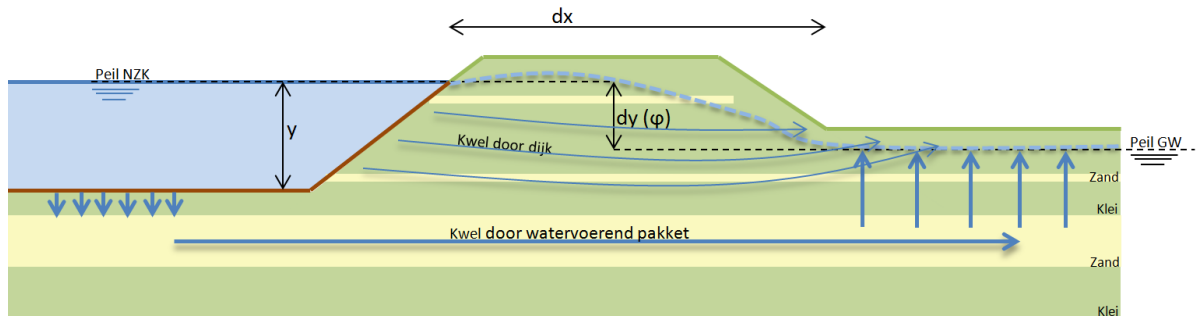
Met deze gegevens kunnen de alternatieven van Deltares worden toegelicht en gekwantificeerd.



Figuur 8 Zoutconcentraties nieuwe sluis zonder maatregelen. Bron: (Weiler & Uittenbogaard, 2014) bewerkt.

3. Kritieke punten

De maximale zoutconcentraties die per actor zijn vastgesteld, zijn voornamelijk waarden op het perceel van de actor. Voor de verschillende alternatieven voor zoutbeperking zijn er echter waarden op het Noordzeekanaal vast te stellen. De zoutconcentratie op het Noordzeekanaal zal zich door de dijk heen verplaatsen naar de percelen van de actoren, met een zogenaamd kweldebiet (Hoekstra, 2012). Het kweldebiet is afhankelijk van de grondsoort en de afmetingen van het dijkprofiel. Met een veldonderzoek is dit in kaart gebracht en de opzet van dit onderzoek is te vinden in bijlage K. De totale hoeveelheid kwel is opgebouwd uit twee mechanismen, die zijn geïllustreerd in figuur 9.

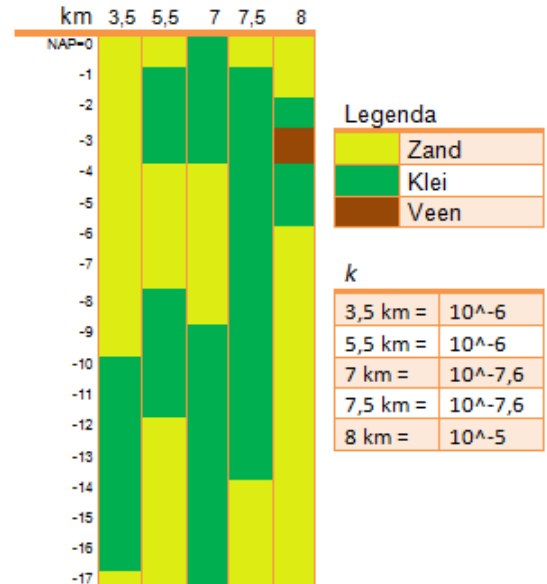


Figuur 9 Kwelmechanismen door een dijk

Beide mechanismen zijn gebaseerd op de doorlatendheid van grond en het stijghoogteverschil (dy of ϕ). De eerste is de kwel door de dijk heen, de tweede is de kwel door de watervoerende (zand)laag. Beide zijn gebaseerd op de wet van Darcy. De doorlatendheid van laatstgenoemde is wel groter, maar de afstand is veel langer. Toch zal deze laag meer bijdragen aan de totale kwel wat zal blijken in bijlage N, waar de uitleg en berekening van de kweldebieten is uitgelegd. De belangrijkste resultaten zijn samengevat in paragraaf 3.4.

3.1 Ondergrondgegevens

De ondergrond op de verschillende kritieke locaties is bijgevoegd in bijlage L, evenals de gegevens van de eigen boringen op de locaties. Door de eigen boringen te plaatsen naast verschillende sonderingen van DINOloket (TNO, 2015), kan een vrij zeker beeld worden geschetst van de ondergrond. In figuur 10 staat een samenvatting van de resultaten met de bijbehorende doorlatendheidscoëfficiënt van de verschillende dijkprofielen. De doorlatendheidscoëfficiënten zijn verkregen door het gewogen gemiddelde te nemen van de verschillende aanwezige grondsoorten, met hun bijbehorende coëfficiënten.



Figuur 10 Samenvatting ondergrondgegevens

3.2 Zouttransport door grond

Wanneer het kweldebiet bepaald wordt, rijst de vraag in hoeverre zout gefilterd wordt door de grond. Er zijn hierover opvattingen met eenzelfde conclusie, de zoutconcentratie verplaatst zich één op één met het water mee. Volgens prof. Oude Essink (persoonlijke communicatie d.d. 15-04-2015) is chloride een conservatieve stof en zal het daarom volledig meestromen. Het natrium kan zich wel binden aan kleideeltjes, maar slechts tot een bepaalde maximale waarde. Deze 'cation exchange capacity' (CEC) is de maximale hoeveelheid deeltjes die een bepaalde grondsoort aan zich kan binden. Na deze waarde is de grond verzadigd en zal het geen kationen meer opnemen (Mengel, 1993). Voor het zouttransport door dijken kan dus het kweldebiet met de zoutconcentratie van het Noordzeekanaal worden aangenomen, omdat de dijken door langdurig contact met brak water reeds verzadigd zijn.

3.3 Zoutconcentraties veldwerk

Tijdens de metingen in het veld zijn er watermonsters genomen waaruit de zoutconcentraties zijn gemeten. In tabel 6 staan de gemeten concentraties, voor de polderzijde en op het Noordzeekanaal. Met deze informatie kunnen we de doorlatendheid van de dijk verifiëren. De verzameling van resultaten van het laboratorium is te vinden in bijlage M.

Tabel 5 Zoutconcentraties eigen metingen, op het Noordzeekanaal en in de polder

Zoutconcentraties	Noordzeekanaal zijde	Polderzijde
Km 5,5	4,08 ‰	0,47 ‰
Km 7,5	3,45 ‰	0,51 ‰

De waarden zijn iets lager dan de verwachting. De polderzijde heeft een promillage dat ongeveer de helft is van de waarden volgens het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK, 2008b). De oorzaak hiervan kan zijn dat de metingen zijn verricht op een regenachtige dag en zodoende het oppervlaktewater uitgespoeld was.

3.4 Kweldebiet

Het kweldebiet moet over een bepaalde lengte van een dijk berekend worden. De kritieke punten bevinden zich op twee verschillende dijkvakken, en derhalve zijn er twee berekeningen uit te voeren. De berekeningen bevinden zich in bijlage N.

Samengevat staan de kweldebieten in onderstaande tabel, nummer 7.

Tabel 6 Kweldebieten kritieke dijkvakken

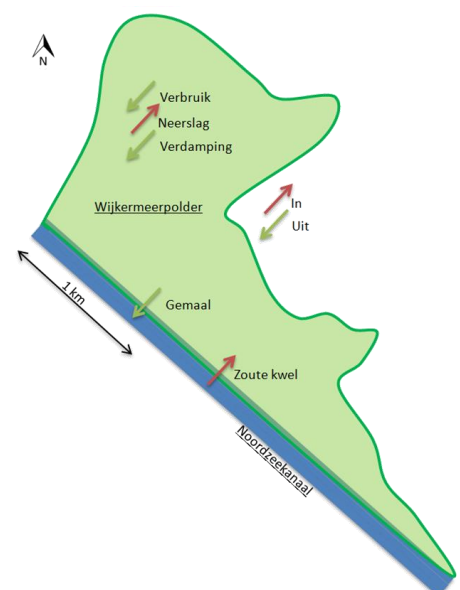
	Kweldebiet
IJmuiden	-44 m ³ /dag
Wijkermeerpolder	1550 m ³ /dag

Er is een groot verschil tussen beide dijkvakken. De dijk bij IJmuiden heeft een hoogliggend achterland, ongeveer NAP +10m bij IJmuiden tot NAP +2m bij Velsen-Zuid. De huizen zijn waarschijnlijk veel op staal gefundeerd gezien de veelal zanderige ondergrond (TNO, 2015) en hebben dan weinig te duchten van zout grondwater. Bovendien is hier een uitstromend debiet, dat zelfs bij een grondwaterspiegelverlaging (bij droogte) van meer dan één meter nog voldoende afstroming heeft. Het probleem bevindt zich dus na deze analyse slechts in de Wijkermeerpolder. De situatie in de Wijkermeerpolder wordt in de volgende paragraaf (3.5) nader toegelicht.

3.5 Wijkermeerpolder

De Wijkermeerpolder, figuur 11, is de kritieke polder langs het Noordzeekanaal met een totale oppervlakte van 778 ha (Grontmij, 2008). Door het grondgebruik van voornamelijk akkerbouw is het gevoelig voor veranderingen in de zoutconcentratie op het Noordzeekanaal. De polder zal in droge periodes het zwaarst onder druk staan, wanneer er weinig neerslag is om de polder te doorspoelen. De polder wordt in droogte namelijk niet doorspoeld vanuit andere wateren, omdat het water van het enige aangrenzende water, het Noordzeekanaal, te zout is. De periode rond het droge jaar 2003 (KNMI, 2014c) wordt gebruikt om de in- en uitstromen te berekenen.

In bijlage O staan de berekeningen omtrent de Wijkermeerpolder. Een samenvatting hiervan volgt onderstaand.

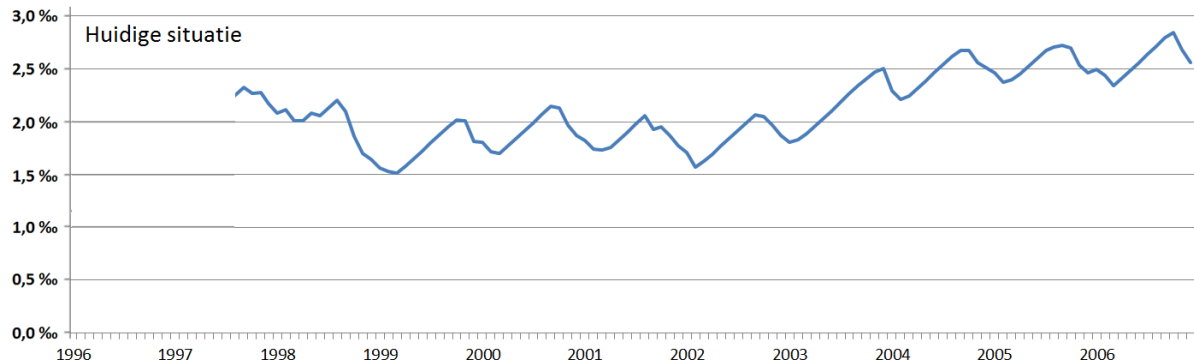


Figuur 11 In- en uitstromen Wijkermeerpolder

Model

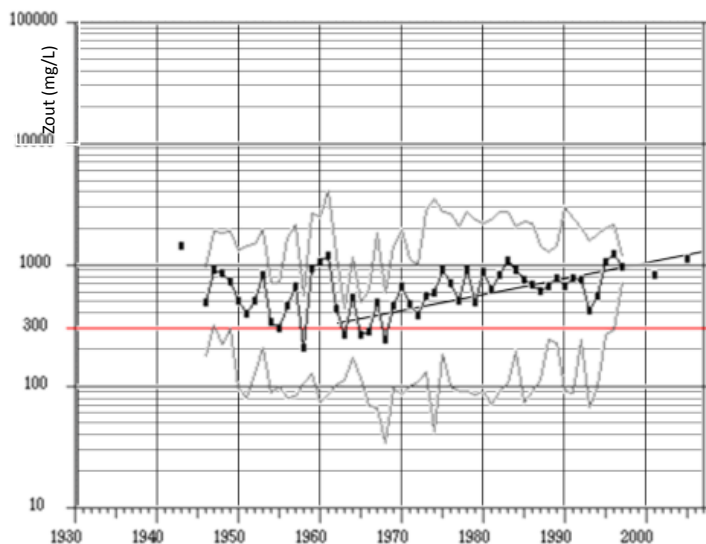
Wanneer de in- en uitstromen voor de periode 1996-2006 worden doorgeteld kan er een berekening van de zoutconcentratie worden gemaakt. De uitleg van de berekening bevindt zich in bijlage O. In deze berekeningen kan de buitendijkse zoutconcentratie worden aangepast om in hoofdstuk 4 de effectiviteit van de alternatieven van Deltares te onderzoeken.

In figuur 12 is de huidige situatie weergegeven.



Figuur 12 Huidige zoutconcentratie in de Wijkmeerpolder van 1996-2006

Duidelijk te zien zijn de twee droge jaren 1996 en 2003. In deze jaren is er te weinig neerslag (en dus uitstroom) om de zoutconcentratie uit te spoelen. 1998 is het natste jaar sinds de metingen startten in 1901 en hier valt duidelijk een afname van de zoutconcentratie op. De dikke lijnen geven deze trends duidelijk weer. Bovendien valt er een groeiende trend te onderscheiden. Dit is tegengesteld aan de trends in de rest van het Hollands Noorderkwartier (HHNK, 2008b). De Wijkmeerpolder kan echter niet worden doorgespoeld omdat deze slechts aan het Noordzeekanaal grenst terwijl de rest van het Hollands Noorderkwartier door beter doorspoelbeleid verzoet. Zodoende groeit de zoutconcentratie gestaag. De trend uit figuur 12 is ook terug te zien in figuur 13. Deze figuur toont de zoutconcentratie in de Wijkmeerpolder sinds 1940 en waarbij sinds 1965 een duidelijk stijgende trend is waar te nemen. Gezien de logaritmische schaalverdeling is de groei groot.



Figuur 13 Groeiende zoutconcentratie sinds 1965, bron (HHNK, 2008)

De conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat wanneer er geen nieuwe sluis gebouwd zal worden er eveneens zoutlekbeperkende maatregelen genomen moeten worden om schade aan de agrarische functie van de Wijkmeerpolder te voorkomen. Een grotere nieuwe sluis versterkt deze noodzaak.



4. Analyse alternatieven Deltares

Uitleg alternatieven

Vanuit de eerste hoofdvraag zijn grenswaarden van zoutconcentraties onderzocht voor de verschillende actoren rond het Noordzeekanaal. Wanneer zoutconcentraties hoger worden dan deze waarde zal er schade of hinder plaatsvinden als gevolg van zout. Om te bepalen of deze waarden groter zijn dan toekomstige waarden, moeten de alternatieven van Deltares (Weiler & Uittenbogaard, 2014) worden geanalyseerd. Deltares heeft namelijk verschillende ideeën om de zoutindringing bij de zeesluizen van IJmuiden te beperken. De mogelijkheden worden in dit hoofdstuk toegelicht en de zoutbeperking wordt vervolgens benaderd.

Een uitgebreide beschrijving van de alternatieven is te vinden in bijlage J, evenals de locaties van de maatregelen. Onderstaand volgt per alternatief slechts een korte samenvatting. Van de alternatieven zijn (nog) geen kwantitatieve analyses beschikbaar. Per mogelijkheid wordt daarom een inschatting gemaakt van de invloed op de zoutconcentratie. De figuren die per alternatief worden weergegeven (figuren 13 t/m 17) geven de (zout)stroming als gevolg van de verschillende alternatieven aan. De kleurcodering voor de zoutconcentraties is ter beeldvorming aangepast en de maatgevende promillages zijn op de desbetreffende afstand toegevoegd. De promillages zijn voorzien van een kleurcodering om aan te geven of deze grenswaarde is bereikt. Rood betekent dat de waarde niet is gehaald, oranje is twijfelachtig en groen is goed genoeg.

4.1 Zoutvang

Ontwerp

Direct achter de sluis aan de landzijde bevindt zich een verdiepte kom. Het zwaardere zoute water zal zich hierin ophouden, waarna het met een pomp of door vrijval (bij eb) zal uitspoelen naar het buitenwater. Hiermee wordt water met een hogere zoutconcentratie afgevoerd.

Resultaat

De zoutvang zelf is eigenlijk geen oplossing voor de zoutproblematiek, maar het versterkt de varianten selectief onttrekken en bellenpluimen, paragraaf 4.2 en 4.3. De geschatte winst op de zoutconcentratie voor dit alternatief valt dan ook moeilijk te kwantificeren.

Voordelen:

- Goed in combinatie met selectief onttrekken en het bellenscherm.
- Bergt het zoutprobleem tijdelijk op (tot maximaal 3 dagen) (Weiler & Uittenbogaard, 2014).

Nadelen:

- Geen oplossing op zichzelf.

4.2 Selectief onttrekken

Ontwerp

Door een speciale onttrekkingconstructie worden slechts de onderste 2-3 meter van het kanaal en de Velserkom doorgelaten naar de spuisluis en het gemaal (locatie, zie bijlage J). Deze diepste lagen hebben de hoogste zoutconcentratie, waardoor er met hetzelfde debiet meer zout wordt uitgespoeld. Dit alternatief wordt versterkt door de aanleg van een zoutvang, zodat er zo zout mogelijk water wordt aangetrokken.

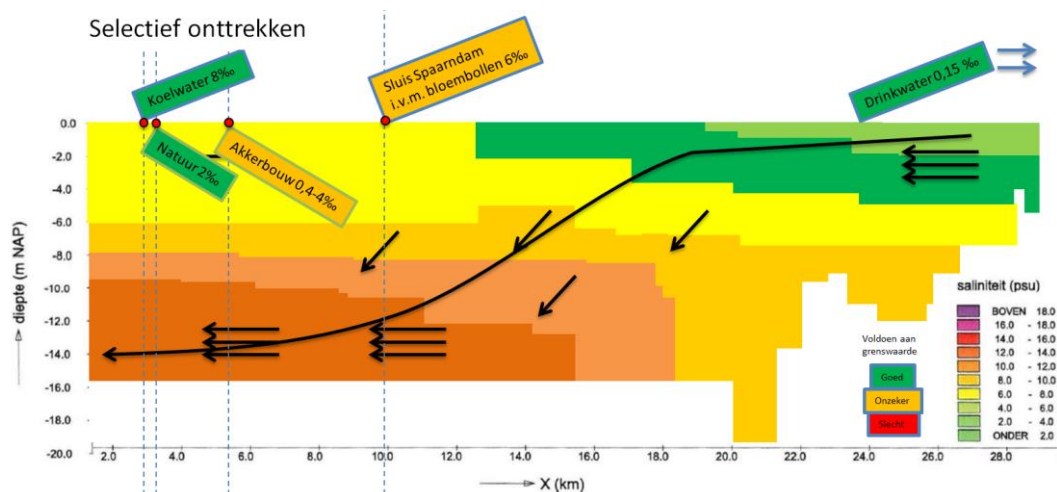
Resultaat

De huidige zoutlek van de grootste sluis, de Noordersluis, bedraagt 680 kg/s (Deltares, 2014a) terwijl de nieuwe grote zeeluis een lek van 1045 kg/s zal hebben wanneer er geen zoutlekbepurende maatregelen worden genomen. Zoals aangegeven wordt er met selectief onttrekken slechts het zoutste water afgevoerd. Om minimaal een gelijke zoutconcentratie op het Noordzeekanaal te behouden geeft Deltares (2014a) aan dat de huidige concentratie van spuiwater van 10,2 ‰ naar 15 ‰ moet worden verhoogd. Dit staat ongeveer gelijk aan het verhogen van de mengverhouding 16% naar 42% (Uittenbogaard, 2013). Dit houdt in dat 42% van het spuiwater de hoge zoutconcentratie gelijk aan de bodemconcentratie (>20 ‰) heeft en de overige 58% de zoutconcentratie die gelijk is aan het oppervlaktewater van de binnenhaven (7 ‰).

Dit spuiwater met de verhoogde zoutconcentratie kan worden afgevoerd door de bestaande gemalen en spuisluis of door een nieuw gemaal. Deltares (2014a) noemt een nieuw gemaal het zoutgemaal.

Verwachte stroming en zoutconcentraties, figuur 14 en 15

Wanneer de selectieve onttrekking wordt uitgevoerd, zal de stroming op het Noordzeekanaal veranderen. In figuur 7 in hoofdstuk 2 is in zwart de huidige stroming weergegeven. Deze gaat uit van een hoge zoutconcentratie aan de bodem van het Noordzeekanaal, die over een groeiende afstand zich naar het wateroppervlak verspreid (Kikkert, 2011). Op het wateroppervlak vindt de grootste afstroming plaats. Dit in tegenstelling tot de pijlen in figuur 14, welke de stroming aangeven bij toepassing van selectieve onttrekking. Wanneer deze verandering plaatsvindt, kan de zoutconcentratie aan het wateroppervlak (dicht bij de sluis) toenemen (Uittenbogaard, 2013). Het belangrijkste gevolg hiervan is de verhoogde zoutconcentratie bij de sluis van Spaarndam, op kilometer 10 vanaf het sluizencomplex. Het water wordt hier naar verwachting zouter van 6‰, wat schade aan de bloembollen bij Lisse kan opleveren. Het grootste voordeel van de selectieve onttrekkingsinstallatie is de sterk afgenomen zoutconcentratie aan de bodem. Deze concentratie voert normaal gesproken mee door het watervoerend zandpakket, naar de (Wijkmeer)polder.



Figuur 14 Verwachte zoutconcentraties bij selectieve onttrekking. Bron: (Uittenbogaard, 2013), bewerkt

Voordelen:

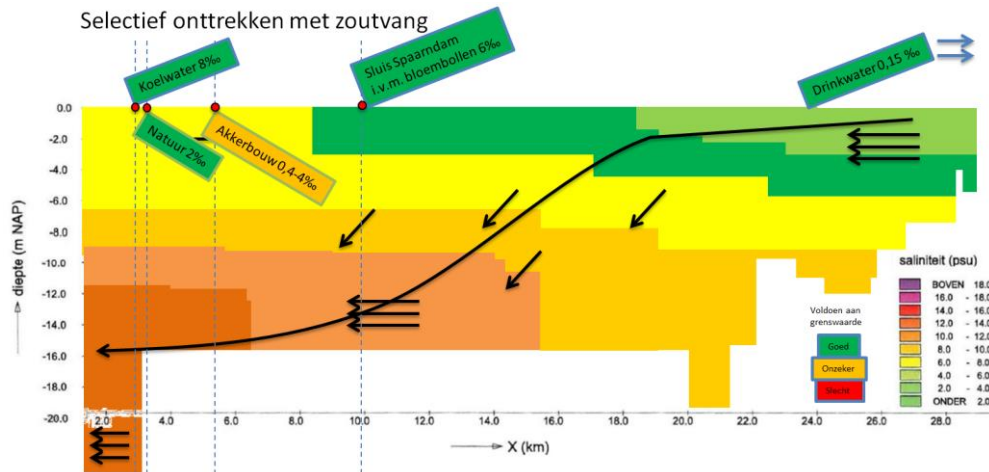
- De hoogste zoutconcentratie wordt afgevoerd.
- Een combinatie met het huidige gemaal is mogelijk.

Nadelen:

- Er kan een stroming oostwaarts ontstaan aan het wateroppervlak.
- Bij een laag debiet is het probleem niet opgelost (onder 58 m³/s vindt groeiende zoutindringing plaats) (Uittenbogaard, 2013).

Verwachte stroming en zoutconcentraties met zoutvang

Door de zoutvang uit te voeren in combinatie met het selectief onttrekken van het zoutste water wordt een lichte verbetering geboekt. In de analyse van Uittenbogaard (2013) wordt gesproken over een zoutvang met de afmetingen van een hele dag schutten. Dit betekent dus dat de kom de gehele dag zout water op kan vangen, waarna de kom wordt geleegd. Het zoute water komt zo nauwelijks uit de kom, wat figuur 15 aangeeft. Het stromingsprofiel zal niet anders zijn dan selectief onttrekken zonder zoutvang (Kikkert 2011). De bloembollen bij Lisse hebben volgens deze analyse geen schade als gevolg van zout water te verwachten.



