



Verkennend onderzoek effecten verzilting Bodem en Water op land

**Aanleg kabelverbinding Net op zee Ten noorden
van de Waddeneilanden**

Tracé Eemshaven - West (vaste landbodem)

projectnummer 0463939.100
definitief revisie 01
17 december 2020

Verkennend onderzoek effecten verzilting Bodem en Water op land

Aanleg kabelverbinding Net op zee Ten noorden van de Waddeneilanden

Tracé Eemshaven - West (vaste landbodem)

projectnummer 11191-0463939.100
documentnummer 463939-VZ-01
definitief revisie 01
17 december 2020

Auteurs

B. van Meekeren
W. Bakker
H. Koopmans

Opdrachtgever

TenneT TSO B.V.
Utrechtseweg 310
6812 AR ARNHEM

datum vrijgave 17-12-2020
beschrijving revisie 01 definitief

goedkeuring H. Koopmans

vrijgave A.J. Brandsma



Inhoudsopgave

Blz.

1	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Doel en status	2
1.3	Basis documenten	3
1.4	Leeswijzer	3
2	Situatie en werkwijze	4
2.1	Open ontgraving	4
2.2	Horizontaal gestuurde boring	4
3	Verzilting	6
3.1	Algemeen	6
3.2	Verzilting en landgebruik	7
3.3	Verzilting tracé Eemshaven-West	7
3.3.1	MER studie	7
3.3.2	Bestaande onderzoeken derden	9
3.3.3	Verziltingseffecten i.r.t. tracé	12
4	Gebiedskenmerken	13
4.1	Geohydrologische bodemopbouw	13
4.2	Waterdoorlatendheden en anisotropie	15
4.3	Grondwaterstanden	15
4.4	Diepte zoet - zout grensvlak	16
4.5	Maaiveldhoogte	17
4.6	Grondgebruik	17
5	Geohydrologische analyses (effect bemaling)	19
5.1	Algemeen	19
5.2	Upconing door bemaling	20
5.3	Bepaling invloedsgebied	22
5.4	Afname zoetwaterlens	23
5.5	Herstel zoetwaterlens door neerslag	24
6	Geohydrologische analyses HDD	28
6.1	Algemeen	28
6.2	Risicobepaling	28
6.2.1	Doorsnijding watervoerend pakket	28
6.2.2	Verschil in waterstand in-/uittredepunt	29
6.2.3	Hoger gelegen oppervlaktewater t.o.v. waterstand in-/uittredepunt	30
6.2.3.1	Absolute toetsing kwel	31
6.2.3.2	Relatieve toetsing kwel	32

6.3	Conclusie kwelwegbeschouwing	33
7	Cultuurtechnische analyses	34
7.1	Verziltting van landbouwgronden	34
7.2	Zouttolerantie gewassen	34
7.3	Waterhuishouding	36
7.3.1	Wortelzone	36
7.3.2	Capillaire werking (vochtleverend vermogen)	38
7.4	Effecten op waterhuishouding van geroerde grond	40
7.5	Structuurbederf door verziltting	41
8	Mitigerende maatregelen	42
8.1	Mitigerende maatregelen tijdens uitvoering	42
8.2	Mitigerende maatregelen na uitvoering	43
9	Conclusies en aanbevelingen	44
9.1	Conclusies	44
9.2	Aanbevelingen	46

Bijlage 1 Literatuurlijst

Bijlage 2 Boorprofielen DINOloket

1 Inleiding

1.1 Algemeen

In opdracht van TenneT TSO B.V. heeft Antea Group een eerste verkennend onderzoek uitgevoerd naar de effecten van verzilting ten gevolge van de aanleg over land van een ondergrondse kabelverbinding tussen Net op Zee Ten Noorden van de Waddeneilanden en het Nederlandse hoogspanningsnet.

TenneT is in de voorbereidende fase voor het project Net op Zee Ten Noorden van de Waddeneilanden. Voor dit project is een milieueffectrapportage (MER) opgesteld. Het project betreft het realiseren van een kabelverbinding tussen windenergiegebied Ten noorden van de Waddeneilanden en het Nederlandse hoogspanningsnet. TenneT heeft een aantal tracéalternatieven onderzocht om de verbindingen tot stand te brengen. In totaal zijn er negen tracéalternatieven. Eén hiervan is Eemshaven West en in figuur 1-1 en 1-2 weergegeven. Dit tracé loopt door de Waddenzee en vanaf de aanlanding over land, parallel aan en op geringe afstand van de Waddenzee. De betrokken landerijen zijn in het algemeen in gebruik voor de akkerbouw. Het is bekend dat in deze streek in de huidige situatie reeds sprake is van een mate van verzilting van bodem en grondwater. In onderhavige rapportage is uitsluitend het tracé Eemshaven West specifiek het tracé op het vaste land beschouwd.



Figuur 1-1: Aansluitpunten en tracéalternatief Eemshaven-West



Figuur 1-2: Tracéalternatief Eemshaven-West

Het tracé Eemshaven-West komt aan land ten noorden van Pieterburen/Westernieland. Het tracé loopt vervolgens in oostelijke richting parallel aan de Waddenzee en sluit aan op het TenneT hoogspanningsstation Eemshaven.

De aanlanding vindt plaats middels een horizontaal gestuurde boring vanaf de Waddenzee. Op het vaste land wordt de kabelverbinding voornamelijk in cultuurgronden aangelegd. Hiervoor zal gebruik worden gemaakt van open ontgraving of daar waar een object moet worden gekruist van een sleufloze techniek (bijvoorbeeld persingen of horizontaal gestuurde boringen). Uit reeds opgestelde rapportages van Witteveen+Bos ten behoeve van de MER, is naar voren gekomen dat met name langs de Waddenzee-kust door diverse factoren verzilting van de bodem op kan treden. TenneT wenst - mede op verzoek van LTO Noord en voorwaarden uit het concept-regioadvies - inzicht te krijgen in de effecten op verzilting door aanleg van de kabelverbinding. Hierbij dient onderscheid te worden gemaakt in de open ontgravingstechniek en boringen (HDD's).

1.2 Doel en status

Dit onderzoek richt zich uitsluitend op tracéalternatief **Eemshaven – West** specifiek het tracé op het vaste land. De vragen die rondom effecten op verzilting spelen, zijn:

1. Treden effecten van verzilting van bodem en grondwater op bij een open ontgraving? Kan aangegeven worden hoe groot dit effect (het oppervlak) is waar verzilting optreedt?
2. Kan aangegeven worden hoe lang het duurt voordat de grondwaterkwaliteit weer hetzelfde is van voor de open ontgraving?
3. Kan op basis van bovenstaande antwoorden aangegeven worden, per type grondgebruik, wat de jaarlijkse schade per m² zal zijn?
4. Wat is het effect van verzilting ten gevolge van de aanlegwerkzaamheden; kan je de grond helemaal niet meer gebruiken, of voor een bepaald type land- of akkerbouw? En hoe lang duurt dit?
5. Welke maatregelen kunnen er worden getroffen om de schade ten gevolge van verzilting te minimaliseren (en wat zijn hiervan de kosten)?

Het onderzoek betreft een bureaustudie waarbij gebruik zal worden gemaakt van literatuur, internetbronnen en expert judgement. Er zijn géén veldonderzoeken of veldwaarnemingen uitgevoerd.

TenneT zal op het gekozen voorkeursalternatief bodem- en veldonderzoeken uitvoeren. In vervolgonderzoek kunnen die gegevens gebruikt worden om het effect van verzilting beter inzichtelijk te krijgen.

De definitieve versie van dit verziltingsrapport betreft een bureaustudie en sluit, volgens LTO, niet aan op het detailniveau van een veldonderzoek. Uiteindelijk heeft dit rapport geen instemming van zowel Acacia Water als LTO Noord gekregen. TenneT heeft besloten om in de definitieve rapportage de opmerkingen en aanvullingen van zowel Acacia Water als die van LTO Noord toch te verwerken gezien de toegevoegde waarde die deze opmerkingen en aanvullingen in de ogen van TenneT hebben.

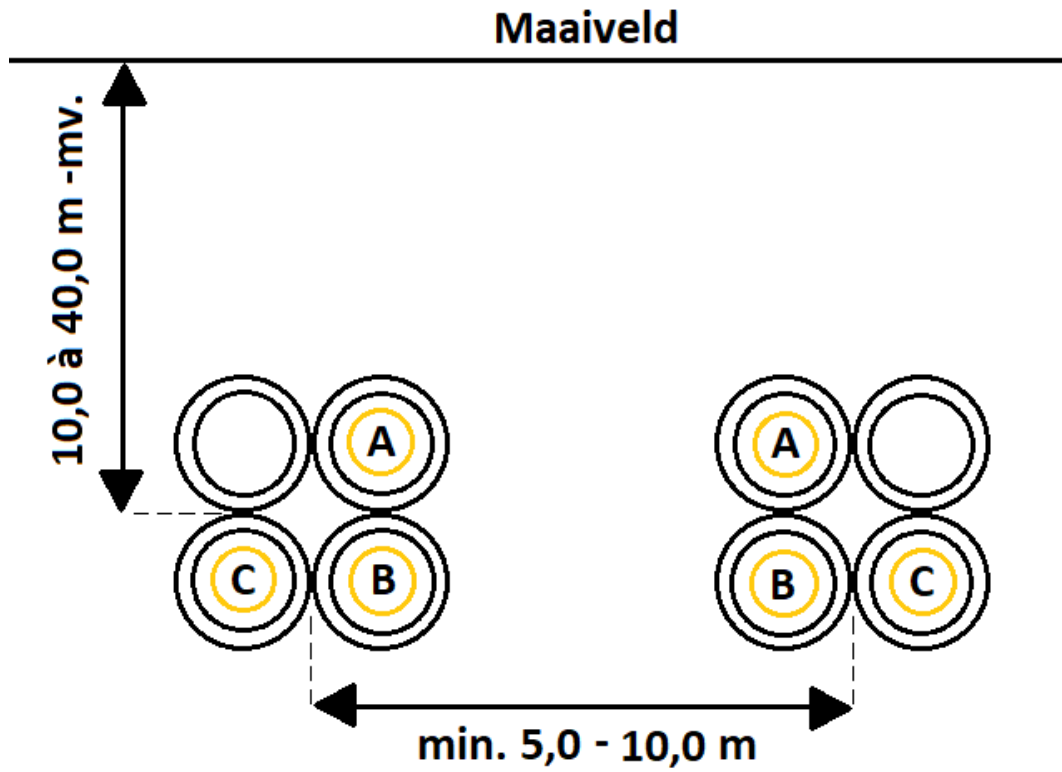
1.3 Basis documenten

Dit rapport sluit aan bij de MER-studie van Witteveen+Bos. De volgende deel-onderzoeken zijn beschikbaar gesteld:

- [WiBo1] Witteveen+Bos (2020) Net op zee Ten noorden van de Waddeneilanden; Afweging aanlegmethoden: open ontgraving versus HDD-boringen. Casus Eemshaven west; kenmerk: 114227-3/20-003.040 (Definitief).
- [WiBo2] Witteveen+Bos (2020) Net op zee Ten noorden van de Waddeneilanden; Deelrapport Ib - Bodem en Water op land; kenmerk: 114227-3.33/20-004.001 (Concept 02 - 95%-versie).

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de huidige situatie van het plangebied weergegeven. Een algemene beschrijving van verzilting van de bodem is in hoofdstuk 3 opgenomen. Vervolgens is in hoofdstuk 4 een inventarisatie van de gebiedskenmerken gemaakt. Hoofdstuk 5 beschrijft het effect van een grondwateronttrekking bij een open ontgraving. In hoofdstuk 6 zijn de effecten van een horizontaal gestuurde boring opgenomen. Hoofdstuk 7 geeft een cultuurtechnische analyse van het effect van verzilting. In hoofdstuk 8 zijn mitigerende maatregelen benoemd om schade ten gevolge van verzilting te minimaliseren. Vervolgens zijn in hoofdstuk 9 de conclusie en aanbevelingen opgenomen.



Figuur 2-2: Globale liggingconfiguratie van de kabelverbinding in HDD (indicatief, niet op schaal)

3 Verzilting

3.1 Algemeen

Verzilting van agrarische percelen is langs de gehele Nederlandse kustlijn geen onbekend fenomeen. Het klimaat verandert en de leveringszekerheid van zoet water en de toenemende verzilting in laag Nederland is dan ook een aandachtspunt. Zowel Rijkswaterstaat als Waterschappen sturen op het zoutgehalte door zoutlekken te minimaliseren bij sluizen en het oppervlaktewater te laten voldoen aan de afgesproken eisen voor landbouw en natuur. In de landbouw wordt de vraag naar water met een zo laag mogelijk zoutgehalte ingegeven door de vrees op schade voor gewassen (Stuyt, Blom-Zandstra, & Kselik, 2016).

Zout water is de oervorm van water op aarde, diep grondwater is hierdoor nog steeds in de oervorm aanwezig en hierdoor zout. Zoet water is feitelijk een sediment dat neerslaat na verdamping van zout water. De overgang van zoet naar zout grondwater ligt in Nederland op variabele diepte. In een brede strook land van 25 tot 75 km breedte langs de Nederlandse Westkust en Noordkust, in Twente en de Achterhoek, en in Zuid Limburg ligt deze overgang op minder dan 50 m diepte. In Zuidoost Friesland en onder de Veluwe ligt de overgang op 200 tot 400 m diepte en in Zuid Brabant en Middel Limburg op 200 tot meer dan 500 m diepte. In de rest van Nederland ligt de overgang tussen zoet en zout grondwater tussen de 50 en 300 m diepte (Stuijtzand, 2007).

De termen zoet en zout water zijn gerelateerd aan het chloridegehalte (Cl^-) van water. In onderstaande tabel wordt een classificatie gegeven van de termen zoet, brak en zout water (de Boer & Radersma, 2011).

Waterclassificatie	Chloridegehalte (mg Cl^-)
Zoet	< 150
Zoet-brak	150 - 300
Brak	300 – 1.000
Brak-zout	1.000 – 10.000
Zout	10.000 – 20.000
Hyperzout / brijnzout	> 20.000

Figuur 3-1: Waterclassificatie met bijbehorende chloridegehalten

In Nederland kan verzilting door een aantal processen worden veroorzaakt zoals in de volgende rapportages uitgebreid is beschreven (Stuijtzand, 2007) en (de Boer & Radersma, 2011):

- Verdamping;
- Verstuiving van zeezout;
- Landbouwkundige activiteiten;
- Lokale bodemverontreiniging;
- Infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen;
- Sedimentatie;
- (Historische) overstromingen;
- Indringing van zeewater langs de kust;
- Indringing van zeewater via een open riviermonding;
- Menging van zoet met zout water;
- Opkegeling bij drinkwaterwinning;
- Oplossing van steenzout.

Algemeen is van bovengenoemde processen het indringen van Noordzeewater langs de kust een proces dat nog steeds plaatsvindt. De invloed van Noordzeewater vindt met name plaats in de zeer diepe grondwaterlagen en heeft in veel mindere mate een direct effect op de bovenste meters van de bodem. Dit aspect treedt in algemene zin op langs de kust van Nederland.

In het noordelijk kustgebied in Groningen is sprake van een specifiek historisch proces van verzilting. Het gebied is steeds verder ingepolderd waardoor de ondergrond, voorheen de zeebodem, nog altijd brak/zout is. Door de afwatering is het zoute water afgevoerd en door het intreden van hemelwater is in de eerste meters van de bodem een zoetwaterlens ontstaan. Deze zoetwaterlens is van beperkte dikte en wordt van nature reeds bedreigd door de zoute ondergrond. Bij een grondwateronttrekking in de bovenste meters van de bodem wordt dit zoete grondwater onttrokken waardoor de zoetwaterlens mogelijk wordt gereduceerd.

3.2 Verzilting en landgebruik

De economische belangrijke sectoren die de meeste last krijgen van verzilting zijn de industrie, drinkwaterbedrijven, elektriciteits(opwekkings)bedrijven en de land/akkerbouw. Deze sectoren stellen bepaalde eisen wat betreft de kwantiteit en kwaliteit van water (de Boer & Radersma, 2011).

Onderstaand wordt verder ingegaan verziltingsaspecten binnen de land/akkerbouw.

Met betrekking tot de teelt van gewassen is het gewasafhankelijk wanneer er opbrengstderving optreedt door verzilting. De zoutgevoeligheid van het gewas is hierbij van belang. Dit wordt ook wel de zouttolerantie genoemd.

Binnen de land/akkerbouw zijn de teelt van bloembollen en snijbloemen het gevoeligst voor verzilting, bij een chloridegehalte (in bodemvocht) hoger dan 200 mg Cl-/l kan gewasschade optreden. De glastuinbouw, vollegrondsgroente-, fruit- en boomteelt, lijdt schade bij chloridegehalten vanaf 400 tot 600 mg Cl-/l. Bij de teelt van de akkerbouwgewassen zoals aardappelen, uien en maïs treedt schade op bij chloridegehalten vanaf 700 tot 800 mg Cl-/l. De minst zoutgevoelige gewassen zijn grassen en de akkerbouwgewassen granen, suikerbieten en koolzaad met schadedrempels van respectievelijk 3600, 4850, 4850 en 8700 mg Cl-/l (de Boer & Radersma, 2011). Zoutschadedrempels zijn met veel onzekerheden omgeven en kunnen daarom niet als absolute waarden gebruikt worden.

Voor de grondgebonden veehouderij geldt in het algemeen dat vee (bij beweiding) oppervlaktewater drinkt. Bij zoutgehalten hoger dan 3000 mg/l neemt de melkproductie af. Bij meer dan 7000 mg/l is het water te zout voor het drinken van vee en moet een alternatief drinkwatervoorziening geregeld worden (de Boer & Radersma, 2011).

3.3 Verzilting tracé Eemshaven-West

3.3.1 MER studie

In het kader van de MER-studie zijn al diverse zaken onderzocht op het vlak van verzilting voor het tracé Eemshaven-West. Onderstaande volgt uit de MER studie.

Grondwater is zoet (, brak) of zout. Bemaling in gebieden met enkel zoet grondwater leidt uitsluitend tot een grondwaterstandsverlaging. In gebieden met zout grondwater (verziltingsgevoelig gebied) kan bemaling leiden tot verzilting, ofwel een toename van het chloridegehalte in het bovenliggende grondwater. Dit leidt tot een afname van de zoetwaterlens.

In [Wibo2] wordt gesteld dat een grondwaterstandsverlaging noodzakelijk is tot een diepte van 2,40 m-mv. Als gevolg van bemaling van het grondwater treedt ook grondwaterstandsverlaging op in de directe omgeving. Deze neemt af met de afstand tot de bronbemaling, ofwel de afstand tot het kabeltracé. De grondwaterstand (in tegenstelling tot de zoet-waterlens) is na enkele weken op natuurlijke wijze hersteld.

Een zoetwaterlens is een dunne laag van geïnfiltreerd zoet regenwater die boven op het ondiepe zoute grondwater ligt. Deze laag is vaak essentieel voor landbouw omdat veel gewassen afhankelijk zijn van dit zoete grondwater ook in relatie tot capillaire werking van de bodem (capillaire opstijging van grondwater). Door bemaling in het onderliggende zoutwaterpakket, wordt het zoete water naar beneden getrokken en is sprake van een afname van zoet water aan de bovenzijde. Hierdoor komt er minder beschikbaar vocht voor de plantengroei. Wordt er bemalen in de zoetwaterlens dan volgt een toename van zout water aan de onderzijde, daardoor neemt de zoetwaterlens in totale omvang af wat ook minder beschikbaar vocht voor de plantengroei teweeg brengt. De mate waarin de afname van de zoetwaterlens optreedt hangt af van de waterdoorlatendheid van de bodem, de diepte en dikte van de watervoerende pakketten (zoet of zout). Ook de duur van het herstel van de zoetwaterlens is hier van afhankelijk, zij het dat ook het neerslagoverschot dit kan beïnvloeden.

Oppervlaktewater

De saliniteit van het oppervlaktewater is in de MER studie reeds in beeld gebracht. Dit is weergegeven in figuur 3-2. Te zien is dat het oppervlaktewater een hogere chloridegehalte bevat naarmate het dichterbij de Waddenzee kustlijn ligt. Het tracé Eemshaven-West ligt vooral in het deel met brak oppervlaktewater (1.000 mg Cl/l). Door de relatief hoge chloride-concentratie in het oppervlaktewater heeft dit een direct gevolg wanneer het water gebruikt wordt voor bevloeiing/besproeiing of veedrenking.

