

PROGRAMMA AANSLUITING WIND OP ZEE (PAWOZ) - EEMSHAVEN

Deelrapport Landbouw

Ministerie van Klimaat en Groene Groei

7 FEBRUARI 2025

Witteveen + Bos

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Project	Programma Aansluiting Wind Op Zee (PAWOZ) - Eemshaven
Opdrachtgever	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
Titel	Deelrapport Landbouw
Organisatie	RHW - Combi RHDHV & W+B
Werkpakket	2.5 MER - Bodem en Water op Zee
Onderdeel	ZEE - Zee (Off en Near)
Soort	RP - Report
Discipline	MR - MER
Status	A1 - Client accepted
Voortgangspercentage	100%
Projectnummer	BI9148
Document Referentie	BI9148-RHW-2.5-ZEE-RP-MR-031743
Datum	7 februari 2025

Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Postbus 24087
3511 SW Utrecht
Nederland
www.witteveenbos.com

Royal HaskoningDHV Nederland B.V.
Postbus 1132
3818 EX Amersfoort
Nederland
www.royalhaskoningdhv.nl

INHOUDSOPGAVE

0 SAMENVATTING 5

1 INLEIDING 6

1.1 Aanleiding voor het Programma 6
1.2 Doelstelling van het Programma 6
1.3 Plangebied 7
1.4 Voornemen 8
1.4.1 Elektrische verbindingen 8
1.4.2 Waterstofverbindingen 10
1.4.3 Tunnelsysteem tussen Ballonplaat en Eemshaven 11
1.5 Leeswijzer deelrapport 12

2 ROUTES EN STATIONS 13

2.1 Inleiding 13
2.2 Noordzee 14
2.2.1 (zoekgebieden) Platforms 14
2.2.2 Noordzeeroutes 14
2.3 Waddengebied 15
2.3.1 II: Oude Westereems route 16
2.3.2 V: Boschgat route 17
2.3.3 VII: Schiermonnikoog Wantij route 18
2.3.4 VIII: Ameland Wantij route 18
2.3.5 IX: Zoutkamperlaag route 18
2.3.6 X: Tunnel route 19
2.4 Vasteland 20
2.4.1 Zoekgebieden aanlandingspunt tunnel 20
2.4.2 Overzichtskaart landroutes kabelsystemen en leidingen 21
2.4.3 Landroutes kabelsystemen 22
2.4.4 Zoekgebieden transformator- en converterstations 23
2.4.5 Landroutes waterstofleidingen 24
2.4.6 Aanlandingsstations en Afsluiterlocaties 24

3 METHODIEK 26

3.1 Inleiding 26

3.2 Aanpak 26

4 RESULTATEN 30

5 CONCLUSIE 35

6 MITIGERENDE MAATREGELEN EN VERVOLGSTAPPEN 36

7 LEEMTES IN KENNIS 38

8 AFKORTINGEN- EN BEGRIPPENLIJST 39

Laatste pagina 46

Bijlage(n)

		Aantal pagina's
I	Rapportage analyse impact agrarische waarde PAWOZ	241
II	Effectberekeningen verzilting tracé Eemshaven	120
III	Verkennend onderzoek naar verziltingseffecten van aanleg van waterstofroutes in Noord Nederland	25

0

SAMENVATTING

Dit is de samenvatting van het deelrapport Landbouw van de Integrale Effectanalyse (IEA) van het Programma Aansluiting Wind Op Zee - Eemshaven (hierna: PAWOZ). Deze samenvatting bouwt voort op de samenvatting van het hoofdrapport van de IEA. In het deelrapport Landbouw is onderzocht welke impact het aanleggen van kabelsystemen en/of leidingen heeft op de landbouw. Tabel 0.1 laat zien welke criteria zijn onderzocht in het deelrapport.