Figuur 15 Verwachte zoutconcentraties bij selectieve onttrekking + zoutvang. Bron: (Uittenbogaard, 2013), bewerkt

4.3 Bellenpluimen

Ontwerp

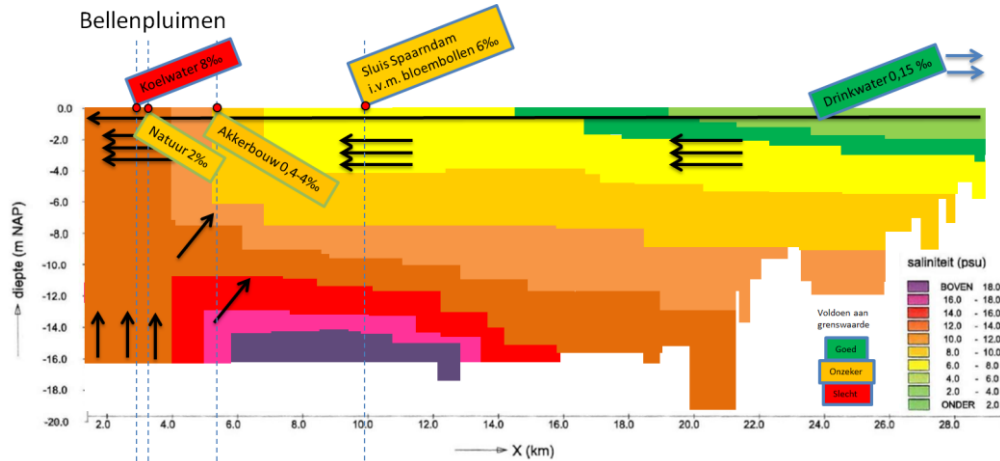
Evenals selectief onttrekken bevindt deze maatregel zich in het binnenspuikanaal (zie bijlage J). Over een bepaalde oppervlakte bevinden zich 'douchekoppen' die lucht blazen. Deze lucht mengt de hoge zoutconcentratie aan de bodem met de lagere zoutconcentratie aan het oppervlak. De bovenste meters worden door de spuisluis en het gemaal weggespoeld. Andermaal dus een verhoogde zoutconcentratie in de afvoer en eveneens een goede combinatie met de zoutvang. De bellenpluimen kunnen niet overal geplaatst worden en moeten bovendien voor een zo goed mogelijke werking zo diep mogelijk geplaatst worden. Om hinder van scheepvaart te voorkomen kunnen de bellenpluimen slechts in het spuikanaal geplaatst worden, waardoor een combinatie met een zoutvang noodzakelijk is om voldoende zout water te kunnen gebruiken. Bovendien moet het spuikanaal worden uitgediept, daar de bodemdiepte nu op NAP -10m ligt (Weiler & Uittenbogaard, 2014). De bellenpluimen zorgen voor een meer uniforme verdeling van de zoutconcentratie over de diepte van de sluis, waardoor de concentratie aan de oppervlakte hoger wordt. Deze hogere concentratie kan zich echter ook oostwaarts verplaatsen.

Resultaat

De bellenpluimen moeten het verschil in zoutlek van 365kg/s (1045 - 680 kg/s) omhoog verplaatsen om gelijk te worden met de zoutlek van de Noordersluis. Dit kan slechts gedaan worden als er gespuid wordt, wat zoals aangegeven op ongeveer 25% van de tijd gebeurt. In de tijd dat er gespuid wordt moet er dus een hoeveelheid van 1460 kg/s naar boven getransporteerd worden. Om niet slechts circulatie van water te laten plaatsvinden, moet er volgens Uittenbogaard (2013) 1140 m³/s (omgerekend naar kleinere nieuwe sluis) aan water worden aangevoerd, wat resulteert in een grote benodigde oppervlakte bij een beperkte breedte van het binnenspuikanaal (25m, (Weiler & Uittenbogaard, 2014)).

Verwachte stroming en zoutconcentraties, figuur 16 en 17

De stroming zal voornamelijk over de bovenste lagen blijven, maar er zal vanuit de bellenpluimen enige stroming oostwaarts zijn op diepte. Dit resulteert in een groeiende gematigde zoutconcentratie halverwege de kanaaldiepte (Uittenbogaard 2013). Duidelijk is dat dit alternatief door deze groeiende zoutconcentratie oostwaarts (zeker bij lage afvoeren) negatieve gevolgen heeft voor de verschillende actoren.



Figuur 16 Verwachte zoutconcentraties bij bellenpluimen. Bron: (Uittenbogaard, 2013), bewerkt

Voordelen:

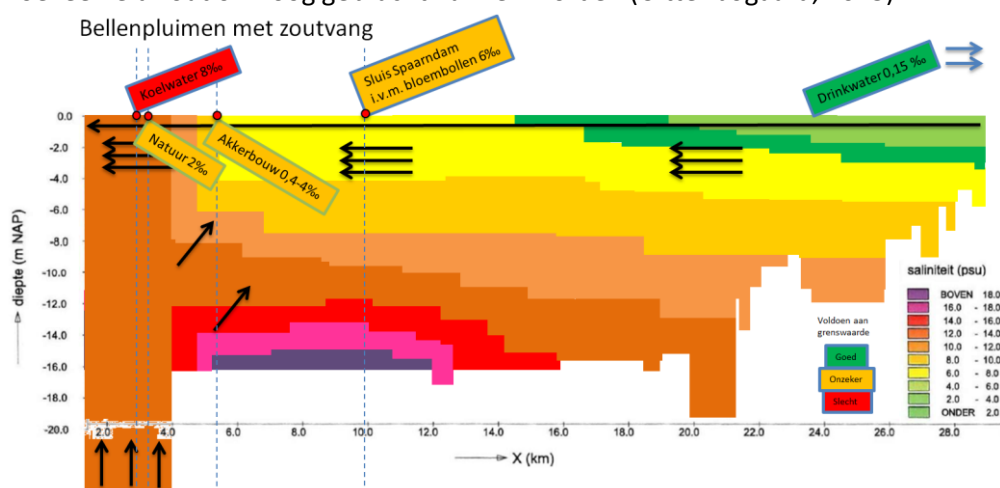
- Huidige gemalen en spuisluizen kunnen worden gebruikt.

Nadelen:

- Het door menging zoutere oppervlaktewater kan zich oostwaarts verplaatsen.
- Bij een laag debiet van het Noordzeekanaal zal het zout extra oostwaarts verplaatsen.
- Twijfel of hoeveelheid zout omhoog gebracht kan worden.
- Grote benodigde oppervlakte.

Verwachte stroming en zoutconcentraties met zoutvang

De stroming en zoutconcentraties bij een combinatie van bellenpluimen en een zoutvang zijn nagenoeg gelijk aan het alternatief zonder zoutvang (Uittenbogaard, 2013). De gevolgen voor de actoren zullen in ieder geval minimaal zijn. Wel zal er met grotere zekerheid de benodigde hoeveelheid zout omhoog gebracht kunnen worden (Uittenbogaard, 2013)



Figuur 17 Verwachte zoutconcentraties bij bellenpluimen + zoutvang. Bron: (Uittenbogaard, 2013), bewerkt

4.4 Bellenscherm

Ontwerp

De vierde optie is een bellenscherm. Deze wordt over de breedte geplaatst bij de deur aan land- en aan zeezijde. Bij de deuren worden twee maal twee stroken geplaatst, dus een totaal van acht schermen voor de nieuwe sluis (Weiler & Cornelisse, 2014). De opgaande bellen verstoren de horizontale verplaatsing van de hoge zoutconcentratie. De sluizen in IJmuiden waren reeds uitgerust met een bellenscherm (Weiler & Uittenbogaard, 2014), het is niet duidelijk waarom deze is uitgeschakeld.

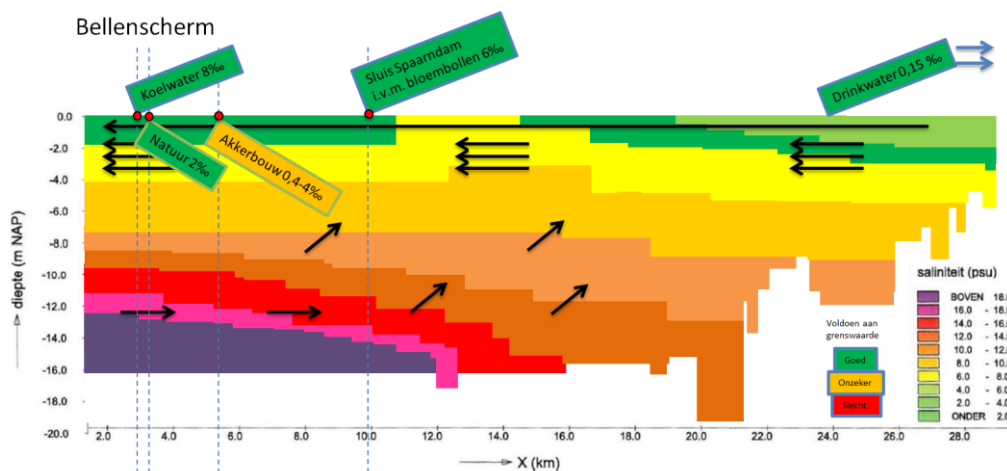
Resultaat

Het bellenscherm kan volgens Uittenbogaard (2013) met een doorlaatfractie van 50% zorgen voor een kleinere zoutlek dan de Noordersluis op dit moment doet. Deze schattingen zijn gebaseerd op recent onderzoek bij de Volkerak-schutsluizen. Hiervoor worden er bij beide deuren twee rijen luchtdiffusers geplaatst. De doorlaatfractie van 50% lijkt bovendien haalbaar, omdat er in de Noordersluis reeds een minimale doorlaatfractie van 42% werd gerealiseerd in 1965 (Abraham, van der Burgh, & de Vos, 1973). Destijds kon er nog geen gelijkmatige luchtverdeling gegarandeerd worden en werd er zodoende op zwakke plekken meer zout doorgelaten (Abraham, 1972). De doorlaatfractie is overigens niet het percentage zout dat wordt tegen gehouden, maar het uitwisselingsdebiet dat wordt verkleind.

Uitgaande van de 50% doorlaatfractie kan er een zoutlek van 618 kg/s gerealiseerd worden. De concentraties op het Noordzeekanaal zijn dan lager dan nu (zie figuur 18 voor de stroming en zoutconcentraties). Bij toepassing met een drempel van 3 meter kan de zoutlek volgens Uittenbogaard (2013) gereduceerd worden tot 436 kg/s. Een drempel is echter strijdig met het vergroten van de zeesluis. Een beweegbare drempel kan hiervoor een oplossing bieden.

Verwachte stroming en zoutconcentraties, figuur 18

Deze is gelijk aan de bestaande situatie, omdat getracht wordt dezelfde zoutlek te realiseren. Dit kan worden bereikt door een bepaalde doorlaatfractie in te bouwen.



Figuur 18 Verwachte zoutconcentraties bij bellenscherm. Bron: (Uittenbogaard, 2013), bewerkt

Voordelen:

- Ook bij een laag debiet werkzaam.

Nadelen:

- Slecht voor de vismigratie (Weiler & Uittenbogaard, 2014).

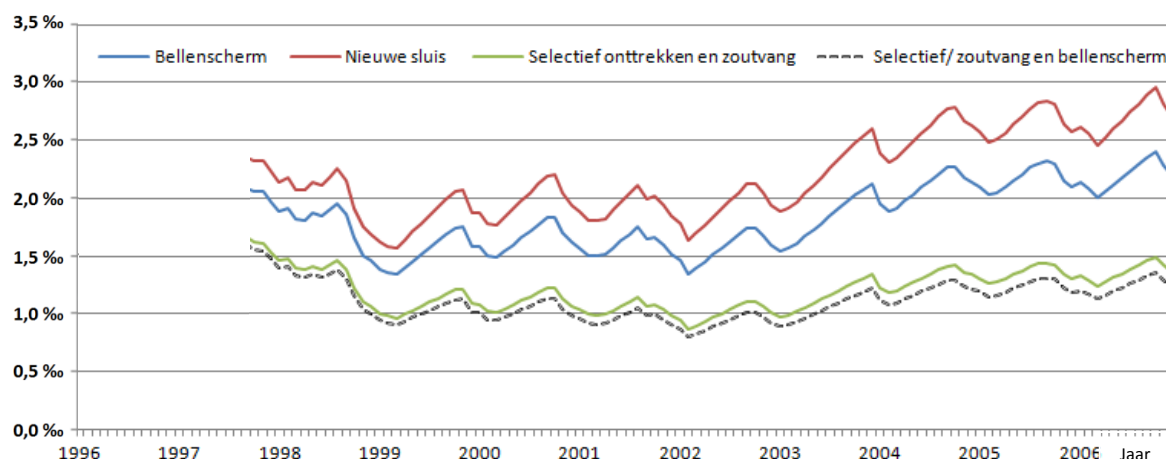
De concentraties op de locaties van de actoren, die in dit hoofdstuk uiteen zijn gezet zijn nu gekoppeld met buitendijkse waarden. Het advies voor de beste zoutlekbeperkende maatregel volgt in het hoofdstuk 5.

5. Advies

De combinatie **selectieve onttrekking met zoutvang** is de beste optie.

Vanuit de analyse van de verschillende maatregelen van Deltares (hoofdstuk 4) kan worden opgemaakt dat het bellenscherm en de selectieve onttrekking met zoutvang de meest veelbelovende maatregelen zijn. De overige maatregelen hebben slechtere verwachtingen qua schade voor de maatgevende actoren.

Beide alternatieven hebben verschillende voordelen, maar zouden ook gezamenlijk kunnen worden uitgevoerd. De voordelen van het bellenscherm zijn dat deze ook functioneert wanneer er een laag debiet is over het Noordzeekanaal en dat de huidige situatie het minst verandert. De selectieve onttrekking met zoutvang heeft een zeer lage concentratie aan de bodem van het kanaal, wat ten goede komt aan de kwel vanuit het watervoerend zandpakket naar de nevenliggende polders. Het bellenscherm heeft het nadeel dat de vismigratie wordt gehinderd en de onttrekking geeft een licht verhoogde concentratie aan het oppervlak op de eerste kilometers vanaf het sluizencomplex. In figuur 19 zijn de beide alternatieven naast de toekomstige situatie zonder maatregelen geplaatst. Duidelijk te zien is de grote effectiviteit van de onttrekkingsconstructie. Er is nog een kleine winst te boeken met een uitvoering in combinatie met het bellenscherm. Deze winst is echter klein, zoals figuur 19 bevestigt. Wel zou dit met kleinere debieten van het Noordzeekanaal van waarde kunnen zijn.

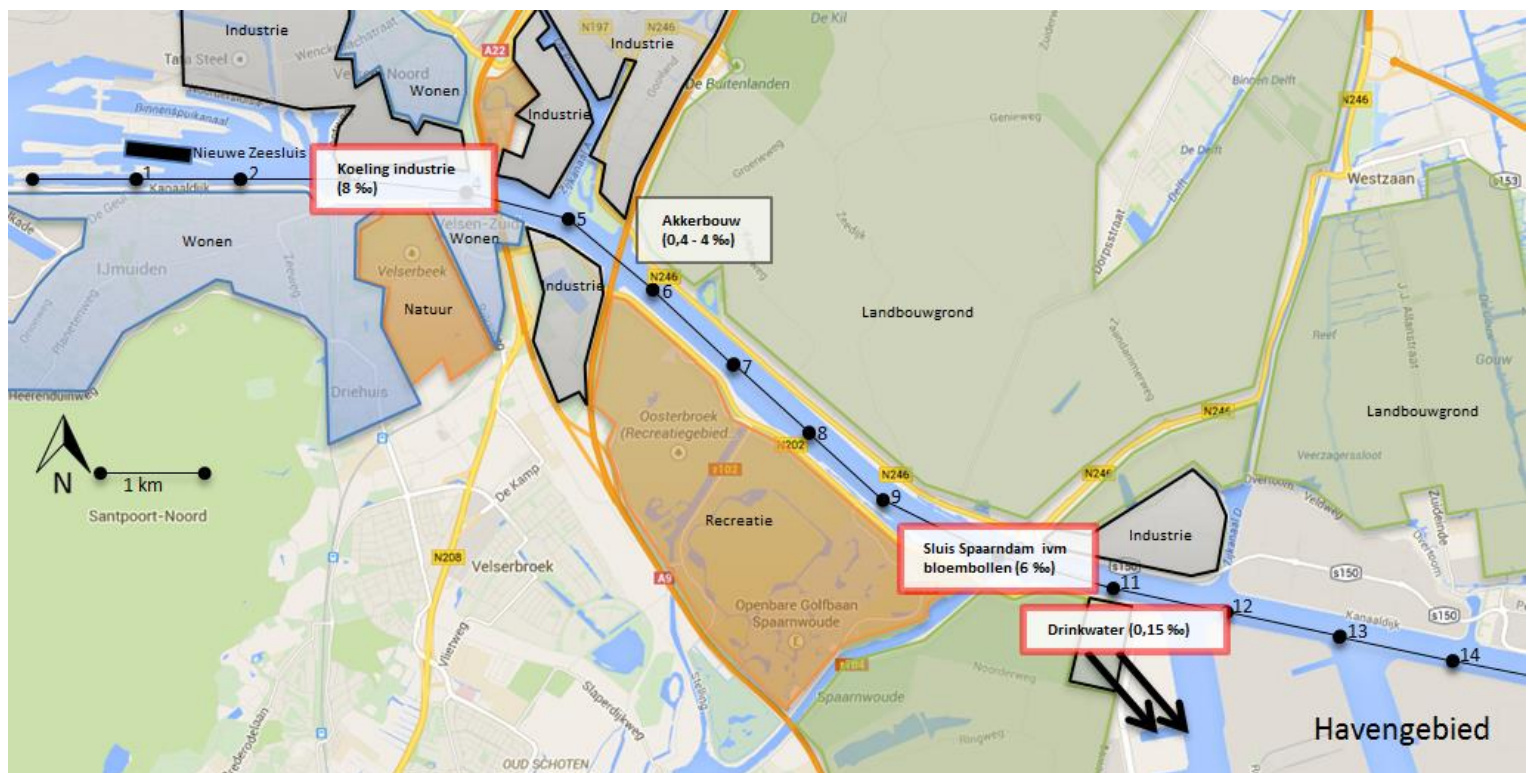


Figuur 19 Verloop zoutconcentraties in de Wijkermeerpolder in de jaren 1997-2006 bij verschillende alternatieven

Kortom, de zoutconcentraties in de Wijkermeerpolder nemen het minst toe door uitvoering van selectief onttrekken met een zoutvang. Voornamelijk de lage zoutconcentraties aan de bodem van het Noordzeekanaal zijn hier de oorzaak van, omdat deze met de kwel door het watervoerend pakket worden meegenomen. Deze kwel is immers voor het grootste gedeelte verantwoordelijk voor de zoutindringing (90%). Een combinatie met bellenscherm zal mogelijk bij droogte van waarde zijn, hiervoor zal vervolgonderzoek moeten plaatsvinden. Voor de nabije toekomst voldoet de selectieve onttrekking met zoutvang zeer goed.

6. Conclusie

Voor een uitgebreide opsomming van actoren in de buurt van het Noordzeekanaal is een maximale zoutconcentratie vastgesteld waarbij er geen schade optreedt. Deze schade kan zich uiten in verminderde gewasopbrengst of bijvoorbeeld schade aan constructies en te hoge zoutconcentraties voor het winnen van drinkwater. De genoemde zoutconcentraties zijn grenswaarden, waar bij een hogere concentratie zichtbaar schade zal ontstaan voor de betreffende actor. In figuur 20 is een visualisatie gemaakt van maximale zoutconcentraties voor actoren op de bijbehorende afstand vanaf het sluisencomplex. In deze figuur zijn slechts de maatgevende zoutconcentraties weergegeven. Dat wil zeggen dat grenswaarden die worden voorgedaan door lagere maatgevende waarden reeds worden voldaan en dus overbodig zijn. Een voorbeeld hiervan is de maximale zoutconcentratie voor veeteelt, 1,4 ‰, welke door de akkerbouw (startende met 0,4‰) al wordt voldaan. Vanuit figuur 20 kunnen zoutlekbeperkende maatregelen van Deltares worden getoetst.



Figuur 20 Maatgevende grenswaarden van de zoutconcentratie voor de actoren rond het Noordzeekanaal.

De maatgevende concentraties in figuur 20 zijn allen concentraties op het Noordzeekanaal behalve de gevoelige akkerbouw op kilometer 5,5 vanaf het sluisencomplex. De akkerbouw heeft afhankelijk van het gewas een grenswaarde van 0,4 – 4 ‰. Om deze binnendijkse waarde om te rekenen naar een waarde op het Noordzeekanaal is een model gemaakt van in- en uitstromen in de polder waarin de akkerbouw plaatsvindt. Naar deze polder, de Wijkermeerpolder, is een zoute kwelstroom, waardoor er zout de polder binnekomt. De kwel vindt op twee manieren plaats, allereerst rechtstreeks door de dijk, door voornamelijk moeilijk doorlaatbare klei. Ten tweede vindt er kwel plaats door het watervoerende zandpakket. Hiervoor moet water in de bodem van het Noordzeekanaal naar een beter doorlatende zandlaag infiltreren, waarna het zoute water van onderen de polder zal binnendringen. Het model berekent welke zoutconcentraties in de polder ontstaan bij bepaalde zoutconcentraties in het Noordzeekanaal. Beide kweldebieten (volumes) zijn berekend op basis van de wet van Darcy. Deze wet beschrijft de snelheid van een vloeistof door een bepaalde ondergrond, afhankelijk van het stijghoogteverschil en de soort bodem. Het model koppelt dus een binnen- en buitendijkse zoutconcentratie.



Om zoutlekbeperkende maatregelen van Deltares te vergelijken moet echter niet alleen inzicht zijn in welke zoutconcentraties maatgevend zijn, maar ook welke zoutconcentraties er nu in het Noordzeekanaal zijn en uiteraard welke zoutconcentraties een nieuwe zeesluis veroorzaakt. Deze concentraties zijn met behulp van recente onderzoeken van Uittenbogaard (2015), Arcadis (2011) en Deltares (2014a) vastgesteld. Een uniforme toename van 4% is te verwachten over het gehele Noordzeekanaal wanneer er geen zoutlekbeperkende maatregelen worden toegepast.

Uiteindelijk worden de alternatieven van Deltares getoetst aan de maatgevende grenswaarden. Hieruit blijkt dat er twee alternatieven het beste scoren. Het bellenscherm en selectief onttrekken met zoutvang hebben beide dezelfde resultaten wat betreft de maatgevende grenswaarden. Het alternatief selectief onttrekken scoort echter beter in de onzekere Wijkerveerpolder, waar een zoutpromillage van 1,0 – 1,5 kan worden gehandhaafd. Het bellenscherm zal volgens het model tot een evenwicht rond de 2,0 ‰ leiden in de Wijkerveerpolder, wat enkele vormen van akkerbouw onmogelijk maakt. Het advies is dus de bouw van een selectieve onttrekking installatie in combinatie met een zoutvang. Hierbij wordt op grotere diepte zeer zout water vanuit het Noordzeekanaal weggepompt naar de Noordzee. Met een zelfde afvoervolume kan zo meer zout worden verwijderd. In het huidige onderzoekskader is dit de beste oplossing.

Om bij lagere afvoeren in de toekomst ook te voldoen kan een extra robuuste maatregel genomen worden. In dit onderzoek is nog weinig aandacht besteed aan de langere drogere periodes die kunnen ontstaan in de toekomst, dit kan overigens een waardevol vervolg zijn. Bij lage afvoeren kan er minder water worden weggespoeld naar de Noordzee en kan er dus minder zout worden verwijderd. De selectieve onttrekking installatie zal dan dus minder goed werken. Het bellenscherm daarentegen heeft altijd eenzelfde doorlaatfractie. Een combinatie van beide maatregelen kan uitkomst bieden. Hiertoe zal echter vervolgonderzoek nodig zijn.



Discussie

Onderstaand allereerst een blik op het onderzoek in de wetenschappelijke context. Daarna volgt een opsomming van punten die een invloed hebben op het eindresultaat. Het geeft een kritische blik op uitgangspunten en resultaten die gebruikt zijn of beredeneerd.

Onderzoek in context

Generaliseerbaarheid

De resultaten van het onderzoek zijn stuk voor stuk voor verschillende doelen inzetbaar. Allereerst is er een uitgebreide analyse gedaan naar de zouttolerantie van verschillende actoren. Deze opsomming staat niet op zichzelf en kan bij alle zoutproblematische omgevingen worden ingezet. Het model dat is gebruikt bij de Wijkmeerpolder is voor alle polders te gebruiken. Het model is reeds uitgebreid en kan ook worden gebruikt voor polders met inlaten en doorspoelfuncties.

De stap naar zoutlekbeperkende alternatieven is waarschijnlijk slechts toepasbaar op de situatie in IJmuiden, omdat een dergelijk groot kanaal met een dermate grote sluis slechts beperkt voorkomen, zeker in combinatie met polders in het achterland. De les die eruit getrokken kan worden die wel generaal inzetbaar is, is de wijze waarop actoren zijn betrokken. Door in het eerste stadium de specifieke grenswaarden van actoren te onderzoeken kan een betere afweging gemaakt worden. Dit zou ook specifiek gelden voor de Nieuwe Waterweg in Rotterdam, waar het zoutprobleem eveneens actueel is.