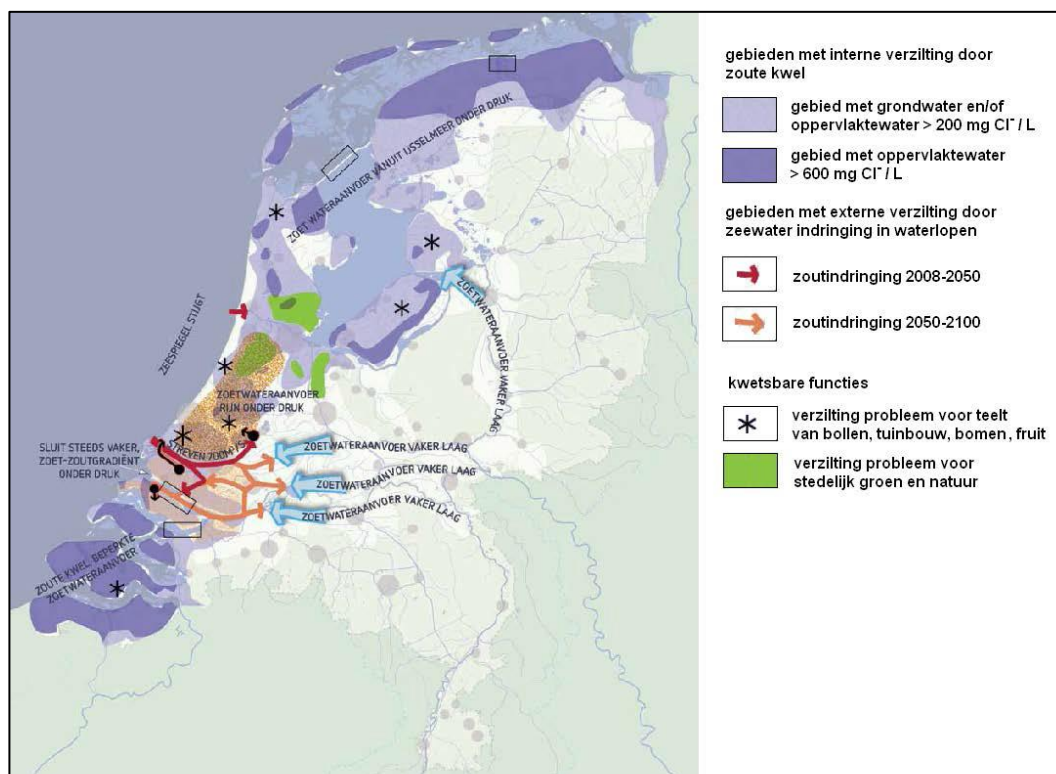


Figuur 3-2: Gemeten chlorideconcentratie oppervlaktewater Groningen (Bron: [WiBo2])

3.3.2 Bestaande onderzoeken derden

Kaartenatlas Nationaal Waterplan

Dat er sprake is van een verziltingsgevoelig gebied blijkt naast de MER uit meerdere reeds uitgevoerde studies in het verleden. In de onderstaande figuur 3-3 worden de hoge zoutgehaltes vanuit de MER-studie bevestigd.



Figuur 3-3: Chloridegehalten van oppervlaktewater: huidige situatie, verwachte zoutindringing en probleemgebieden (uit: Kaartenatlas Nationaal Waterplan)

Spaarwater

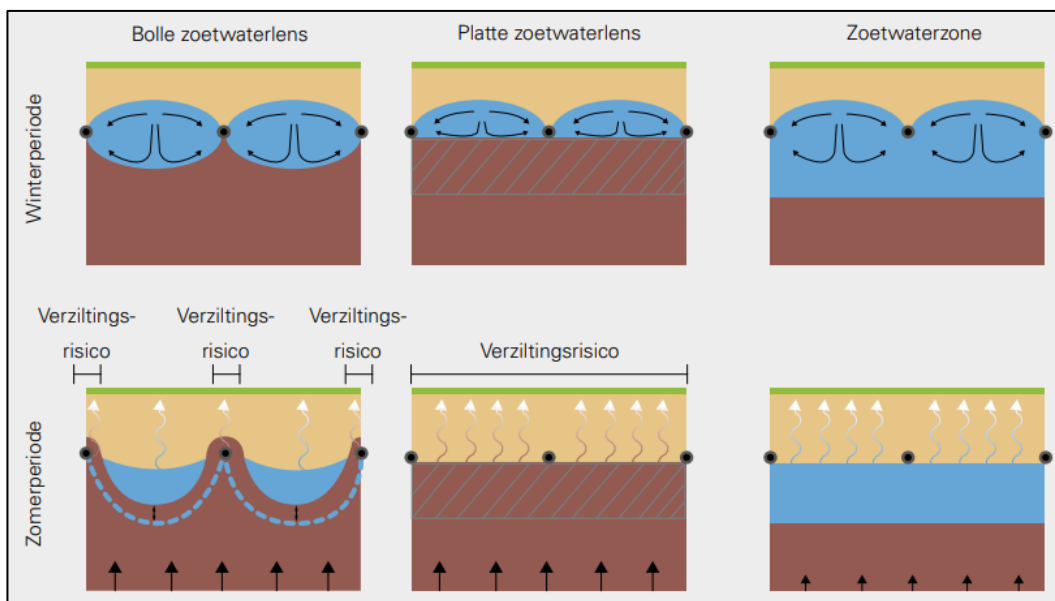
Het project Spaarwater richt zich op het veiligstellen van de zoetwaterbronnen door het aanbod van zoetwater te vergroten en de zoetwatervraag te verkleinen. Zoetwater voor de landbouw is in de Waddenregio beschikbaar dankzij zoetwaterlenzen in percelen en, met uitzondering van de Waddeneilanden, externe zoetwateraanvoer. Door veranderingen in de externe aanvoer en toenemende interne verzilting in percelen en sloten staat de beschikbaarheid van zoet water in de Waddenregio onder druk, ook in de toekomst.

Uit onderzoek binnen Spaarwater blijkt dat er al gebieden zijn waar sprake is van verzilting in percelen. De verwachting is dat het verziltingsrisico in de toekomst toeneemt als gevolg van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling. (Acacia Water, 2019. Spaarwater. Rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik en waterbeheer in de verziltende waddenregio.)

In het hoofdrapport van Spaarwater zijn de typen zoetwaterlenzen in relatie tot drainage en sloten die in de Waddenregio voorkomen inzichtelijk gemaakt. Het volgende wordt vermeld over de reeds optredende verzilting in de Waddenregio "Sloten en drainage zijn onder het natuurlijke grondwaterniveau aangelegd om een gebied te ontwateren. Dat beïnvloedt de grondwaterstroming. Ter plaatse van de sloot of drain treedt een versterkte verticale opwaartse stroming op, waardoor zout kwelwater wordt aangetrokken en afgevoerd. Tussen de drainagebuizen in kan door het neerslagoverschot een zoetwaterlens ontstaan. Een deel van dit zoete water wordt ook weer afgevoerd door de drainage. Door neerslag en verdamping varieert

de grondwaterstand en -stroming en daarmee de dikte van de zoetwaterlens. Dit kan in de zomerperiode bij droogte leiden tot een verziltingsrisico (onderstaande figuur). De grondwaterstand kan uitzakken tot onder het drainageniveau. De zoetwaterlens kan verdwijnen waardoor het risico op verzilting in het gehele perceel toeneemt. Het gedrag van een zoetwaterlens hangt af van bodemtype, eventuele gelaagdheid en kwelflux uit de diepere ondergronden en kan van daaruit opgedeeld worden in drie typen zoetwaterlens (onderstaande figuur):

- Bolle lens: in een homogeen pakket ontstaat tussen de drains een neerslaglens die (in perioden met een structureel neerslagoverschot) aan de onderzijde een bolle vorm heeft. De dikte neemt toe bij grotere drainageafstanden, lagere doorlatendheid en een lagere kweldruk.
- Platte lens: de werking is vergelijkbaar met de bolle lens, maar door de aanwezigheid van een slecht doorlatende laag wordt de vorming van de lens aan de onderzijde beperkt en krijgt de lens een afgevlakte vorm. In praktijk is er slechts een dun laagje zoetwater aanwezig of afwezig. (*aanvulling Acacia: De verwachting is op basis van het project Spaarwater dat het type 'platte zoetwaterlens' niet of beperkt voorkomt.*)
- Zoetwaterzone: in gebieden met waar er geen tot een zeer beperkt kwelflux kan zoetwater tot onder de drainage doordringen. Het kan zijn dat deze zone in het verleden is ontstaan voordat er sprake was van buisdrainage. Als het grensvlak zoet-zout diep genoeg ligt trekken de drains het zoute water niet aan en is de zoetwaterlaag aaneengesloten. Bij een toename van de kweldruk kan dit type verandering in een bolle of platte zoetwaterlens."



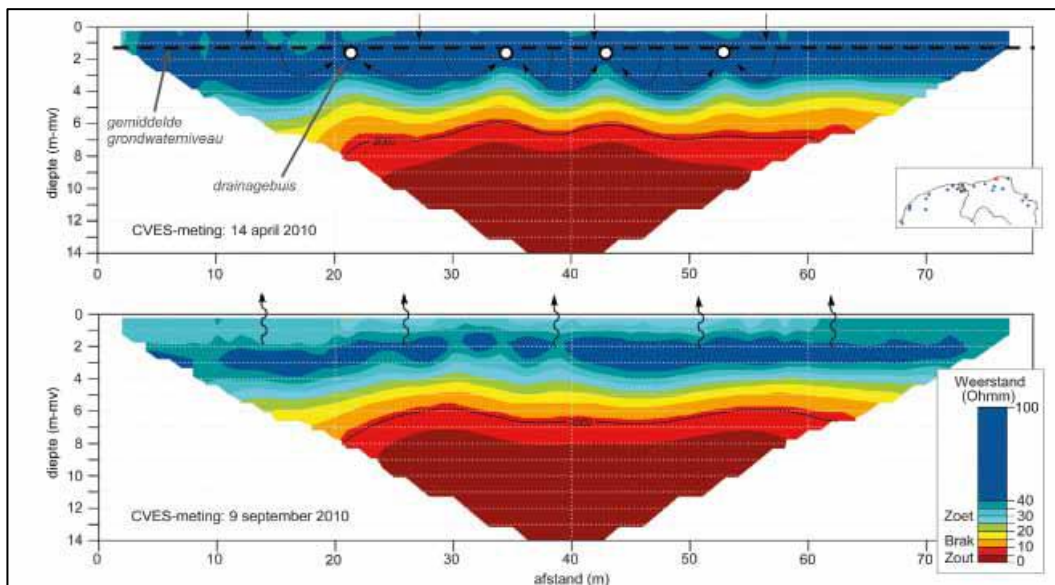
Figuur 3-4: Typen zoetwaterlensen en de variatie tussen zomer- en winterperiode (Acacia Water, 2019. Spaarwater)

Bovenstaande maakt duidelijk dat niet alleen de algemene parameters zoals waterdoorlatendheid van de bodem, de diepte en dikte van de watervoerende pakketten (zoet of zout), de duur van het herstel van de zoetwaterlens of het neerslagoverschot verzilting beïnvloeden.

Verzilting landbouwgronden

Er zijn al diverse specifieke onderzoeken gedaan naar verzilting in Noord Groningen. Daarbij zijn onder andere in verschillende seizoenen veldmetingen gedaan. Dit is gerapporteerd in het rapport van Acacia Water (2012) "Verzilting van landbouwgronden in Noord-Nederland in het perspectief van de effecten van klimaatsverandering; kenmerk: KvR 058/12." Het profiel van het

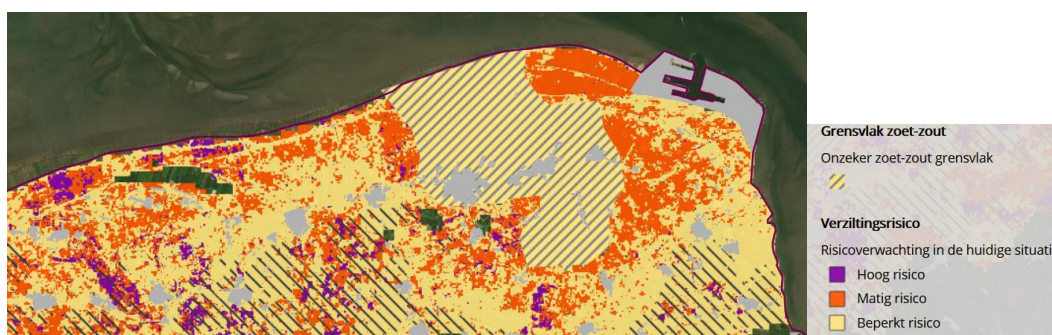
zoutgehalte in een landbouwperceel in een natte/droge periode is weergegeven in figuur 3-4. De onderzoeken zijn in de nabijheid van het tracé Eemshaven-West uitgevoerd (tegen Waddenzee kust).



Figuur 3-5: Verticaal transect van de bodem loodrecht op de drains onder een landbouwperceel in Uithuizen.

In bovenstaande figuur is het seizoenale verschil in de dynamiek van het hydrologisch systeem geïllustreerd. De figuur toont het einde van de natte periode, met lopende drains en optrekkende “zoutvingers”. De onderste figuur toont een situatie zonder lopende drains en bijbehorende uitzakking van de “zoutvingers”.

Opgemerkt wordt dat bovenstaande slechts 1 meting in het gebied betreft. Aanvullende resultaten van Acacia water geven aan dat de diversiteit (o.a. bodemopbouw, grondwaterstanden, drainage, sloten etc.) groot is waardoor bovengenoemde meting niet per definitie representatief is voor het gehele gebied. De onzekerheid over het verloop van het zoet/zout grensvlak in de Waddenregio is in het rapport Spaarwater (Acacia Water, 2019) inzichtelijk gemaakt, zie onderstaande figuur.



Figuur 3-6: Verziltingsrisico in het projectgebied voor de huidige situatie gebaseerd op de dikte van de zoetwaterlens. De kaart is geschikt voor gebruik op regionaal niveau; het risico kan in werkelijkheid lokaal afwijken. (Acacia Water, 2019).

3.3.3 Verziltingseffecten i.r.t. tracé

Zoals in paragraaf 3.2 aangegeven kan verzilting door meerdere aspecten worden veroorzaakt. Onderstaand is per vorm beschreven of er, op basis van de geraadpleegde bronnen en expert judgement, een potentieel verziltingseffect verwacht kan worden.

- a) Verdamping;
De kabels worden ondergronds aangelegd waardoor er alleen tijdens het open liggen van de sleuf sprake is van verdamping van bodemvocht. De sleuven in open ontgraving liggen kort open waardoor verziltingsschade door verdamping niet wordt voorzien.
- b) Verstuiving van zeezout;
Er is door de aanleg van de kabels geen verziltingseffect door verstuiving van zeezout.
- c) Landbouwkundige activiteiten;
Aangezien er voor de aanleg van de kabels geen landbouwkundige activiteiten plaatsvinden is hierdoor geen verziltingseffect te verwachten.
- d) Lokale bodemverontreiniging;
Er vindt door de aanleg van de kabels geen zoute bodemverontreiniging plaats.
- e) Infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen;
De ligging van waterlopen of oppervlaktewater wordt door de kabelaanleg niet permanent aangetast waardoor verzilting via oppervlaktewater niet aan de orde is.
- f) Sedimentatie;
Er is door de aanleg van de kabels geen sprake van verziltingseffect door sedimentatie.
- g) (Historische) overstromingen;
Er is door de aanleg van de kabels geen sprake van verziltingseffect door (historische) overstromingen.
- h) Oplossing van steenzout.
Er is geen sprake van steenzout in het gebied.
- i) Menging van zoet met zout water;
Bij het uitvoeren van een grondwateronttrekking wordt grondwater uit de omgeving onttrokken. Hierdoor kan vermenging van zoet met zout water ontstaan en/of kan een (deel van) een zoetwaterlens worden onttrokken. Dit potentiële effect is beschreven in hoofdstuk 5 van onderhavige studie.
- j) Opkegeling bij drinkwaterwinning;
Zie i.
- k) Indringing van zeewater langs de kust;
Bij het uitvoeren van een horizontaal gestuurde boring bij de aanlanding ontstaat er een verbinding tussen de Waddenzee en het vaste land. Indringing van zout zeewater via de boorlijn is een risico. Dit potentiële effect is beschreven in hoofdstuk 6 van onderhavige studie.
- l) Indringing van zeewater via een open riviermonding;
Bij het uitvoeren van een horizontaal gestuurde boring onder een (hoofd)watergang of in verschillende peilgebieden ontstaat er een waterdruk verschil waardoor (zout) water langs de boorlijn kan stromen. Dit potentiële effect is beschreven in hoofdstuk 6 van onderhavige studie.

Opgemerkt wordt dat de autonome ontwikkelingen, zoals zeespiegelstijging, bodemdaling en klimaatverandering tevens (kunnen) zorgen voor verzilting. Deze aspecten hebben (veelal) een natuurlijke oorzaak en zijn langdurig (zo niet oneindig). De aanleg van de kabels is tijdelijk en eenmalig waardoor voorgaande effecten niet zijn meegenomen in onderhavig verkennd onderzoek naar verziltingseffecten.

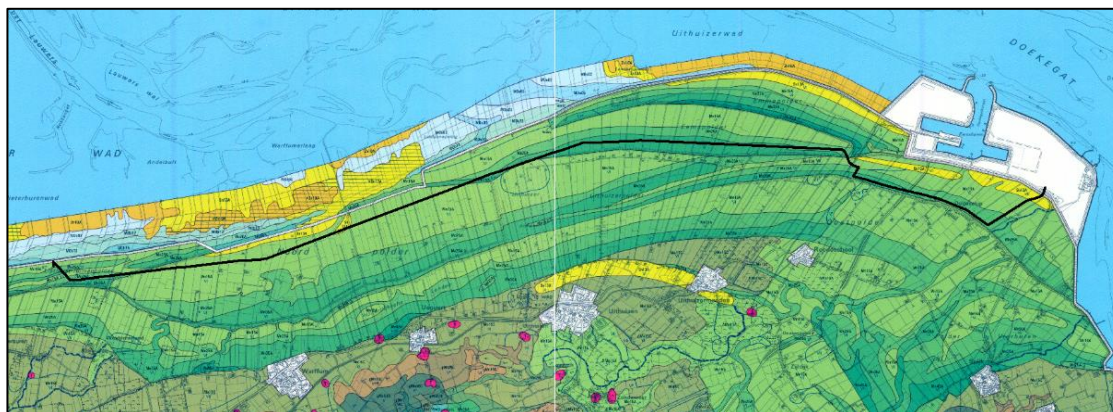
4 Gebiedskenmerken

4.1 Geohydrologische bodemopbouw

Bodemkaart van Nederland

Om inzicht te krijgen in de (ondiepe) bodemgesteldheid in het projectgebied is de Bodemkaart van Nederland geraadpleegd. In figuur 4-1 is het tracé op de bodemkaart weergegeven. Deze geeft de bodemgesteldheid weer tot een diepte van 1,20 m-mv.

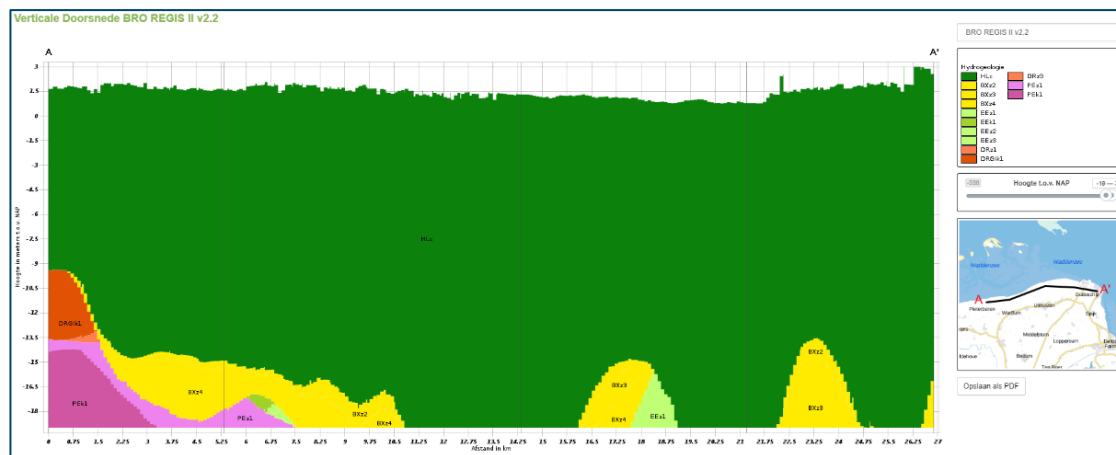
Het tracé loopt nagenoeg geheel over zeekleigronden. Dit varieert van Mn15A (lichte zavel) tot Mn35A. (lichte klei). Op basis van de bodemkaart is sprake van een relatief homogene bodemopbouw op het tracé. Nabij de Eemshaven komt lichtere grond voor bestaande uit lichte zavel.



Figuur 4-1: Bodemkaart van Nederland

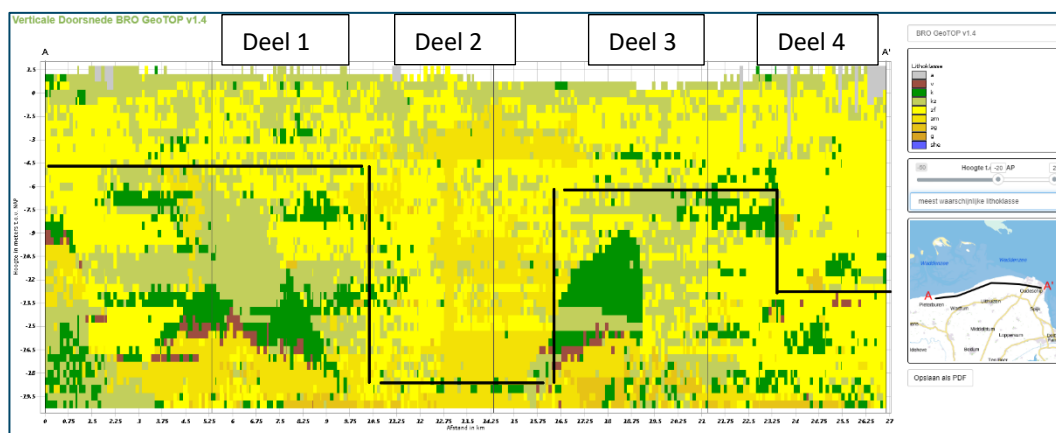
REGIS/DINOloket

De diepe geohydrologische bodemopbouw is bepaald aan de hand van REGIS 2.2, Geotop v1.4. Deze zijn weergegeven in onderstaande figuren 4.2 en 4.3. REGIS 2.2 geeft aan dat het hele tracé tot een diepte van NAP -10 á -15 m bestaat uit holocene afzettingen. Dit pakket betreft een wadafzetting en kenmerkt zich door een grote gelaagdheid van de bodem. Afhankelijk van de snelheid van het stromende water zijn (fijne) zandlagen of klei afgezet. Hieronder is de Formatie van Bortel aanwezig bestaande uit leem of zand.