Tabel 0.1 Onderzochte criteria thema Landbouw

Onderdeel van onderzoek	Criteria	Oorsprong criterium
Agrarische waarden (bijlage I)	Routelengte	NRD
	Bodemopbouw	NRD
	Plantenziekten	Zienswijze LTO Noord
	Bodemopwarming	Zienswijze LTO Noord
Verzilting (bijlage II en III)	Verzilting	NRD

De resultaten van deelrapport Landbouw geven geen aanleiding om de routes vanuit het perspectief landbouw uit te sluiten. Wel hebben alle routes effect hebben op de agrarische bedrijfsvoering. De routelengte is de meeste bepalende factor voor alle onderzochte effecten: hoe langer de route over land, hoe groter de effecten op de landbouw. Andere onderzochte criteria zijn beperkt onderscheidend en nemen evenredig toe met de routelengte. Het verschil tussen de minimale en maximale configuratie is beperkt onderscheidend: de onderlinge verhouding is nagenoeg gelijk. Enkel bij het criterium bodemopwarming is de impact van de maximale configuratie hoger dan de impact van een enkel kabelsysteem of leiding.

1

INLEIDING

Dit is het deelrapport over landbouw van de Integrale Effectanalyse (IEA) van het Programma Aansluiting Wind Op Zee - Eemshaven. In de IEA zijn de effecten op omgeving, landbouw, milieu, techniek, kosten, planning en toekomstvastheid onderzocht van meerdere routes voor kabelsystemen en waterstofleidingen vanaf toekomstige windparken op de Noordzee, door het Waddengebied en het vasteland naar Eemshaven. De IEA zorgt ervoor dat de minister van Klimaat en Groene Groei deze effecten goed meeneemt in het besluit over het Programma.

1.1 Aanleiding voor het Programma

Boven de Waddeneilanden komen nieuwe windparken op de Noordzee. Dat zijn in elk geval het windpark Ten Noorden van de Waddeneilanden (TNW, 700 Megawatt) en het windpark Doordewind (DDW, 4 Gigawatt). De Nederlandse overheid heeft plannen om in de toekomst nog meer windparken op zee te ontwikkelen. Energie vanuit deze nieuwe windparken moet ook aan land worden gebracht.

De energie van deze windparken moet naar het landelijke hoogspanningsnet van TenneT of het Waterstofnetwerk Nederland van Gasunie in de buurt van de Eemshaven worden gebracht. Dit kan met elektriciteitskabels (hierna: kabelsystemen) of, als de stroom op zee wordt omgezet naar waterstof, met waterstofleidingen (hierna: leidingen). Het Rijk onderzoekt nu, samen met de omgeving, op welke routes en locaties het mogelijk is om kabelsystemen, leidingen en bijbehorende stations aan te leggen, te gebruiken en te onderhouden om de windenergie naar de Eemshaven te brengen. En welke routes de voorkeur hebben om eerst te worden gebruikt.

Daarbij is het belangrijk om goed te onderzoeken wat de effecten zijn van allerlei routes en stationslocaties, en hoe deze verschillen bij gebruik van verschillende aanlegtechnieken. De besluitvorming over welke routes te benutten en in welke volgorde vindt plaats in het Programma Aansluiting Wind Op Zee – Eemshaven (hierna: PAWOZ).

1.2 Doelstelling van het Programma

Het doel van PAWOZ is om te onderzoeken waar voldoende ruimte is om kabelsystemen, leidingen en de bijbehorende stations in de Noordzee, het Waddengebied en op land aan te leggen. Met ruimte wordt de combinatie van fysieke ruimte en milieuruimte bedoeld. Beiden zijn nodig om kabelsystemen, leidingen en stations aan te kunnen leggen. Het gaat in elk geval om de ruimte voor het aansluiten van windparken TNW en DDW, waarbij het streven is om deze in 2031 aan te sluiten. En verder is onderzocht hoeveel ruimte er nog meer is voor toekomstige aansluitingen. Hierbij is de scope voor dit onderzoek vastgezet op een maximum van 10,7 GW aan elektrische verbindingen en 36-42 GW aan waterstof verbindingen.

Op elke route zijn er uitdagingen, omdat er bepaalde regels gelden en er andere gebruikers zijn. Per route is onderzocht hoeveel beschikbare ruimte er is. Deze informatie vormt input voor het Programma. In het Programma worden de routes geprioriteerd. Dit betekent dat de ene route de voorkeur krijgt boven een andere route. Als TNW en DDW worden ontwikkeld, dan worden routes uit PAWOZ gebruikt om de windparken aan te sluiten. Voor andere toekomstige windparken worden routes uit PAWOZ meegewogen met de routes uit pVAWOZ. PAWOZ draagt zo bij aan het aansluiten van windparken op zee en daarmee aan het terugbrengen van de Nederlandse CO_2-uitstoot en de energietransitie van Nederland.