Toegevoegde waarde

In het huidige onderzoekstraject is zoals in de probleemstelling aangegeven (nog) geen uitgebreide analyse gedaan naar de belangen van actoren. Door hier op in te gaan kan een betere afweging gemaakt worden voor welk alternatief er gekozen moet worden. Dit onderzoek zal aangeboden worden aan Deltares, welke verantwoordelijk is voor de zoutlekbeperkende maatregelen bij de nieuwe zeesluis. Ir. Otto Weiler kan dit mogelijk meenemen in zijn afwegingen.

Het onderzoek kan tevens toegevoegde waarde hebben bij de selectie van maatregelen tegen andere problemen met zoutindringing, zoals is aangegeven onder *generaliseerbaarheid*.

Onderzoek in theoretisch licht

Vanuit de literatuur is duidelijk dat Nederland zich met een stijgende zeespiegel en dalend achterland zal moeten wapenen tegen meer zoutindringing. Dit onderzoek bevestigt de trend en voorziet in een advies voor maatregelen bij de nieuwe zeesluis in IJmuiden. De landbouw is zoals bekend gevoelig voor zout en ook in dit onderzoek is gebleken dat de landbouwgronden die in contact staan met het Noordzeekanaal, het meest kritieke punt zijn. De bloembollenvelden in Lisse en de Wijkmeerpolder zijn hiermee het meest kritieke punt voor de afweging van alternatieven.

Toekomstig onderzoek

Door wederom terug te komen op de (netto-)zeespiegelstijging, zal er in de toekomst veel werk (onderzoek) nodig zijn op het gebied van zoutproblematiek. Voor de situatie aan het Noordzeekanaal zal eenzelfde calculator gemaakt kunnen worden als de €ureyeopener in het Hoogheemraadschap van Rijnland. Op deze manier kan een economisch verantwoorde keuze gemaakt worden voor zoutindringingsmaatregelen.

Als vervolg op dit onderzoek kan een betere kwantitatieve analyse van de verschillende maatregelen van Deltares gemaakt worden. Door deze in het huidige model te implementeren kan met meer zekerheid een advies gegeven worden.

Bovendien kan een model met de klimaatscenario's van de toekomst een beter beeld geven van welke maatregelen er voor de toekomst nodig zijn.

Zaken van invloed

Aanpassing actoren

Het bellenscherm en de optie selectief onttrekken geven gelijke resultaten wat betreft schade aan de actoren. Weliswaar met verschillende zoutconcentraties, maar in essentie gelijk. De zoutconcentratie die in de Wijkmeerpolder zal ontstaan, zal echter niet gelijk zijn. Deze is voor beide situaties hoger dan de laagste grenswaarde die in de polder mag optreden (0,4‰ voor bepaalde vormen van akkerbouw) maar toch nog flink verschillend. Dit betekent dat beide opties mogelijk zijn, maar dat er door de actor verschillende gereageerd (aangepast) zal moeten om geen schade te laten ontstaan. De actor zal bijvoorbeeld zouttolerante teelten kunnen houden. Er zijn hier reeds uitgebreide onderzoeken naar gedaan (Alterra, 2013; Dam et al., 2007; RIZA, HKV, Arcadis, KIWA, Korbee en Hovelynck, 2005; Beersma et al., 2004) en vele andere. Er worden hierin suggesties gedaan voor teelten die minder zoutgevoelig zijn.

In deze scriptie is hier echter geen aandacht aan besteed, omdat dit het doel voorbij streeft om de huidige situatie in kaart te brengen en aan de hand daarvan een advies te geven.

Grenswaarde Wijkmeerpolder

De Wijkmeerpolder vormt het meest kritieke punt in de analyse. De concentratie waar hier naar gestreefd wordt is 0,4‰. Deze waarde wordt echter op dit moment niet gehaald en in een gemiddeld jaar vormt dit geen problemen. De concentratie in de polder is dan gemiddeld 1,0‰ en hier zijn de teelten aan aangepast. De oplossing *selectief onttrekken met zoutvang* heeft een vergelijkbare concentratie tot gevolg als dat nu het geval is.

Schadedrempel

Op de bovenstaande twee discussiepunten volgt het feit dat de grenswaarde niet per sé maatgevend is. In deze scriptie is er uitgegaan van een grenswaarde van zoutconcentraties waarbij geen schade optreedt. Echter kan het deels toestaan van schade een economisch veel efficiëntere oplossing zijn. In het hoogheemraadschap van Rijnland is €ureyeopener, een rekeninstrument voor zoetwater, ontwikkeld om deze schade eenvoudig in beeld te brengen en een completere afweging te maken (Stuyt, et al., 2013).

Klimaatverandering - Droogte

De te verwachte drogere periodes in de toekomst (Beersma et al., 2004; KNMI, 2014b) zullen resulteren in lagere debieten van het Noordzeekanaal. Zoals andermaal vermeld heeft een laag debiet een slechte invloed op de zoutindringing. Bij grote droogte is een minimum debiet gegarandeerd van 10 m³/s (Rijkswaterstaat, 2013). Een langdurige afvoer met deze waarde zal bij de huidige zoutlek echter reeds tot problemen leiden (RoyalHaskoning-DHV, 2014a) voor het drinkwaterinnamepunt op het Amsterdam-Rijnkanaal. De alternatieven hebben verschillende hinder aan deze lage afvoeren. Slechts het bellenscherm blijkt hiervoor ongevoelig te zijn.

Klimaatverandering - Zeespiegelstijging

Bij de verschillende alternatieven is nog geen rekening gehouden met de zeespiegelstijging als gevolg van de klimaatverandering. In het rapport van Uittenbogaard (2013) wordt kort ingegaan op het effect van de zeespiegelstijging. Hij gaat hierbij uit van scenario's die het KNMI in 2006 heeft opgesteld. Deze gaan uit van een stijging tot 35cm in 2050 en tot 85cm in 2100. Inmiddels zijn deze verwachtingen bijgesteld tot 40cm in 2050, tot 80cm in 2085 en tot 100cm in 2100 (KNMI, 2014c). De zoutlek van de nieuwe grote sluis komt bij de zeespiegelstijging van 100cm op een waarde van 1606 kg/s. Dit betekent een stijging van bijna 40%. De verschillende maatregelen reageren hier anders op. Zo heeft het bellenscherm te allen tijde een doorlaatfractie van 50%. De andere maatregelen zijn afhankelijk van het debiet van het Noordzeekanaal. Hier is verder geen aandacht aan besteed.



Alternatieve oplossingen

In verschillende rapporten worden over innovatieve of andere oplossingen gesproken. Deze blijken echter minder effectief, of kostentechnisch niet interessant. Door de beperkte kwantitatieve kennis over deze alternatieven zal er in dit verslag geen aandacht worden besteed aan deze mogelijkheden, temeer omdat deze in het huidige ontwerptraject niet meer als mogelijkheden worden gezien (Deltares, 2014a). Alternatieve oplossingen waarover nagedacht kan worden zijn bijvoorbeeld de overige oplossingen uit bijlage C, maar ook innovatieve ideeën als de gelsluis waarover wordt gesproken bij de nieuwe waterweg (Rotterdam.nl, 2015). Een extra blik op deze alternatieven is een goed onderwerp voor vervolgonderzoeken.

Model

In het model zijn een aantal cruciale aannamen gedaan. Deze aannamen zijn grotendeels (uitgebreid) onderbouwd. Bovendien is het model gekalibreerd met bekende gegevens van de Wijkmeerpolder. Toch moet een kanttekening worden gemaakt. Voor extra zekerheid moeten er over een langere periode weersgegevens worden bijgevoegd om een zo betrouwbaar mogelijk beeld te krijgen. Tevens zou de porositeit van de grond moeten kunnen verschillen (groeien) met het neerslagoverschot. Deze aanpassingen kosten echter veel tijd en maken het model voor het doel van dit onderzoek onnodig complex. Voor verdere studies naar de zeesluizen zou het raadzaam zijn dit model verder te verbeteren. Mogelijk kan het model in Matlab geïmplementeerd worden om eenvoudiger te werken, zeker wanneer het model verder wordt uitgebouwd.

Metingen

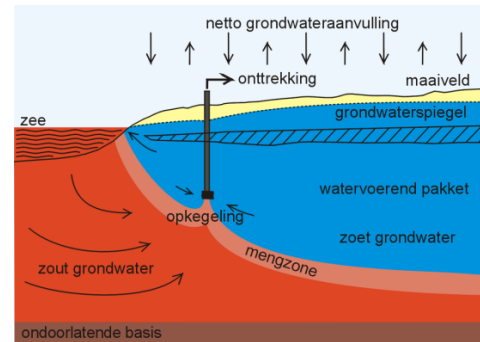
Ter extra aanvulling en eigen inbreng zijn er grondboringen gedaan en watermonsters genomen. Hieruit zijn geen afwijkende resultaten gevonden ten opzichte van gegevens van DINOloket (TNO, 2015) en zoutindringingsonderzoeken (Arcadis, 2011) (Deltares, 2014a). De metingen zijn op deze manier geverifieerd en vormen een welkome aanvulling op de literatuurstudies vanachter het bureau. Uitgebreide informatie over de uitkomsten van het onderzoek zijn te vinden in bijlage K t/m O.

Bijzaken ter interesse

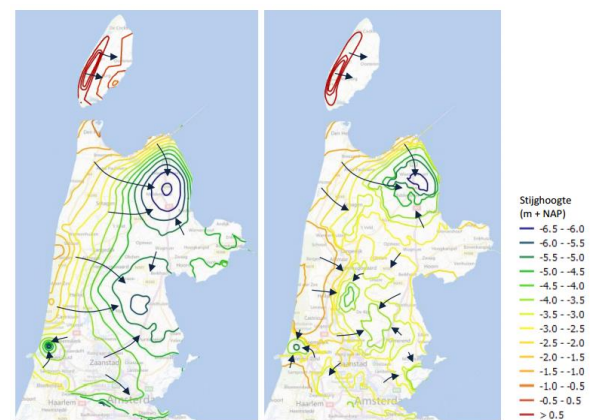
Grondwateronttrekkingen

Tijdens het onderzoek is onderzocht welke bedrijven koelwater onttrekken aan het Noordzeekanaal. In eerste instantie leek TATA steel een grote speler, maar wat blijkt is dat zij water vanuit diepe grondlagen onttrekken en vanuit de Noordzee (TATA Steel, 2012). Tijdens het onderzoek kwam hierover meer informatie beschikbaar en de mogelijke slechte gevolgen wat dit kan hebben. In figuur 22 is een illustratie weergegeven van de opkegeling die grondwateronttrekkingen kunnen veroorzaken wanneer dit is gesitueerd vlak naast zee (Oude Essink, 2015). Wanneer de nieuwe sluis (met zoutlekbeperkende maatregelen) gebouwd wordt, zou de opkegeling in theorie zout over een grote diepte naar het binnenland kunnen verplaatsen, wat een zoutindringing kan betekenen die een groot aandeel heeft in de gehele zoutindringing. De maatregelen op de sluis zouden dan weinig verschil maken.

Dit zijn slechts mogelijke scenario's, maar hiernaar zal na plaatsing van de nieuwe sluis onderzoek gedaan kunnen worden. Figuur 23 bevestigt de opkegeling met een weergave van het verschil in stijghoogten op verschillende diepten, door metingen met peilbuizen (HHNK, 2014). Links onderin is duidelijk de onttrekking van TATA steel te zien.



Figuur 21 Opkegeling in de kuststrook. Bron: Oude Essink (2015)



Figuur 22 Onttrekking TATA steel (HHNK 2014)

Corrosie door bellenscherm

Een bijzonder punt om te noemen is de invloed van een mogelijk bellenscherm (zie bijlage C) op de corrosie van de sluisdeuren, deze zorg is door Geobest geuit. Door de zuurstof die vanaf de bodem van de sluis omhoog wordt geblazen is er extra zuurstof aanwezig in het water, wat het corrosieproces versnelt. Zuurstof is namelijk de oxidator (InfoNu, 2014) van het roestproces. Wat buiten het roesten om interessant is, is dat de zoutlekbeperkende maatregelen (zoals in de introductie uitgelegd) door Deltares worden uitgedacht, maar de rest van de gehele sluis door een bouwcombinatie waarbij Deltares niet betrokken is. Het gevolg hiervan is dat er lastige raakvlakken ontstaan, waar het bellenscherm een goed voorbeeld van is. Zo is het ontwerp van combinatie Heijmans/ Jan de Nul (waar Geobest bij betrokken is) al in een ver stadium, maar is er van de kant van Deltares nog geen of slechts beperkte informatie beschikbaar, terwijl het wel in het ontwerp geïntegreerd moet worden.



Bibliografie

- Abraham, G. (1972). Theoretische beschouwingen over zoutindringing bij schutsluizen door luchtbellengroedijnen. *De ingenieur*, 12(84).
- Abraham, G., van der Burgh, P., & de Vos, P. (1973). *Pneumatic barriers to reduce salt intrusion*. Rijkswaterstaat, Waterhuishouding en waterbeweging. Den Haag: Government publishing office.
- AEB Amsterdam. (2015). *Info over AEB*. Opgeroepen op 04 22, 2015, van website van AEB Amsterdam: <http://www.aebamsterdam.nl/>
- Aendekerk, T.G.L. (2000). *Adviesbasis voor de bemesting van boomkwekerijgewassen. Vollegrondsteelt*. Boskoop.
- Alterra. (2013, 12). *Factsheet zouttolerante teelten*. Opgeroepen op 04 21, 2015, van Deltaproof: http://www.deltaproof.nl/Publicaties/deltafactframe/Zouttolerante_teelten.aspx?rld=8
- Angst, U., & Vennesland, Ø. (2009). Critical chloride content in reinforced concrete – State of the art. In A. e. al, *Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting* (pp. 311-317). Londen: Taylor and Francis group.
- ANP. (2011 17-05). Noordzeekanaal steeds zouter door droogte. *Algemeen Dagblad*.
- Arcadis. (2011). *Zoutindringing sluizen IJmuiden, effect nieuwe sluis op Noordzeekanaal*. Emmeloord.
- Arnold, G., & Kielen, N. (2010). *Towards new policy arrangements for water scarcity in the Netherlands: effects for all water users*. Rijkswaterstaat.
- Ayers, R., & Westcot, D. (1994). *Water quality for agriculture*. Rome.
- Bakel, P. v., & Stuyt, L. (2011). *Actualisering van de kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen. Op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktische ervaringen*. Wageningen: Alterra.
- Beersma, J., Buishand, D., & Buiteveld, H. (2004). *Droog, droger, droogst*. De Bilt.
- Braam, C. &. (2011). *Constructieleer gewapend beton*. AEnas.
- Clignett, R., & Heselmans, J. (2015). *Corrosie in waterbestendige milieus*. Opgehaald van aluminium en roestvaststaalbrance: <http://www.alurvs.nl/roestvast-staal/artikellijst/7610/>
- D'hooghe, J., Wustenberghs, H., & Lauwers, L. (2007). *Inschatting van het watergebruik in de landbouw, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij*. MIRA. Merelbeke, België: ILVO.
- Dam, A. v., Clevering, O., Voogt, W., Aendekerk, T., & Maas, M. v. (2007). *Zouttolerantie van landbouwgewassen, Deelrapport leven met zout water*. Wageningen.
- De Louw, P. (2013). *Saline seepage in deltaic areas*. Deltares, Amsterdam.
- De Vries, J. (1994). *Inleiding tot de hydrologie van Nederland*. Amsterdam: RODOPI.
- Deltares. (2014a). *Beperking Zoutindringing bij aanleg Nieuwe Sluis IJmuiden*. Delft.
- Deltares. (2014b). *Eindrapport beperking zoutindringing zijkanaal C - Spaarndam*.
- DGZ. (2015). *Interpretatie van drinkwaterresultaten*. Opgeroepen op 04 17, 2015, van Diergezondheidszorg: <http://www.dgz.be/interpretatie-van-drinkwaterresultaten>



- DHV. (2012). *Zeetoegang IJmond planstudie nieuwe zeesluis fase 1 milieutoets- deelrapportage water*.
- Dijkhuizen, B. (2015, 01 19). <http://www.logistiek.nl/>. Opgeroepen op 03 27, 2015, van <http://www.logistiek.nl/Distributie/multimodaal-transport/2015/1/Haven-Rotterdam-haalt-kleine-plus-over-2014-1686536W/>
- Elzerman, J. (1954). *Het Zoutscherm als middel tot ontziltling van het Noordzeekanaal*. Rijkswaterstaat, Studiedienst IJmuiden, IJmuiden.
- FAO. (1985). *Soil and water*. Opgeroepen op 05 26, 2015, van Food an Agriculture organisation of the UN: <http://www.fao.org/docrep/r4082e/r4082e03.htm>
- Friocourt, Y., Kuijper, K., & Leung, N. (2014). *Deltafact zoutindringing*. Deltares.
- Gemeente Velsen. (2013, 04 04). *Informatie over groen, bossen en natuurgebieden*. Opgeroepen op 04 14, 2015, van Gemeente Velsen: <https://dloket.velsen.nl/loket/producten-en-diensten/openbaar-groen-bossen-en-natuurgebieden>
- Gemert, D. v., & Schueremans, L. (1997). Preventieve bescherming van gewapend betonstructuren tegen chloridenindringing. *Infrastructuur in het leefmilieu*, 93-100.
- Google. (2015). *Google Maps*. Opgeroepen op 4 13, 2015, van <http://google.nl/maps>
- Grontmij. (2008). *Bestemmingsplan de Buitenlanden*. Alkmaar.
- Gunnink, J., Veldkamp, J., Dam, D., Weerts, H., & van der Linden, W. (2004). *Deklaagmodel en geohydrologische parametrisatie*. TNO.
- HHNK. (2008a). *Overzicht schutsluizen, bruggen en veerponten*. HHNK.
- HHNK. (2008b, 09). *Verzoetend Noorderkwartier*. Opgeroepen op 05 22, 2015, van HHNK Water: http://hnk-water.nl/clhist/rap_verzoetend_hhnk.html#NLRNWE12_NZK_3_02
- HHNK. (2014). *Grondwaterbeleidskader Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier*. Heerhugowaard.
- Hoekstra, A. (2012). *Water*. Enschede.
- Hoekwater, W. (1910). *Polderkaart van de landen tussen Maasch en IJ*. Amsterdam: DisHoeck.
- InfoNu. (2014, 02 21). *De corrosie van metalen*. Opgeroepen op 05 20, 2015, van InfoNu: <http://wetenschap.infonu.nl/techniek/126923-de-corrosie-van-metalen.html>
- Ingenieursbureau Gemeente Amsterdam. (2013). *Zeetoegang IJmond, ontwerp nota/ voorontwerp civiele bouwdelen nieuwe zeesluis IJmuiden*. Constructies Grote Projecten.
- IOC; SCOR; IAPSO. (2010). *The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties*. UNESCO, Intergovernmental Oceanographic Commission.
- Jacobs, A. F., Heusinkveld, B. G., & Holtslag, A. A. (2010). Eighty years of meteorological observations at Wageningen, the Netherlands: precipitation and evapotranspiration. *International journal of climatology*, 1315-1321.
- Jonker, J., & Kunst, A. (2011). *Persleidingbreuk in Velsen-Noord kerst 2009*.
- Kadaster & geonovum. (2015). *Ruimtelijke plannen*. Opgeroepen op 4 14, 2015, van bestemmingsplannen en structuurvisies: <http://www.ruimtelijkeplannen.nl/web-roo/roo/bestemmingsplannen?postcode=1566AA>



- Kikkert, A. (2011). *Zoutindringing Noordzeekanaal – Amsterdam-Rijnkanaal nu en in de toekomst*. Rijkswaterstaat, Waterkwaliteit en ecologie.
- KNMI. (2014a, 07 04). *Droogte*. Opgeroepen op 05 19, 2015, van Nader Verklaard: <http://www.knmi.nl/cms/content/29530/droogte>
- KNMI. (2014b). *KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. De Bilt: KNMI.
- KNMI. (2014c, 12 17). *Seizoensdata*. Opgeroepen op 05 13, 2015, van Nader verklaard: <http://www.knmi.nl/cms/content/33516/seizoensdata>
- KNMI. (2015a, 05 12). *weerstatistieken vanaf 1901*. Opgeroepen op 05 12, 2015, van neerslagsommen: <https://weerstatistieken.nl/>
- KNMI. (2015b, 05 12). *Weerverleden*. Opgeroepen op 05 12, 2015, van <http://weerverleden.nl/>
- Lyman, J. (1969). Redefinition of salinity and chlorinity. In J. Lyman, *Limnology and Oceanography* (Volume 14 ed., pp. 928-929). Chapel Hill, North Carolina, United States.
- Marine science center. (2004). *Density and salinity*. California.
- MaritiemNederland. (2014, 08 20). <http://www.maritiemnederland.com/>. Opgeroepen op 03 27, 2015, van <http://www.maritiemnederland.com/nieuws/overslag-aan-het-noordzeekanaal-stijgt-met-5/item1435>
- Mengel, D. (1993). *Fundamentals of Soil Cation Exchange Capacity (CEC)*. Opgeroepen op 05 07, 2015, van Agronomy guide purdue University: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ay/ay-238.html>
- NUON. (2015). *Energiecentrales gas*. Opgeroepen op 04 16, 2015, van activiteiten NUON: <http://www.nuon.com/activiteiten/productie/gas/gasgestookte-centrales/>
- Oude Essink, G. (2015, 04 29). *Zoet-Zout problematiek*. (Deltares) Opgeroepen op 05 07, 2015, van ZoetZout Wiki: <https://publicwiki.deltares.nl/display/ZOETZOUT/Home>
- Oude Essink, G., & de Louw, P. (2015). *Deltafact brakke kwel*. Deltares.
- Ploegman, C. (1977). *Waterkwaliteit en bloembollenteelt*. Wageningen.
- Rijksoverheid. (2011). *Staatsblad 193, Drinkwaterbesluit*. Den Haag.
- Rijkswaterstaat. (1979). *De waterhuishouding van het Noordzeekanaal*.
- Rijkswaterstaat. (2004). *Het Noordzeekanaal in cijfers*.
- Rijkswaterstaat. (2011). *Watermanagement in the Netherlands*. Den Haag: ANDO.
- Rijkswaterstaat. (2013). *Waterakkoord voor het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal*.
- Rijkswaterstaat. (2014). *Rijkswaterstaat actueel*. Opgeroepen op 04 28, 2015, van Rijkswaterstaat: http://www.rijkswaterstaat.nl/actueel/nieuws_en_persberichten/2014/december2014/rijks_waterstaat_en_waterschap_vechtstromen_pakken_kwelprobleem_versneld_aan.aspx
- RIZA; HKV; Arcadis; KIWA; Korbee en Hovelynck. (2005). *Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland*.
- Roest, C., Bakel van, P., & Smit, A. (2003). *Actualisering van de zouttolerantie van land-en tuinbouwgewassen ten behoeve van de berekening van de zoutschade in Nederland*. Wageningen: Alterra.