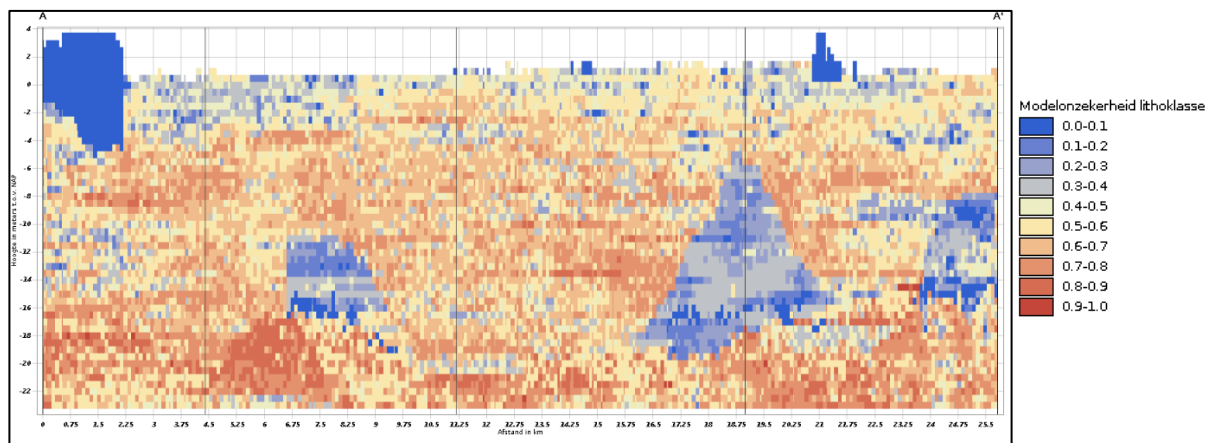
Figuur 4-2: Bodemopbouw langs het tracé (west-oost) op basis van REGIS 2.2.

Geotop v1.4 (figuur 4-3) geeft meer detail van de bodemopbouw weer. Daaruit blijkt dat ruwweg de eerste meter van de bodem bestaat uit klei en zandige klei (zavel). Dit sluit aan bij het beeld uit de bodemkaart die aangeeft dat de bodem bestaat uit lichte zavel tot lichte klei. Daaronder zijn (soms dunne) lagen aanwezig die voornamelijk bestaan uit (fijn en soms zeer fijn) zand afgewisseld met dunne kleilaagjes. Pas vanaf NAP -15,0 m wordt een iets grovere zandfractie aangetroffen, afgewisseld met klei/veenlaagjes.



Figuur 4-3: Bodemopbouw langs het tracé (west-oost) op basis van Geotop v1.4.

Geotop geeft tevens de model(on)zekerheid aan. Deze is weergegeven in figuur 4.4. Hieruit blijkt dat in het gehele gebied de bodemopbouw een redelijke (oranje) tot grote (rode) onzekerheid geeft met uitzondering van de toplaag (geel) en enkele (dieper) gelegen kleilagen (blauw).



Figuur 4-4: Modelonzekerheid van het Geotop model uit figuur 4-3

Op basis van de informatie uit Geotop v1.4 is er een (geringe) reden om het tracé in vier delen op te splitsen. Daarbij wordt een verschil verwacht in de grofheid van het zand en de diepte wanneer klei in de ondergrond wordt aangetroffen. Dit is geschetst in figuur 4-3. Vooral ter plaatse van deel 2 lijkt er meer zand in de diepe ondergrond aanwezig te zijn, deze grover is en er minder klei lagen voorkomen. De verschillen bevinden zich vooral in de lagen rondom de diepte van 5 tot 10 m-mv.

Om een beter beeld te krijgen van de diepe bodemopbouw zijn in het DINOloket enkele boringen uitgelicht waarvan naast een boorbeschrijving ook foto's beschikbaar zijn van de opgeboorde bodem (zie bijlage 2). Zodoende kan een betere inschatting worden gemaakt van doorlatendheden en anisotropie van de bodem.

Op basis van deze gegevens is een vierdeling in de bodemopbouw van het tracé gemaakt:

- Deel 1 (west), lengte ca. 10 km.
 Toplaag van 1 á 2 m lichte zavel tot lichte klei. Daaronder een zandlaag van ca. 4 m dik (tot 120 mu). Vervolgens een kleilaag van 0,1 á 0,3 m dik. Daaronder weer een zandlaag van ca. 4 m dik (tot 120 mu) met daaronder een kleilaag van ca. 1 m dik.
 Dit deel wordt gebaseerd op Geotop (en boring B03G0059 voor deel 3).
- Deel 2, lengte ca. 7 km.
 Toplaag van 1 á 2 m lichte zavel tot lichte klei. Daaronder een zandlaag van ca. 15 m dik, sterk gelaagd (tot 120 mu). Tenslotte klei op ca. 15 á 20 m-mv.
 Dit deel wordt gebaseerd op Geotop en boring B03G0310.
- Deel 3, lengte ca. 7 km.
 Zie deel 1.
- Deel 4 (oost), lengte ca. 6 km.
 Toplaag van 1 á 2 m lichte zavel tot lichte klei. Daaronder een zandlaag van ca. 10 m dik (tot 120 mu). Deze omvat relatief weinig kleilagen. Tenslotte klei op ca. 10 á 15 m-mv.
 Dit deel wordt gebaseerd op Geotop en boring: B03H0045

4.2 Waterdoorlatendheden en anisotropie

De doorlatendheid van de bodem wordt uitgedrukt als een k-waarde in meters per dag (m/d). Er dient onderscheidt te worden gemaakt tussen de horizontale doorlatendheid (k_h) en verticale doorlatendheid (k_v). De horizontale doorlatendheden van de bodem zijn grotendeels afhankelijk van de korrelgrootte van het sediment. De doorlatendheden zijn in tabel 4-1 weergegeven.

Tabel 4-1: Waterdoorlatendheden

Benaming	k_h -waarde in m/dag			bron
	zeer kleiarm (0-3% lutum)	matig kleiarm (3-5% lutum)	kleilig (5-8% lutum)	
zware klei	0,0001			B. Bot, Grondwaterzakboekje 2016
matig zware klei	0,01			B. Bot, Grondwaterzakboekje 2016
zandige klei	0,05			B. Bot, Grondwaterzakboekje 2016
lichte zavel	0,5			B. Bot, Grondwaterzakboekje 2016
	zeer kleiarm (0-3% lutum)	matig kleiarm (3-5% lutum)	kleilig (5-8% lutum)	
uiterst fijn zand	k = 0,75	k = 0,30	k = 0,10	Bronbemaling GeHo-pompen, 1977
zeer fijn zand	k = 2,00	k = 0,60	k = 0,25	Bronbemaling GeHo-pompen, 1977
matig fijn zand	k = 4,50	k = 1,50	k = 0,60	Bronbemaling GeHo-pompen, 1977
matig grof zand	k = 12,0	k = 4,0	k = 1,5	Bronbemaling GeHo-pompen, 1977
zeer grof zand	k = 50 à 100	k = 15 à 40	k = 6 à 16	Bronbemaling GeHo-pompen, 1977

Over het algemeen is er in Nederland sprake van fluviatiele, mariene of eolische afzettingen. In het Waddenzegebied is met name sprake van mariene afzettingen welke horizontaal gelaagde lagen/pakketten vormen. Hier wisselen klei en zandlaagjes zich vaak snel af. Over het algemeen is in dit gebied de horizontale toestroming van grondwater door de kleibandjes dan ook veel groter dan de verticale grondwaterstroming. De verhouding horizontaal/verticaal is de anisotropiefactor. Volgens het grondwaterzakboekje (B. Bot, 2016) bedraagt deze ongeveer 4 tot 10.

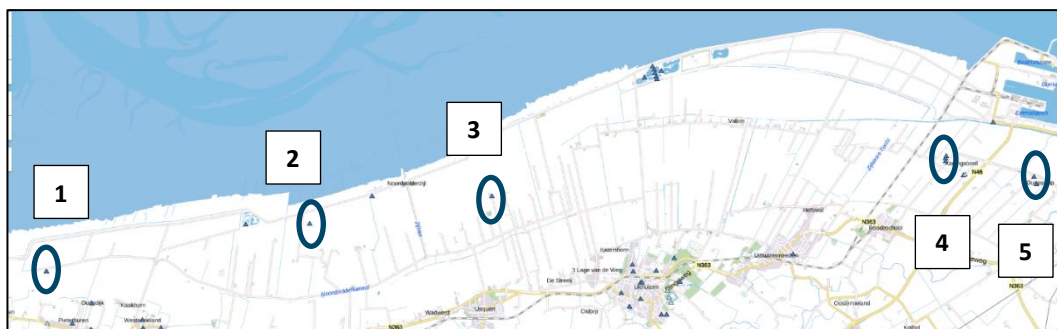
4.3 Grondwaterstanden

Bodemkaart van Nederland

De gronden zijn volgens de Bodemkaart van Nederland in het algemeen goed ontwaterd. De grondwatertrappen zijn hoofdzakelijk GT VI met GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) tussen 0,40 en 0,80 m-mv en GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) dieper dan 1,20 m-mv. en GT VII met GHG dieper dan 0,80 m-mv en GLG dieper dan 1,60 m-mv. Voorgaande duidt op relatief lage grondwaterstanden, zowel in het natte (winter)seizoen als het droge (zomer)seizoen.

DINOlaket

De grondwaterstanden zijn geïnventariseerd op basis van de gegevens uit de bodemkaart. Deze zijn aangevuld met peilbuismetingen uit Dinoloket. De ligging van de peilbuizen is weergegeven in figuur 4-5.



Figuur 4-5: Peilbuizen zoals opgenomen in Dinoloket.

Van de peilbuizen uit het DINOlaket zijn de GHG, GLG en GG (gemiddelde grondwaterstand) ingeschat en in tabel 4-2 weergegeven. Te zien is dat de gemiddelde grondwaterstand varieert van NAP +0,1 tot +0,3 m.

Tabel 4-2: Overzicht peilbuizen.

Nr.	Peilbuis	Filterdiepte [m+NAP]	Meetperiode	GHG [m NAP]	GLG [m NAP]	GG ^[2] [m NAP]	GG [m-mv]
1	B03C0062	-0,16 tot -0,66	1980 - 2000	+1,30	-0,60	+0,3	2,1
2	B03D0073	+0,5 tot 0,0	1998 - 2000	+1,00	-0,15	+0,3	1,3
3	B03D0051	-18,0 tot -19,0	1992 - 2020	+0,50	-0,20	+0,1	1,4
4	B03G0085	-0,3 tot -0,8	1987 – 1993 ^[1]	+1,00	-0,50	+0,2	1,9
5	B03H0605	-0,9 tot -1,9	2014 - 2019	+1,00	-0,30	+0,3	0,8

[1] Deze peilbuis heeft twee meetperiodes (1977 tot 1987 en 1987 tot 1993). De meest recente periode is geraadpleegd.

[2] De gemiddelde grondwaterstand (GG) is bepaald als de mediaan van de metingen.

De gemeten grondwaterstanden geven aan dat er sprake is van een relatief homogene grondwaterhuishouding, wat betekent dat de onderlinge verschillen in grondwaterstanden t.o.v. NAP over de lengte van het tracé beperkt zijn. Met name de gemiddelde grondwaterstand is op het tracé nagenoeg gelijk en bedraagt ongeveer NAP +0,2 m.

4.4 Diepte zoet - zout grensvlak

De diepte van het zoete, brakke of zoute grondwater is in het gebied lastig te bepalen. In het DINOlaket of REGIS zijn geen specifieke data bekend om de diktes of dieptes van deze vlakken

specifiek voor het tracé te bepalen. Eén van de bronnen die hier wel inzicht in geeft is het rapport van Acacia Water (2012) "Verzilting van landbouwgronden in Noord-Nederland in het perspectief van de effecten van klimaatsverandering; kenmerk: KvR 058/12." Zie tevens paragraaf 3.3.2. Hierbij wordt opgemerkt dat dit slechts 1 meting in het gebied betreft. Aanvullende resultaten van Acacia water geven hierbij aan dat de diversiteit (o.a. bodemopbouw, grondwaterstanden, drainage, sloten etc.) groot is waardoor de meting niet per definitie representatief is voor het gehele gebied.

Door het ontbreken van data aangaande de diepte van het zoet - zout grensvlak is hieromtrent grote onzekerheid. Vooralsnog is de enige beschikbare bron (paragraaf 3.3.2; Acacia Water) gebruikt om de dikte van de zoetwaterlens te bepalen. Een nader onderzoek op het tracé is benodigd om te bepalen of deze aanname juist blijkt.

- Nat seizoen:
Zoetwaterlens reikt tot ca. 4 m onder het maaiveld (2 m onder drainage).
Ter plaatse van de drainage zelf is de lens fors dunner (nihil onder drainage).
Brak / zout water ligt op ca. 5 m onder het maaiveld.
- Droog seizoen:
Zoetwaterlens reikt tot ca. 3 m onder het maaiveld (1 m onder drainage).
Ter plaatse van de drainage zelf is de lens fors dunner (nihil onder drainage).
Brak / zout water ligt op ca. 5 m onder het maaiveld.

Zoals vermeld is (in een later stadium) een veldonderzoek noodzakelijk om de exacte gegevens over de diepte en diktes van het zoet/zout grondwater te achterhalen en zodoende betrouwbaardere uitspraken te kunnen doen over effecten van verzilting.

4.5 Maaiveldhoogte

De maaiveldhoogte langs het tracé is vastgesteld op basis van de AHN3. Het tracé is in twee delen te verdelen namelijk:

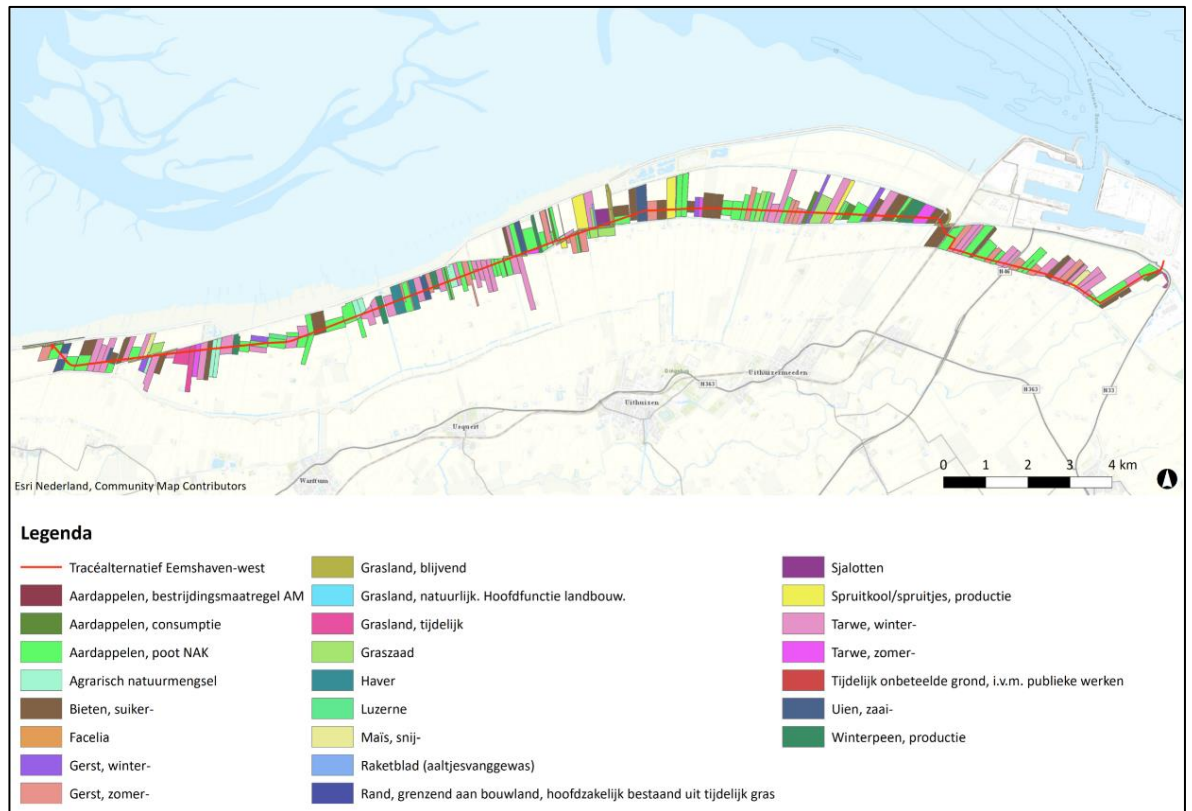
- Cultuurgronden (vnl. Akkerbouw):
Het maaiveld ligt gemiddeld op ca. NAP +1,5 m. Hoge delen liggen op NAP +2,0 m. Lage delen liggen op ca. NAP +1,0 m.
- Eemshaven:
Het maaiveld ligt op ca. NAP +3,0 m.
Dit betreft alleen de meest oostelijke 100 á 200 m van het tracé.

De maaiveldhoogtes van de cultuurgronden geven aan dat er sprake is van een relatief vlak tracé met geringe hoogteverschillen. De lengte van het tracédeel rondom Eemshaven is dermate gering van omvang dat dit niet bepalend is voor onderhavige studie.

4.6 Grondgebruik

Het gebruik van de landbouwpercelen is geïnventariseerd zoals in onderstaand figuur 4-6 aangegeven. Bij de inventarisatie is gebruik gemaakt van de basisregistratie gewaspercelen 2020 binnen een bandbreedte van 50 meter ter weerszijden van de tracélijn.

De percelen wordt over het algemeen gebruikt voor de teelt van akkerbouwgewassen. Voornamelijk pootaardappelen, tarwe, gerst, suikerbieten, winterpeen en uien komen veel voor binnen het tracé. Gewassen die in mindere mate voorkomen zijn graszaad, spruitkool/spruitjes, haver, mais, bollen. Graslandpercelen worden over het algemeen ook nauwelijks aangetroffen.



Figuur 4-6: Gebruik percelen volgens basisregistratie gewaspercelen 2020.

5 Geohydrologische analyses (effect bemaling)

5.1 Algemeen

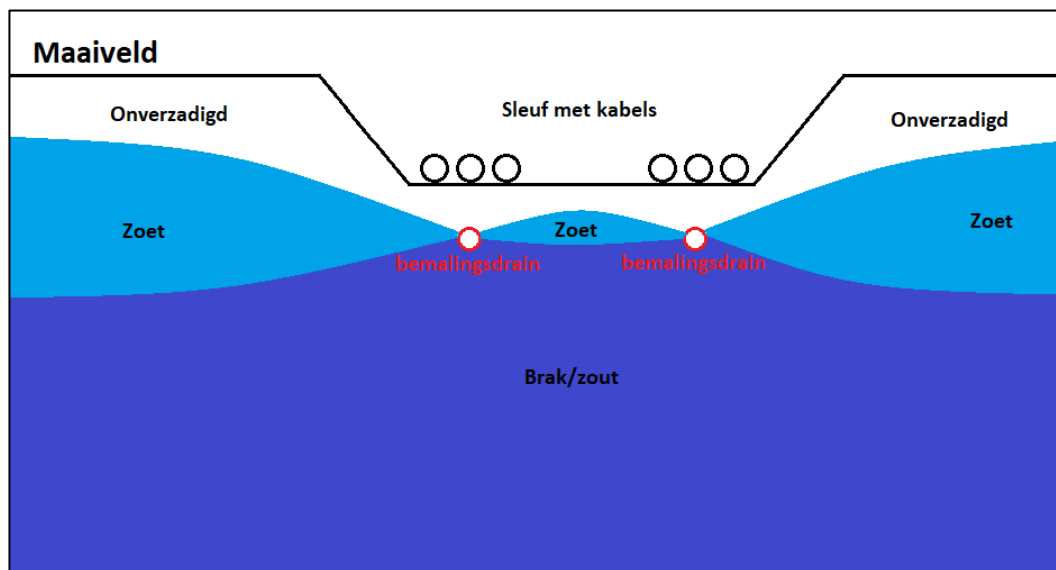
Zoals in paragraaf 3.3.3 beschreven kan door een grondwateronttrekking het zoete grondwater worden onttrokken en het brakke grondwater omhoog komen. Hierdoor ontstaat verzilting. Om een eerste indruk te krijgen of op het tracé sprake kan zijn van upconing (omhoogkomen van grondwater door grondwaterstromingen) zijn berekeningen noodzakelijk. Bij deze eerste verkenning is gekozen om de stromingsberekeningen uit te voeren met Microfem. Dit betreft een veelgebruikt model voor bronbemalingen/grondwateronttrekkingen en geeft een eerste indicatie van te verwachten effecten. Het model kent echter ook tekortkomingen zoals het niet meenemen van dichtheidsstromingen, lokale invloeden van drainage/sloten of stroming in de onverzadigde zone. Het model geeft wel indicatief weer hoe de grondwaterstromingen plaatsvinden en of er upconing door een grondwateronttrekking kan plaatsvinden en zo ja, welke oppervlakte rondom het tracé wordt beïnvloed. Middels dezelfde stromingsberekeningen kan indicatief worden berekend hoe lang het duurt voordat de oorspronkelijke situatie zich herstelt. De onderzoeksvragen die van toepassing zijn:

1. Treden effecten op verzilting van bodem en grondwater op bij een open ontgraving? Kan aangegeven worden hoe groot dit effect (het oppervlak) is waar verzilting optreedt?
2. Kan aangegeven worden hoe lang het duurt voordat de grondwaterkwaliteit weer hetzelfde is van voor de open ontgraving?