Opgave aangewezen en toekomstige windenergiegebieden

Opgave DDW
Windenergiegebied Doordewind (DDW) gaat bestaan uit twee windkavels, DDW-1 en DDW-2. Beide krijgen een capaciteit van 2 GW. In dit MER zijn beide toekomstige windkavels voor de eenvoud samengenomen. Het wordt aangeduid als 'Windpark DDW' met een capaciteit van 4 GW. DDW wordt met twee gelijkstroom (DC)-kabelsystemen (van elk 2 GW) aangesloten op het landelijk hoogspanningsnet.

Opgave TNW
Windpark Ten Noorden van de Waddeneilanden (TNW) krijgt een capaciteit van 700 MW. Het windpark is in maart 2023 aangewezen als een demonstratieproject voor waterstof voor 500 MW en moet met een leiding worden aangesloten op het Waterstofnetwerk Nederland. Ook wordt gekeken of er ruimte is om de resterende 200 MW met een elektrische verbinding te kunnen koppelen aan DDW. Als alternatief is onderzocht of TNW met twee wisselspanning (AC)-kabelsystemen (van elk 350 MW) kan worden aangesloten op het landelijk hoogspanningsnet.

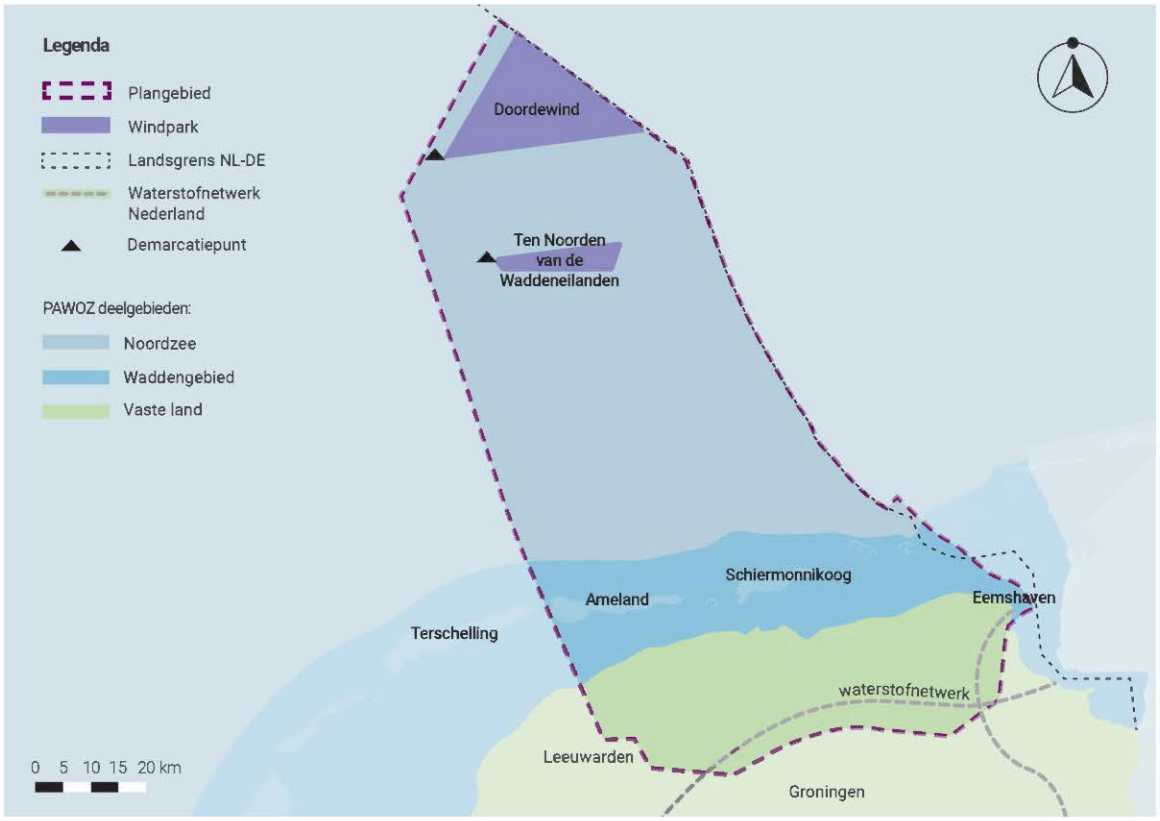
Toekomstige windenergiegebieden
Het is nog niet besloten welke gebieden er in de toekomst, na windenergiegebieden TNW en DDW, worden gereserveerd voor windenergie en waar de energie van deze parken gaat aanlanden. Het Programma Verbindingen Aanlanding Wind Op Zee 2031-2040 (pVAWOZ) onderzoekt de aanlanding van de toekomstige windparken. pVAWOZ gebruikt de resultaten van PAWOZ om te bepalen of en via welke routes toekomstige windgebieden kunnen aansluiten op de Eemshaven.