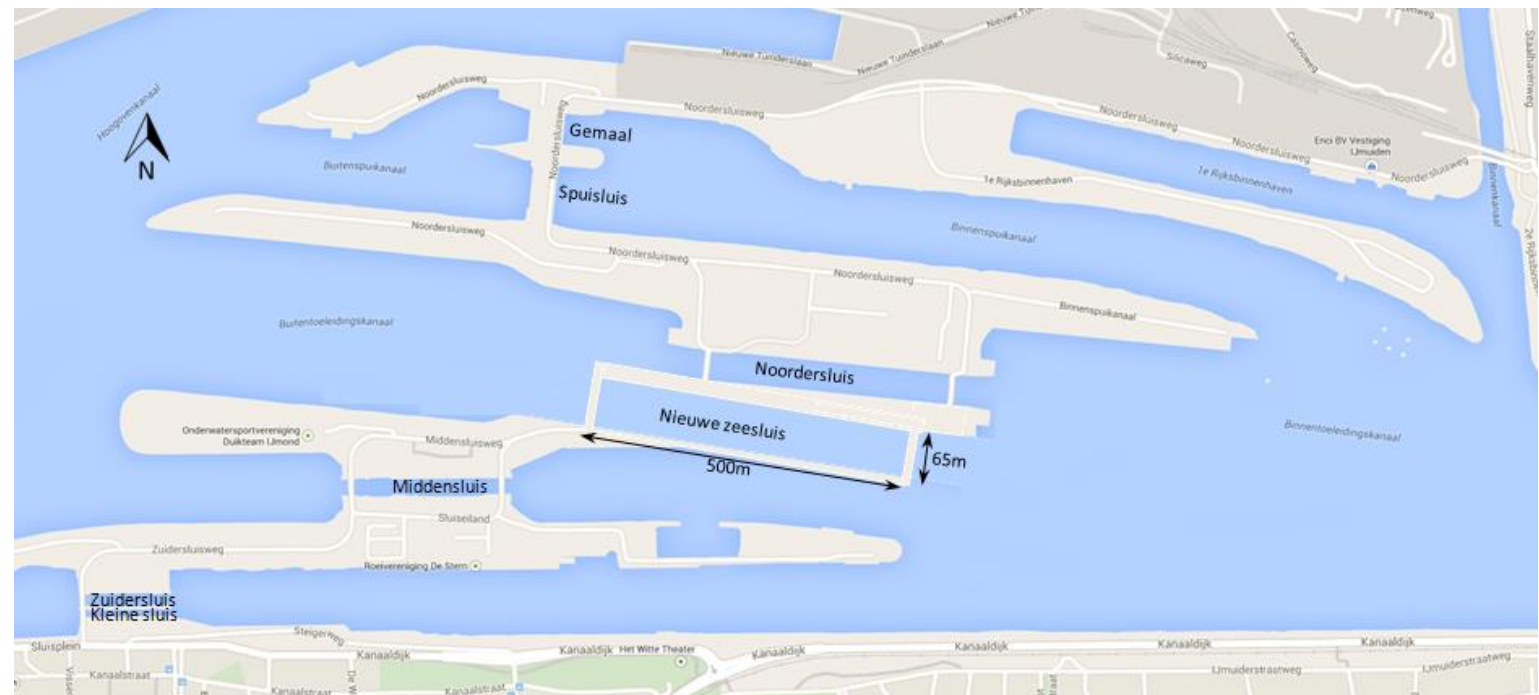
- RoyalHaskoning-DHV. (2014a). *Provinciaal inpassingsplan zeetoegang IJmond*. Amersfoort.
- RoyalHaskoning-DHV. (2014b). *Zeetoegang IJmond, deelrapport Natuur*. Amersfoort.
- Slootjes, N. (2003). *Analyse hydraulische en chloridemetingen in het Binnenspuikanaal, IJmuiden*. Rijkswaterstaat.
- Sonneveld, C. (1988). The salt tolerance of greenhouse crops. *Netherlands journal of Agricultural science* 36, 63-73.
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (1983). Studies on the salt tolerance of some flower crops grown under glass. *Plant and soil* nr 74, 41-52.
- Struyt e.a. (2013). *Zoetwatervoorziening in het hoogheemraadschap van Rijnland*. Wageningen: Alterra.
- Tanji, K., & Kielen, N. (2002). *Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas*. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
- TATA Steel. (2012, 08 31). *Actueel*. Opgeroepen op 04 21, 2015, van Amsterdam IJmuiden offshore port: <http://www.ayop.com/nl/ayop-nieuws/actueel/tata-steel-zet-fors-in-op-energiebesparing/>
- TNO. (1991). *Industriële koelsystemen, milieu-aspecten en kosten*. Apeldoorn.
- TNO. (2003). *Ecosysteemeffecten koelwatergebruik Noordzeekanaal*. Apeldoorn.
- TNO. (2015). *Ondergrondgegevens*. Opgeroepen op 04 13, 2015, van DINOloket: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- Twente Academy. (2015). *Het periodiek syteem der elementen*. Opgeroepen op 04 23, 2015, van <http://www.systeemderelementen.nl/>
- Uittenbogaard, R. (2013). *Verkenning maatregelen beperken zoutlek Nieuwe Zeesluis IJmuiden*. Deltares, Delft.
- Unesco. (1981). *Background papers and supporting data on the practical salinity scale 1978*. Unesco technical papers in marine science, Parijs.
- van Ommen, J., & de Lange, W. (1987). Het waterspanningssondeerapparaat; toepassing en gebruik ter bepaling van geotechnische parameters. *H2O* nr. 17, 417-422.
- Verruijt, A., & van Baars, S. (2005). *Grondmechanica*. Delft: VSSD.
- Weiler, O. (2014). *Beperking zoutindringing bij aanleg nieuwe sluis IJmuiden*. Deltares.
- Weiler, O., & Cornelisse, J. (2014). *Bellenschermstelsysteem nieuwe sluis IJmuiden*. Deltares, Delft.
- Weiler, O., & Uittenbogaard, R. (2014). *Beperking Zoutindringing bij aanleg nieuwe sluis IJmuiden*. Deltares.



Bijlagen

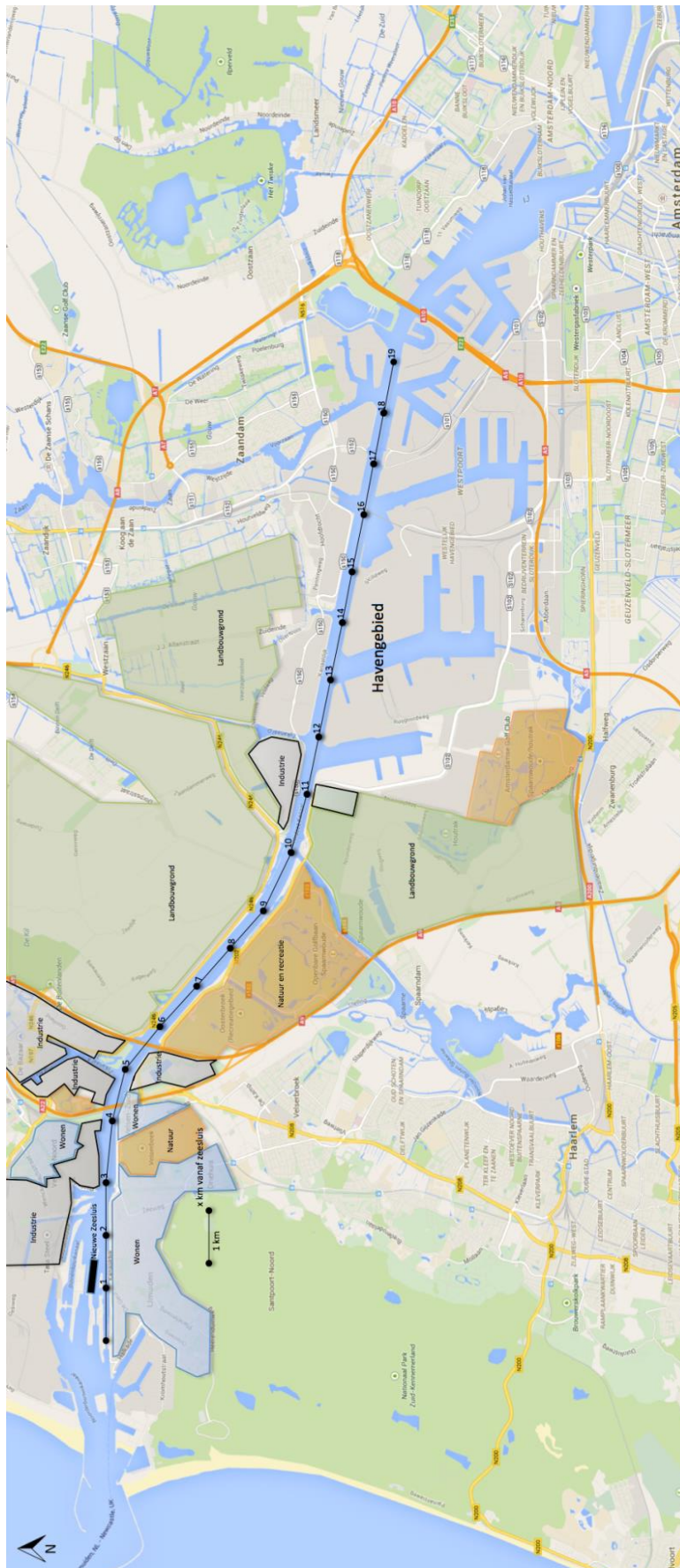
- A. Bijlage sluizencomplex
- B. Bijlage grondgebruik studiegebied
- C. Bijlage technieken zoutreductie zeesluizen
- D. Bijlage gemeenten studiegebied
- E. Bijlage hoogteligging
- F. Bijlage uitleg promillage
- G. Bijlage uitleg NaCl
- H. Bijlage gemalen en sluizen Noordzeekanaal
- I. Bijlage maatgevende zoutconcentraties
- J. Bijlage alternatieven Deltares
- K. Bijlage onderzoeksopzet
- L. Bijlage ondergrondgegevens
- M. Bijlage laboratoriumresultaten
- N. Bijlage kweldebieten
- O. Bijlage Wijkermeerpolder
- P. Bijlage grenswaarden actoren

A. Bijlage sluizencomplex



Figuur 1 Sluizencomplex met locatie nieuwe zeesluis

B. Bijlage grondgebruik studiegebied



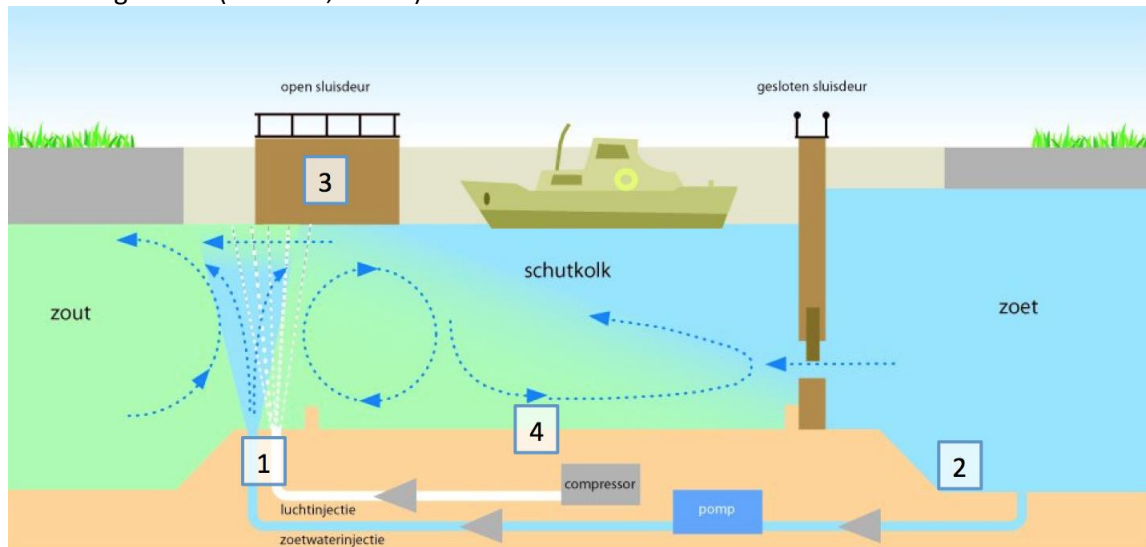
Figuur 2 Studiegebied met verschillende soorten landgebruik

C. Bijlage technieken zoutreductie zeesluizen

Luchtbellenscherm

Het luchtbellenscherm wordt op de bodem van de sluis geplaatst, in de breedterichting, en blaast luchtbellen omhoog. De meest gebruikte plaats is achter de sluisdeur aan de zeezijde. Er zijn echter ook toepassingen waarbij het bellenscherm voor de sluis wordt geplaatst, om het water aan zeezijde van de sluis zo zoet mogelijk te houden. De luchtbellen blazen verticaal omhoog, zodoende wordt de horizontale stroming verstoord en vermenging van zoet- en zoutwater wordt tegengegaan. Het waterscherm functioneert op eenzelfde manier, maar dan door in plaats van lucht, water te spuiten. Zie figuur 3, bij nummer 1.

Een uitgebreide productuitwerking van het bellenscherm voor de nieuwe zeesluis is door Deltares reeds uitgewerkt (Deltares, 2014a)



Figuur 3 Zeesluis met diverse technieken voor zoet-zout waterscheiding. Bron: Beeldbank RWS (2013)

Zoutvang

De zoutvang maakt gebruik van de natuurkundige verschillen tussen zout- en zoetwater. Zoutwater heeft een grotere dichtheid en zakt naar beneden, waar een uitsparing is gemaakt. Deze uitsparing bevindt zich over de breedte aan de buitenzijde van de sluisdeur aan landzijde. Hier vandaan wordt het zoutwater afgepompt. Zie figuur 3, bij nummer 2.

De 'lekkende ebdeur'

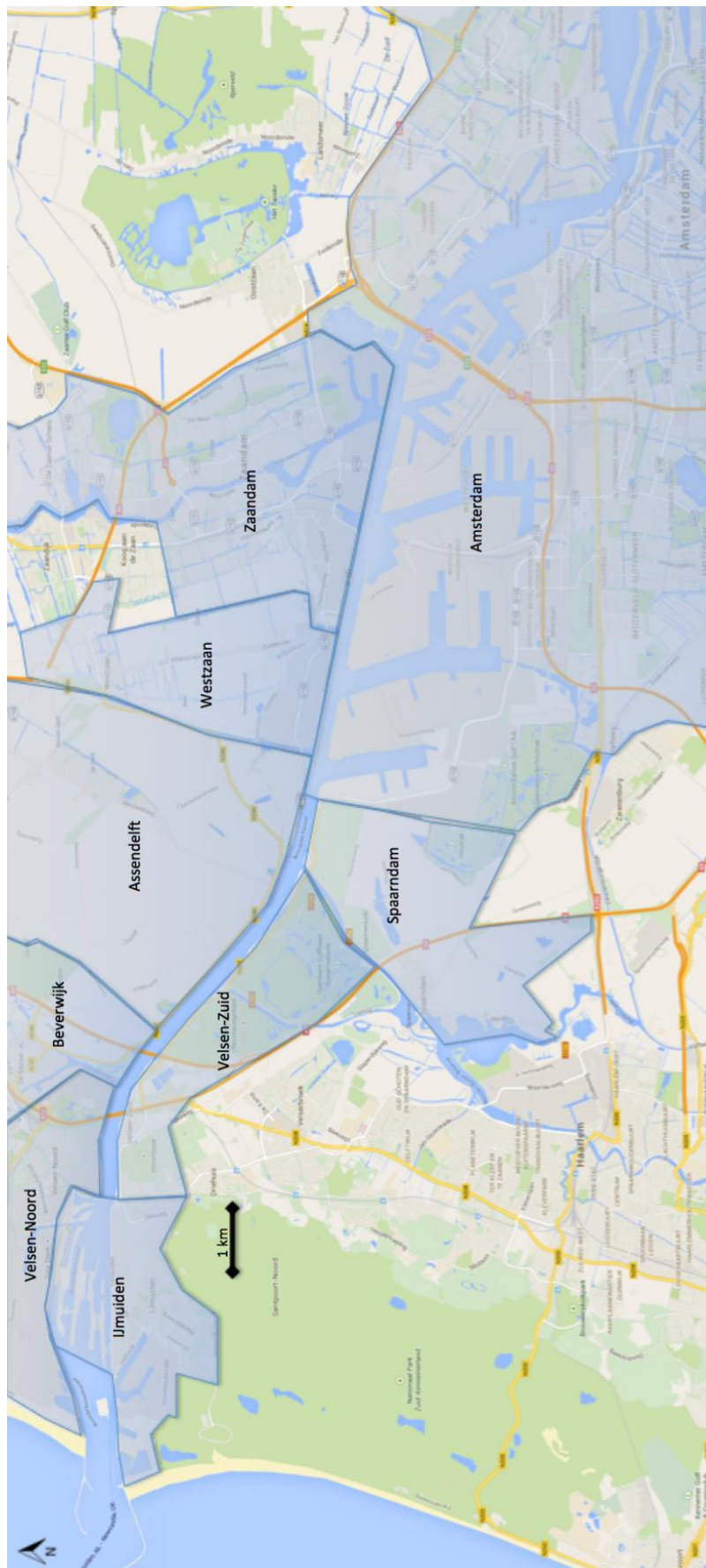
De 'lekkende ebdeur' laat bij eb continu kleine hoeveelheden zoetwater doorlopen, waardoor het water voor de sluis minder zout wordt. Hierdoor komt er bij het schutten minder zout water binnen. Deze techniek zit in de sluisdeur aan de zeezijde, zoals te zien is in figuur 3, bij nummer 3.

Zoet-zout scheidingssysteem

Het zoet-zout scheidingssysteem, zoals toegepast in de Krammerjachtensluis in Terneuzen, maakt eveneens gebruik van het feit dat zoutwater zwaarder is dan zoet. Het zoute water wordt van onderen weggepompt, in de sluis, en van boven wordt met zoetwater de sluis op niveau gehouden. Op deze manier wordt het water volledig verversd voordat de sluis aan de binnenzijde wordt geopend. Zie locatie 4 in figuur 3.

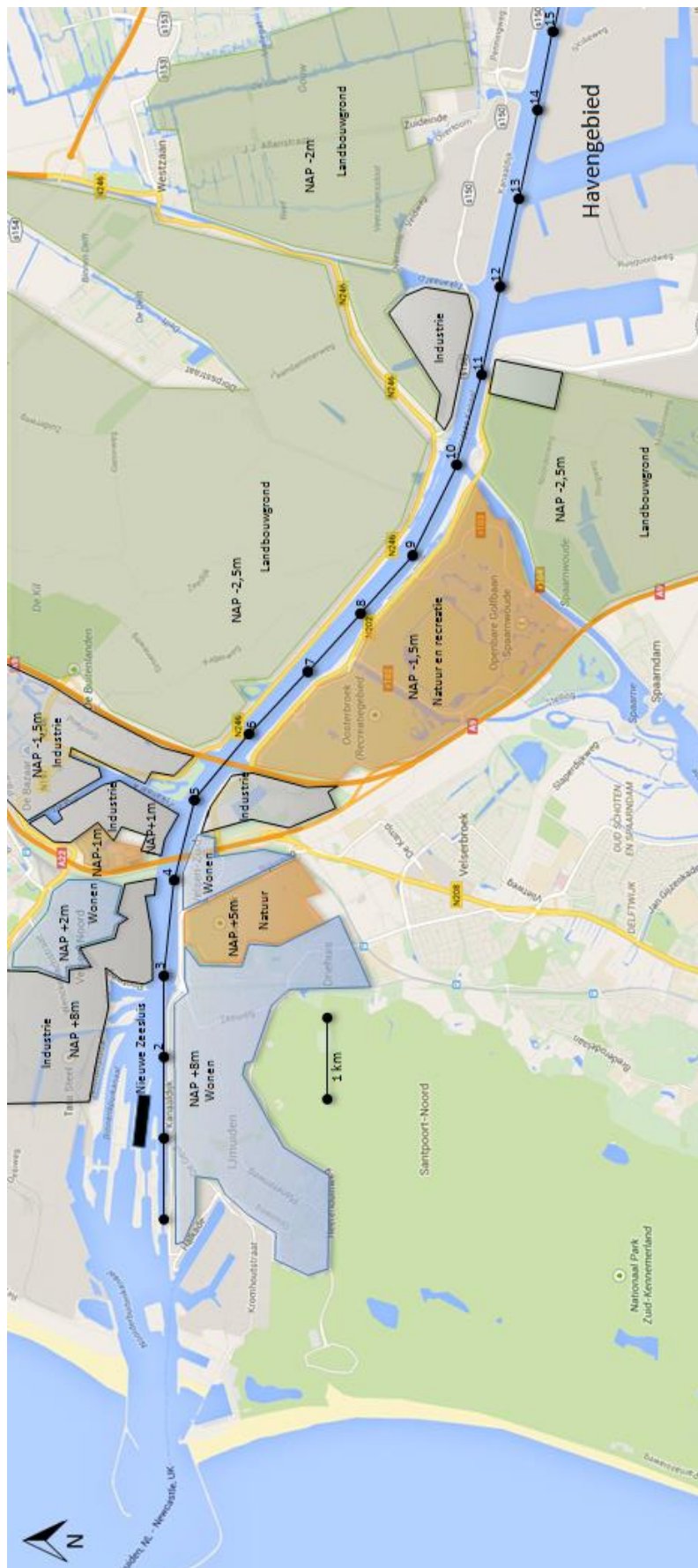
Bron: Deltafact zoutindringing, (Friocourt, Kuijper, & Leung, 2014)

D. Bijlage gemeenten studiegebied



Figuur 4 Studiegebied met de verschillende gemeentegrenzen

E. Bijlage hoogteligging



Figuur 5 Studiegebied met hoogteligging van verschillende grondgebruiken



F. Bijlage uitleg promillage

In dit rapport wordt gebruik gemaakt van promillage om de zoutconcentratie mee aan te duiden. In de literatuur zijn er verschillende eenheden waarmee de concentratie van zout in water wordt aangegeven, maar omdat er regelmatig omgerekend moet worden van en naar chlorideconcentraties is er gekozen voor de verhouding promillage. De reden om niet procentueel te werk te gaan is om de praktische reden dat er anders vaak met veel cijfers achter de komma gerekend moet worden. Om dit rapport zo breed mogelijk in te kunnen zetten volgt hier een omrekening naar de meest gebruikte eenheden voor zoutconcentraties. Allereerst wordt het zoutpromillage verder toegelicht.

Zoutpromillage

Een concentratie van 1‰ is gelijk aan 1000mg per liter zout, oftewel 1 gram per liter.

Deze waarde is ook bekend als de 'Knudsen' saliniteit (Lyman, 1969). Knudsen schreef de concentratie van chloride om tot een algemene zoutconcentratie, soortgelijk als te lezen is in bijlage G, Scheikundige achtergrond NaCl.

$$1‰ = 1000\text{mg/L} = 1\text{g/L}$$

Practical Salinity Scale (PSS) (Unesco, 1981)

Deze maat voor chlorideconcentratie is naast het gebruik van promillage waarschijnlijk de meest voorkomende manier om zoutconcentraties aan te duiden. Vaak wordt de eenheid Practical Salinity Unit (PSU) genoemd. De eenheid is afgeleid van elektrische conductiviteit en is nagenoeg gelijk aan promillage.

$$1‰ \approx 1 \text{ PSU} = 1 \text{ PSS}$$

Parts per thousand (PPT)

Deze waarde is per definitie gelijk aan het promillage.

$$1‰ = 1 \text{ PPT}$$

Electric conductivity (IOC; SCOR; IAPSO, 2010)

Deze eenheid gaat uit van de veranderende elektrische geleiding van water, wanneer de zoutconcentraties verschillen. De temperatuur speelt echter ook een rol in het geleidingsvermogen van water, dus onderstaande omrekening geldt slechts bij een temperatuur van 15°C.

$$1‰ = 1,2257 \text{ MS/cm}$$

Thermodynamic Equation Of Seawater 2010 (TEOS-10) (IOC; SCOR; IAPSO, 2010)

De TEOS-10 is de nieuwste zoutindex, met de reference composition salinity scale uitgedrukt in g/kg.

$$1‰ = 1,0057 \text{ g/kg}$$

Tabel 1 Omreken tabel aanduidingen zoutconcentraties

Naar						
Van		‰	PSS/PSU	PPT	MS/cm	g/kg
	‰		x 1,0	x 1,0	x 1,226	x 1,006
	PSS/PSU	x 1,0		x 1,0	x 1,226	x 1,006
	PPT	x 1,0	x 1,0		x 1,226	x 1,006
	MS/cm	x 0,816	x 0,816	x 0,816		x 0,821
	g/kg	x 0,994	x 0,994	x 0,994	x 1,219	



G. Bijlage uitleg NaCl

Scheikundige achtergrond

Het zeewater dat bij de sluizen van IJmuiden het Noordzeekanaal in 'lekt', bevat per liter ongeveer 35 gram zout. Het grootste gedeelte van dit zout is natriumchloride, het welbekende 'keukenzout', á ongeveer 25 gram. NaCl is zeer goed oplosbaar in water, er kan maar liefst 360 g/L oplossen alvorens er neerslag optreedt. Verder zitten er zouten in die zijn opgebouwd uit ofwel natrium, ofwel chloride (Marine science center, 2004). De natrium- of chlorideconcentratie is dus grofweg te koppelen aan de zoutconcentratie. De opbouw van het natriumchloridemolecuul is eenvoudig en lost volledig op in water:



De atomaire massa-eenheid van beide atomen en het samengestelde molecuul is (Twente Academy, 2015):

$$\text{Na}^+ = 22.99 \text{ g/mol}$$

$$\text{Cl}^- = 35.45 \text{ g/mol}$$

$$\text{NaCl} = 58,44 \text{ g/mol}$$

Wanneer enerzijds de natrium- of chlorideconcentratie bekend is kan de zoutconcentratie worden berekend. Anderzijds kan uit de zoutconcentratie de natrium- of chlorideconcentratie worden berekend. De verhouding is als volgt:

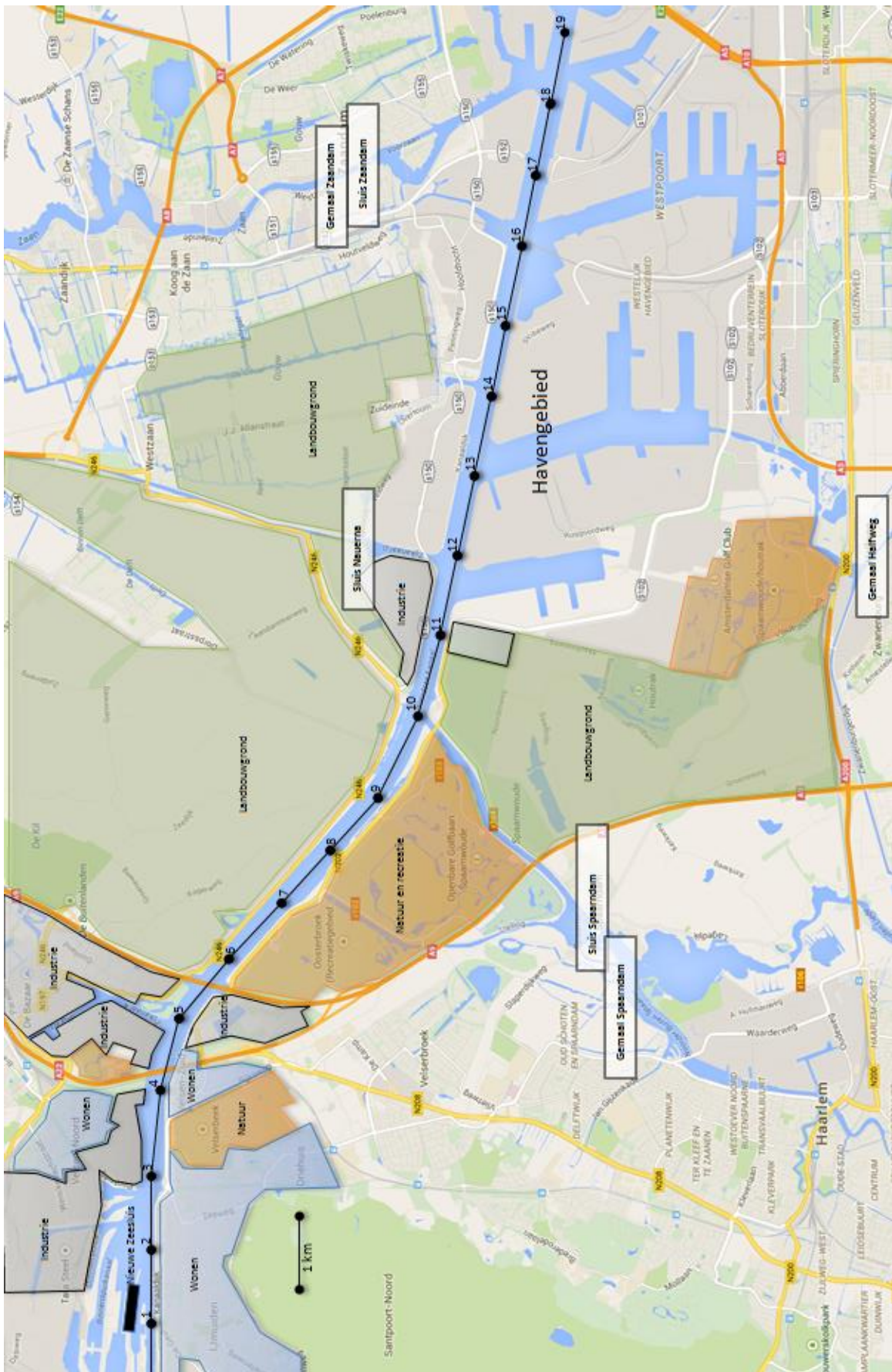
$$\frac{\text{Na}^+}{\text{NaCl}} \approx 40\%, \quad \frac{\text{Cl}^-}{\text{NaCl}} \approx 60\%$$

Met deze kennis kunnen we met verschillende concentraties uit de literatuur uit de voeten.