Methodiek vraag 1

Bij het toepassen van een open ontgraving is bronbemaling benodigd om het grondwaterstands niveau tijdelijk te verlagen en in den droge te kunnen werken. Bij horizontaal gestuurde boring is alleen bij de in- en uittredepunten een bemaling benodigd (daar waar geboord wordt is geen bemaling noodzakelijk).

In figuur 5-1 is een hypothese van de verwachte situatie tijdens de bemaling geschetst op de voorraad zoet grondwater (zoetwaterlens) en de aanwezigheid van zout grondwater in de diepere ondergrond. Hierin is de verandering van de dikte van de zoetwaterbel en de upconing van zoutwater als gevolg van de bemaling weergegeven. Dit betreft een hypothetische schematische situatie die *verwacht wordt tijdens* de bemaling.



Figuur 5-1: Schematische weergave van het effect van bemaling op het zoete en zoute grondwater.

Om het effect van bronbemaling te bepalen worden de volgende stappen gezet:

- Bepaling invloedsgebied t.g.v. bemaling.
Dit is een bovengrensbepaling van het gebied tot waar grondwaterstandsverlaging optreedt en waar mogelijk verzilting plaats zou kunnen vinden.
- Bepaling upconing t.g.v. bemaling.
Dit is het gebied waar de zoute laag tot (bijna) aan het maaiveld wordt aangetrokken door bemaling. Dit concentreert zich rondom de onttrekking.
- Bepaling afname zoetwaterlens t.g.v. bemaling.
Door de bemaling wordt zowel zoet als zout water aangetrokken. Daardoor wordt de zoetwaterlens kleiner. Aanname hierbij is dat aan de onderzijde van de zoetwaterlens water wordt onttrokken en dat door de verlaging de bovenzijde naar beneden getrokken wordt (zie ook figuur 5-1). Netto leidt dit tot een (lokaal) dunnere zoetwaterlens.

Methodiek vraag 2

Om het herstel van de zoetwaterlens te bepalen worden de volgende stappen gezet:

- Herstel van de zoetwaterlens door neerslag.
Bepaling van het neerslagoverschot dat aanwezig is in de wintermaanden.
- Herstel upconing door neerslag.
Door het neerslagoverschot in de wintermaanden is er sprake van infiltratie naar de diepte. Daardoor zakt de zoutwater cone geleidelijk weg.

5.2 Upconing door bemaling

Er zijn indicatieve berekeningen uitgevoerd om te bepalen hoeveel upconing er plaats vindt. Daarbij is gekeken hoe het grondwater stroomt richting de bemaling. Daarvoor zijn onderstaande rekenkundige uitgangspunten bepaald. Op basis hiervan zijn voor de tracé delen berekeningen gemaakt. Het betreffen algemene uitgangspunten zonder gevoeligheidsanalyse. De gekozen input en berekeningen zijn alleen uitgevoerd om een *indicatie* te krijgen in de potentiële effecten van de bronbemaling en dienen niet als de absolute waarheid te worden beschouwd. Hiervoor zijn ten tijde van het schrijven van de rapportage te weinig gebiedsgegevens bekend. Een nader (veld)onderzoek is dan ook noodzakelijk om onderstaande werkwijze te kunnen toetsen.

Rekenkundige uitgangspunten

- Gemiddeld maaiveldniveau ca. NAP +1,5 m (zie paragraaf 4.3);
- Sleufafmetingen conform paragraaf 2.1.
- Grondwaterstand conform de gemiddelde grondwaterstand (NAP +0,2 m), zie paragraaf 4.2. Verlaging grondwaterstand tot 2,4 m-mv (ca. NAP -0,9 m). De benodigde verlaging ter plaatse van de sleuf is hiermee ca. 1,1 m.
Opmerking: Er is geen onderscheidt gemaakt in een GHG of GLG situatie. In een GHG situatie is de dikte van de zoetwaterlens dikker maar is ook meer bemaling benodigd om de grondwaterstand te verlagen. Daarentegen is in een GLG situatie de zoetwaterlens dunner, maar de benodigde bemaling beperkter. Gezien voorgaande én de schaal waarop de onderzoeken en berekeningen worden uitgevoerd is derhalve alleen een GG situatie doorgerekend.
- Bemalingswijze conform horizontale drains (uitgaande van 2 drains). Deze liggen op een diepte van maximaal 1,0 m onder de sleufbodem.

De volgende (geo)hydrologische uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Vier tracédelen met bodemopbouw conform paragraaf 4.1. Doordat de bodemopbouw bij tracédeel 1 en 3 vergelijkbaar is, evenals tracédeel 2 en 4, zijn twee berekeningen uitgevoerd.
- Doorlatendheden zijn als volgt aangehouden:
Lichte zavel: 0,5 m/dag (Bron: B.Bot (2016) GWZ2016; blz. 27).

(zandige)klei: 0,05 m/dag (Bron: B.Bot (2016) GWZ2016; blz. 27).
Zand (tot 120 mu): 1,0 à 2,0 m/dag (Bron: GeHo pompen (1977) Bronbemaling)
In alle zandlagen is in verband met de sterke gelaagdheid (zie paragraaf 4.1) de verticale doorlatendheid een factor 5 lager aangehouden als de horizontale doorlatendheid.

- Effectieve porositeit van 30%.
- Gebiedsdekkende drainageweerstand van 250 dagen.
- Ligging zoet-zoutgrensvlak conform paragraaf 4.3.

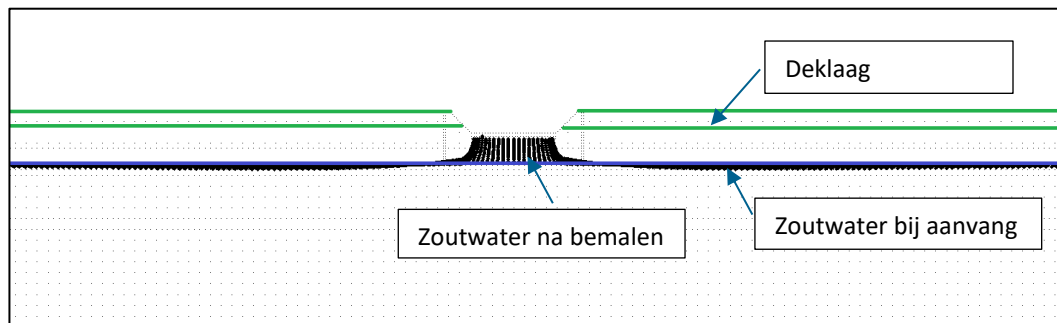
De volgende rekenkundige uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Modelleren met MicroFem v4.1.
- Stationaire bepaling van de verlaging.

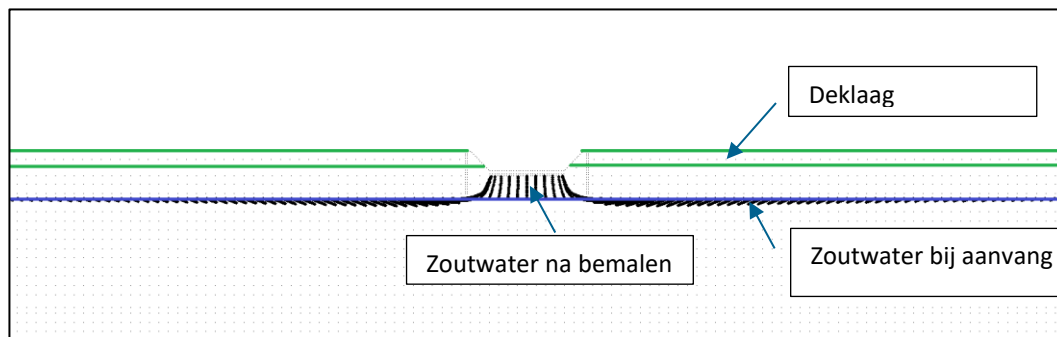
Rekenkundige resultaten

De berekeningen zijn uitgevoerd voor de tracédelen 1+3 en 2+4. In figuur 5-2 en figuur 5-3 zijn de resultaten voor deze tracé delen weergegeven. Te zien is de ligging van het zoute grondwater (5 m-mv) bij aanvang van de bemaling. Daarnaast zijn de stroomlijnen weergegeven over een bemalingsperiode van 10 weken. Te zien is dat rondom de sleuf door de bemaling het zoute water omhoog stroomt naar de onttrekking toe. Aangezien de onttrekking relatief ondiep is en door de gelaagdheid van de bodem de verticale doorlatendheid gering is, duurt dit omhoog komen (upconing) conform de berekeningen enkele weken (zie tevens tabel 5-2).

De breedte van de conus zout grondwater is in de berekeningen zeer smal. Mogelijk kan dit in de praktijk afwijken door andere processen. Voorbeelden zijn lokale invloed van watergangen / drainage buizen, het toepassen van andere bemalings-configuraties, dikte van de zoet/zoutlaag, bodemopbouw, oude geulenpatronen e.d.



Figuur 5-2: Geohydrologische berekening deelgebied 1+3. Verloop van het zoute grondwater na 10 weken bemalen.



Figuur 5-3: Geohydrologische berekening deelgebied 2+4. Verloop van het zoute grondwater na 10 weken bemalen.

De rekenresultaten zijn samengevat in tabel 5-1. Het blijkt dat de onderlinge verschillen tussen de tracédelen slechts gering zijn. Die komt doordat de bodemopbouw tussen de tracédelen vrijwel vergelijkbaar is, de GG én de benodigde verlaging gelijk is.

Tabel 5-1: Overzichtstabel uponingsberekeningen per tracé deel.

		Deel 1	Deel 2	Deel 3	Deel 4
Lengte	[km]	Ca. 10	Ca. 7	Ca. 7	Ca. 6
Uponing	[-]	ja	ja	ja	ja
Tijd tot uponing	[dagen]	3 á 4 week	2 á 3 week	3 á 4 week	2 á 3 week
Invloedszone Uponing ^[1]	[m]	< 10 m uit hart sleuf	< 10 m uit hart sleuf	< 10 m uit hart sleuf	< 10 m uit hart sleuf

^[1] Gemeten als meer dan 0,5 m verandering van het zoet-zout grensvlak.

Volgens de (indicatieve) berekeningen, en zoals vermeld in tabel 5-1, is door de bemaling de zoetwaterlens binnen 2 à 3 weken (deel 2+4) tot 3 à 4 weken (deel 1+3) volledig weggepompt. Het gebied waarin dit plaatsvindt is gelegen binnen 10 m vanuit hart sleuf (zie figuur 5-4 voor gedetailleerdere afstanden). Buiten deze zone is de zoetwaterlens nog wel aanwezig, maar neemt af in dikte. Dit is in paragraaf 5.3 berekend.

De (indicatieve) berekeningen geven aan dat een bemalingsduur langer dan 4 weken er voor zorgt dat de volledige zoetwaterlens binnen 10 m vanuit hart talud sleuf weggepompt is, waardoor de zoutwatercone de zoetwaterlens vervangt. Deze 20-meter zone ligt volledig binnen de werkstrookbreedte van 50 meter (zie figuur 2-1). Zoals vermeld betreffen dit *indicatieve* waarden.

5.3 Bepaling invloedsgebied

Het invloedsgebied van de grondwateronttrekking is een maat tot waar een grondwaterstandsverlaging reikt. Dit wordt over het algemeen, en ook in dit geval, gedefinieerd als de 0,05 m verlagingscontour. Bij kort durende bemalingen wordt deze sterk bepaald door tijdsafhankelijke effecten. Bij een langere bemaling zal het invloedsgebied richting een evenwichtswaarde gaan. Deze evenwichtswaarde is afhankelijk van de spreidingslengte (λ). Dit is de verhouding tussen de horizontale stroming en de verticale voeding. Het invloedsgebied is in de regel $3x$ de spreidingslengte ($3x\lambda$).

De maximaal aangehouden bemalingsduur is 10 weken. Bij een dergelijk (relatief) lange bemalingsduur is aangenomen dat de evenwichtssituatie wordt bereikt.

De horizontale stroming wordt bepaald door het doorlaat vermogen van doorlatende zandlagen. Deze zijn beschreven in paragraaf 5.2. Er is in de boorstaten een inschatting gemaakt van de zandmediaan. Deze varieert van 80 tot 120 μ . Dit betreft fijn en zeer fijn zand. Voor zand met een zandmediaan van 120 μ is een doorlatendheid van 1 à 2 m/dag aangehouden.

De verticale voeding wordt voornamelijk bepaald door het oppervlakte water rondom de bemaling. In gebieden waarbij het oppervlaktewater tot in de zandlaag rijkt en het slotenpatroon niet bijzonder fijnmazig is, is een waarde van 250 dagen een passende inschatting voor de verticale voeding.

Op basis van deze kentallen is het invloedsgebied van de evenwichtssituatie bepaald. Dit is weergegeven in tabel 5-2. Te zien is dat het invloedsgebied 120 m tot 255 m uit de werkstrook rijkt.

Tabel 5-2: Bepaling invloedsgebied ($3x\lambda$) van de bemaling per deelgebied.

Deelgebied	Dikte zandlaag [m]	kD-waarde [m^2/dag]	C-waarde [dag]	λ -waarde [m]	$3x\lambda$ [m]
1	4 á 8	8 á 16	250	40 á 60	120 á 180
2	15	30	250	85	255
3	4 á 8	8 á 16	250	40 á 60	120 á 180
4	10	20	250	70	210

Opgemerkt wordt dat bovenstaande methode een vereenvoudigde werkwijze is. Nuances die nog gemaakt worden zijn: invloed van lokale grote en diepe waterpartijen, exacte bemalingsconfiguratie (type bemaling, verlaging, diepte van de onttrekking), e.d.

5.4 Afname zoetwaterlens

De afname van de zoetwaterlens is in dit onderzoek gekoppeld aan de verlaging door de bronbemaling. De berekende verlaging op afstand en de impact daarvan op de zoetwaterlens is per deelgebied weergegeven in tabel 5-3 t/m 5-6 en is gebaseerd op de (indicatieve) MicroFEM berekeningen zoals uitgevoerd in paragraaf 5.3.

Tabel 5-3: Overzichtstabel afname zoetwaterlens - tracé deel 1.

Afstand t.o.v. hart sleuf		Effect	Verlaging [m]	Resterende zoetwaterlens	Reductie zoetwaterlens
Van [m]	Tot [m]				
0	10	Upconing met zout grondwater	1,10	nihil	-100%
10	12	Verlaging 0,5 tot 1,1 m	0,80	1,40 m	-40%
12	25	Verlaging 0,3 tot 0,5 m	0,40	1,80 m	-20%
25	55	Verlaging 0,1 tot 0,3 m	0,20	2,00 m	-10%
55	120 á 180 ^[1]	Verlaging < 0,1 m	0,05	2,15 m	-2,5%

[1] Conform het invloedsgebied zoals bepaald in tabel 5-2.

Tabel 5-4: Overzichtstabel afname zoetwaterlens - tracé deel 2.

Afstand t.o.v. hart sleuf		Effect	Verlaging [m]	Resterende zoetwaterlens	Reductie zoetwaterlens
Van [m]	Tot [m]				
0	10	Upconing met zout grondwater	1,10	nihil	-100%
10	20	Verlaging 0,5 tot 1,1 m	0,80	1,40 m	-40%
20	35	Verlaging 0,3 tot 0,5 m	0,40	1,80 m	-20%
35	70	Verlaging 0,1 tot 0,3 m	0,20	2,00 m	-10%
70	255 ^[1]	Verlaging < 0,1 m	0,07	2,15 m	-2,5%

[1] Conform het invloedsgebied zoals bepaald in tabel 5-2.

Tabel 5-5: Overzichtstabel afname zoetwaterlens - tracé deel 3.

Afstand t.o.v. hart sleuf		Effect	Verlaging [m]	Resterende zoetwaterlens	Reductie zoetwaterlens
Van [m]	Tot [m]				
0	10	Upconing met zout grondwater	1,10	nihil	-100%
10	12	Verlaging 0,5 tot 1,1 m	0,80	1,40 m	-40%
12	25	Verlaging 0,3 tot 0,5 m	0,40	1,80 m	-20%
25	55	Verlaging 0,1 tot 0,3 m	0,20	2,00 m	-10%
55	120 á 180 ^[1]	Verlaging < 0,1 m	0,05	2,15 m	-2,5%

[1] Conform het invloedsgebied zoals bepaald in tabel 5-2.

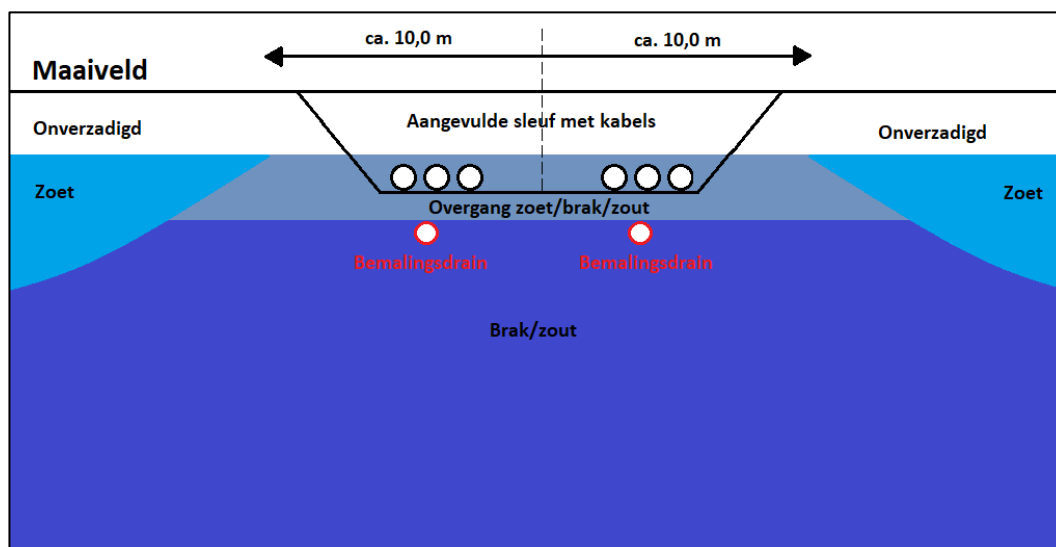
Tabel 5-6: Overzichtstabel afname zoetwaterlens - tracé deel 4.

Afstand t.o.v. hart sleuf		Effect	Verlaging [m]	Resterende zoetwaterlens	Reductie zoetwaterlens
Van [m]	Tot [m]				
0	10	Upconing met zout grondwater	1,10	nihil	-100%
10	15	Verlaging 0,5 tot 1,1 m	0,80	1,40 m	-40%
15	30	Verlaging 0,3 tot 0,5 m	0,40	1,80 m	-20%
30	60	Verlaging 0,1 tot 0,3 m	0,20	2,00 m	-10%
60	210 ^[1]	Verlaging < 0,1 m	0,05	2,15 m	-2,5%

[1] Conform het invloedsgebied zoals bepaald in tabel 5-2.

Volgens de (indicatieve) berekeningen blijkt dat op alle tracédelen vanaf het hart van de sleuf aan weerszijden een 10 meter brede strook zoet grondwater volledig weggepompt wordt (totale strook vanaf hart tracé is hiermee 20 meter). In deze zone is de afname van de zoetwaterlens 100%. Daar waar de zoetwaterlens volledig weggepompt is, is er een grote kans op verzilting van de bodem. Buiten deze zone zal een zoetwaterlens resterend, waarvan de dikte over het algemeen nog minimaal 60% van de oorspronkelijke dikte is (reductie zoetwaterlens is 40%). Doordat zoet water drijft op zout water is in deze zone nog steeds zoet grondwater beschikbaar voor gewassen, alleen is de dikte van de zoetwaterlens afgenomen. Een en ander is *indicatief* gevisualiseerd in figuur 5-4.

Opgemerkt wordt dat door lokale omstandigheden (drainage, neerslag, sloten etc.) of uitzonderlijke droge jaren de effecten op verzilting zwakker/sterker kunnen zijn. Een nadere analyse zal moeten uitwijzen of deze effecten er zijn en in welke mate deze zorgen voor verzilting (en daarmee samenhangende schade aan gewassen).



Figuur 5-4: Effect zoet/zout grondwater na einde bemaling (indicatief, niet op schaal).