1.3 Plangebied

Afbeelding 1.1 laat zien in welk gebied de routes en stationslocaties zijn onderzocht. Dit wordt het plangebied van PAWOZ genoemd. Het plangebied is verdeeld in drie deelgebieden: de Noordzee, het Waddengebied en het vasteland. De Waddeneilanden en de kust van het vasteland zijn onderdeel van het Waddengebied.

Demarcatie PAWOZ - pVAWOZ
Tussen de onderzoeken voor PAWOZ en pVAWOZ is gewerkt met zogenaamde demarcatiepunten. Omdat de onderzoeken van deze programma's gelijktijdig plaatsvinden is afgesproken tot waar PAWOZ een route onderzoekt en waar pVAWOZ start. Het demarcatiepunt is dus het punt waar de te onderzoeken routes van PAWOZ en pVAWOZ op elkaar aansluiten. Voor kabelsystemen ligt het demarcatiepunt ten westen van windgebied DDW. Voor leidingen ligt het demarcatiepunt ten westen van windgebied TNW.

Afbeelding 1.1 Het plangebied van PAWOZ



1.4 Voornemen

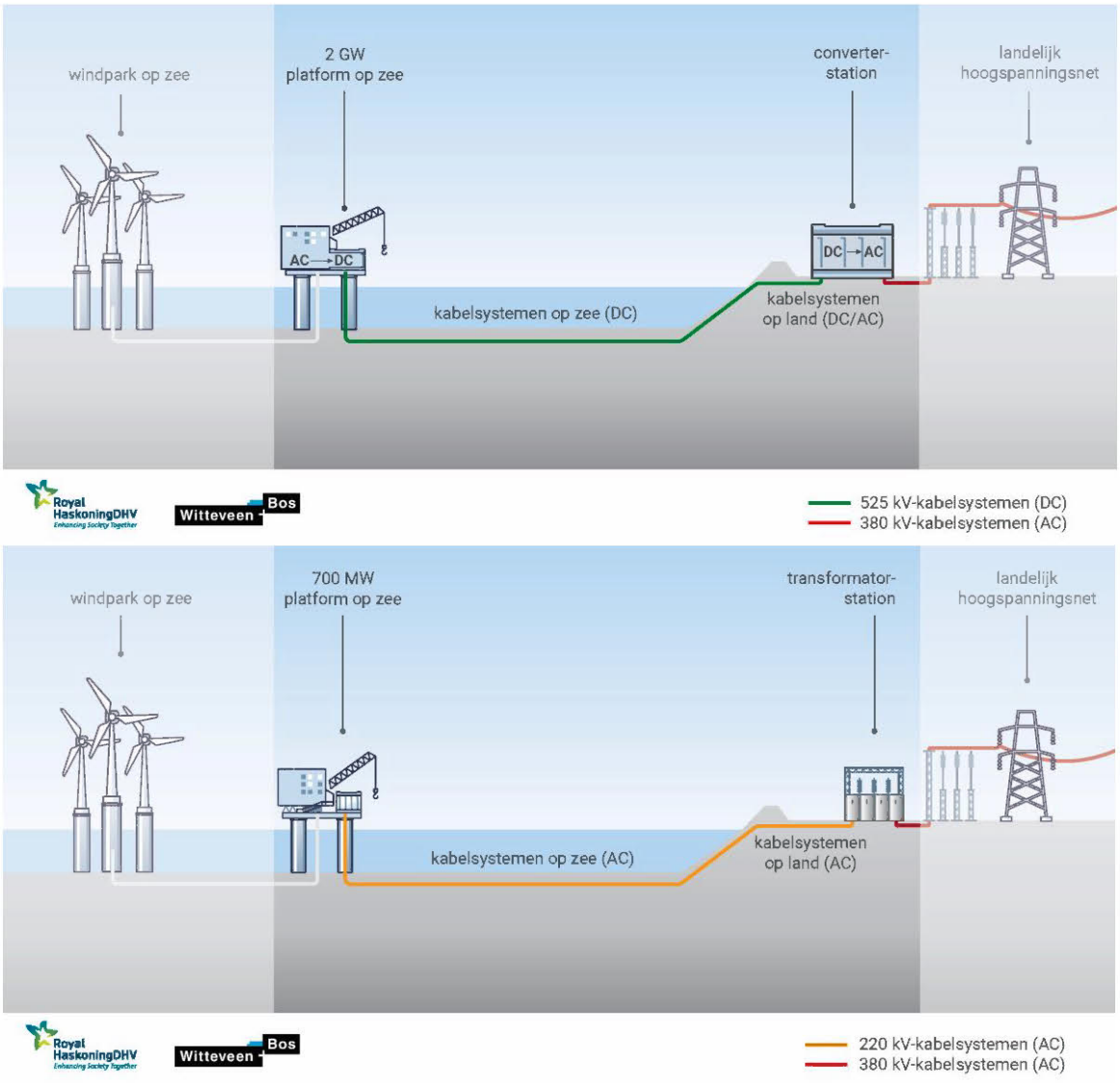
Het voornemen voor PAWOZ is om energie van windparken op zee boven de Waddeneilanden aan te sluiten op het landelijke hoogspanningsnet van TenneT of het Waterstofnetwerk Nederland van Gasunie in de buurt van de Eemshaven. Er is ook onderzocht of een tunnelsysteem kan worden gebruikt om onder het grootste deel van het Waddengebied door te gaan. In deze paragraaf staan de hoofdlijnen van het elektriciteitsnet, het waterstofnetwerk, en het tunnelsysteem. Een uitgebreidere toelichting van het voornemen en de aanlegtechnieken staat in het hoofdrapport van het MER en is uitgewerkt in de Notitie Routeontwikkeling.