Tabel 2 Omreken tabel chloride-, natrium- en zoutpromillages

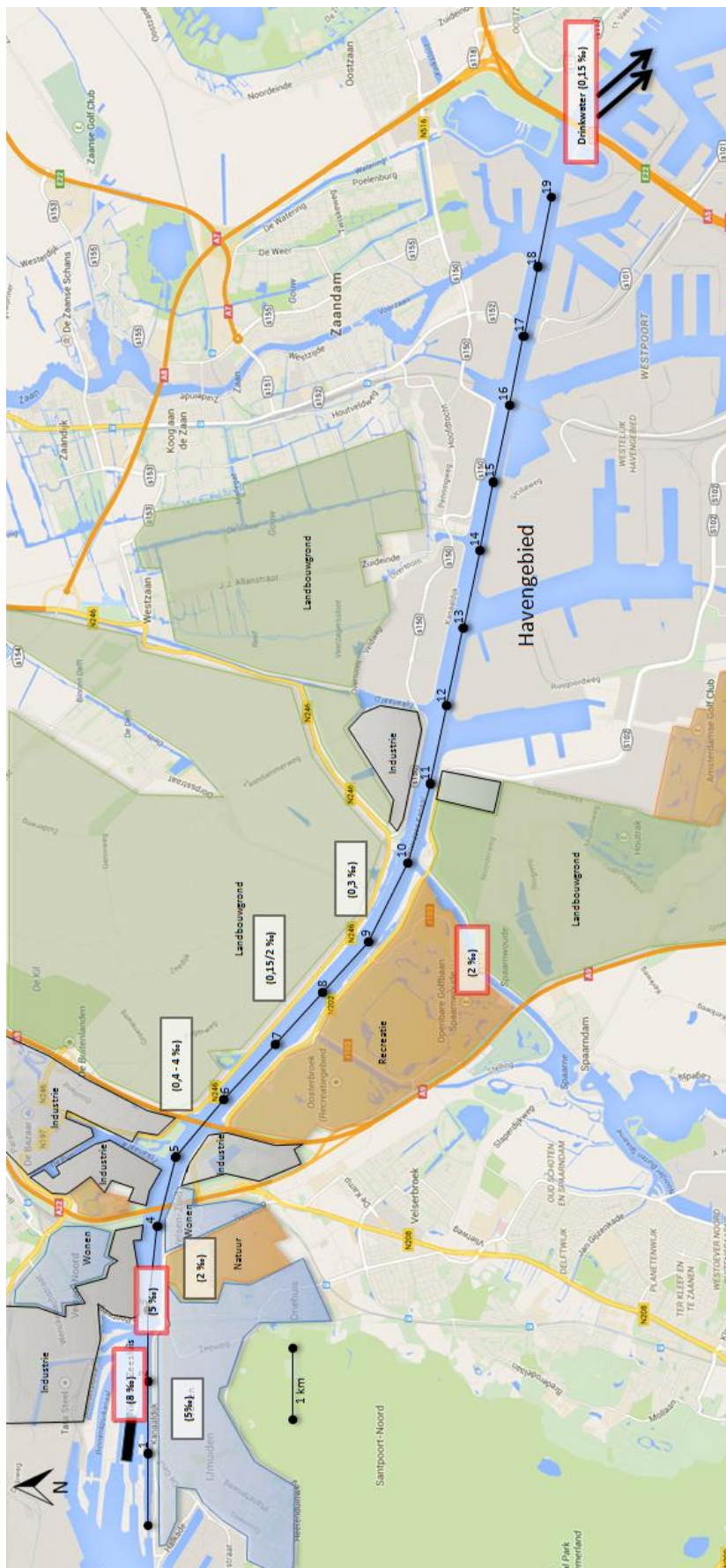
	Naar		
	Na ⁺	Cl ⁻	NaCl
Van	Na ⁺	x 1,5	x 2,50
	Cl ⁻	x 0,67	x 1,67
	NaCl	x 0,40	x 0,60

H. Bijlage gemalen en sluisen Noordzeekanaal



Figuur 6 Studiegebied met gemalen en sluisen

I. Bijlage maatgevende zoutconcentraties



Figuur 7 Studiegebied met maatgevende zoutconcentraties

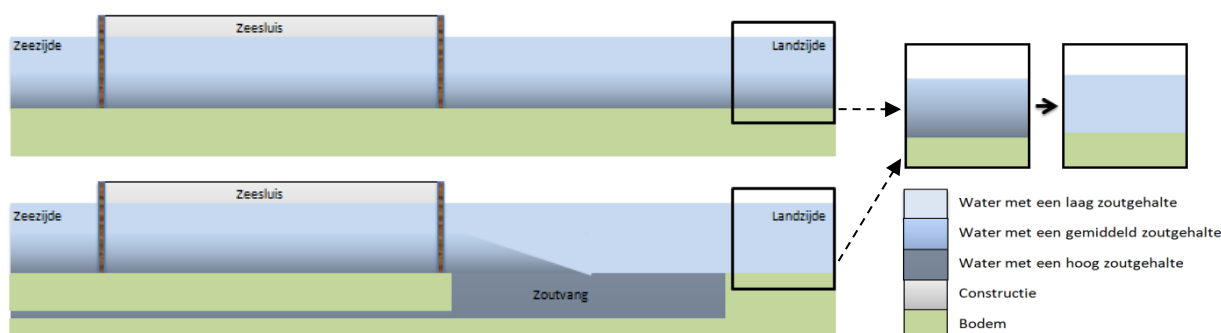
J. Bijlage alternatieven Deltares

De verschillende mogelijkheden om zoutindringing te beperken zijn samen te vatten in twee onderwerpen. De eerste is het tegenhouden van zout, de tweede is het afvoeren van zoveel mogelijk zout. Het debiet van het Noordzeekanaal is echter beperkt en het is te verwachten dat deze in de toekomst door de klimaatverandering vaker klein is (Beersma, Buishand, & Buiteveld, 2004). Om deze reden moet de zoutconcentratie in de afvoer vergroot worden om meer zout met een gelijk debiet af te voeren, of moet er zoveel mogelijk zout worden buiten gehouden.

De maatregelen zijn gelokaliseerd in sluis of bij het gemaal en de spuisluis, welke zich noordelijk bevinden van de Noordersluis, zoals te zien is in figuur 13.

Zoutvang (vergroten zoutconcentratie afvoer)

De zoutvang is een verdiept aangelegde kom, aan de landzijde van de sluis (figuur 8). Het zwaardere zoute water hoopt zich op in de uitsparing en kan bij eb onder vrij verval leegstromen, of mechanisch met behulp van een gemaal. De locatie van de zoutvang is in de zogenaamde Velserskom. Deze ligt aan de oostzijde van het sluisencomplex. In eerdere studies is reeds gekeken naar de haalbaarheid van deze oplossing (Elzerman, 1954), maar destijds vormde de kleilaag op NAP -16 meter een probleem. De kleilaag dekt de watervoerende, onderliggende zandlaag af en wanneer deze wordt doorgegraven kan er grote grondwaterproblematiek ontstaan (Weiler & Uittenbogaard, 2014). Tegenwoordig is er echter meer ervaring met het dichten van zandlagen door middel van klei. Zo is er in de Twentekanal, tussen Eefde en Lochem en bij Almelo- De Haandrik, een soortgelijk project met succes uitgevoerd (Rijkswaterstaat, 2014).

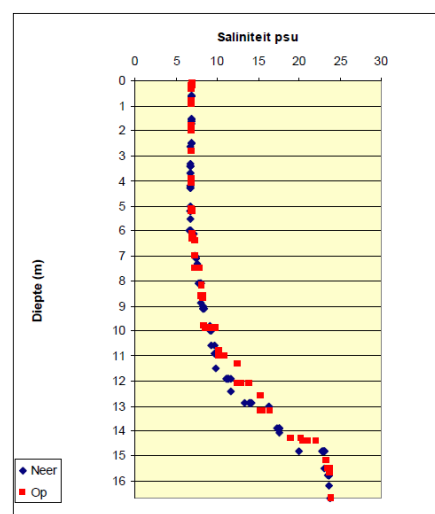


Figuur 8 Zeesluis met zoutvang

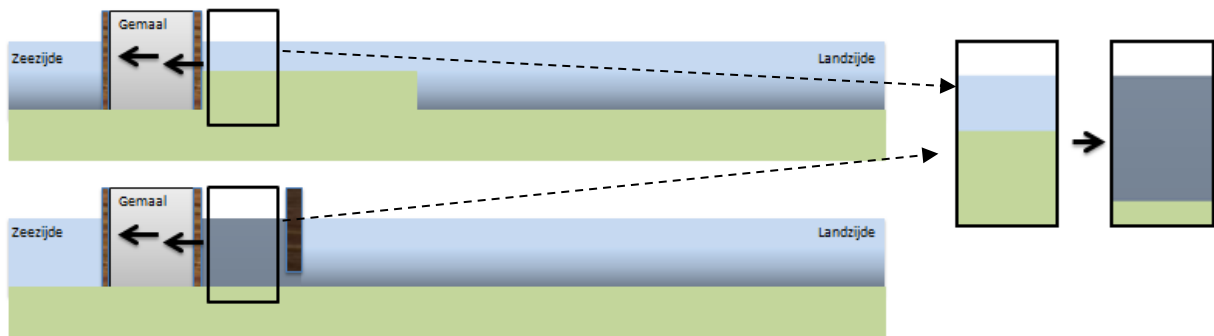
Selectief onttrekken (vergroten zoutconcentratie afvoer)

De optie selectief onttrekken houdt in dat er water met een hoog zoutgehalte uit het Noordzeekanaal wordt onttrokken. Hierdoor wordt met weinig water relatief veel zout uit het Noordzeekanaal verwijderd. Het zoutere water bevindt zich op de bodem van het Noordzeekanaal, door de grotere dichtheid van zout water ten opzichte van zoet water (figuur 9). Deze zogenaamde 'zouttong' (Friocourt et al., 2014) kan vervolgens worden weggepompt, zodat het op grotere afstand van de sluis niet vermengd met het zoetere water. Selectief onttrekken kan onder vrij verval (bij eb) of met een gemaal (Weiler & Uittenbogaard, 2014).

Voor deze optie wordt een onttrekkingconstructie aangebracht die het water afsluit met uitzondering van de diepste 2-3 meter (figuur 10). De plaatsing is voor het gemaal en de spuisluis, waar het grootste deel van het debiet van het Noordzeekanaal wordt afgevoerd. Zo wordt slechts het diepste en zoutste water afgevoerd. Er moet hiertoe wel uitgebaggerd worden, omdat de diepte van het binnenspuikanaal niet toereikend is.



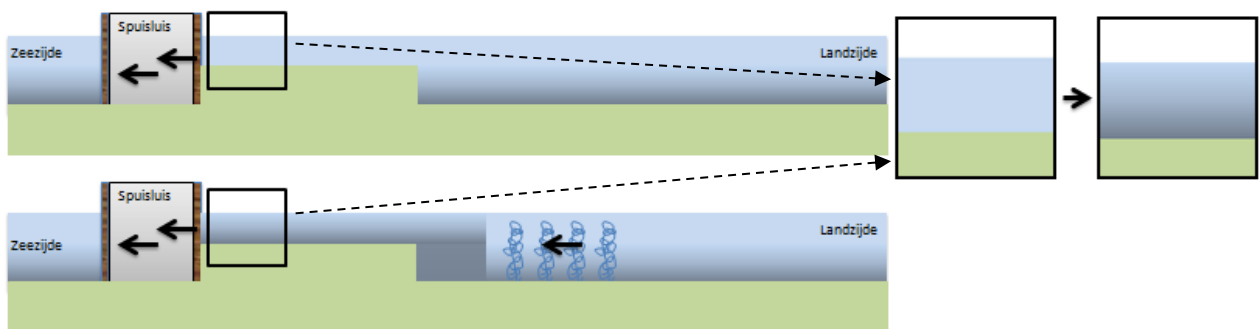
Figuur 9 Zoutconcentratieverloop met de diepte



Figuur 10 Selectieve onttrekking

Bellenpluimen (vergroten zoutconcentratie afvoer)

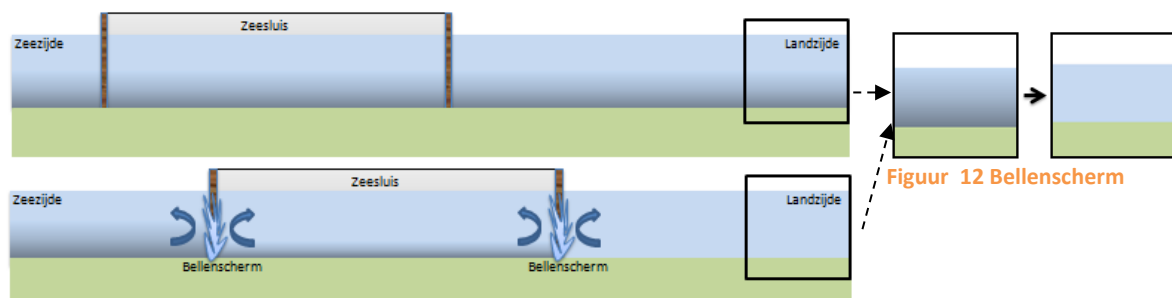
Door lucht op de bodem van het kanaal omhoog te blazen, wordt het zoute water opgemengd met het zoetere bovenliggende water. Zo worden de bovenliggende meters van een hogere zoutconcentratie, waardoor met hetzelfde debiet, meer zout verwijderd wordt. Bij de spuisluizen en het gemaal wordt immers water van de bovenlaag weggepompt, zoals te zien is in figuur 11. Na het aanbrengen van de bellenpluimen is de zoutconcentratie meer uniform verdeeld en wordt er relatief meer zout afgevoerd door de spuisluis of het gemaal.



Figuur 11 Bellenpluimen

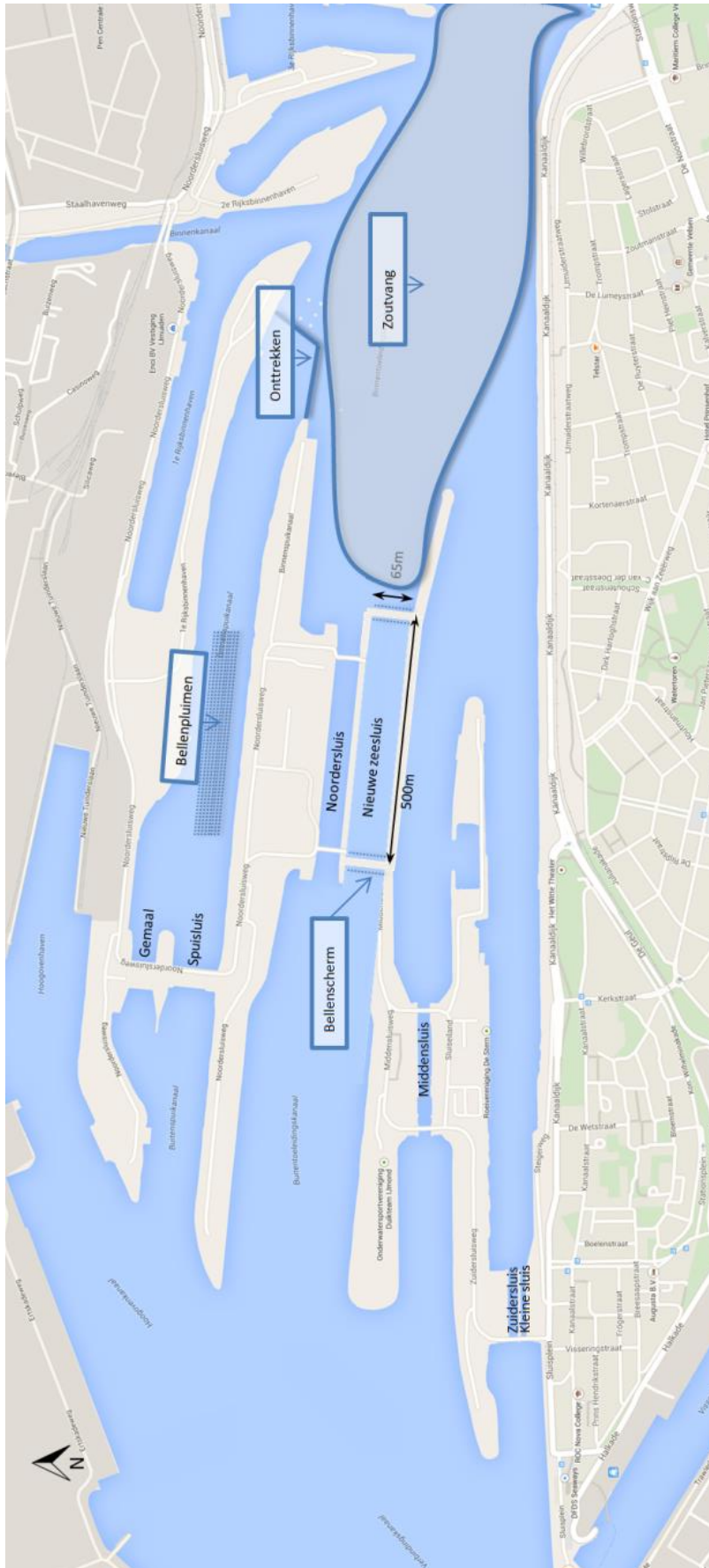
Bellenscherm (beperken zoutindringing)

Het bellenscherm houdt zout water zoveel mogelijk buiten het Noordzeekanaal. Door de opstijgende luchtbellen wordt het water verticaal gescheiden en vindt er minder vermenging plaats. Het bellenscherm wordt over de breedte van de sluis geplaatst, zowel aan de zee- als aan de landzijde, vlak voor en na de deuren. Er komen dus in totaal 4 buizen over de breedte van de sluis te liggen, om het effect te vergroten, zie figuur 12.



Figuur 12 Bellenscherm

Het bellenscherm wijkt af van de bellenpluimen, omdat de bellenpluimen met veel grotere aantallen geplaatst worden. De bellenpluimen worden op een grote oppervlakte geplaatst, Weiler en Uittenbogaard (2014) spreken van de volledige bodem van het (verdiepte) binnenspuikanaal. Het bellenscherm bestaat zoals aangegeven slechts 4 stroken, zie figuur 12.



Figuur 13 Locatie verschillende alternatieven Deltares

K. Bijlage onderzoeksopzet

In het kader van een wetenschappelijk rapport wordt een praktijkonderzoek gedaan. Hierbij wordt op locatie gemeten hoe de zoutwaterproblematiek plaatsvindt langs het Noordzeekanaal en daarbuiten. Er worden dijken geanalyseerd waar volgens de eerste hoofdvraag van het onderzoek de kans op zoutwaterschade het hoogst is.

Doel

Het doel van het praktijkonderzoek is tweeledig. Er worden watermonsters genomen om het verloop van de zoutgradiënt te toetsen en er wordt onderzocht hoe het waterverloop door een dijk is. Hiertoe worden er watermonsters aan beide kanten van de dijk genomen. Ook worden de dijken gemeten om het kweldebiet te kunnen berekenen met Darcy en worden er grondproeven gedaan om de grondsoort te bepalen en de daarbij horende doorlatendheid. Zo kan vergeleken worden hoe de binnendijkse zoutconcentratie is volgens de theorie en hoe deze daadwerkelijk is in de praktijk.

Tevens wordt er in het studiegebied nagegaan of de huidige aannamen rondom actoren en landgebruik correct zijn, ook wordt er gekeken naar de aanwezigheid betonrot in het studiegebied.

Dus, de doelen zijn;

- Bepalen van het verloop van de zoutconcentratie vanaf het sluizencomplex bij IJmuiden tot op de ringvaart bij Lisse.
- Bepalen van het kweldebiet door dijken op kritieke punten langs het Noordzeekanaal.

Methode

Om een beeld te krijgen van het concentratieverloop wordt op de volgende locaties een monster genomen; (Zie ook figuur 16)

- Na het Sluizencomplex bij IJmuiden (km 1)
- Op het Noordzeekanaal (km 7)
- Op het zijkanaal C
- Voor de sluis bij Spaarndam
- Na de sluis bij Spaarndam
- Op de ringvaart (boezem) bij Lisse

Het dijkprofiel moet voor de volgende kritieke punten in kaart worden gebracht; (Zie ook figuur 16)

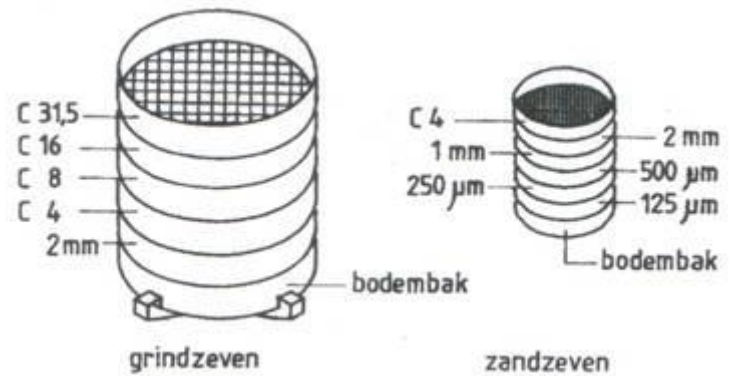
- Park Velserbeek (km 3)
- Kanaalweg, ter hoogte van nummer 2 (Akkerbouw) (km 5,5)
- Kanaalweg, ter hoogte van nummer 6 (Veeteelt) (km 7)
- Kanaalweg, ter hoogte van nummer 16 (Glastuinbouw) (km 9,5)

Route

Een route is uitgezet om zo efficiënt mogelijk alle locaties te bezoeken. In Katwijk wordt gestart, waar enkele benodigdheden en assistentie worden opgehaald. Vanuit Katwijk wordt eerst Lisse aangedaan, vervolgens worden de monsters bij Spaarndam en op het Zijkanaal C genomen. Het park Velserbeek ligt dan op de route naar het sluizencomplex. Door de Velsertunnel wordt de oversteek van het Noordzeekanaal gemaakt alwaar het grootste gedeelte van de metingen plaatsvindt. Zie ook figuur 16, voor de route en volgorde van de metingen. De reistijd is ruim een uur om alle plekken te bezoeken. Om naar de eerste bestemming te komen moet een klein half uur gereden worden vanuit Katwijk en de terugweg vanaf IJmuiden duurt ongeveer driekwartier. De totale reistijd is hiermee bijna tweeënhalf uur.