5.5 Herstel zoetwaterlens door neerslag

De zoetwaterlens zal zich na verloop van tijd weer gaan herstellen door met name natuurlijke processen. Dit kan plaatsvinden doordat hemelwater infiltreert én doordat de nog resterende zoetwaterlens buiten de opconingszone gaat uitvlakken (horizontale grondwaterstroming waardoor zoet grondwater uitvlakt doordat zoet water lichter is dan zout water). De duur van het herstel van de zoetwaterlens is echter niet alleen afhankelijk van deze twee processen, maar ook van lokale omstandigheden. Denk hierbij aan invloeden vanuit drainage, watergangen, bodemopbouw, infiltratie/kwel situatie etc.

Om enig inzicht te krijgen in het herstel van de zoetwaterlens zijn enkele indicatieve berekeningen uitgevoerd. Hierbij is modelmatig geen rekening gehouden met de lokale omstandigheden. Er is derhalve alleen berekend hoe lang het onder natuurlijke omstandigheden zou duren voordat de zoetwaterlens weer hersteld is (zonder externe invloeden). De berekeningen geven dan ook een *indicatie* en geen absolute waarheid.

Er is sprake van twee herstelsituaties na het beëindigen van de bemaling:

- Primair: Herstel van de zoetwaterlens in het traject tussen de GHG en GLG. Doordat er sprake is van een inzigingsituatie zal de grondwaterstand vanaf het GLG niveau tot aan het GHG niveau gevoed worden met (zoet) hemelwater of oppervlaktewater. Doordat er géén sprake is van kwel is van aanvulling van zout water in dit traject geen sprake.

- Secundair: Wanneer de zoetwaterlens tussen het GHG en GLG niveau hersteld is zal de zoetwaterlens in dikte kunnen toenemen (dieper dan het GLG niveau) door het ontstaan van een evenwichtssituatie. Eenzelfde effect is bijvoorbeeld aan de orde bij een zoetwaterlens in een duingebied.

Primair herstel zoetwaterlens

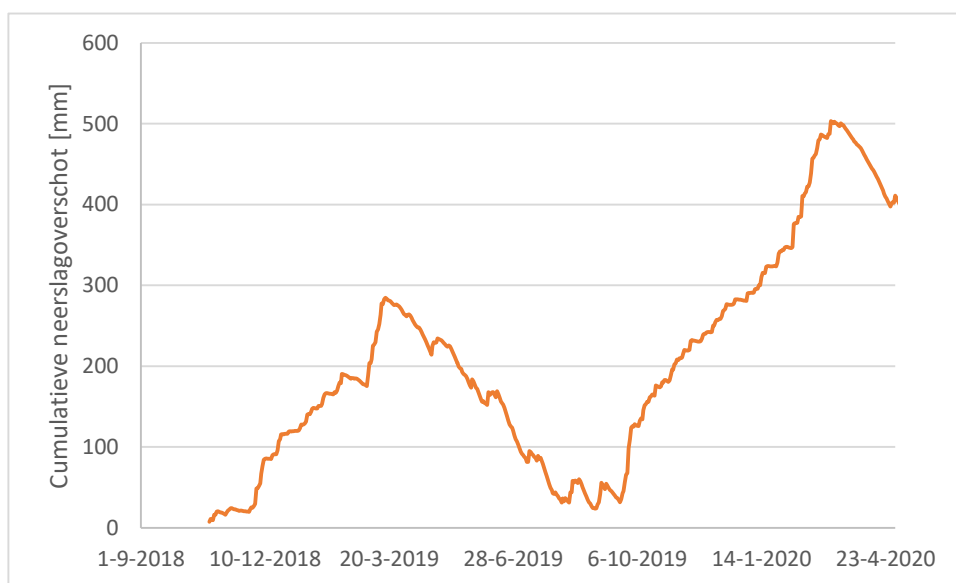
Ter plaatse van de sleuf wordt de zoetwaterlens volledig onttrokken tot een afstand van ca. 10 m vanuit hart sleuf. De totale breedte waarover de zoetwaterlens hersteld moet worden is hiermee 20 meter. Het grondwatersverschil tussen de GHG en GLG situatie bedraagt circa 1,30 meter (paragraaf 4.2). Doordat er sprake is van een inzijgings situatie kan in deze zone de grondwaterstand zich alleen herstellen door aanvoer van hemelwater of oppervlaktewater.

Van nature wordt de grondwaterstand tussen GHG en GLG niveau aangevuld, hetgeen normaliter binnen één winterseizoen plaatsvindt (natuurlijke grondwaterfluctuatie). Een zoetwaterlens van 1,3 meter is hiermee binnen één jaar hersteld. Hierbij wordt wel opgemerkt dat deze zoetwaterlens in de wintermaanden volledig aanwezig is, maar in de zomermaanden volledig door de gewassen zal worden benut. Een toename/herstel van de oorspronkelijk 4 meter dikke zoetwaterlens zal dan ook langer duren.

Secundair herstel zoetwaterlens

De totale dikte van de zoetwaterlens bedraagt in een wintermaand ca. 4 m -mv. en in een zomermaand ca. 3 m -mv. (paragraaf 4.3). Uitgaande van een maaiveld van NAP +1,5 m en een GLG van NAP -0,2 m dient er 1,3 à 2,3 m zoetwaterlens hersteld te worden. Om te bepalen hoe lang het duurt voordat de oorspronkelijke zoet waterwaterkolom hersteld is zijn enkele indicatieve berekeningen uitgevoerd.

Wanneer uitgegaan wordt van een porositeit van de bodem van 25 % (Cultuurtechnisch Vademecum) is circa 325 à 575 mm water benodigd om de zoetwaterlens te laten herstellen. Het uitgangspunt is dat het water afkomstig dient te zijn van het neerslagoverschot. Het neerslagoverschot door de seizoenen heen is weergegeven in figuur 5-5 (bron: KNMI). Te zien is dat tussen 1 oktober 2018 en 1 april 2019 het neerslag overschot ca. 300 mm is. Het jaar daarna was het cumulatieve neerslag overschot 500 mm. Algemeen wordt veelal een neerslagoverschot van 300 mm/jaar aangehouden.



Figuur 5-5: Cumulatief neerslagoverschot zoals gemeten in weerstation Lauwersoog.

De hoeveelheid neerslagoverschot zal niet volledig ten goede komen om de zoetwaterlens te herstellen. Een deel van het neerslagoverschot zal afstromen naar oppervlaktewater of via de drains worden afgevoerd. Exacte getallen over de hoeveelheid hemelwater die daadwerkelijk het herstel van de zoetwaterlens zal herstellen zijn dan ook niet bekend.

Om enige uitspraken te kunnen doen over de snelheid waarmee de zoetwaterlens zich herstelt zijn geohydrologische analyses gemaakt. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

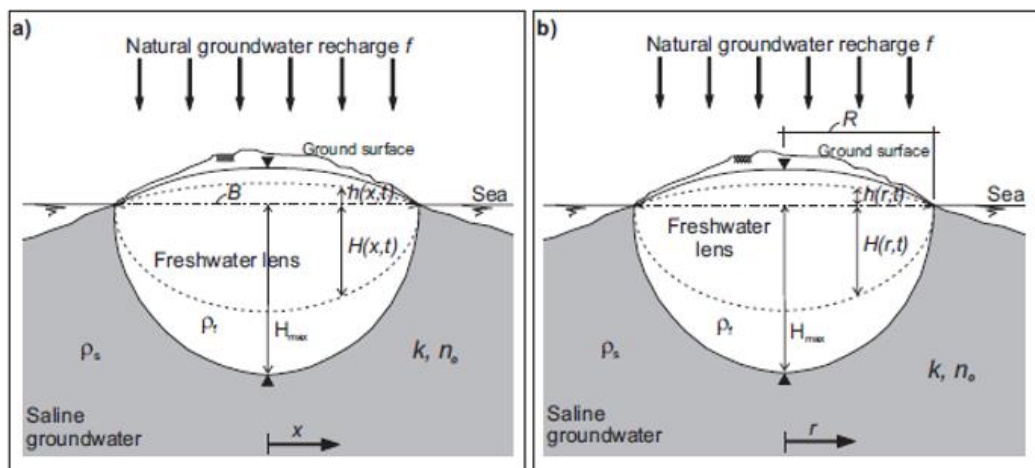
- Aanvulling door neerslag: 0,7 à 1,3 mm/dag (neerslagoverschot van 100 à 200 mm in 5 (winter)maanden);
- Benodigde hoeveelheid neerslag voor zoetwaterlens: 325 à 575 mm

Uit voorgaande uitgangspunten blijkt dat volgens de berekening het herstel van de zoetwaterlens minimaal 2 jaar en maximaal 6 jaar duurt. Hierbij wordt opgemerkt dat het een vereenvoudigde berekening is, geen rekening houdend met lokale omstandigheden en dus als *indicatief* moet worden beschouwd.

Er is tevens een nadere berekening uitgevoerd met de formule Boekelman waarmee de snelheid berekend kan worden van het bereiken van een evenwichtssituatie bij een zoetwaterbel in een duingebied. Ook hierbij wordt opgemerkt dat deze methode een vereenvoudigde berekening *geen rekening houdend met lokale omstandigheden* is en alleen *indicatief* is om enig inzicht te krijgen in de duur van het herstel van de zoetwaterlens.

$$F(t) = \tanh(t/\tau)$$

$$\tau = \frac{\pi n_e B}{8} \sqrt{\frac{(1 + \alpha)}{k f \alpha}}$$



Figuur 5-6: Berekeningsmethode snelheid bereiken evenwichtssituatie zoetwaterbel (Boekelman)

In de berekening is:

- N_e : 0,25 (porositeit)
- B : 20 meter (breedte waarover herstel moet plaatsvinden)
- α : $1025/(1025-1000)=41$ (verschil in dichtheid zoet/zout grondwater)
- k : 1 à 2 m/dag (doorlatendheid)
- f : 0,7 à 1,3 mm/dag

Het rekenresultaat geeft dat het aantal benodigde dagen om de evenwichtssituatie te herstellen (95%) tussen 400 en 900 dagen is. Uitgaande van 150 effectieve dagen met neerslagoverschot per jaar duurt het tussen 3 en 6 jaar voordat een zoetwaterbel hersteld is tot het oorspronkelijke niveau. Doordat het *indicatieve* berekeningen zijn is een nadere analyse benodigd om de duur van het herstel van een zoetwaterlens specifiek te kunnen berekenen.

Opgemerkt wordt dat voor voldoende aanvoer van vocht voor het gewas de zoetwaterlens niet volledig hoeft te zijn hersteld. Een beperkte zoetwaterlens is voldoende om zoet water capillair na te leveren zodat gewasschade wordt voorkomen. Zie hiervoor tevens hoofdstuk 7.

6 Geohydrologische analyses HDD

6.1 Algemeen

Een kenmerk bij het toepassen van een horizontaal gestuurde boring (HDD) is dat de boring vanaf het maaiveld plaatsvindt en sleufloos mantelbuizen ondergronds kan aanbrengen. In deze buizen kunnen dan de kabels worden getrokken. Een minimale gronddekking is noodzakelijk om de invloed op de omgeving te beperken en om voldoende boorspoeldruk op te bouwen om te kunnen boren. De boorspoeling, een bentonietmengsel, zorgt na opstijven voor de afdichting van het boorgat rondom de mantelbuizen.

De afmeting van de boorunit hangt onder meer af van de grondsoort, de diameter en de lengte van de mantelbuizen. Het boortracé wordt (verticaal en eventueel horizontaal) gebogen uitgevoerd. Het boorproces gebeurt in twee of drie fasen. Als eerste vindt de pilotboring plaats, eventueel gevolgd door één of meerdere ruimeroperaties. Daarna wordt de mantelbuis geïnstalleerd. Het intrekken van de mantelbuis kan in bepaalde situaties gelijktijdig plaatsvinden met de laatste ruimeroperatie. Na het aanbrengen van de mantelbuizen kunnen de kabels worden ingetrokken.

Bij een geplande gestuurde boring dient zorg te worden gedragen dat er langs de boorgang geen kwelweg zal ontstaan en (grond)water bij het in- en/of uittredepunt omhoog komt.

Verschillende situaties die een risico op het ontstaan van kwel kunnen veroorzaken zijn:

1. Een doorsnijding van een watervoerend pakket door de boorgang, waarbij de stijghoogte in het pakket hoger is dan de freatische grondwaterstand;
2. Een verschil in grondwaterstanden tussen uittredepunt en intredepunt van de boorgang;
3. Een onderdoorgang van de boorgang onder een open watergang of oppervlaktewater, waarbij de waterstand van het oppervlaktewater hoger is dan de grondwaterstand ter plaatse van uittredepunt en/of intredepunt van de boorgang.

Bovenstaande situaties dienen getoetst te worden conform de NEN3651 Bijlage D.

Daarnaast geldt voor kruisingen met primaire en secundaire waterkeringen dat conform de NEN3650/ NEN3651:2020 de leiding in langsrichting, over een lengte van 10 m of meer, onder de waterkering voorzien moet worden van een kwelreducerende maatregel om te voorkomen dat kwel langs de leiding optreedt. Als maatregel kan de langsloopsheid worden voorkomen door toepassing van kwelschermen in kleikoffers ter weerszijden van de waterkering.

6.2 Risicobepaling

6.2.1 Doorsnijding watervoerend pakket

Middels bureauonderzoek, zie paragraaf 4.1, is een bodemopbouw samengesteld per tracédeel.

Tracédeel 1 en 3

Vanaf maaiveld is een toplaag van ca. 1 à 2 meter aanwezig met vervolgens een (gelaagd) zandpakket van ca. 4 meter dikte. Daaronder een kleilaag van 0,1 à 0,3 m dikte en een zandlaag van ca. 4 meter dikte. Vervolgens 1 meter dikke kleilaag.

Tracédeel 2

Vanaf maaiveld is een toplaag van ca. 1 à 2 meter aanwezig met vervolgens een (sterk gelaagd) zandpakket van ca. 15 meter dikte. Daaronder volgt weer een kleilaag tot ca. 15 à 20 meter minus maaiveld.

Tracédeel 4

Vanaf maaiveld is een toplaag van ca. 1 meter aanwezig met vervolgens een (zwak gelaagd) zandpakket van ca. 10 meter dikte. Daaronder volgt weer een kleilaag tot ca. 10 à 15 meter minus maaiveld.

Ten behoeve van het bepalen of er spanningswater aanwezig is, zijn de gegevens van TNO (Dinoloket) gehanteerd. Nabij de Emmahaven, ten oosten van het tracé, is een peilbuis gemonitord van december 2006 tot februari 2020 (B03G0105) met peilbuizen op verschillende dieptes. Op het midden van het tracé ligt boring B03D0051 met een peilbuis op ca. 20 meter minus maaiveld en gemonitord van oktober 1992 tot februari 2020.

In onderstaande tabellen staan de absolute grondwaterstanden weergegeven:

Tabel 6-1: Peilbuisgegevens boring B03G0105

Regen Boring B03G0105				
Peilbuisdiepte:	-11,89 / -13,89 m NAP	-19,89 / -21,89 m NAP	-58,89 / -60,89 m NAP	-106,89 / -108,89 m NAP
Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand	0,90 m NAP	0,65 m NAP	0,70 m NAP	0,35 m NAP
Gemiddelde Laagste Grondwaterstand	0,15 m NAP	-0,15 m NAP	-0,05 m NAP	0,20 m NAP

Tabel 6-2: Peilbuisgegevens boring B03D0051

Regen Boring B03D0051	
Peilbuisdiepte:	-18,15 / -19,15 m NAP
Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand	0,50 m NAP
Gemiddelde Laagste Grondwaterstand	-0,15 m NAP

Uit de resultaten van paragraaf 4.3 en de meetgegevens in bovenstaande peilbuizen worden geen (grote) verschillen verwacht tussen de freatische grondwaterstand en de waterstand in het eerste watervoerend pakket. Er is bij het berekenen van kwelwegen sprake van absolute waarden die gemeten zijn op het HDD-niveau voor de grondwaterstanden, daardoor is geen correctie naar zoete grondwaterstijghoogten noodzakelijk is.

Een risico op een kwelweg als gevolg van spanningswater in een diep gelegen watervoerend pakket wordt hier dan ook niet verwacht. Daarnaast zal door het toepassen van bentoniet de boorgang opstijven waardoor er een afsluitende laag rondom de kabels ontstaat. Deze laag zorgt er voor dat eventueel spanningswater niet door het boorgat naar het maaiveld kan stromen.

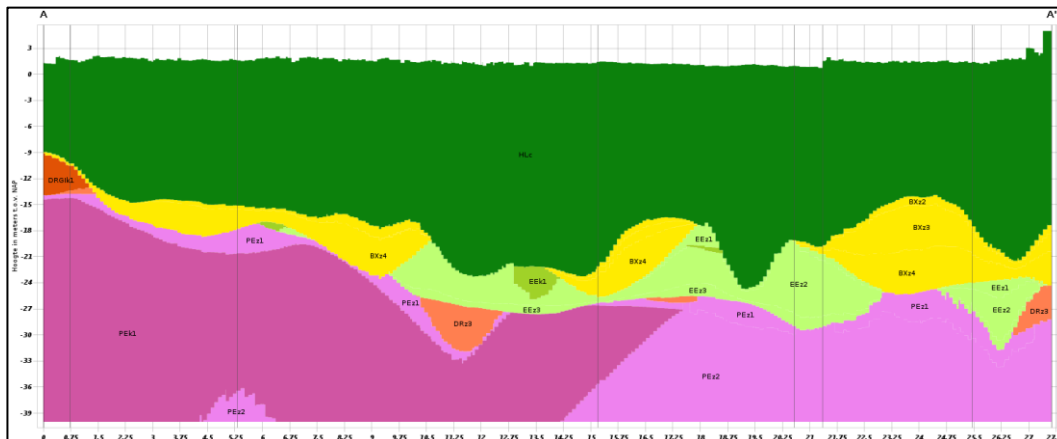
Wel dient het optreden van kwel bij een HDD-boring opnieuw te worden beschouwd met in het veld gemeten waarden. Een definitief HDD-ontwerp met kwelwegbeschouwing blijft dan ook noodzakelijk.

6.2.2 Verschil in waterstand in-/uittredepunt

Naast een analyse van de bodemopbouw ter plaatse van het tracé, is ook een analyse gedaan van de freatische grondwaterstand over het tracé. Hierin is vastgesteld dat de gemiddelde freatische grondwaterstand over het gehele tracé gelijk ligt op ca. +0,20 m NAP, ca. 1,50 à 2,00 meter minus maaiveld.

In onderstaande afbeelding is het grondmodel van REGIS II gepresenteerd tot ca. -40,00 m NAP, waarin de verschillende formaties en het maaiveldverloop inzichtelijk wordt. Over de gehele

lengte van het tracé verloopt het maaiveld tussen maximaal ca. +2,00 m NAP en minimaal ca. +1,00 m NAP.



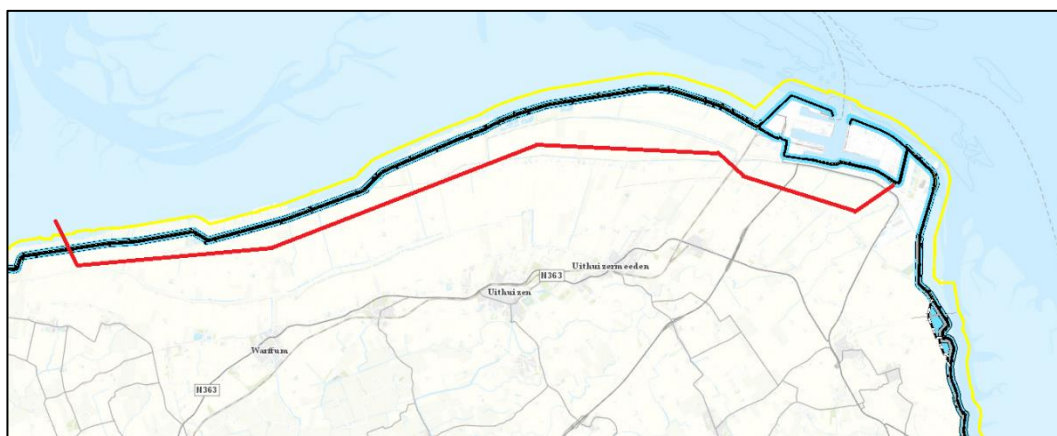
Figuur 6-1: Bodemopbouw langs het tracé (west-oost) op basis van REGIS 2.2.

Op basis van het maaiveldniveau, de bodemopbouw en grondwatergegevens wordt er geen verschil verwacht in de freatische grondwaterstand tussen de in- en uittredepunten. Deze mogelijkheid tot kwel wordt dan ook niet verwacht.

Doordat veldonderzoeken ontbreken dient bovenstaande conclusie te worden geverifieerd. Er is derhalve een nadere analyse benodigd om definitief uitsluitsel te geven over de kans op kwel door verschil in waterstanden.

6.2.3 Hoger gelegen oppervlaktewater t.o.v. waterstand in-/uittredepunt

De derde mogelijkheid waarop een kwelweg kan ontstaan is een verschil tussen (hoog) oppervlaktewater ten opzichte van een lager gelegen in-/uittredepunt. Het tracé kruist geen grote kanalen met een verhoogd oppervlaktewater. Het tracé bevat echter wel een aanlanding vanuit de Waddenzee en kruist daarbij een primaire waterkering, zie onderstaande figuur met het tracé (rood) globaal ingetekend.