1.4.1 Elektrische verbindingen

De elektrische verbinding voor PAWOZ bestaat uit kabelsystemen en de bijbehorende stations. Dat zijn de platforms op zee bij TNW en DDW en de transformator- of converterstations op land. De onderzoeksopgave voor PAWOZ bestaat uit vijf gelijkstroom (DC)-verbindingen van 525 kV (2 GW) en twee wisselstroom (AC)-verbindingen van 220 kV (350 MW). Beide soorten verbindingen staan in Afbeelding 1.2.

De AC- en DC-verbindingen lopen van een platform op zee, via kabelsystemen onder de zeebodem naar het vasteland. Vervolgens wordt de elektriciteit met kabelsystemen op land naar een transformatorstation (voor AC) of converterstation (voor DC) gebracht. Daar wordt het spanningsniveau omgezet naar 380 kV. Tenslotte wordt de elektriciteit getransporteerd naar een 380 kV-hoogspanningsstation waar het wordt aangesloten op het landelijke hoogspanningsnet. De 380 kV-stations die in beeld zijn voor de aansluiting op het landelijke hoogspanningsnet zijn Eemshaven Oudeschip en Eemshaven Oostpolderweg. Deze 380 kV-stations zijn geen onderdeel van het voornemen.

Afbeelding 1.2 Schematische weergave van het elektriciteitsnet (boven: gelijkstroom, onder: wisselstroom)



Platforms op zee

De platforms van TNW en DDW zijn onderdeel van het voornemen. Voor DDW zijn twee zoekgebieden onderzocht. TenneT heeft een standaard ontworpen voor een 700 MW wisselstroomplatform en voor een 2 GW gelijkstroom platform. De platforms van toekomstige windparken zijn niet meegenomen. Dat is omdat nog niet duidelijk is of, en zo ja welke, windparken worden aangesloten op de Eemshaven. De windturbines zelf en de parkbekabeling maken geen onderdeel uit van PAWOZ. Deze onderdelen worden in een latere fase in kavelbesluiten verder uitgewerkt.