Benodigdheden (tussen haakjes: lenen van)

- Invulformulier
- Naamkaartjes locaties dijkprofielen
- Landmeter (>50m) (Willy Zuid)
- Grondboor (Geobest)
- Monsterbuisjes (Geobest)
- Waterpas (Willy Zuid)
- Duimstok (Willy Zuid)
- Winkelhaak (Willy Zuid)
- Fototoestel
- Klembord
- Trilapparaat (Geobest)
- Zeven met verschillende maaswijdten, zie figuur 14 (Geobest)



Figuur 14 Zeven met verschillende maaswijdten Bron: Martijn Willeboer

Zoutconcentratie

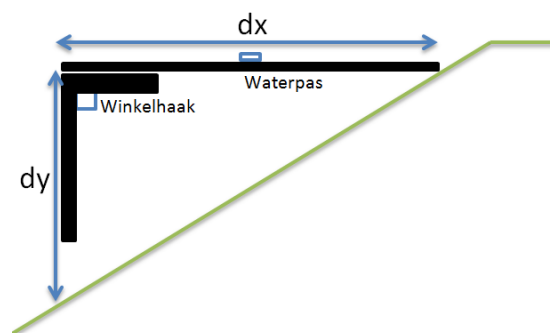
Er wordt op de aangegeven plaatsen een monster genomen van het water. De monsters worden genummerd zoals te zien is op het invulformulier, figuur 17. Op het invulformulier kan worden bijgehouden welke monsters er zijn genomen, om geen monsters te vergeten. In het laboratorium van Geobest B.V. in Mijdrecht wordt voor de monsters bepaald hoeveel zout er op elke locatie in het water zit. Hieraan kan worden afgeleid in hoeverre gebruikte data correct is. De te verwachten zoutconcentratie is gelijk aan de gemiddelde zoutconcentratie op de aangegeven plekken, welke reeds zijn onderzocht, zie tabel 3.

Tabel 3 Verwachting van de zoutconcentraties

Plaats	Verwachting zoutconcentratie	Bron
Noordzeekanaal (km 1)	8 ‰	(Arcadis, 2011)
Noordzeekanaal (km 7)	6 ‰	(Arcadis, 2011)
Zijkanaal C	2,1‰	(Deltares, 2014b)
Voor sluis Spaarndam	2,1‰	(Deltares, 2014b)
Na sluis Spaarndam	0,4‰	(Deltares, 2014b)
Lisse	0,1‰	(Deltares, 2014b)

Dijkprofiel

Voor het dijkprofiel moet meer werk op locatie gebeuren. Allereerst moet de breedte van de kruin opgemeten worden met een landmeter, vervolgens moet de diepte van de polder worden bepaald. Dit kan met gegevens van DINOloket (TNO, 2015) of door de helling van de dijk te bepalen. Dit laatste is minder nauwkeurig, maar de helling moet evenwel worden opgemeten, omdat hiermee het dijkprofiel wordt gecompleteerd. De helling van de dijk wordt bepaald met behulp van een waterpas en een winkelhaak, zoals is weergegeven in figuur 15. De helling van de dijk is dy/dx . Dx is de lengte van de waterpas en wanneer deze horizontaal wordt gehouden kan met de winkelhaak onder een rechte hoek dy worden opgemeten. Van de locatie worden foto's gemaakt om nadien nog een goed beeld te kunnen hebben van de situatie. Er worden naamkaartjes gedrukt om de verschillende locaties te kunnen onderscheiden. Deze naamkaartjes worden op elke foto gefotografeerd.



Figuur 15 Meetopstelling dijkelling



Grondmonsters

Op de vier kritieke punten wordt van de dijk een grondmonster genomen met een handgrondboor. Deze wordt zoveel mogelijk ongeroerd op volgorde gelegd en gefotografeerd. Er worden hierbij dezelfde naamkaartjes gebruikt om misverstanden te voorkomen.

Alle gegevens worden op het invulformulier (figuur 17) genoteerd. Er is tevens ruimte voor extra dijkprofielen, voor het geval er een groot verschil is op korte afstanden, of er fouten worden gemaakt tijdens het invullen.

Van het grondmonster wordt bepaald uit welke grondsoort het is opgebouwd door het monster mee te nemen naar het laboratorium in Mijdrecht en het te zeven met behulp van een tril- en zeefmachine.

Resultaat

Voor de zoutconcentraties is het geplande eindresultaat een tabel met de gevonden concentraties, vergelijkbaar met tabel 1. Waarschijnlijk zullen de waarden redelijk overeen komen.

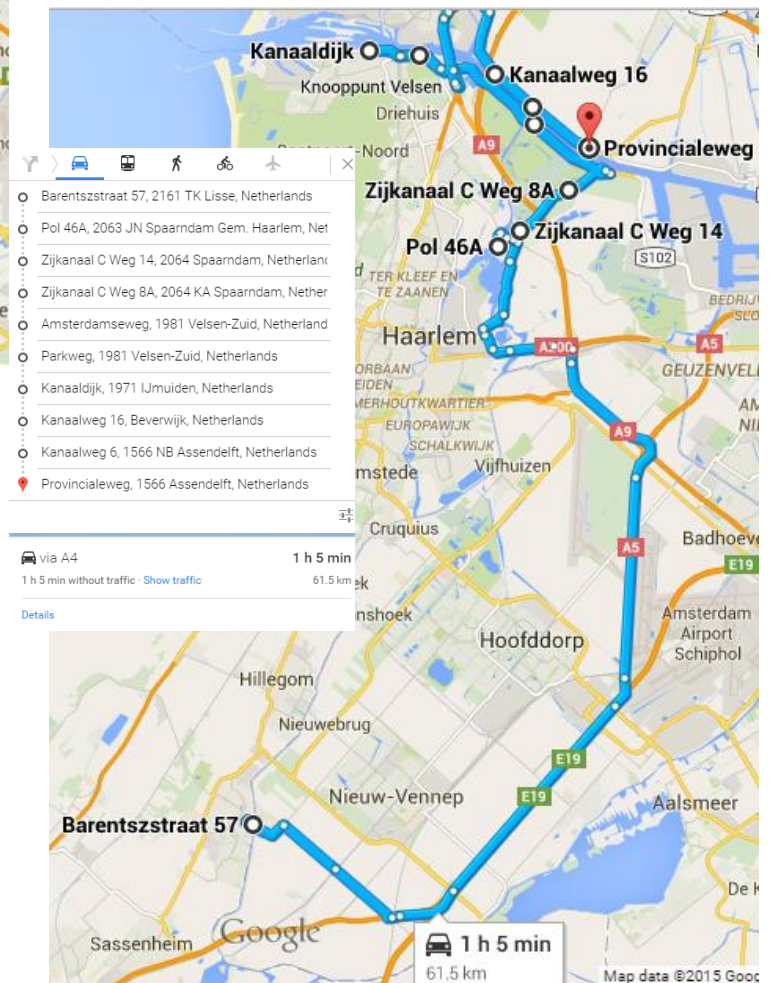
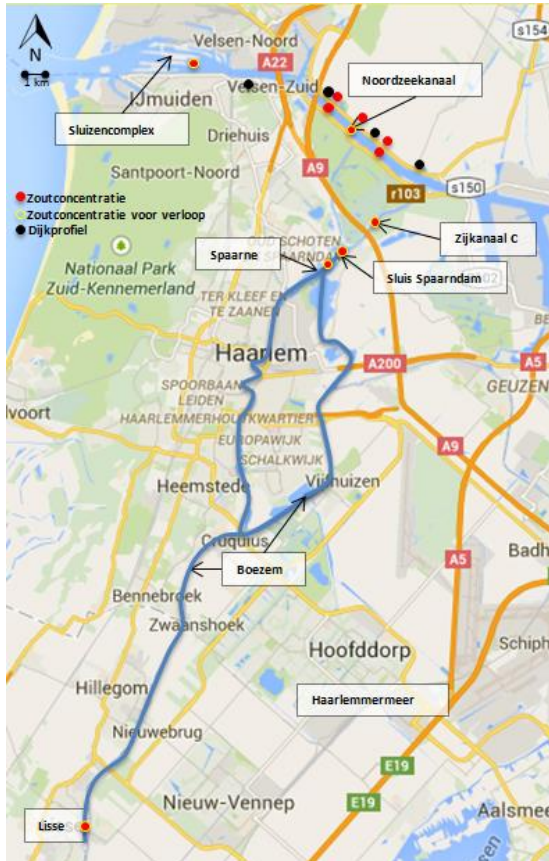
Het resultaat van de metingen bij de kritieke dijkvakken is een verzameling van gegevens waarmee het kweldebiet kan worden uitgerekend. Hierbij wordt de formule van Darcy toegepast:

$$q = -k \frac{dy}{dx}$$

Planning

In overleg met de assistenten, vinden de metingen waarschijnlijk plaats op vrijdag 1 mei. In de ochtend wordt gestart en het moet in één dag zijn afgerond. Alle metingen worden gezamenlijk uitgevoerd, er wordt dus niet opgesplitst. Aansluitend vindt een diner plaats.

De analyses van de grond- en watermonsters vinden plaats in de daaropvolgende werkweek en dit zal eveneens een dag duren.



Figuur 16 Route meetpunten, bron: (google, 2015)



Invulformulier praktijkonderzoek

Datum:

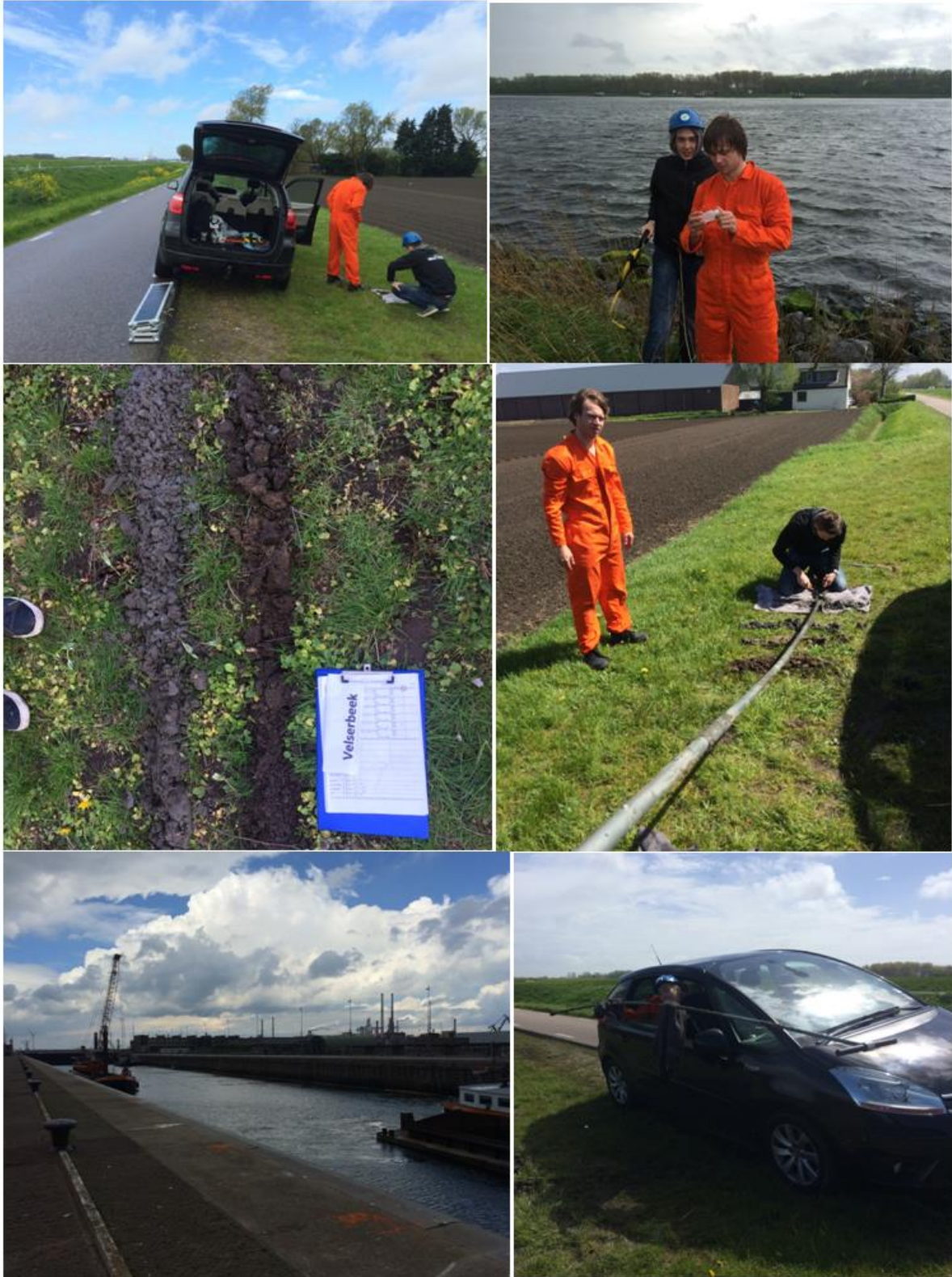
2015

Debiet Noordzeekanaal:

Locatie	Dijkprofielen	grondmonster
Velserbeek	$dy =$ $dx =$ $NZK = NAP - 0,4$ $dy =$ $dx =$ $Polder = NAP + 5$	zand / klei / veen / /
Kanaalweg 2	$dy =$ $dx =$ $NZK = NAP - 0,4$ $dy =$ $dx =$ $Polder = NAP - 1,5$	zand / klei / veen / /
Kanaalweg 6	$dy =$ $dx =$ $NZK = NAP - 0,4$ $dy =$ $dx =$ $Polder = NAP - 1,5$	zand / klei / veen / /
Kanaalweg 16	$dy =$ $dx =$ $NZK = NAP - 0,4$ $dy =$ $dx =$ $Polder = NAP - 1,5$	zand / klei / veen / /
	$dy =$ $dx =$ $= NAP$ $dy =$ $dx =$ $Polder = NAP$	zand / klei / veen / /
	$dy =$ $dx =$ $= NAP$ $dy =$ $dx =$ $Polder = NAP$	zand / klei / veen / /
Locatie	Watermonsters	
IJmuiden	nr. 1	
K.weg 2 nzk	nr. 2	
K.weg 6 nzk	nr. 3	
K.weg 16 nzk	nr. 4	
K.weg 2 polder	nr. 5	
K.weg 6 polder	nr. 6	
K.weg 16 polder	nr. 7	
Zijkanaal C	nr. 8	
Voor sluis Sdam	nr. 9	
Na sluis Sdam	nr. 10	
Lisse	nr. 11	

Figuur 17 Invulformulier onderzoek

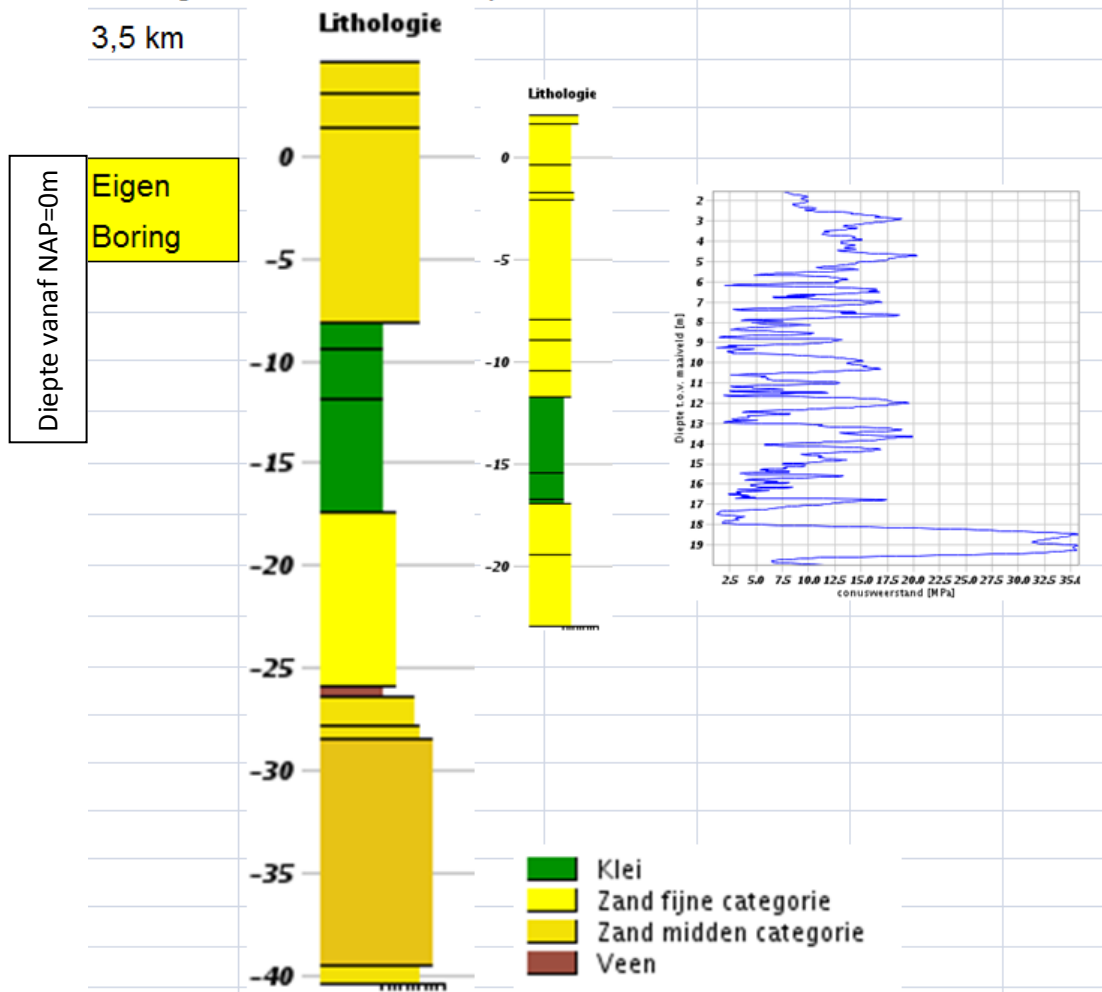




Figuur 18 Foto's metingen

L. Bijlage ondergrondgegevens

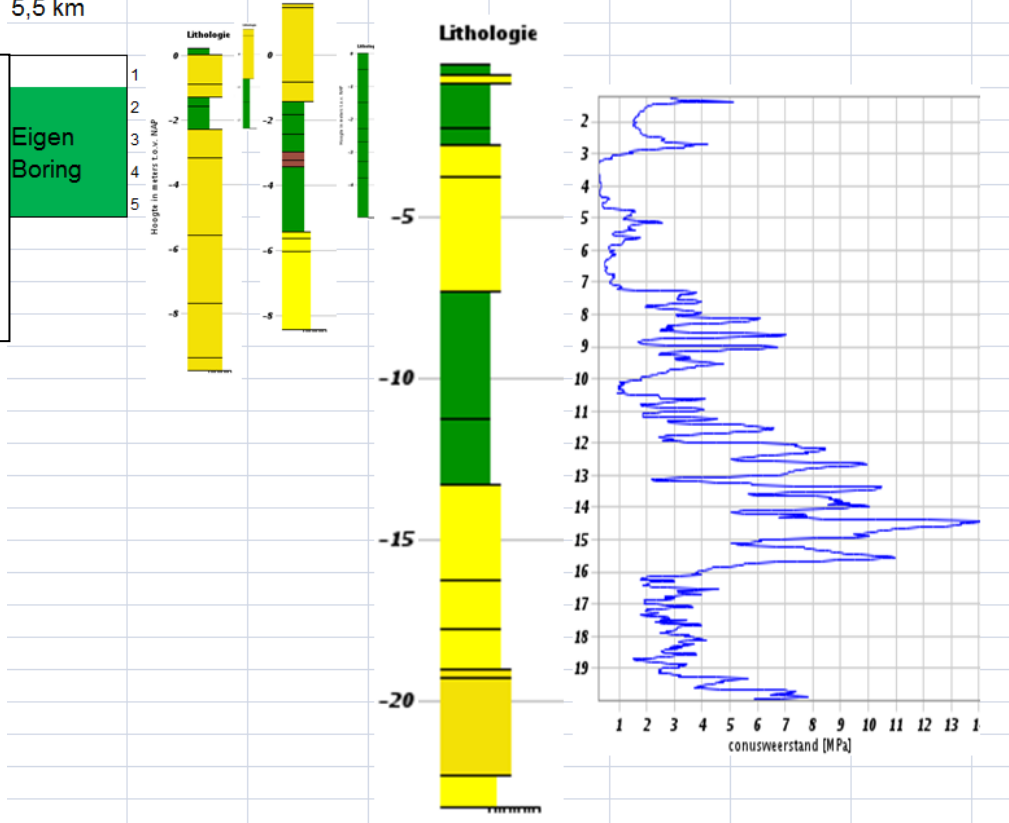
Ondergrondgegevens Velserpark



Bron: DINOLoket (TNO,2015)

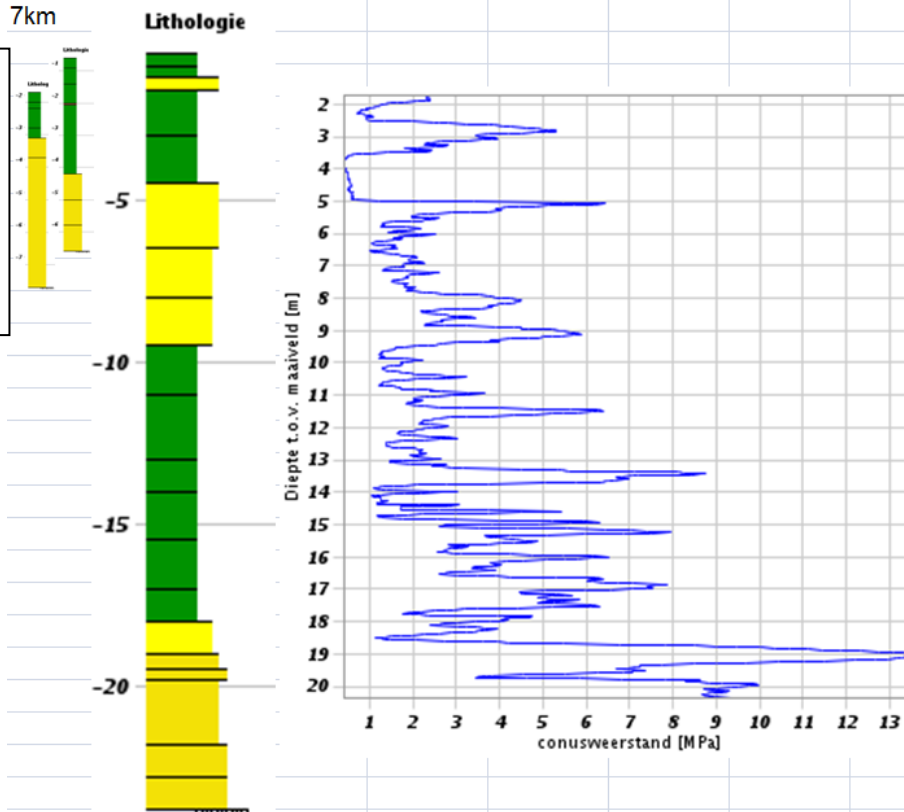
Ondergrondgegevens Wijkmeerpolder 5,5 km