Figuur 6-2: Waterkering + globaal tracé (rood) (Bron: Legger WS Noorderzijlvest)

In de Waddenzee hebben we te maken met laag- en hoogwater, oftewel eb en vloed. Hierdoor kan in relatief korte tijd de waterstand veranderen en een verschil maken met de (freatische) grondwaterstand nabij het in-/uittredepunt.

Op de Astronomische getijdenkaart van Rijkswaterstaat is het Astronomisch getij af te lezen ter plaatse van Eemshaven. Hieruit is vast te stellen dat het hoogwater gemiddeld tot ca. NAP+1,50 m reikt en het laagwater tot ca. NAP -1,50 m.

Bij een Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) van ca. 0,00 m NAP, het gemiddelde tussen de GLG van boring B03G0105 (peilbuis 1 en 2) en boring B03D0051, resulteert dit in een maximaal hoogteverschil van ca. 1,50 m. Door dit hoogteverschil kan een kwelsituatie ontstaan en dient getoetst te worden conform de NEN3651 Bijlage D.

Als worst-case scenario wordt de kwelweg tevens getoetst aan het toetspeil van de primaire kering, alvorens deze bezwijkt. Op basis van gegevens van Waterschap Noorderzijlvest (Bron: dhr. A. Drenth) is het toetspeil ter plaatse van de kruising vastgesteld op NAP +4,94 m, resulterend in een totaal verschil van 4,94 m.

Aangezien er geen ontwerp van de HDD beschikbaar is, zullen er aannames gedaan worden om een potentiële kwelweg te toetsen.

6.2.3.1 Absolute toetsing kwel

De potentiële kwelwegen, zoals beschouwd in paragraaf 6.2, worden gecontroleerd met behulp van Bligh-Lane, zoals staat beschreven in bijlage D van NEN 3651. De resultaten van deze absolute beschouwing zijn opgenomen in onderstaande tabellen.

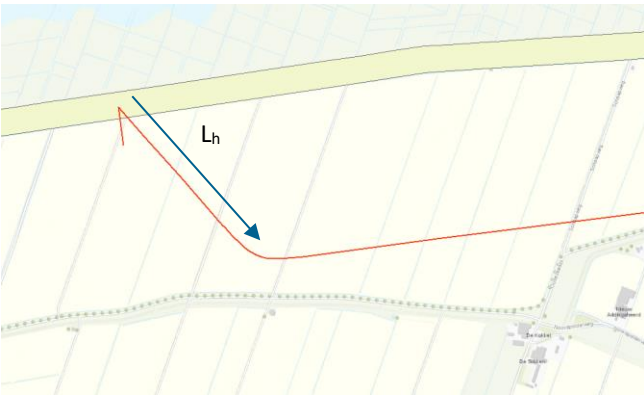
Absolute toetsing

$$\sum L_v + \sum (\frac{1}{3} * L_h) \geq C_i * H$$

Hierbij is:

- L_v : de lengte van de kwelweg voor hellingen steiler dan 45°, in m.
- L_h : de lengte van de kwelweg voor hellingen flauwer dan 45°, in m.
- C_i : een grondsoortafhankelijke factor, die zowel de doorlatendheid als de erosiebestendigheid (korrelgrootte of cohesie) representeert.
- H : het peilverschil in m.
- $\frac{1}{3}$: factor tussen 0 en $\frac{1}{3}$ voor contactvlak grond/bentoniet

Tabel 6-3: Absolute toetsing van de kwelweg

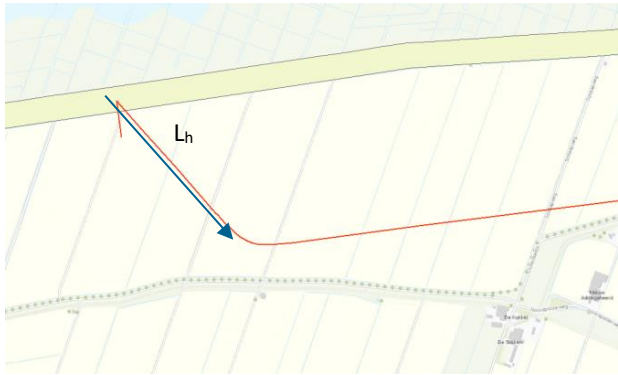
Situatie	Verschillen tussen oppervlaktewater en in-/uittredepunt (hoogwater)	
Van	Waddenzee	
Naar	Vasteland	
L_v	0,00 m ¹⁾	
L_h	Ca. 500,00 m ²⁾	
H	1,50 m	
C_i	7 ³⁾	
Linker lid	166,67	
Rechter lid	10,50	
Absolute toetsing	Voldoet	

¹⁾ Uitgegaan van een worst-case benadering

²⁾ Uitgegaan van hoogwater ter plaatse van de waterkering

³⁾ Uitgegaan van een worst-case benadering, wordt er voor de C_i een waarde van 7 (fijn zand) aangenomen

Tabel 6-4: Absolute toetsing van de kwelweg

Situatie	Verschillen tussen oppervlaktewater en in-/uittredepunt (toetspeil)	
Van	Waddenzee	
Naar	Vasteland	
L _v	0,00 m ¹⁾	
L _h	Ca. 500,00 m ²⁾	
H	4,94 m	
Cl	7 ³⁾	
Linker lid	166,67	
Rechter lid	34,58	
Absolute toetsing	Voldoet	

¹: Uitgegaan van een worst-case benadering

²: Uitgegaan van hoogwater ter plaatse van de waterkering

³: Uitgegaan van een worst-case benadering, wordt er voor de Cl een waarde van 7 (fijn zand) aangenomen

Op basis van de resultaten in de bovenstaande tabellen wordt voor alle kwelsituaties voldaan aan de absolute toetsingsregel.

6.2.3.2 Relatieve toetsing kwel

Tevens dient er gecontroleerd te worden op interne erosie. De eis is dat de minimale diepteligging van de boorgang onder de waterkering zo moet zijn dat de kortste natuurlijke kwelweg door of onder de waterkering korter is dan de alternatieve kwelwegen langs de boorgang. Oftewel een toetsing van de bestaande situatie ten opzichte van de nieuwe situatie. De resultaten van deze relatieve beschouwing zijn opgenomen in onderstaande tabel.

Relatieve toetsing

$$\sum L_{vo} + \sum (\frac{1}{3} * L_{ho}) \leq \sum L_{vn} + \sum (\alpha * L_{hn})$$

Hierbij is:

L_{vo} : de lengte van de kortste natuurlijke kwelweg voor hellingen steiler dan 45°, in m.

L_{ho} : de lengte van de kortste natuurlijke kwelweg voor hellingen flauwer dan 45°, in m.

L_{vn} : de lengte van de alternatieve kwelweg voor hellingen steiler dan 45°, in m.

L_{hn} : de lengte van de alternatieve kwelweg voor hellingen flauwer dan 45°, in m.

α : weegfactor, volgens NEN3651 liggend tussen 0 en 1/3

Tabel 6-5: Relatieve toetsing van de kwelweg

Situatie	Kortst natuurlijke	Alternatief
Van	Waddenzee	Waddenzee
Naar	Vaste land	In-/uittredepunt
L _{vo}	0,00	-
L _{ho}	65,00	-
L _{vn}	-	0,00
L _{hn}	-	Ca. 500,00
Linker lid	21,67	-
Rechter lid:		
Praktijk (α=0,15)	-	75,00
Worst-case (α=0)	-	0,00

Op basis van bovenstaande tabel geldt dat er onvoldoende veiligheid is tegen interne erosie in een worst-case scenario. Er dient dan ook rekening te worden gehouden met de mogelijkheid tot het optreden van een ongewenste kortsluiting.

Om een stroming langs de boorgang te voorkomen dient in het ontwerp van de HDD te worden voorzien in de plaatsing van een kwelscherm (kleidikte aan weerszijden het scherm minimaal 0,50 m) in een kleikoffer rondom de boorgang in de slecht doorlatende laag, nabij het in- en uittredepunt van de HDD. De afmetingen van de kleikoffer moeten rondom het kwelscherm 0,30 m groter zijn dan die van het kwelscherm.

6.3 Conclusie kwelwegbeschouwing

Er zijn geen risico's op kwel te verwachten vanuit een verschil tussen maaiveld en/of grondwaterstandshoogtes. Ook wordt er geen risico verwacht op een kwelweg bij hoogwater of zelfs het toetsingspeil van de Waddenzee.

Echter in de relatieve toetsing voldoet de kruising met de primaire kering niet aan de worst case benadering ($\alpha=0$) en dient er een kwelreducerende maatregel toegepast te worden conform NEN3650/ NEN3651:2020.

Langs het boorgat dient de leiding in langsrichting, over een lengte van 10 m of meer, onder de waterkering te worden voorzien van een kwelreducerende maatregel. De langsloopsheid kan worden voorkomen door toepassing van kwelschermen in kleikoffers ter weerszijden van de waterkering, zoals omschreven in de NEN3650/ NEN3651:2012. De mogelijkheden hiervan dienen in het ontwerp van een horizontaal gestuurde boring meegenomen te worden. Verzilting door uittredend (zout) kwelwater kan zo worden voorkomen.

7 Cultuurtechnische analyses

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het effect van verzilting voor landbouwgronden en gewas. Onder andere komen de aspecten zouttoleranties gewassen in combinatie met waterhuishouding aan bod.

7.1 Verzilting van landbouwgronden

Onder verzilting wordt verstaan een te hoge zoutconcentratie in het bodemvocht, waardoor de groei van landbouwgewassen min of meer blijvend wordt belemmerd. De gevolgen van een te hoge zoutconcentratie zijn (Staveren & Velstra, 2012):

- Osmotische stress door watertekort;
Water krijgt een hogere osmotische druk waaruit volgt dat het verwelkingspunt bij een hoger vochtgehalte wordt bereikt. Planten moeten harder aan het water trekken (zuigkracht). De plant reageert met sluiting van de huidmondjes waardoor verdamping en fotosynthese verminderen. Het effect is vergelijkbaar met verdroging wat zal leiden tot een vermindering van de groei en een lagere gewasopbrengst.
- Fysiologische schade;
Een overmaat van bepaalde elementen die de opname van noodzakelijke elementen kan verstoren en zelfs een giftige werking kunnen hebben op de plant. Elementen beconcurreren elkaar waardoor de noodzakelijke elementen niet vrij beschikbaar zijn. Ook dit zal leiden in een vermindering van de groei en een lagere gewasopbrengst.
- Structuurverslechtering van de bodem;
De onderlinge binding van bodemdeeltjes neemt af waardoor structuurbederf optreedt. Dit komt doordat de calcium en magnesiumionen door natriumionen worden verdrongen van het adsorptie-complex. De onderlinge binding van de bodem gaat hierbij verloren waardoor de grond slemp gevoeliger wordt en de water-luchthuishouding kan worden verstoord.

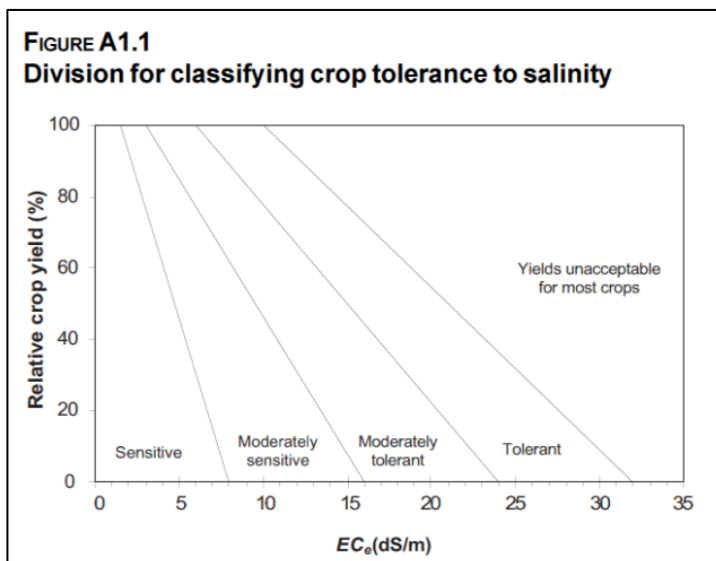
7.2 Zouttolerantie gewassen

Zoals in het rapport van Witteveen+Bos, Net op zee Ten noorden van de Waddeneilanden, Deelrapport Ib, kenmerk: 114227-3.33/20-004.001 is beschreven kennen landbouwgewassen verschillende zouttoleranties.

Wanneer het zoete water door bemalingswerkzaamheden wordt weggepompt en het zoute water wordt aangetrokken kan verzilting optreden in de wortelzone. De mate van verzilting is niet alleen afhankelijk zijn van de bemalingswerkzaamheden, ook de periode van uitvoering en weersomstandigheden is belangrijk evenals de ontwateringstoestand van het perceel (landbouwdrainage), de zoutconcentratie in de wortelzone en de bodemeigenschappen. Bij de mate waarin verzilting optreedt en er sprake is van gewasopbrengst verlies speelt ook het soort gewas een grote rol (Staveren & Velstra, 2012).

In paragraaf 2.2 is beschreven dat het onderhavige tracé Eemshaven-West overwegend door landbouwpercelen loopt die gebruikt worden voor de akkerbouw. Voornamelijk pootaardappelen, tarwe, gerst, suikerbieten, winterpeen en uien komen veel voor binnen het tracé. Gewassen die in mindere mate voorkomen zijn graszaad, spruitkool/spruitjes, haver, mais en bollen. Graslandpercelen worden over het algemeen ook nauwelijks aangetroffen.

De zoutgevoeligheid van gewassen kunnen ingedeeld worden in vier klassen; gevoelig, matig gevoelig, matig tolerant en tolerant. Per klasse zijn relaties afgeleid tussen de EC en de relatieve gewasopbrengst zoals in onderstaand figuur wordt weergegeven (Stuyt et al., 2016).



Figuur 7-1: Vier zoutgevoeligheidsklassen van planten in relatie tot het zoutgehalte waaraan zij worden blootgesteld.

In een onderzoek van Alterra is kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen in 2011 geactualiseerd (Van Bakel & Stuyt, 2011). In deze rapportage zijn de meest voorkomende teelten in de vollegrond geassocieerd. In onderstaande tabel wordt de gevoeligheid van gewassen voor zout in de wortelzone weergegeven.

Gewas/teelt	Zoutgevoeligheidsklasse			
	Gevoelig (S)	Matig Gevoelig (MS)	Matig Tolerant (MT)	Tolerant (T)
Grasland				
Wintertarwe				
Suikerbiet				
Zaaiuien				
Snijmais				
Aardappel				
Aardbeien				
Bloemkool				
Sla				
Winterpeen				
Sluitkool				
Ijsbergsla				
Prei				
Stambonen				
Tuinbonen				
Was- en bospeen				
Witlof				
Appelen				
Peren				
Klein fruit				
Laan- en parkbomen				
Tulp				
Lelie				
Gladiool				

Figuur 7-2: Classificatie van gevoeligheden voor zout in de wortelzone voor de belangrijkste gewassen in Nederland (Van Bakel & Stuyt, 2011).

Ook wordt in het rapport van (Van Bakel & Stuyt, 2011) een tabel gepresenteerd (zie onderstaand figuur 7-3) waarbij de zoutschadedrempel en de zoutschadegevoeligheid per gevoeligheidsklasse wordt weergegeven.

Zoutgevoeligheidsklasse	Zoutschadedrempel (mg Cl/l)	Zoutschadegevoeligheid (% opbrengstdaling/100 mg Cl/l)
Gevoelig	300	8
Matig gevoelig	600	4
Matig tolerant	1200	2
Tolerant	2400	1

Figuur 7-3: Zoutschadedrempel en zoutschadegevoeligheid per gevoeligheidsklasse.

7.3 Waterhuishouding

De gevolgen van verzilting voor gewassen in relatie tot de effecten van kabelaanleg werkzaamheden zullen tot uiting komen als brak of zoutgrondwater de wortelzone van de gewassen bereikt. Wanneer we spreken over beschikbaar bodemvocht voor planten is de wortelzone en de capillaire werking (vochtleverend vermogen van de grond) belangrijk. Deze zullen in de volgende paragrafen worden behandeld.

7.3.1 Wortelzone

Afhankelijk van het gewas, de grondsoort, indringingsweerstand en de grondwaterstand dringen de wortels tot verschillende dieptes door in de bodem.

Zoals in paragraaf 4.1 beschreven komen volgens de Bodemkaart van Nederland voornamelijk de bodemeenheden Mn15A en Mn35A voor op het tracé met grondwatertrap VI. Volgens de toelichting bij de kaartbladen 3 West Uithuizen en 3 Oost Uithuizen (P.C., 1987), bedraagt de bewortelbare diepte van deze bodemeenheden tot maximaal 1,30-1,80 meter minus maaiveld.

Volgens het Cultuurtechnisch Vademecum is de **maximale** bewortelingsdiepte (niet grondsoort specifiek) als volgt:

- Tot 40 cm: Bloembollen, boomteelt, bladgroenten en bospeen;
- Tot 60 cm: Aardbeien, blauwe bessen, beweid/gemaaid gras en aardappelen;
- Tot 90 cm: Erwten, bonen, koolsoorten, wortelgewassen, prei en spruiten
- Tot 140 cm: groot fruit, houtig klein fruit (m.u.v. blauwe bessen), suiker- en voederbieten, granen, mais, asperges, graszaad en schorseneren.

Aanvullend op bovenstaande worteldieptes zijn enkele literatuurbronnen geraadpleegd welke in tabel 7.1 zijn opgenomen om de worteldiepte te achter halen van de gewassen die de afgelopen 3 jaar zijn geteeld.

In het cultuurtechnisch vademecum wordt over de effectieve worteldiepte nog het volgende vermeld. "Wil de vegetatie profiteren van de capillaire nalevering, dan moeten er voldoende wortels aanwezig zijn om het aangereikte vocht te kunnen opnemen. Aan de onderkant van de wortelzone is het aantal wortels daarvoor te laag. Daarom is voor de bepaling van de capillaire nalevering de effectieve worteldiepte als uitgangspunt gekozen. Dat is de diepte waarbinnen zich 80% van de wortelmasse bevindt. Vaak komt de effectieve worteldiepte globaal overeen met 80% van de 'totale' worteldiepte.

Op basis van bovenstaande gegevens is afhankelijk van de worteldiepte en zoutgevoeligheid (figuur 7-1 en 7-2) per gewas berekend wat de gewasschade (per jaar) bedraagt. De uitgangspunten zijn onderstaand beschreven en de resultaten zijn in tabel 7-1 gepresenteerd.

De breedte waarover schade door verzilting kan optreden bedraagt volgens paragraaf 5.3 in totaal 20 meter. In verband met variatie in bodemopbouw is een veiligheidsmarge van 10 meter aangehouden en wordt uitgegaan van een worst case maximale breedte van 30 meter waar zout water invloed heeft op het gewas. Deze zone is (vrijwel) volledig gelegen binnen de werkstrook van 50 meter breedte. Verder is er uitgegaan van een gemiddelde chloride concentratie van 5000 mg/l in het bodemvocht op grondwaterniveau (GG=NAP+0,2 m) overeenkomstig met brak grondwater. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de chlorideconcentratie in de onverzadigde zone toeneemt tot 100 mg/l aan het maaiveld en lineair verloopt. Het gemiddelde maaiveldniveau is aangehouden op NAP +1,5 m.

De gewassen met de hoogste schadepercentages zijn of gevoelig voor verzilting of hebben diepgaande wortels waardoor er vanuit is gegaan dat deze bloot worden gesteld aan een hogere zoutconcentratie. Hierbij is de schadepercentage berekend op het niveau tot waar de effectieve worteldiepte van het gewas reikt. Dit is een worst case aanname doordat er vanuit is gegaan dat het diepste wortelniveau 100% van het (zoute) bodemvocht opneemt. Echter de wortelmassa van de plant boven dit niveau draagt ook bij aan de vochtopname wat een lagere zoutpercentage kent waardoor de berekende gewasschade naar verwachting een overschatting is.

Tabel 7-1: Gewassen per tracédeel per jaar (bron: www.boerenbunder.nl)

gewas	Tracé Eemshaven West			gevoeligheidsklasse				worteldiepte				schade %	schadeoppervlakte m2		
	2018	2019	2020	%	MS	MT	T	max.	effectief	Cl.	EC		2018	2019	2020
	Aantal meters op veldstrekking ³							(cm - mv.)	(cm - mv.)	mg/l					
Poot/consumptie aardappelen	5078	5340	7821		X			60 ¹	48	1810	6	30%	45700	48060	70390
Winter/zomertarwe	4665	6474	5568			X		140 ¹	112	4220	14	50%	69980	97110	83520
Gerst (winter/zomer)	1984	1208	2132			X		140 ¹	112	4220	14	50%	29760	18120	31980
Suikerbieten	2811	1866	1753				X	140 ¹	112	4220	14	30%	25300	16790	15780
Winterpeen	2357	945	712			X		90	72	2710	9	30%	21210	8510	6410
Uien	1424	1998	661		X			60 ¹	48	1810	6	10%	4270	5990	1980
(Tijdelijk) grasland	862	700	520				X	60 ¹	48	1810	6	0%	0	0	0
(Blijvend) grasland	394	394	397				X	60 ¹	48	1810	6	0%	0	0	0
Graszaad	444	361	394				X	60 ¹	48	1810	6	0%	0	0	0
Haver	347	299	358			X		140 ¹	112	4220	14	30%	3120	2690	3220
Spruitkool/spruitjes	366	342	304			X		75 ²	60	2260	7,5	20%	2200	2050	1820
Mais	296	-	142		X			140 ¹	112	4220	14	90%	7990	0	3830
Tulp. Bloembollen en -knollen	-	232	-	X				60 ¹	48	1810	6	80%	0	5570	0
Sjalotten	-	28	-		X			60 ¹	48	1810	6	30%	0	250	0
Overig (onbekend)	-	572	-	-	-	-	-	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	-	-	-	-	-

¹ Kengetallen zijn afgeleid van het Cultuurtechnisch Vademecum, 2000

² "De Wortelontwikkeling van enige tuinbouwgewassen op zandgrond" (J.J. Schuurman en B.E. Schaffner)

³ Afgeleid van boerenbunder

Uit de analyse blijkt het volgende:

- De totale lengte aan percelen die in open ontgraving wordt doorgraven bedraagt tussen 2018 en 2020 gemiddeld 21 kilometer. De oppervlakte van agrarische percelen binnen de verziltingszone (20 m + 10 m marge) bedraagt circa 625.000 m².
- Het totale schadeoppervlak als gevolg van verzilting bedraagt circa 210.000 m². Dit komt overeen met een gewasschade van circa 35% (afgerond 30-40%).

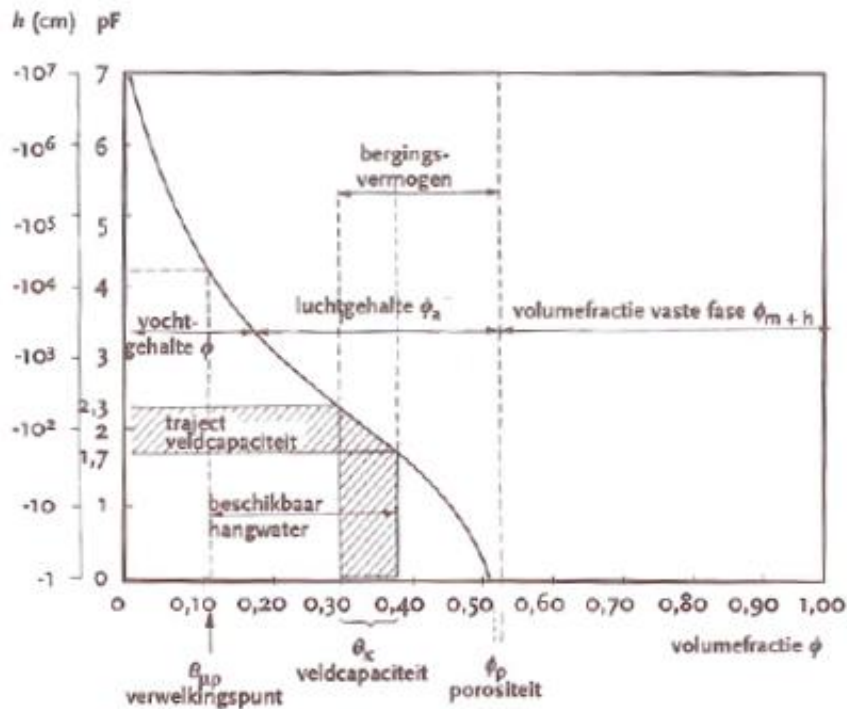
Bij bovenstaande uitgangspunten en berekeningen moet opgemerkt worden dat de daadwerkelijke schade die zal optreden door verzilting afhankelijk is van vele factoren. Onder andere de periode van uitvoering en weersomstandigheden is belangrijk evenals de ontwateringstoestand van het perceel (landbouwdrainage), de zoutconcentratie in de wortelzone, de bodemeigenschappen en de mogelijke toename van verzilting als gevolg van de hydrologische effecten van de werkzaamheden. Tevens treedt zoutstress veelal tegelijkertijd op met hittestress bij planten waardoor de afweging zoutschade versus droogteschade lastig is in de praktijk (de Vos et al., 2016).

Tevens wordt in het rapport (Staveren & Velstra, 2012) beschreven dat er nog onvoldoende kennis aanwezig is over de invloed van chloride in de wortelzone en het effect hiervan op de groei van planten. Ook is er nog onvoldoende bekend over de onderlinge wisselwerking van de effecten, osmotische stress door watertekort, fysiologische schade en structuurverslechtering van de bodem en wat voor effect dit heeft op de groei van planten.

7.3.2 Capillaire werking (vochtleverend vermogen)

De bodem bestaat boven de grondwaterstand uit drie bestanddelen: bodemdeeltjes, water en lucht. Voor een goede lucht- en vochtthuishouding moeten veel poriën (ruimtes gevuld met lucht) aanwezig zijn, zowel verdeeld in kleine als grote poriën. In natte perioden wordt hierdoor overtollig water snel afgevoerd en er blijft voor droge perioden voldoende water achter. De grote poriën zorgen voor een snelle toetreding van water en lucht in de bodem en voor drainage naar diepere bodemlagen. De kleine poriën houden het water vast en zorgen zo voor een goed vochtleverend vermogen voor het gewas (Van Balen et al., 2016).

Vlak boven het grondwaterniveau zijn bijna alle poriën nog met water gevuld, echter, al enkele centimeters boven dat niveau komen ook met lucht gevulde poriën voor. De geheel met water gevulde zone vlak boven het grondwater heet de *vol-capillaire zone*. De zone behoort nog tot de verzadigde zone. Het deel van de bodem waar ook met lucht gevulde poriën voorkomen noemen we de onverzadigde of capillaire zone. Door elektrostatische krachten wordt water aan bodemdeeltjes gebonden. Die binding heet *adsorptie* (Cultuurtechnisch Vademecum, 2000). Dit kan in beeld worden gebracht door middel van een vocht karakteristiek of een zo genoemde pF-curve. Op de verticale as is de drukhoogte aangegeven met een logaritmische schaal en op de horizontale as de volumefractie. Een vocht karakteristiek verschilt per grondsoort, een voorbeeld is onderstaand weergegeven.



Figuur 7-4: Kenmerk van een vocht karakteristiek (Vademecum, 2000).

Het vochtleverend vermogen van de grond wordt bepaald door:

- grondwaterstandsverloop; hiervan zijn vooral de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) van betekenis;
- aard en opbouw van het bodemprofiel; belangrijk zijn vooral de dikte en het vochthoudend vermogen van de bewortelbare zone en de vochtlevering vanuit het grondwater (kritieke z-afstand van de ondergrond).

De kritieke z-afstand is een criterium die de kritieke stijgafstand van verschillende bodemprofielen aangeeft. Hieronder wordt verstaan de maximale afstand waarover nog een voor het gewas voldoende capillaire aanvoer naar de wortelzone kan worden gerealiseerd. Deze afstand is afhankelijk van het aantal en de grootte van de poriën waardoor deze grondsoort afhankelijk is (Cultuurtechnisch Vademecum, 2000).

In onderstaand figuur worden de kritieke s-afstand per grondsoort aangegeven.

Grondsoort	k_{sat} ($cm \cdot d^{-1}$)	α (-)	h_a (cm)	h_{lim} (cm)	a ($cm^2 \cdot d^{-1}$)	z_k (cm)
1. Grof zand	1.120,0	0,2240	-10	-80	0,08	49
2. Matig grof zand	300,0	0,1380	0	-90	0,63	54
3. Matig fijn zand	110,0	0,0822	0	-125	3,30	81
4. Fijn zand	50,0	0,0500	0	-175	10,90	122
5. Humeus lemig matig grof zand	1,0	0,0269	0	-165	15,00	82
6. Zwak lemig matig grof zand	2,3	0,0562	0	-100	5,26	52
7. Lemig matig grof zand	0,36	0,0378	0	-135	2,10	30
8. Lemig fijn zand	26,5	0,0398	0	-200	16,40	140
9. Zandige leem	16,5	0,0737	0	-150	0,24	60
10. Löss	14,5	0,0490	0	-130	22,60	114
11. Fijnzandige leem	12,0	0,0248	-10	-300	26,50	197
12. Siltige leem	6,5	0,0200	0	-300	47,40	213
13. Leem	5,0	0,0231	0	-300	14,30	153
14. Lichte zavel	23,5	0,0353	0	-200	33,60	168
15. Zware zavel	1,5	0,0237	0	-300	36,00	122
16. Kleiige leem	0,98	0,0248	0	-300	1,69	73
17. Lichte klei	3,5	0,0174	0	-300	55,60	211
18. Matig zware klei	1,3	0,0480	0	-50	28,20	85
19. Komklei	0,22	0,0380	0	-80	4,86	26
20. Veen	5,3	0,1045	0	-50	6,82	44
L2 Medium (zwak lemig, matig fijn zand)	70,0	0,0850	0	-120	2,50	71
L3 Good (sterk lemig, fijn zand)	1,0	0,0290	0	-165	10,90	82

Figuur 7-5: Waarden van de parameters ter bepaling van de onverzadigde doorlatendheid, alsmede de kritieke z-afstand (z_k) bron: (Cultuurtechnisch Vademecum, 2000).

Zoals reeds is beschreven bestaat de bodem ter plaatse van het tracé uit lichte zavel tot lichte klei. Uit bovenstaande tabel blijkt dat de stijghoogte van capillair water circa 1,68 tot 2,11 m kan bedragen.

7.4 Effecten op waterhuishouding van geroerde grond

Voor het aanleggen van ondergrondse hoogspanningskabels zullen grondroerende werkzaamheden uitgevoerd worden. Bij het aanleggen van kabels in open ontgraving zal een sleuf worden gegraven van circa 2,10 m diep welke een bodembreedte kent van circa 8 meter. De grondroerende werkzaamheden en ook de benodigde transporten van materieel en materiaal hebben impact op de bodem en bodemvruchtbaarheid. Effecten die kunnen optreden zijn:

- Optreden van bodemverdichting met de gevolgen van beperkte wortelgroei, afname zuurstof in de bodem, afname beschikbare nutriënten en afname infiltratie vermogen.
- Vermengingen van teelaarde met ondergrond waardoor verschraling (afname organische stof en nutriënten) van de teelaarde optreedt.
- Verandering van chemische en fysische eigenschappen van de grond door menging van bodemlagen.
- De porositeit en de hydraulische geleidbaarheid van de bodem neemt af.

Wanneer voorafgaand aan de werkzaamheden gedegen bodemonderzoek en cultuurtechnisch advies wordt opgesteld en de aannemer conform het advies de werkzaamheden cultuurtechnisch verantwoord uitvoert kan een groot gedeelte bovengenoemde effecten worden voorkomen of zo veel mogelijk worden beperkt.

Voor de capillaire werking geldt dat de bodemstructuur goed moet zijn, wat betekent voldoende grote en kleine poriën. Bij sterk losgemaakte bodems, zoals ter plaatse van de sleuf zal de losgemaakte bodem eerst weer moeten zetten of bezakken zodat de structuur kan herstellen en er weer nieuwe capillaire kanaaltjes kunnen ontstaan. Ook geldt dit voor de infiltratie van water

in de bodem. De bodemstructuur zal eerst weer moeten herstellen waarna de infiltratiecapaciteit weer zal toenemen.

Een ander effect wat niet geheel voorkomen kan worden is dat er enige verschraling zal optreden van de teelaarde. Hierdoor zal de teelaarde naar verwachting iets verschralen (afname organische stof en nutriënten) ten opzichte van de oorspronkelijke teelaarde. Verschraling van de teelaarde betekent ook dat deze minder water kan opnemen en vasthouden. Wanneer de capillaire werking nog niet geheel hersteld is en er enige verschraling is opgetreden zal dit gevolgen hebben voor het vochtleverend vermogen van de bodem.

7.5 Structuurbederf door verzilting

Structuurbederf door verzilting is in Nederland een bekend fenomeen. Door verzilting neemt de onderlinge binding van bodemdeeltjes af waardoor structuurbederf optreedt. Dit komt doordat de calcium en magnesiumionen door natriumionen worden verdrongen van het adsorptie-complex. De onderlinge binding van de bodem gaat hierbij verloren waardoor de grond slemp gevoeliger wordt, zwel en krimpverschijnselen zal vertonen en waardoor de waterluchthuishouding kan worden verstoord. Indien zwavel-ijzerverbindingen (FeS) en koolzure kalk (CaCO₃) aanwezig zijn (kalkrijke kleigrond) dan zal bij droogvallen van de grond gips (ZaSO₄) worden gevormd. Door de uitwisseling van geadsorbeerde Na⁺ tegen Ca²⁺ vormt zich Na₂SO₄, welk zout uitspoelt. Dankzij deze 'natuurlijke begipsing' treedt geen of een zeer beperkte structuurverval op. In gebieden waar genoemde stoffen (FeS, CaCO) niet of onvoldoende aanwezig zijn (kalkarme kleigrond), zal wel structuurverval optreden. Wanneer structuurverval is opgetreden kan toepassing van beter oplosbare calcium verbindingen zoals gips de bodemstructuur verbeteren. (W. Nieuwenhuizen et al., 2003).

8 Mitigerende maatregelen

Uit het verkennend onderzoek blijkt dat door het toepassen van een grondwateronttrekking, voor het drooghouden van de sleuf, het optreden van verzilting in een strook van ca. 20 meter breed aannemelijk is. Uit de cultuurtechnische analyse wordt verwacht dat de verzilting als gevolg van de upconing leidt tot een verminderde opbrengst tussen 30 tot 40%. Om schade ten gevolge van verzilting te minimaliseren kunnen enkele mitigerende maatregelen worden getroffen. Hierbij is onderscheid gemaakt in maatregelen tijdens uitvoering en na uitvoering.

Tevens blijkt uit de indicatieve berekeningen dat bij de horizontaal gestuurde boring voor de aanlanding kans is op (zoute) kwel op het vaste land. Ook zal bij het aansluiten van de in- en uittredepunten van HDD boringen een bemaling nodig zijn waardoor verzilting kan optreden.

Opgemerkt wordt dat onderhavige rapportage een verkennend onderzoek betreft. Er is aanvullend onderzoek noodzakelijk om de effecten van verzilting door de kabelaanleg inzichtelijk te krijgen, bij voorkeur uitgaande van veldonderzoeken. Na het aanvullende onderzoek kunnen de mitigerende maatregelen nader beschouwd en/of uitgewerkt te worden.

Onderstaand is op basis van onderhavige rapportage een eerste aanzet gegeven tot de mogelijkheden om mitigerende maatregelen te nemen.

8.1 Mitigerende maatregelen tijdens uitvoering

De volgende, niet gelimiteerde, maatregelen kunnen theoretisch tijdens de uitvoering getroffen worden om verziltingsschade zo veel mogelijk te beperken. Of deze ook mogelijk zijn bij dit project moet nader onderzocht worden.

1. Geen bemaling toepassen. Dit kan deels door het toepassen van sleufloze technieken. Een andere optie is het bevriezen van de ondergrond of het toepassen van waterglasinjectie, waarbij opgemerkt wordt deze technieken behoorlijke uitdagingen geeft bij een langwerpige niet met damwanden afgesloten ontgraving.
2. Bemalingsduur beperken en zo kort mogelijk houden. Uit de berekeningen blijkt dat de zoetwaterlens ter plaatse van de sleuf na ca. 2 tot 4 weken volledig weggepompt is. Wanneer de bemalingsduur korter is dan deze periode zal een deel van de zoetwaterlens aanwezig blijven. Een manier om de bemalingsduur te verkorten is gebruik te maken van de ritsmethode. Hierbij wordt niet in één werkgang de lengte van één kabel op haspel aangelegd (lengte ca. 1 km), maar liggen kleinere secties sleuven open van maximaal enkele 100-en meters. N.B. dit is niet de ploegmethode. Daarnaast kan de bemaling worden beperkt door de ontwateringdiepte onder de sleuf zo minimaal mogelijk te houden.
3. Retourbemaling met zoet grondwater. De bemaling vindt plaats met horizontale drains onder de sleufbodem. Wanneer de sleuf is aangevuld kan grondwater in de horizontale drains worden geretourneerd om herstel van de zoetwaterlens te bevorderen. Voorwaarde is dat het geretourneerde water zoet is, waarschijnlijk kan niet (volledig) gebruik worden gemaakt van het onttrokken grondwater op het tracé.
4. Bij een HDD-boring waar kans is op kwel dienen kwelreducerende maatregelen te worden toegepast. De langloopsheid kan worden voorkomen door toepassing van kwelschermen in kleikoffers ter weerszijden van de HDD, zoals omschreven in de NEN3650/ NEN3651:2012.

8.2 Mitigerende maatregelen na uitvoering

De volgende, niet gelimiteerde, maatregelen kunnen na de uitvoering getroffen worden om verziltingsschade zo veel mogelijk te beperken:

1. Vergelijkbaar met een retourbemaling kan na het aanvullen van een sleuf grondwater worden teruggebracht via peilgestuurde drains. De mogelijkheden hiervan zijn sterk afhankelijk van de slootpeilen en chlorideconcentraties in het oppervlaktewater. Op basis van paragraaf 3.3 blijkt namelijk dat in het oppervlaktewater de chlorideconcentratie rond 1.000 mg/l is, hetgeen niet geschikt is als zoet water.
2. Het leggen van enkele extra drains (bijvoorbeeld tussen de kabels) waarin zoet water wordt gepompt zorgt voor extra bodemvocht waardoor de zoetwaterlens zich kan herstellen. Bij voorkeur vindt dit plaats in combinatie met het inlaten van zoet water via de bestaande bemalingsdrains (overeenkomstig punt 3 retourbemaling).
3. Door verzilting zal structuurverslechtering optreden van de bodem waardoor het onderling binden van de bodemdeeltjes zal afnemen. Dit komt voornamelijk doordat calciumionen (voornamelijk door natrium) worden verdrongen van het adsorptie-complex. De aanvoer van gips is een maatregel om de bodemstructuur weer te herstellen. Gips (CaSO_4) is een middel om de structuur te verbeteren. De calciumionen van het gips verdringen de natriumionen weer van het adsorptie-complex waardoor herstel optreedt. De natriumresten en zuurresten spoelen uit bij het normale transport van neerslag in de bodem. Het aanbrengen van (lagen/laagjes) gips in de sleuf vermindert hierdoor de verzilting van de bodem.

Zoals uit vrijwel alle mitigerende maatregelen blijkt is het noodzakelijk om zoet water in te zetten om de verzilting te minderen. Zoet water is in het waddenzeegebied een kostbaar goed en niet eenvoudig voorhanden. Met name doordat er weinig zoet oppervlaktewater aanwezig is, is het een technische uitdaging om voldoende zoet water te vinden voor het herstel van de zoetwaterlens.

Algemeen wordt opgemerkt dat verzilting slechts één van de processen is waardoor gewasschade kan optreden. Andere, niet gelimiteerde, aspecten die eveneens grote impact hebben op gewasschade zijn bodemverdichting, verschraling en vermenging van bodemlagen. Het cultuurtechnisch verantwoord werken is dan ook noodzaak om gewasschade zo veel mogelijk te voorkomen.

9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Conclusies

In opdracht van TenneT TSO heeft Antea Group een eerste verkennend verziltingsonderzoek uitgevoerd voor het toekomstige project Ten noorden van de Waddeneilanden, deeltracé Eemshaven-West. Voor dit project is reeds een milieueffectrapportage (MER) opgesteld. Het project betreft het realiseren van een kabelverbinding tussen windenergiegebied Ten noorden van de Waddeneilanden en het Nederlandse hoogspanningsnet.

Op het vaste land zal de kabelverbinding met name in cultuurgronden worden aangelegd. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van een open ontgraving of een sleufloze techniek (bijvoorbeeld persingen of horizontaal gestuurde boringen). Uit de MER rapportage blijkt dat met name langs de Waddenzeekust door diverse factoren verzilting van de bodem kan optreden.

Om goed inzicht te krijgen van het effect op verzilting door een open ontgraving of sleufloze techniek dient inzichtelijk te zijn welke risico's ten aanzien van verzilting beide technieken met zich meebrengen. De eerste aanzet om deze risico's inzichtelijk te krijgen is onderhavig verkennend onderzoek waarbij vijf vragen onderzocht zijn die rondom verzilting spelen.

Algemeen wordt opgemerkt dat onderhavig onderzoek een eerste verkenning betreft waardoor de berekeningen vereenvoudigd zijn uitgevoerd. De rapportage dient dan ook te worden beschouwd als een eerste aanzet om de potentiële effecten van verzilting op het tracé Eemshaven-West inzichtelijk te krijgen. De inhoud kan niet als absolute waarheid worden beschouwd.

Vraag 1: Treden effecten van verzilting van bodem en grondwater op bij een open ontgraving? Kan aangegeven worden hoe groot dit effect (het oppervlak) is waar verzilting optreedt?

Uit het *indicatieve* onderzoek blijkt dat bij zowel een open ontgraving als HDD boring verzilting van de bodem kan optreden. Het toepassen van een bemaling is benodigd bij een sleuf in open ontgraving én bij de aansluiting van een in- of uittredepunt van een HDD boring. Met name door de grondwateronttrekking is er een kans dat de zoetwaterlens onder de sleufbodem wordt weggepompt waardoor het brakke/zoute grondwater omhooggetrokken wordt (upconing).