Diepte vanaf NAP=0m



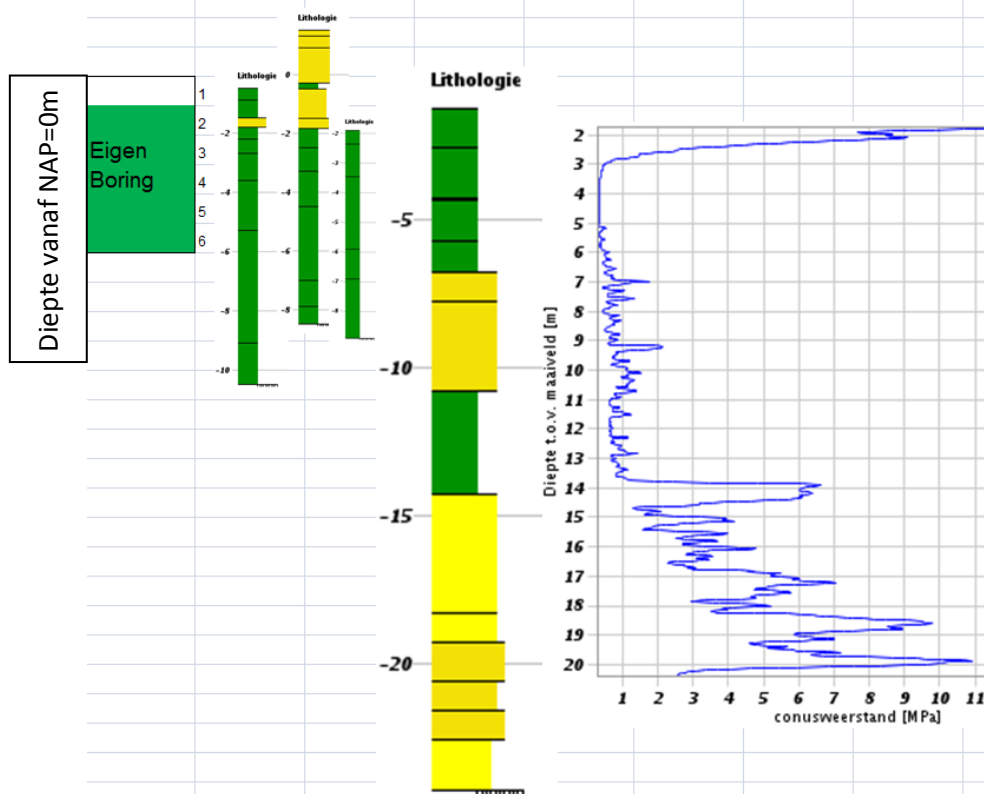
Ondergrondgegevens Wijkmeerpolder 7km

Diepte vanaf NAP=0m

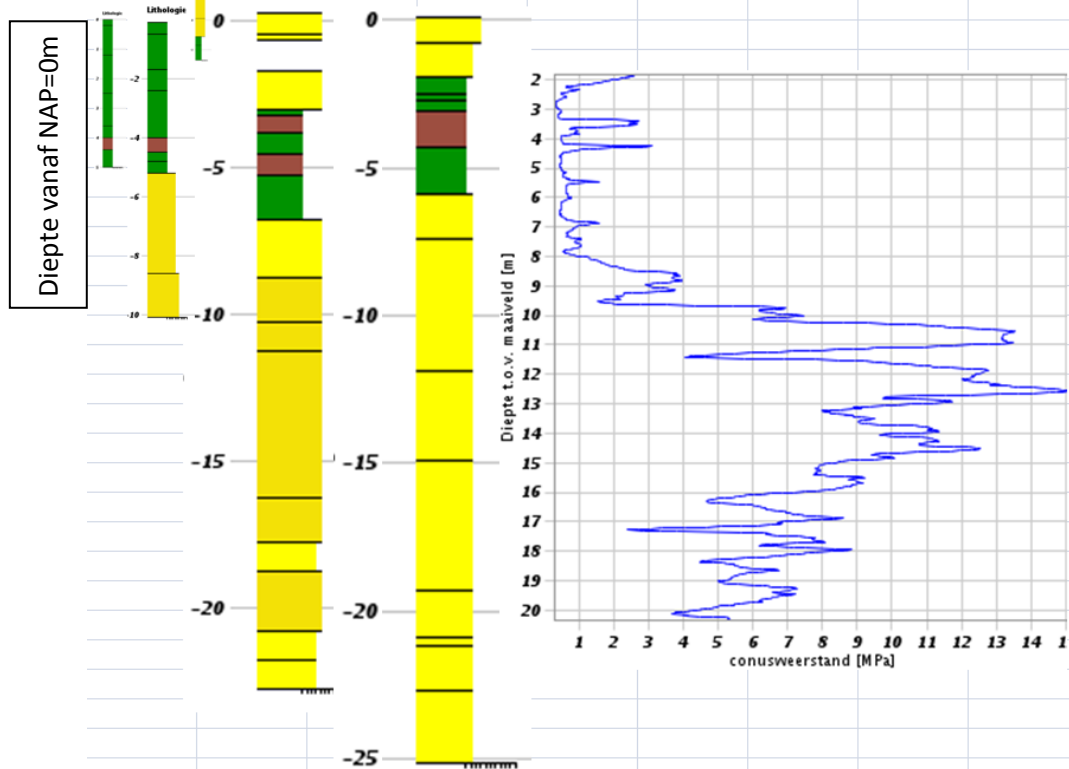


Bron: DINOLoket (TNO,2015)

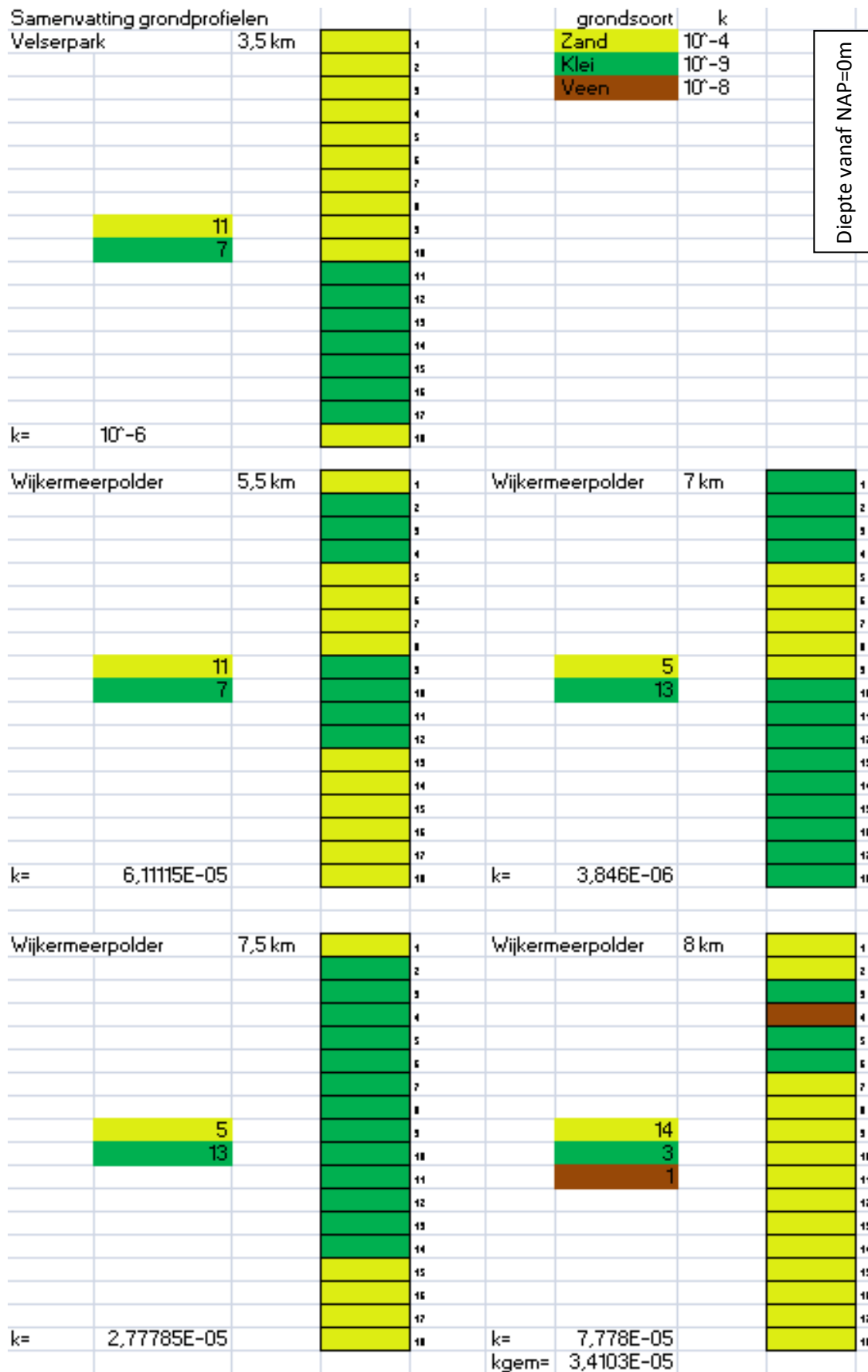
Ondergrondgegevens Wijkmeerpolder 7,5 km



Ondergrondgegevens Wijkmeerpolder 8,0 km



Bron: DINOLoket (TNO,2015)

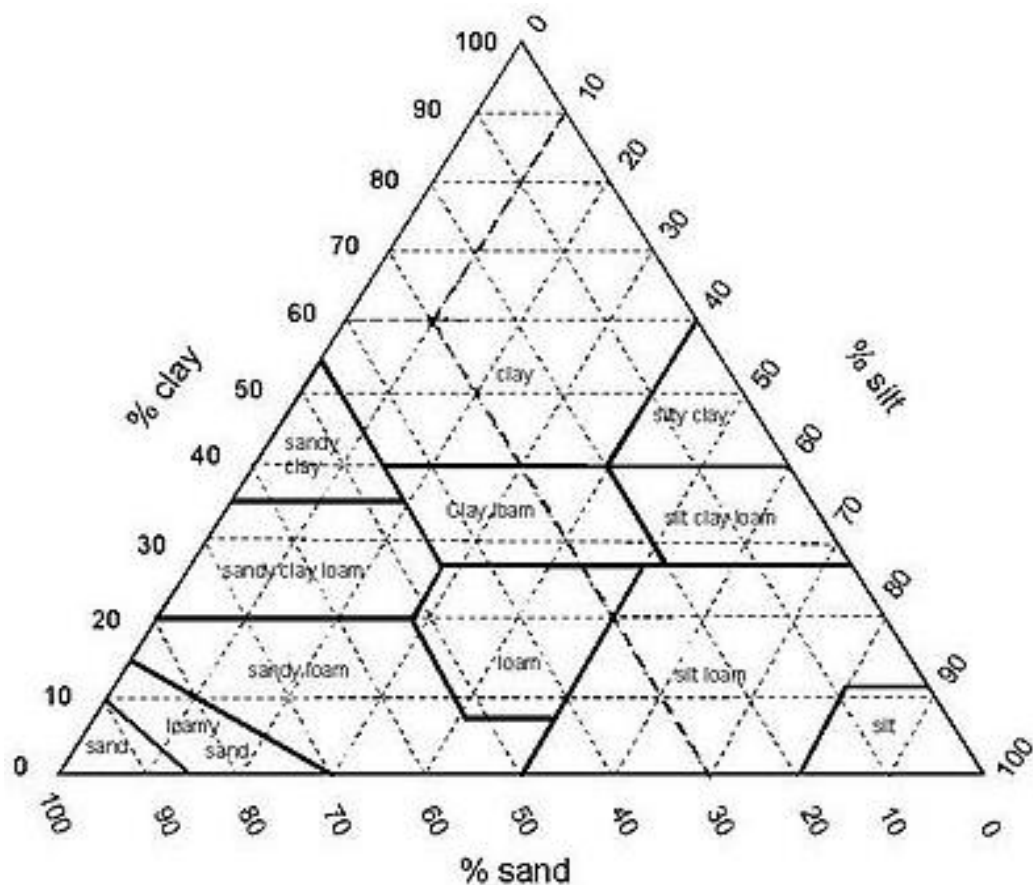


Figuur 19 Samenvatting grondonderzoek



Kanaalweg	6 (km 5,5)		Totaal	klei	silt	zand	grind	Totaal	Grondsoort
	0	-1	200	97	37	38	28		
	%		100	49%	19%	19%	14%	100%	klei
	-1	-2	200	108	59	30	3		
	%		100	54%	30%	15%	2%	100%	klei
	-2	-3	200	143	30	23	4		
	%		100	72%	15%	12%	2%	100%	klei
	-3	-4	200	147	0	52	1		
	%		100	74%	0%	26%	1%	100%	klei
Kanaalweg	16 (km 7,5)								
	0	-1	200	69	65	38	28		
	%		100	35%	33%	19%	14%	100%	kleileem
	-1	-2	200	79	63	50	8		
	%		100	40%	32%	25%	4%	100%	kleileem
	-2	-3	200	142	33	22	3		
	%		100	71%	17%	11%	2%	100%	klei
	-3	-4	200	144	10	45	1		
	%		100	72%	5%	23%	1%	100%	klei
Velserbeek	(km 3,5)								
	0	-1	200	10	28	160	2		
	%		100	5%	14%	80%	1%	100%	Leemachtig zand
	-1	-2	200	2	8	190	0		
	%		100	1%	4%	95%	0%	100%	zand
	-2	-3	200	29	8	163	0		
	%		100	15%	4%	82%	0%	100%	zandig leem

Figuur 20 Grondfracties eigen grondonderzoek



Figuur 21 Driehoek grondfracties

N. Bijlage kweldebieten

Zoals aangegeven zijn er twee kwelberekeningen uit te voeren. Allereerst de kwel door de dijk.

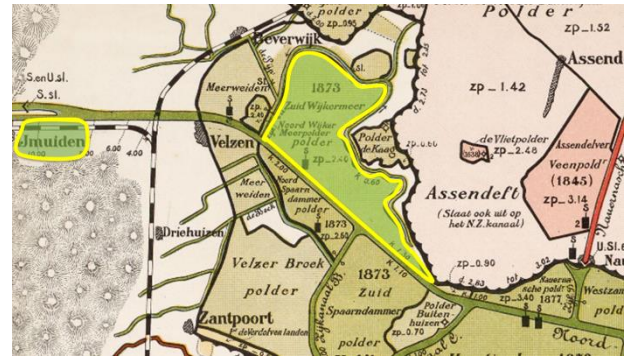
Kwel door dijk

Met behulp van de wet van Darcy kan de filtersnelheid q door de dijk worden bepaald. Dit is de snelheid van de stroming die afhankelijk is van de grondsoort en het verval (Verruijt & van Baars, 2005). Deze filtersnelheid wordt ook wel het specifiek debiet genoemd en moet met het doorstroomoppervlak vermenigvuldigd worden om een debiet Q te berekenen (Hoekstra, 2012).

$$q = -K * \frac{dy}{dx}$$

$$Q = q * A \quad (A = z * y)$$

Zoals in de hoofdstekst aangegeven, zijn er twee verschillende kritische dijkvakken. De doorlatendheidscoëfficiënten zijn bepaald aan de hand van grondgegevens van DINOLoket (TNO, 2015) en eigen grondboringen. Voor de dijk aan de Wijkermeerpolder wordt het gemiddelde van de vier grondprofielen genomen. Voor de dijk bij IJmuiden is slechts één dwarsdoorsnede gebruikt. Locatie kritieke punten (Hoekwater, 1910):



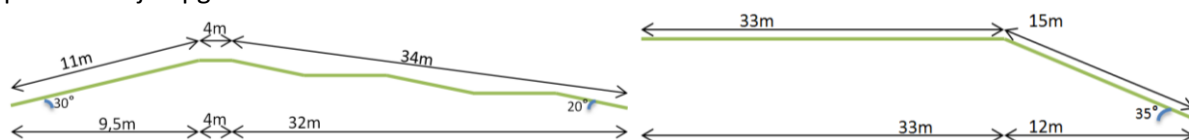
Figuur 22 Locatie kritieke dijkvakken

Afmetingen

De dx is de breedte van de dijk en is voor de verschillende kritische dijkprofielen opgemeten tijdens de veldmeting. De dy is de afstand tussen de beide grondwaterpeilen. De y is de afstand tot het ondoorlatend pakket en is moeilijk te kwantificeren, omdat de grond voornamelijk uit klei bestaat (TNO, 2015) welke in feite de ondoorlatende laag is. De afstand wordt daarom op 18m genomen, de diepte van de nieuwe sluis. Deze diepte is iets groter dan de diepte van het Noordzeekanaal, omdat kwel niet alleen horizontaal plaatsvindt (Verruijt & van Baars, 2005). De z is de lengte van de dijk.

Kritische dijkprofielen

Er zijn twee verschillende profielen op de kritische punten te onderscheiden. Figuur 23 geeft respectievelijk het profiel aan de Kanaalweg en aan de Parkweg. Beide zijn ongeveer 45m breed. De profielen zijn opgemeten in het veld.



Figuur 23 Dijkprofielen Kanaalweg en Parkweg

Het verval (dy/dx) is voor de dijkprofielen zeer verschillend. Het profiel aan de kanaalweg heeft een verval van -2,75m. De Wijkermeerpolder heeft namelijk een gemiddeld waterniveau van NAP -3,15m (Grontmij, 2008) en het Noordzeekanaal van NAP -0,4m. Bij IJmuiden is het verval tegengesteld en zal er een debiet het Noordzeekanaal instromen. Op een afstand van 140m van het Kanaal is een grondwaterpeil van NAP +4,2m gemeten (TNO, 2015). Dit resulteert in een verval van 4,6m

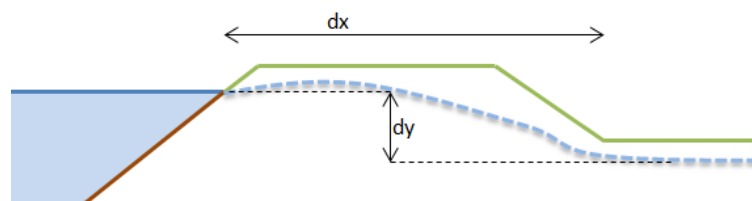
Wijkermeerpolder

$$k = 10^{-6,44} \text{ (Bijlage L)}$$

$$z = 3300m \text{ (Google, 2015)}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-3,4}{45} = -0,061 \text{ (TNO, 2015) en (Google, 2015)}$$

$$A = 3300 * 18m$$



Figuur 24 illustratie dy/dx Wijkermeerpolder

$$q = -10^{-6,44} * -0,061 = 2,7 * 10^{-8}$$

$$Q = 2,7 * 10^{-8} * (3300 * 18) = 0,00163 \text{ m}^3/\text{s}$$

Per dag resulteert dit in een kweldebiet van:

$$0,00163 * 60 * 60 * 24 = 141 \text{ m}^3/\text{dag}$$

Dit debiet loopt in de Wijkermeerpolder.

IJmuiden- Velsen

$$k = 10^{-6} \text{ (Bijlage L)}$$

$$z = 1400\text{m} \text{ (Google, 2015)}$$

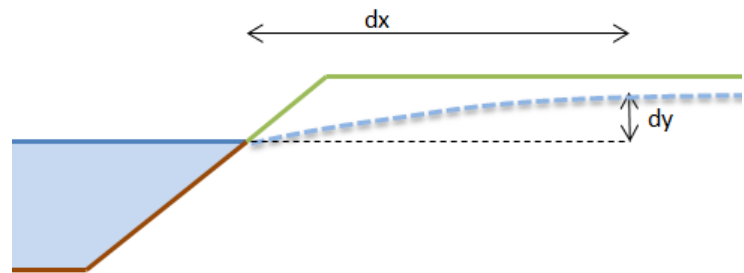
$$\frac{dy}{dx} = \frac{4,6}{140} = 0,033 \text{ (IJmuiden)}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1,1}{140} = 0,008 \text{ (Velsen)}$$

$$\text{gem} \frac{dy}{dx} = \frac{2,85}{140} = 0,020 \text{ (gem.)}$$

(TNO, 2015) en (Google, 2015)

$$A = 1400 * 18\text{m}$$



Figuur 25 dy/dx Parkweg

$$q = -10^{-6} * 0,020 = -2 * 10^{-8}$$

$$Q = -2 * 10^{-8} * (1400 * 18) = -0,000504 \text{ m}^3/\text{s}$$

Per dag resulteert dit in een debiet van:

$$0,000504 * 60 * 60 * 24 = -44 \text{ m}^3/\text{dag}$$

Dit debiet loopt naar het Noordzeekanaal toe en spoelt het mogelijke zout weg uit het achterland. Het vastgoed en de natuur loopt dus waarschijnlijk geen schade op wanneer de zoutconcentratie niet al te sterk toeneemt.

Kwel door watervoerend pakket

De kwel door het watervoerend pakket is slechts van belang in de Wijkermeerpolder, omdat hier het verhang naar de polder is gericht.

Kwel door watervoerend pakket (eveneens de wet van Darcy) (Oude Essink & de Louw, 2015):

$$q_z = \frac{\varphi K_v}{D}$$

$$\varphi = 2\text{m} (1,4 - 3,4), \text{ is het stijghoogteverschil (TNO, 2015)}$$

$$K_v = 0,0009 \text{ is de verticale stromingsweerstand klei (Gunnink, Veldkamp, Dam, Weerts, \& van der Linden, 2004).}$$

$$d = 10\text{m} \text{ is de gemiddelde dikte van de slecht doordringbare kleilaag. (TNO, 2015)}$$

$$A = 778\text{ha}, \text{ de oppervlakte van de Wijkermeerpolder (Grontmij, 2008)}$$

$$V_k = \frac{2 * 0,0009}{10} = 1,8e^{-4} \text{ m/dag}$$

$$1,8e^{-4} * 7780000 = 1400 \text{ m}^3/\text{dag}$$

Deze waarden zijn soortgelijk te vinden in het grondwaterbeleidskader van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK, 2014). Hierin wordt gesproken over ongeveer 0,2 mm kwel in de Wijkermeerpolder, wat gelijk is aan een kweldebiet van 1556m^3 . Dit is een som van de twee verschillende soorten kwel, wat de berekende waarde dus zeer reëel maakt.

Mogelijk is de kwel echter nog veel groter. Deze diffuse vorm van kwel is volgens het promotieonderzoek van Perry de Louw slechts de kleinste vorm van zoute kwel. De kwel door oude zandbanen en door zoute wellen is vele malen groter, maar moeilijker in kaart te brengen (De Louw, 2013).

De totale kwel van de Wijkermeerpolder wordt aangenomen op 1550 m^3 per dag.

O. Bijlage Wijkmeerpolder

De Wijkmeerpolder is de kritieke polder langs het Noordzeekanaal. Door zijn korte afstand tot het sluizencomplex, het lage maaiveld en de combinatie met het agrarische grondgebruik, is het een gevoelig punt. Met name ten tijde van droogte kan de zoutconcentratie flink oplopen, omdat er dan geen afvoer plaats vindt over het gemaal. Voor de Wijkmeerpolder is een waterbalans opgesteld, over een periode van 10 jaar. Dit is de periode voor en na het 10% droogtejaar 2003, met als start het 5% droogtejaar 1996. Een opeenvolging van de droogste jaren sinds de metingen van het KNMI in 1901 staat in tabel 4. Voor een aantal van deze jaren is het neerslagtekort berekend. De gegevens zijn afkomstig van het KNMI (KNMI, 2015a; KNMI, 2015b). Allereerst volgt er een uitleg van de waterbalans in de Wijkmeerpolder.

Waterbalans Wijkmeerpolder

Er zijn verschillende in- en uitgaande stromen in de polder. De belangrijkste stromen zijn de neerslag en verdamping. Er is een gemiddelde vastgesteld voor verdamping door het KNMI. Deze gegevens zijn per maand verschillend, met een piek in de zomermaanden. De neerslaggegevens zijn per dag beschikbaar via het KNMI. Hierdoor kan een zeer precieze benadering worden gemaakt van deze stromen in de polder. De neerslag minus verdamping is het neerslagtekort. Het neerslagtekort maakt het systeem echter lastiger.