Uit de *indicatieve* berekeningen blijkt dat door de bronbemaling de zoetwaterlens over een breedte van 20 m (10m weerszijden hart sleuf) volledig wordt weggepompt. Hier buiten neemt de invloed van de bemaling af en zal een (beperkt) deel van de zoetwaterlens resteren. Daar waar een zoetwaterlens resteert en voldoende dik is worden minder/geen effecten verwacht doordat het zoete water drijft op zout water. Hierdoor is de verwachting dat ook bij een dunne zoetwaterlens het bodemvocht door capillaire werking zoet blijft. Uit de verkennende berekeningen blijkt dat de resterende dikte van de zoetwaterlens buiten de 20 m zone ca. 60% (ca. 15 m uit hart sleuf) tot 100% (rand invloedsgebied) bedraagt. De voornaamste verziltingseffecten worden verwacht in de 20 m zone waar de zoetwaterlens (vrijwel) geheel weggepompt is. Deze zone is overigens volledig gelegen binnen de 50 meter brede werkstrook.

Aanvullend is berekend of door een HDD boring (zoute) kwel omhoog komt. Dit blijkt op het tracé alleen het geval bij het HDD-boring van de aanlanding.

Opgemerkt wordt dat de gekozen input en berekeningen alleen zijn uitgevoerd om een indicatie te krijgen in de potentiële effecten van de bronbemaling/HDD boringen. Hiervoor zijn ten tijde van het schrijven van de rapportage te weinig gebiedsgegevens bekend. Een nader (veld)onderzoek is dan ook noodzakelijk om de gehanteerde werkwijze te kunnen toetsen en zo nodig nieuwe berekeningen uit te voeren.

Vraag 2: Kan aangegeven worden hoe lang het duurt voordat de grondwaterkwaliteit weer hetzelfde is van voor de open ontgraving?

Buiten het invloedsgebied van een bronbemaling zijn de effecten van verzilting door kabelaanleg op voorhand uit te sluiten. Zoals ook uit vraag 1 blijkt is conform de *indicatieve* berekeningen buiten de 20 m zone een zoetwaterlens resterend en zal het bodemvocht door capillaire werking aangevuld kunnen worden met zoet grondwater. Binnen de 20 meter zone is de zoetwaterlens onttrokken en kan verzilting ontstaan. Verwacht wordt dat door natuurlijke processen, met name door neerslag, naar verloop van tijd ook in deze zone de zoetwaterlens zich zal herstellen. Er is naar verwachting sprake van een inzijgingssituatie waardoor in eerste instantie de zoetwaterlens zich zal herstellen tussen het GHG en GLG niveau. Dit is een jaarlijks terugkerend proces waardoor binnen 1 jaar zich een (dunne) zoetwaterlens zal vormen. Het ontstaan van een zoetwaterlens dieper dan het GLG niveau duurt langer doordat hier een evenwichtssituatie moet ontstaan. Het brakke/zoute grondwater zal langzaam uitzakken naar mate neerslag in de grond zakt. Op basis van enkele *indicatieve* berekeningen blijkt dat de zoetwaterlens tot circa 4 m -mv. hersteld is na een periode van 2 tot 6 jaar.

Doordat het *indicatieve* berekeningen zijn is een nadere analyse benodigd om de duur van het herstel van de zoetwaterlens specifiek te kunnen berekenen.

Vraag 3: Kan op basis van bovenstaande antwoorden aangegeven worden, per type grondgebruik, wat de jaarlijkse schade per m2 zal zijn?

Uit cultuurtechnische analyses blijkt dat de percelen over het algemeen gebruikt worden voor de teelt van akkerbouwgewassen. Voornamelijk pootaardappelen, tarwe, gerst, suikerbieten, winterpeen en uien komen veel voor binnen het tracé.

Elk type gewas heeft een eigen zouttolerantie waarbij een verwachte gewasschade kan worden bepaald. Uit onderzoek blijkt dat met name winterpeen, uien en aardappelen erg gevoelig zijn voor zouten, daarentegen hebben granen en suikerbieten een hogere tolerantie. Een *indicatieve* berekening toont aan dat door verzilting van de 20 m zone (+10 m buffer) de gemiddelde gewasschade op jaarbasis 30-40% bedraagt. Dit komt ongeveer overeen met 185.000 tot 250.000 m². Hierbij is geen rekening gehouden met andere aspecten die eveneens grote impact hebben op gewasschade zoals bodemverdichting, verschraling en vermenging van bodemlagen. Tevens wordt opgemerkt dat bij de berekening van de hoeveelheid gewasschade worst case is aangenomen dat het diepste wortelniveau 100% van het (zoute) bodemvocht opneemt. Echter de wortelmassa van de plant boven dit niveau draagt ook bij aan de vochtopname wat een lagere zoutpercentage kent waardoor de berekende gewasschade naar verwachting een overschatting is.

Vraag 4: Wat is het effect van verzilting ten gevolge van de aanlegwerkzaamheden; kan je de grond helemaal niet meer gebruiken, of voor een bepaald type land- of akkerbouw? En hoe lang duurt dit?

Zie hiervoor het antwoord op vragen 2 en 3.

Vraag 5: Welke maatregelen kunnen er worden getroffen om de schade ten gevolge van verzilting te minimaliseren (en wat zijn hiervan de kosten)?

Om schade ten gevolge van verzilting te minimaliseren kunnen enkele mitigerende maatregelen worden getroffen. Hierbij is onderscheid gemaakt in maatregelen tijdens uitvoering en na uitvoering. Onderstaand is op basis van onderhavige rapportage een eerste aanzet gegeven tot de mogelijkheden om mitigerende maatregelen te nemen.

Uit *indicatieve* berekeningen blijkt dat met name door een grondwateronttrekking het zoete water wordt weggepompt en het zoute water wordt aangetrokken. Dit gebeurt zowel bij aanleg middels een open ontgraving als bij het aansluiten van HDD-boringen. Om verzilting hierdoor te verminderen dient een bronbemaling zo veel mogelijk te worden beperkt of (meest gunstige) voorkomen te worden. Het beperken van een bemaling kan bijvoorbeeld door de bemalingsduur te verkorten (rits-methode) en door de ontwateringsdiepte zo minimaal mogelijk te houden. Het voorkomen van een bemaling kan (deels) door sleufloze technieken en volledig door bijvoorbeeld het bevroren van de ondergrond of het toepassen van waterglasinjectie.

Tevens kan gekozen worden op een retourbemaling toe te passen, door bijvoorbeeld zoet water in de bestaande bemalingsdrains te pompen, nádat de sleuf is aangevuld.

Om kwel bij een HDD boring te beperken/voorkomen dienen kwelreducerende maatregelen te worden toegepast zoals kwelschermen in kleikoffers.

Na de uitvoering zijn nog diverse mogelijkheden om verziltingsschade te beperken. Gedacht kan worden aan het toepassen van peilgestuurde drains. Ook het leggen van enkele extra drains (bijvoorbeeld tussen de kabels) waarin zoet water wordt gepompt zorgt voor extra bodemvocht waardoor de zoetwaterlens zich kan herstellen. Cultuurtechnische oplossingen kunnen gevonden worden in het toepassen van gips in de ondergrond.

Of alle maatregelen ingezet kunnen worden voor dit project (type kabelverbinding) moet nader bekeken worden.

Opgemerkt wordt dat onderhavige rapportage een verkennend onderzoek betreft. Er is een diepgaander onderzoek noodzakelijk om de effecten van verzilting door de kabelaanleg inzichtelijk te krijgen, bij voorkeur uitgaande van veldonderzoeken. Na het aanvullende onderzoek kunnen de mitigerende maatregelen nader beschouwd en/of uitgewerkt te worden.

9.2 Aanbevelingen

Vervolgonderzoek (veld)

Onderhavig onderzoek betreft een verkennend onderzoek (bureaustudie) waarin diverse aannames van het projectgebied zijn gemaakt. Daarmee is de input onzeker en zijn de zaken op hoofdlijnen bepaald die voor een vervolgfase specifiek gemaakt moeten worden. Het uitvoeren van gebiedsspecifiek onderzoek verhoogt de betrouwbaarheid van de uitkomsten en zorgt voor een betere inschatting van het effect van verzilting door de kabelaanleg. Een vervolgonderzoek naar de verziltingseffecten is op basis van het nog uit te voeren veldonderzoek noodzakelijk.

In het kader van onderzoek naar verzilting wordt geadviseerd een nader onderzoek uit te voeren naar de volgende, niet gelimiteerde, aspecten:

- a) Inzicht in bodemopbouw, grondwaterstanden en bodemeigenschappen. Hiervoor wordt geadviseerd conform het TenneT bodemonderzoeksprotocol boringen en sonderingen te plaatsen. Om beter inzicht te krijgen in doorlatendheden en grondwaterstanden wordt geadviseerd om bij een tracé in open ontgraving elke 250 meter de bodemopbouw te bepalen en peilbuizen te plaatsen conform filterstelling onder punt b om de grondwaterstanden te bepalen. Geadviseerd wordt de grondwaterstand per kilometer tracé wekelijks te monitoren gedurende minimaal één jaar. Daarnaast wordt geadviseerd per 5 kilometer tracé een proefbemaling uit te voeren om de doorlatendheid te bepalen en toestroom van zoet/zout grondwater te meten. Tevens wordt aanbevolen om elke kilometer tracé een doorlatendheidsmeting uit te voeren (bijvoorbeeld falling-head).
- b) Inzicht in grondwaterkwaliteit. Hiervoor wordt geadviseerd per kilometer tracé een serie peilbuizen op meerdere dieptes te plaatsen (bv. 3 m-mv, 6 m-mv en 10 m-mv). Van het grondwater in de peilbuizen dienen EC-metingen en chloridemetingen uitgevoerd te worden zodat de dikte van de zoetwaterlens over het tracé inzichtelijk wordt. Bij

voorkeur worden wekelijks metingen uitgevoerd om het chlorideverloop over een jaar inzichtelijk te krijgen.

Aanvullend wordt geadviseerd om elke kilometer tracé een geleidbaarheidsondering tot een diepte van ca. 10,0 meter uit te voeren. Deze sonderingen geven eveneens inzicht in de dikte van de zoetwaterlens en het niveau van het zoute grondwater.

- c) Inzicht in oppervlaktewaterkwaliteit. Geadviseerd wordt om de kwaliteit van het oppervlaktewatersysteem nabij het tracé te monitoren op EC/chloride, gedurende minimaal 1 jaar. Dit geeft bijvoorbeeld inzicht in de (on)mogelijkheden om het water te gebruiken voor infiltratiedoeleinden.
- d) Andere aanlegwijze. Geadviseerd wordt om onderzoek uit te voeren naar andere aanlegmethodes om de grondwateronttrekking te minimaliseren.

Vervolgonderzoek (berekeningen)

In onderhavige rapportage is gebruik gemaakt van vereenvoudigde berekenings-methodes. In het vervolgonderzoek is het aan te bevelen om een berekeningsmethode te kiezen die in ieder geval rekening houdt met alle variabelen van de bodem.

Ten aanzien van het bepalen van het effect van verzilting door bemalingen wordt geadviseerd een model te gebruiken die minimaal rekening houdt met de bodemopbouw, bodemeigenschappen, grondwaterstanden, stijghoogte, dichtheidsstromingen, lokale invloeden van drainage/sloten en stroming in de onverzadigde zone.

Bijlage 1 Literatuurlijst

Bijlage 1 Literatuurlijst

- Cultuurtechnisch Vademecum. (2000). Handboek voor inrichting en beheer van het landelijk gebied. Werkgroep Cultuurtechnisch vademecum.
- de Boer, H. C., & Radersma, S. (2011). *Verzilting in Nederland: oorzaken en perspectieven*.
- de Vos, A., Bruning, B., van Straten, G., Oosterbaan, R., Rozema, J., & van Bodegom, P. (2016). *Crop salt tolerance under controlled field conditions in The Netherlands, based on trials conducted at Salt Farm Texel*.
- P.C., K. (1987). *Bodemkaart van Nederland schaal 1: 50.000: toelichting bij de kaartbladen 3 West Uithuizen en 3 Oost Uithuizen*. Stiboka.
- Staveren, van G., & Velstra, J. (2012). Verzilting van de landbouwgronden in Noord Nederland in het perspectief van de effecten van de klimaatverandering. *KvR*, 58, 12.
- Stuijtzand, P. J. (2007). Oorzaken van verzilting, hun herkenning en de risicofactoren voor de drinkwatervoorziening. *Special 7*.
- Stuyt, L., Blom-Zandstra, M., & Kselik, R. A. L. (2016). *Inventarisatie en analyse zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van bestaande gegevens*.
- Van Bakel, P. J. T., & Stuyt, L. C. P. M. (2011). *Actualisering van de kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen, op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktische ervaringen*.
- Van Balen, D. J. M., Topper, C. G., Van Geel, W. C. A., Van den Berg, W., De Haas, M. J. G., Bussink, W., & Schoutsen, M. A. (2016). *Effecten bodem-en structuurverbeteraars: Onderzoek op klei-en zandgrond 2010-2015 eindrapportage*.

Bijlage 2 Boorprofielen DINOloket

Bijlage 2 Boorprofielen DINOloket



Tracé indeling met boringen die in detail zijn beschouwd.

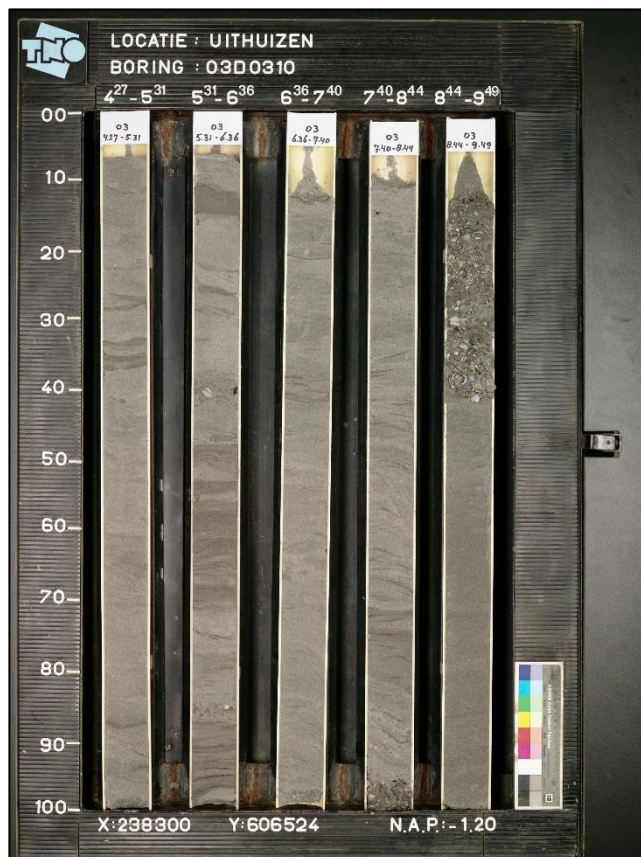


Foto van de bodem uit boring B03D0310. Tussen 4 en 8 m-mv is een sterk gelaagde bodem te zien. Dit betekent dat de doorlatendheid in de verticale richting fors lager is dan de horizontale richting.

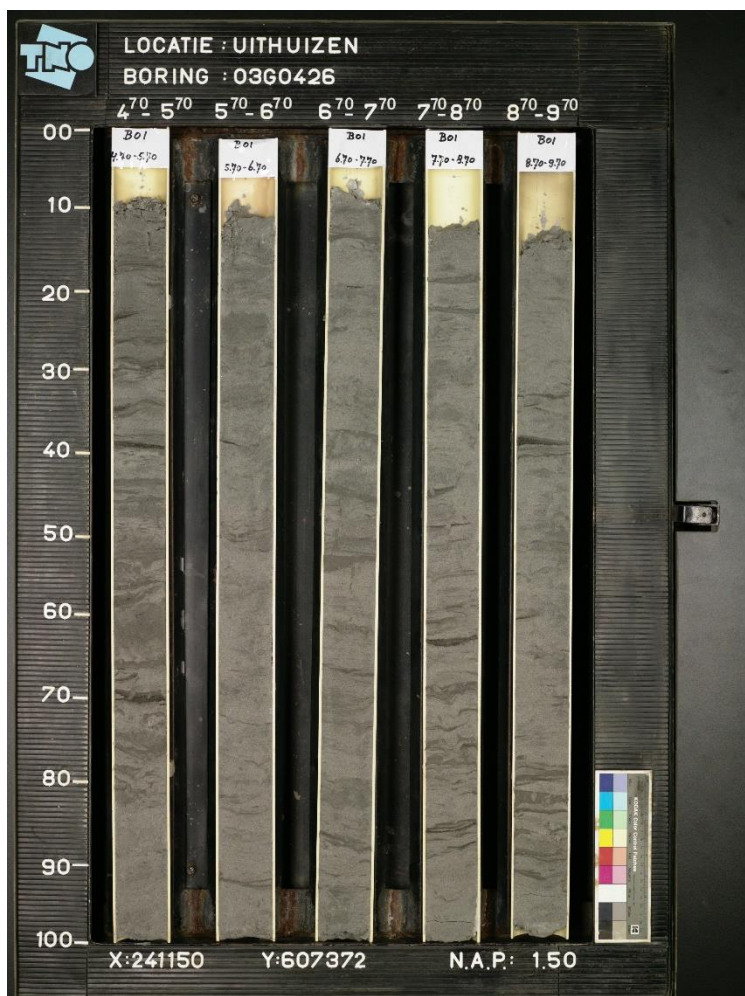


Foto van de bodem uit boring B03G0426. Tussen 4 en 10 m-mv is een sterk gelaagde bodem te zien. Dit betekent dat de doorlatendheid in de verticale richting fors lager is dan de horizontale richting.

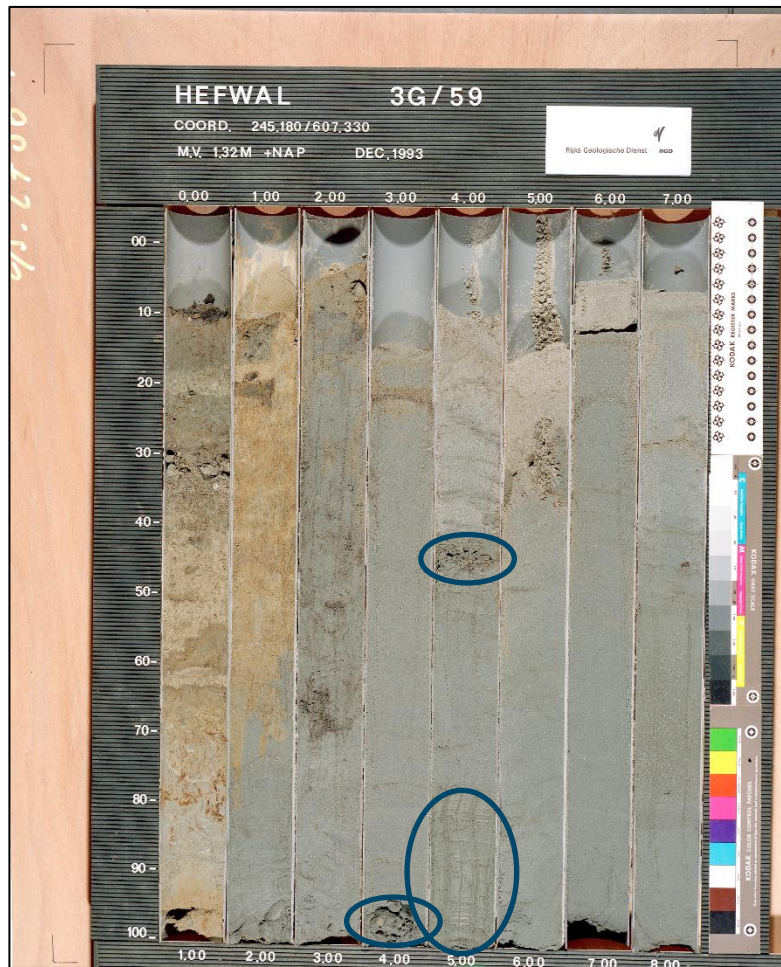


Foto van de bodem uit boring B03G0059. Deze boring geeft een beperkt aantal lagen weer, maar de lagen die er zijn (omcirkeld) zijn sterk afwijkend van daaromheen. Daarom geldt ook hier dat de doorlatendheid in de verticale richting fors lager is dan de horizontale richting.

Verkennd onderzoek effecten verzilting Bodem en Water op land
Aanleg kabelverbinding Net op zee Ten noorden van de Waddeneilanden
projectnummer 0463939.100
17 december 2020 revisie 01
TenneT TSO B.V.



Over Antea Group

Van stad tot land, van water tot lucht; de adviseurs en ingenieurs van Antea Group dragen in Nederland sinds jaar en dag bij aan onze leefomgeving. We ontwerpen bruggen en wegen, realiseren woonwijken en waterwerken. Maar we zijn ook betrokken bij thema's zoals milieu, veiligheid, assetmanagement en energie. Onder de naam Oranjewoud groeiden we uit tot een allround en onafhankelijk partner voor bedrijfsleven en overheden. Als Antea Group zetten we deze expertise ook mondiaal in. Door hoogwaardige kennis te combineren met een pragmatische aanpak maken we oplossingen haalbaar én uitvoerbaar. Doelgericht, met oog voor duurzaamheid. Op deze manier anticiperen we op de vragen van vandaag en de oplossingen van de toekomst. Al meer dan 60 jaar.

Contactgegevens

Tolhuisweg 57
8443 DV HEERENVEEN
Postbus 24
8440 AA HEERENVEEN

E. hielke.koopmans@anteagroup.nl

www.anteagroup.nl

Copyright © 2020

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.