Neerslagtekort

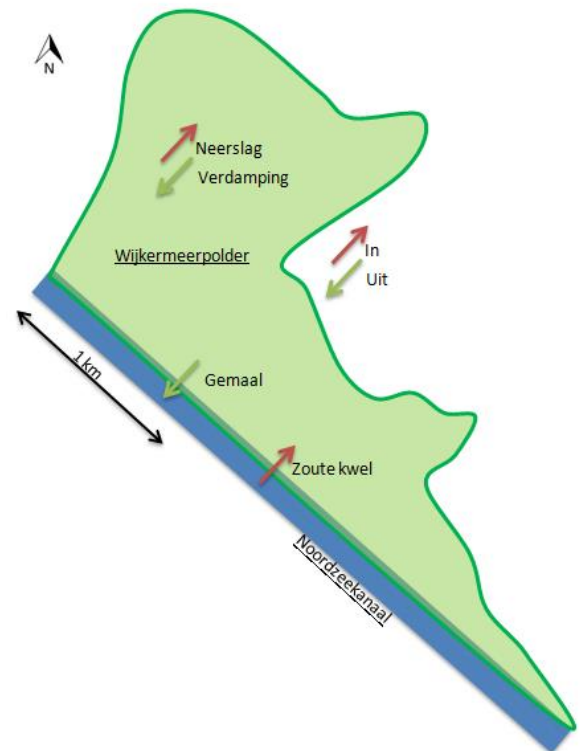
Het neerslagtekort in droge jaren kan op verschillende manieren worden gedefinieerd. Kijkend naar 10% droogtejaren (1911-1975-1978), wordt er uitgegaan dat een jaar met weinig neerslag een droog jaar is. Dit ligt echter complexer, omdat de zogenaamde netto neerslag samenhangt met de actuele verdamping. De actuele verdamping is kleiner dan de potentiële verdamping, welke afhankelijk is van de gewascoëfficiënt (Hoekstra, 2012).

$$P_{\text{netto}} = P - E_A$$

Dus neerslag minus verdamping bepaald het neerslagtekort, welke door het KNMI voor het groeiseizoen (01-04 t/m 30-08) wordt opgeteld (KNMI, 2014a). KNMI geeft aan dat in het droge jaar 2003 een neerslagtekort in het groeiseizoen optreedt van 227mm. Dit tekort komt gemiddeld eens in de tien jaar voor. Het gehele jaar 2003 is overigens nog iets droger dan eens in de tien jaar.

In tabel 4 staat een ranking van de laagste neerslagsommen sinds 1901. Er is een aanvullende berekening van het neerslagtekort gemaakt voor enkele belangrijke jaren. In deze berekeningen is de neerslag verminderd met de gemiddelde verdamping per maand (Jacobs, Heusinkveld & Holtslag, 2010; KNMI, 2014c).

Duidelijk is dat de droogte in het groeiseizoen niet direct samenhangt met de droogte over het gehele jaar. Zo kan een 20% droogtejaar een droger groeiseizoen hebben dan een 5% droogtejaar. Om deze reden moet de berekening worden uitgebreid over meerdere jaren. Door over een periode van 10 jaar te kijken worden opeenvolgende gegevens beter overgenomen.



Figuur 26 In en uitstromen in de Wijkmeerpolder

**Tabel 4 Opsomming van de droogste jaren sinds 1901**

Rang droogte	Jaar	neerslagsom	Specificatie	Neerslagtekort groeiseizoen (mm)
1	1921	387,3	1% droog	344
2	1933	510,9		
3	1959	535,8		
4	1976	536,3	KNMI droog	327
5	1971	561,8	5% droog	210
6	1996	575,7	5% droog	277
7	1953	597,4		
8	1982	600,7		
9	2003	612,7	10% KNMI	227
10	1929	630,4		
11	1975	635	10% droog	202
12	1911	640	10% droog	247
13	1978	643,6	10% droog	192
14	1908	644		
15	1920	646,5		
16	1991	648		
17	1922	652,9		
18	1972	656,4		
19	1989	661,3		
20	1907	661,6		
21	1949	662,6	20% droog	210
22	1955	663	20% droog	198
23	1943	668,7	20% droog	145

Kwel

Het kweldebiet zal groeien bij een groter verval door daling van de grondwaterstand. Uitgaande van een grondwaterstanddaling van 0,5m in het groeiseizoen groeit de totale kwel gedurende deze maanden volgens onderstaande formule. Er is een verschillende groei, omdat beide een verschillende stijghoogte hebben.

$$Kwel = Kweldebiet Dijk * (3 + 0,5m)/3 + Kweldebiet watervoerend pakket * (2 + 0,5m)/2$$

$$Kwel = 145 * ((3 + 0,5m)/3) + 1405 * ((2 + 0,5m)/2) = 1925 m^3/dag$$

Dit is een stijging van 24% gedurende het groeiseizoen.

Gemaal

Het gemaal zal zorgen voor het evenwicht in de Wijkermeeperpolder. Het gemaal zal slechts voor een uitvoer zorgen wanneer de grondwaterstand boven het maximale niveau komt. De gemiddelde uitvoer via het gemaal is 3.000.000 m³ per jaar (HHNK, 2014). Na het kalibreren van het model wordt deze waarde bereikt. Het model is als volgt geïmplementeerd.

Model

Voor een som van in- en uitstromen over een bepaalde periode moet begonnen worden met een startvolume van de polder. Deze zogenaamde *storage* heeft een zoutconcentraties aan het begin die homogeen verdeeld is en een waarde heeft van 1,1 ‰. Wanneer het volume van de storage groter wordt dan het maximum, zal deze afgevoerd worden door het gemaal. Er zijn vanuit deze storage twee zoutstromen, een uit- en ingaande. De uitgaande zoutstroom is die door het gemaal. Deze heeft een concentratie gelijk aan de concentratie in de polder. De ingaande zoutstroom heeft een zoutconcentratie gelijk aan het gewogen gemiddelde van de twee kwelstromen. Bij omrekening naar een nieuw promillage wordt gebruik gemaakt van de verhouding $1‰ = 1\text{kg/m}^3$, zie ook bijlage F. De aannamen in tabel 5 zijn grotendeels terugkerende waarden. Enkele aannamen behoeven extra uitleg.

Tabel 5 Aannamen model

Aannamen

De porositeit van de grond is samen met de diepte van het holocene pakket (de waterkerende laag) en de oppervlakte van de polder, de basis voor de *storage*. De porositeit van klei heeft normaal gesproken een waarde van 40% (Verruijt & van Baars, 2005). Deze percentages zijn echter alleen gelijk aan vochtpercentages bij volledig natte grond. In de polder in het studiegebied, uitgaande van droge omstandigheden zal het vocht teruglopen tot ongeveer 15% en soms zelfs daaronder. Dit is het *Permanent Wilting Point*, waarbij er te weinig water in de grond zit om voor gewassen te blijven groeien (FAO, 1985). In dit model wordt echter verder gekeken dan slechts droge periodes, en derhalve kan er een gemiddelde tussen beide worden aangenomen. De aanname voor vocht in de kleiige grond is daarmee 25%.

opp	778	ha
Wateroppervlak	30	ha
Porositeit	25%	
Diepte holocene pakket	15	m
Initieel storage	29.175.000	m ³
initieel promillage	0,110%	zout
secondes in dag	86400	s
grondwaterstandsaling	0,5	m
kwel dijk	145	m ³
kwel pakket	1405	m ³
promillage dijk	1,10%	
promillage pakket	1,80%	
soortelijk gewicht zout	2150	kg/m ³
Aandeel zout in afvoerend water	200%	
Aandeel kwel in polder	80%	
Kwel	1925	m ³ /dag
zout aanwezig	32.092.500	kg
Gemiddeld promillage	1,73%	

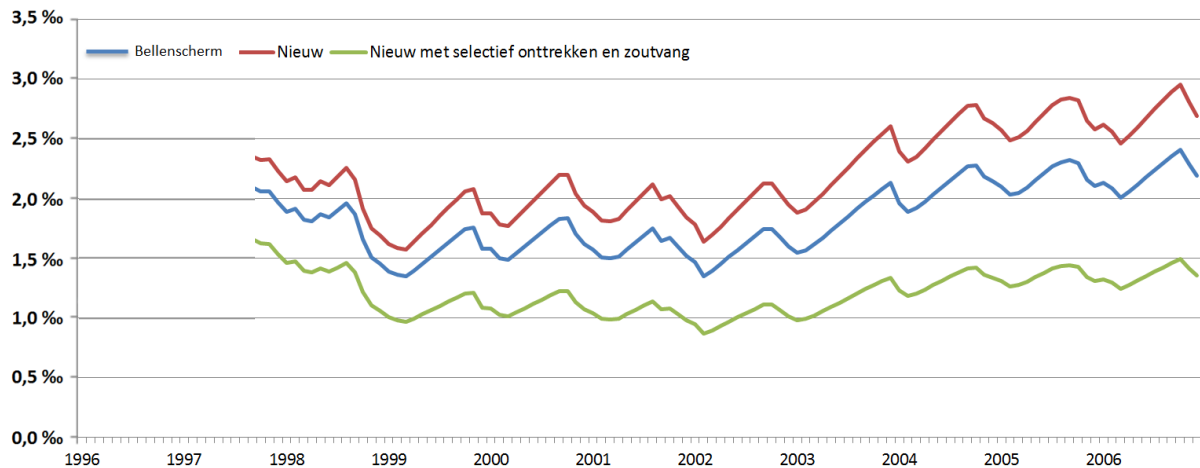
Er zijn nog twee belangrijke aannamen gemaakt. In het afgevoerde water wordt er vanuit gegaan dat er relatief zout water wordt afgevoerd. Het kwelwater door de dijk zal immers direct in de polderslootjes lekken, wat een relatief hoog promillage in de sloten geeft. Bovendien liggen de sloten lager dan het maaiveld, waardoor de kwel vanuit het watervoerend pakket eerder de sloten bereikt. Er wordt aangenomen dat de sloten een promillage afvoeren dat tweemaal groter is dan het gemiddelde in de polder.

De kwel in de polder zal door bovenstaande aanname niet geheel over de polder worden verspreid. Er wordt uitgegaan van 80% spreiding, omdat deels het water in dat de sloten beland direct weg kan spoelen. Bovendien zal het promillage aan de kant van het Noordzeekanaal groter zijn dan aan de uiterste noordoostkant van de polder. Een groter verschil zal het niet betreffen, omdat de kwel vanuit het watervoerend pakket zich over de hele polder bevindt, en zodoende invloed heeft op de gehele polder.

Uitkomst

Wanneer de in- en uitstromen voor de periode 1996-2006 worden doorgeteld kan er voor verschillende alternatieven een promillage in de polder worden berekend. Indicatief is de oplossing '*selectief onttrekken met zoutvang*' naast de huidige en toekomstige situatie zonder maatregelen geplaatst, zie figuur 27.

Op deze manier kunnen de toekomstige alternatieven getoetst worden, wanneer de promillages over de diepte op het Noordzeekanaal bekend zijn.



Figuur 27 Zoutconcentraties in Wijkmeerpolder voor alternatief selectief onttrekken, naast de huidige situatie en toekomstige situatie zonder maatregelen

In figuur 27 zijn duidelijk de twee droge jaren 1996 en 2003 te zien. In deze jaren is er te weinig neerslag (en dus uitstroom) om de zoutconcentratie uit te spoelen. Daarentegen is 1998 het natste jaar sinds de metingen startten in 1901 en hier valt duidelijk een afname van de zoutconcentratie op. In gemiddelde jaren blijft de concentratie nagenoeg gelijk. De dikke lijnen geven deze trends duidelijk weer.

Op de volgende pagina's staan de in- en uitfluxen van de periode 1996-2003, figuur 28.



	Jaar	P (mm)	E (mm)	in P (m3)	uit E(m3)	in Kwel (m3)	gemaal (m3)	flux (m3)	storage (m3)	Zoutgehalte
	Initieel								17.505.000	0,110%
1996	Januari	8	9	59.906	70.020	48.050	37.936	75.872	17.580.872	0,115%
	Februari	64	17	494.808	130.403	44.950	485.227	-75.872	17.505.000	0,115%
	Maart	11	37	85.580	287.383	48.050	-	-153.753	17.351.247	0,121%
	April	8	64	65.352	496.690	52.131	-	-379.207	16.972.040	0,127%
	Mei	43	91	336.096	711.855	53.869	-	-321.890	16.650.150	0,134%
	Juni	39	97	301.086	756.608	52.131	-	-403.390	16.246.760	0,141%
	Juli	47	101	365.660	789.344	53.869	-	-369.815	15.876.945	0,149%
	Augustus	64	84	495.586	654.423	53.869	-	-104.969	15.771.976	0,156%
	Septembe	50	49	388.222	382.475	52.131	-	57.878	15.829.855	0,163%
	Oktober	75	27	582.722	210.602	48.050	-	420.170	16.250.025	0,170%
	November	137	11	1.061.970	83.030	46.500	-	1.025.440	17.275.464	0,175%
	December	38	7	294.862	56.356	48.050	57.020	229.536	17.505.000	0,180%
1997	Januari	6	9	42.790	70.020	48.050	20.820	-0	17.505.000	0,186%
	Februari	84	16	656.632	121.368	43.400	578.664	-	17.505.000	0,179%
	Maart	29	37	227.176	287.383	48.050	-	-12.157	17.492.843	0,185%
	April	32	64	246.626	496.690	52.131	-	-197.933	17.294.910	0,191%
	Mei	111	91	865.136	711.855	53.869	-	207.150	17.502.060	0,198%
	Juni	70	97	545.378	756.608	52.131	-	-159.098	17.342.962	0,205%
	Juli	66	101	513.480	789.344	53.869	-	-221.995	17.120.967	0,211%
	Augustus	91	84	709.536	654.423	53.869	-	108.981	17.229.948	0,218%
	Septembe	53	49	414.674	382.475	52.131	-	84.330	17.314.279	0,225%
	Oktober	96	27	749.214	210.602	48.050	395.941	190.721	17.505.000	0,220%
	November	32	11	246.626	83.030	46.500	210.096	0	17.505.000	0,221%
	December	80	7	619.288	56.317	48.050	611.021	-0	17.505.000	0,211%
1998	Januari	80	9	624.734	70.020	48.050	602.764	-	17.505.000	0,203%
	Februari	23	16	179.718	121.368	43.400	101.750	-	17.505.000	0,206%
	Maart	117	37	910.260	287.383	48.050	670.927	-0	17.505.000	0,196%
	April	98	64	760.106	496.690	52.131	315.547	-0	17.505.000	0,195%
	Mei	45	91	352.434	711.855	53.869	-	-305.552	17.199.448	0,202%
	Juni	182	97	1.414.404	756.608	52.131	404.376	305.552	17.505.000	0,199%
	Juli	80	101	621.622	789.344	53.869	-	-113.853	17.391.147	0,206%
	Augustus	72	84	562.494	654.423	53.869	-	-38.061	17.353.087	0,213%
	Septembe	149	49	1.160.776	382.475	52.131	678.519	151.913	17.505.000	0,203%
	Oktober	180	27	1.398.066	210.602	48.050	1.235.514	-	17.505.000	0,180%
	November	140	11	1.091.534	83.030	46.500	1.055.004	-	17.505.000	0,164%
	December	78	7	606.062	56.317	48.050	597.795	-0	17.505.000	0,159%
1999	Januari	97	9	750.770	70.020	48.050	728.800	-	17.505.000	0,152%
	Februari	71	16	550.046	121.368	43.400	472.078	-	17.505.000	0,149%
	Maart	86	37	669.858	287.383	48.050	430.525	-0	17.505.000	0,147%
	April	63	64	486.250	496.690	52.131	41.691	-0	17.505.000	0,153%
	Mei	52	91	406.116	711.855	53.869	-	-251.870	17.253.130	0,160%
	Juni	90	97	696.310	756.608	52.131	-	-8.166	17.244.964	0,166%
	Juli	37	101	287.860	789.344	53.869	-	-447.615	16.797.349	0,173%
	Augustus	94	84	733.654	654.423	53.869	-	133.099	16.930.448	0,180%
	Septembe	68	49	532.152	382.475	52.131	-	201.808	17.132.257	0,187%
	Oktober	43	27	335.318	210.602	48.050	-	172.766	17.305.023	0,193%
	November	60	11	466.800	83.030	46.500	230.293	199.977	17.505.000	0,194%
	December	146	7	1.134.324	56.356	48.050	1.126.018	-	17.505.000	0,175%
2000	Januari	42	9	325.982	70.020	48.050	304.012	-	17.505.000	0,175%
	Februari	103	17	801.340	130.403	44.950	715.887	0	17.505.000	0,166%
	Maart	80	37	622.400	287.383	48.050	383.067	-0	17.505.000	0,165%
	April	40	64	309.644	496.690	52.131	-	-134.915	17.370.085	0,171%
	Mei	85	91	664.412	711.855	53.869	-	6.426	17.376.511	0,178%
	Juni	60	97	469.912	756.608	52.131	-	-234.564	17.141.947	0,184%
	Juli	100	101	774.110	789.344	53.869	-	38.635	17.180.582	0,191%
	Augustus	44	84	342.320	654.423	53.869	-	-258.235	16.922.347	0,198%
	Septembe	69	49	536.820	382.475	52.131	-	206.476	17.128.824	0,205%
	Oktober	106	27	823.124	210.602	48.050	284.396	376.176	17.505.000	0,204%
	November	118	11	915.706	83.030	46.500	879.176	-	17.505.000	0,189%
	December	92	7	713.426	56.356	48.050	705.120	-	17.505.000	0,180%
2001	Januari	71	9	550.046	70.020	48.050	528.076	-	17.505.000	0,175%
	Februari	91	16	704.868	121.368	43.400	626.900	-	17.505.000	0,168%
	Maart	75	37	581.166	287.383	48.050	341.833	-0	17.505.000	0,167%
	April	88	64	683.084	496.690	52.131	238.525	-0	17.505.000	0,169%
	Mei	29	91	227.176	711.855	53.869	-	-430.810	17.074.190	0,176%
	Juni	54	97	423.232	756.608	52.131	-	-281.244	16.792.946	0,183%
	Juli	87	101	674.526	789.344	53.869	-	-60.949	16.731.997	0,190%
	Augustus	117	84	907.926	654.423	53.869	-	307.371	17.039.368	0,197%
	Septembe	211	49	1.641.580	382.475	52.131	845.605	465.632	17.505.000	0,184%
	Oktober	42	27	322.870	210.602	48.050	160.318	-0	17.505.000	0,187%
	November	86	11	667.524	83.030	46.500	630.994	-	17.505.000	0,179%
	December	94	7	733.654	56.356	48.050	725.348	-	17.505.000	0,170%



	Jaar	P (mm)	E (mm)	in P (m3)	uit E(m3)	in Kwel (m3)	gemaal (m3)	flux (m3)	storage (m3)	Zoutgehalte
2002	Januari	79	9	610.730	70.020	48.050	588.760	-	17.505.000	0,165%
	Februari	140	16	1.085.310	121.368	43.400	1.007.342	-	17.505.000	0,151%
	Maart	34	37	262.186	287.383	48.050	22.853	-0	17.505.000	0,157%
	April	50	64	385.110	496.690	52.131	-	-59.449	17.445.551	0,163%
	Mei	37	91	285.526	711.855	53.869	-	-372.460	17.073.091	0,170%
	Juni	85	97	664.412	756.608	52.131	-	-40.064	17.033.027	0,177%
	Juli	97	101	756.994	789.344	53.869	-	21.519	17.054.546	0,183%
	Augustus	112	84	874.472	654.423	53.869	-	273.917	17.328.463	0,190%
	September	33	49	255.184	382.475	52.131	-	-75.160	17.253.304	0,197%
	Oktober	91	27	710.314	210.602	48.050	296.066	251.696	17.505.000	0,196%
	November	83	11	643.406	83.030	46.500	606.876	-	17.505.000	0,188%
	December	89	7	692.420	56.356	48.050	684.114	-	17.505.000	0,179%
2003	Januari	77	9	600.616	70.020	48.050	578.646	-	17.505.000	0,173%
	Februari	30	16	231.844	121.368	43.400	153.876	-	17.505.000	0,176%
	Maart	24	37	183.608	287.383	48.050	-	-55.725	17.449.275	0,182%
	April	47	64	364.882	496.690	52.131	-	-79.677	17.369.598	0,188%
	Mei	92	91	716.538	711.855	53.869	-	58.552	17.428.150	0,195%
	Juni	35	97	273.078	756.608	52.131	-	-431.398	16.996.752	0,202%
	Juli	30	101	236.512	789.344	53.869	-	-498.963	16.497.789	0,209%
	Augustus	10	84	77.800	654.423	53.869	-	-522.755	15.975.034	0,216%
	September	52	49	403.782	382.475	52.131	-	73.438	16.048.473	0,223%
	Oktober	85	27	658.188	210.602	48.050	-	495.636	16.544.109	0,229%
	November	40	11	309.644	83.030	46.500	-	273.114	16.817.222	0,235%
	December	97	7	752.326	56.356	48.050	56.242	687.778	17.505.000	0,240%
2004	Januari	123	9	960.052	70.020	48.050	938.082	-	17.505.000	0,220%
	Februari	80	17	622.400	130.403	44.950	536.947	0	17.505.000	0,212%
	Maart	43	37	332.206	287.383	48.050	92.873	-0	17.505.000	0,216%
	April	34	64	262.964	496.690	52.131	-	-181.595	17.323.405	0,222%
	Mei	32	91	247.404	711.855	53.869	-	-410.582	16.912.823	0,229%
	Juni	70	97	540.710	756.608	52.131	-	-163.766	16.749.057	0,236%
	Juli	122	101	951.494	789.344	53.869	-	216.019	16.965.076	0,243%
	Augustus	128	84	992.728	654.423	53.869	-	392.173	17.357.249	0,250%
	September	62	49	485.472	382.475	52.131	7.378	147.751	17.505.000	0,256%
	Oktober	48	27	376.552	210.602	48.050	214.000	-0	17.505.000	0,256%
	November	76	11	592.058	83.030	46.500	555.528	-	17.505.000	0,245%
	December	47	7	363.326	56.356	48.050	355.020	-	17.505.000	0,241%
2005	Januari	54	9	418.564	70.020	48.050	396.594	-	17.505.000	0,236%
	Februari	73	16	570.274	121.368	43.400	492.306	-	17.505.000	0,228%
	Maart	50	37	391.334	287.383	48.050	152.001	-0	17.505.000	0,230%
	April	63	64	490.140	496.690	52.131	45.581	-0	17.505.000	0,235%
	Mei	54	91	423.232	711.855	53.869	-	-234.754	17.270.246	0,242%
	Juni	53	97	409.228	756.608	52.131	-	-295.248	16.974.998	0,249%
	Juli	159	101	1.233.908	789.344	53.869	-	498.433	17.473.431	0,256%
	Augustus	96	84	744.546	654.423	53.869	112.422	31.569	17.505.000	0,259%
	September	63	49	493.252	382.475	52.131	162.908	0	17.505.000	0,261%
	Oktober	57	27	440.348	210.602	48.050	277.796	-0	17.505.000	0,258%
	November	98	11	763.218	83.030	46.500	726.688	-	17.505.000	0,243%
	December	57	7	445.016	56.356	48.050	436.710	-	17.505.000	0,236%
2006	Januari	16	9	121.368	70.020	48.050	99.398	-	17.505.000	0,240%
	Februari	59	16	461.354	121.368	43.400	383.386	-	17.505.000	0,235%
	Maart	104	37	812.232	287.383	48.050	572.899	-0	17.505.000	0,225%
	April	40	64	314.312	496.690	52.131	-	-130.247	17.374.753	0,232%
	Mei	90	91	701.756	711.855	53.869	-	43.770	17.418.523	0,238%
	Juni	19	97	143.930	756.608	52.131	-	-560.546	16.857.977	0,245%
	Juli	15	101	119.812	789.344	53.869	-	-615.663	16.242.314	0,252%
	Augustus	181	84	1.408.180	654.423	53.869	-	807.625	17.049.939	0,259%
	September	10	49	73.910	382.475	52.131	-	-256.434	16.793.506	0,266%
	Oktober	110	27	853.466	210.602	48.050	-	690.914	17.484.420	0,272%
	November	93	11	721.206	83.030	46.500	664.096	20.580	17.505.000	0,257%
	December	76	7	587.390	56.356	48.050	579.084	-	17.505.000	0,246%

Figuur 28 In- en uitfluxen model Wijkmeerpolder 1996-2006



P. Bijlage grenswaarden actoren

Tabel 6 Grenswaarden actoren

Actor	Gebruik	Probleem	Afstand	Promillage↓
Agrarische sector	Bloembollen	Schade aan gewassen door gebruik (brak) irrigatiewater of grondwater	20 km	0,1‰
	Boomteelt		7,5 km	0,15 / 2 ‰
	Glastuinbouw		9,5 km	0,3 ‰
	Akkerbouw		5,5 km	0,4‰ - 4 ‰
	Veeteelt		7 km	1,4 ‰
	Grasboeren		8 km	2,4 ‰
Waterinnamepunt	Drinkwater	Volgens de drinkwaterwet vastgestelde maximumwaarde	50 km	0,15‰
Waterbeheersingpunten	Gemalen	Zoutindringing bij inlaten brak water	10 km	- ‰
	Sluizen	Zoutindringing op achterliggende boezem		2 ‰
Natuurgebieden	Natuurlijke watervoorziening	Wortelschade door brak grondwater	3,5 km	2 ‰
Recreatie	Oppervlaktewater	Wortelschade door brak grondwater	6 km	2 ‰
Vastgoed	Grondwater	Corrosie beton	0 km	5 ‰
Elektriciteitscentrales	Koelwater	Corrosie en afzetting in koelinginstallaties	3 km	8 ‰
Flora en Fauna	Habitat	Hogere zoutconcentratie verandert habitat	0 km	- ‰
Industrie	Koelwater	Corrosie en afzetting in koelinginstallaties	2 km	- ‰