Kabelsystemen op zee

Uitgangspunt voor de onderlinge afstand tussen TenneT kabelsystemen op zee is 200 m. Dit geldt zowel voor AC- als DC-kabelsystemen. Voor de aanleg van kabelsystemen op de Noordzee en het Waddengebied wordt het principe 'bury and would like to forget' toegepast. Dat principe is erop gericht kabelsystemen in één keer voldoende diep te begraven, zodat ze niet blootspoelen. De diepte is bepaald in een begraafdiepte studie die als bijlage is opgenomen in de Notitie Routeontwikkeling.

Er zijn verschillende kabelinstallatietechnieken voor op zee, de ondiepere geulen en de droogvallende wadplaten. Er kan baggerwerk nodig zijn om voldoende waterdiepte voor de installatievaartuigen of voldoende ingraafdiepte te realiseren. Voor het passeren van de kust en de eilanden worden horizontaal gestuurde boringen (hierna: HDD-boring) toegepast.

De duur van de werkzaamheden voor de aanleg van een kabelsysteem op zee is onder andere afhankelijk van de aanlegtechniek, de kabellengte en de route. Het uitgangspunt van PAWOZ is dat er maximaal één kabelsysteem per jaar wordt aangelegd.

Kabelsystemen op land

Waar de kabelsystemen aan land komen, moeten die worden omgezet naar ondergrondse kabelsystemen op land. Om de kabelsystemen op land en op zee op elkaar aan te sluiten is op deze locatie (aan de landzijde van de waterkering) een overgangsmof nodig. Dat is een soort 'kroonsteen' tussen de kabelsystemen op land en op zee.

Voor de aanleg van kabelsystemen op land zijn twee installatietechnieken: een open ontgraving of een HDD-boring.

Transformatorstation of converterstation

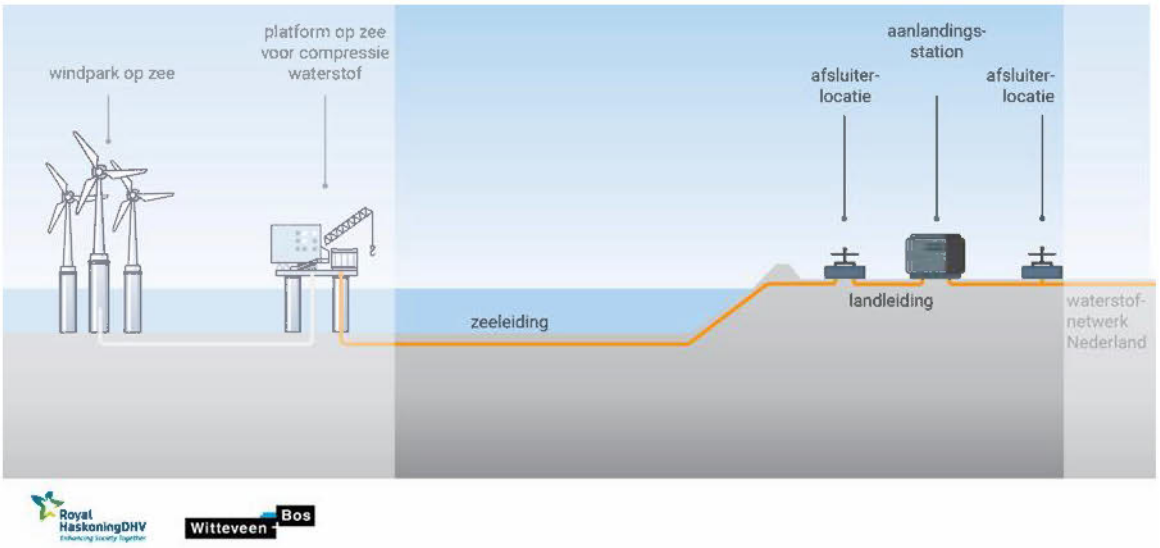
Voordat de kabelsystemen op land kunnen worden aangesloten op het landelijke hoogspanningsnet moet de spanning worden getransformeerd naar 380 kV wisselspanning. Dat gebeurt in een transformatorstation. In het geval van een DC-verbinding betekent dit dat deze eerst nog moet worden geconverteerd (van DC naar AC). Dit gebeurt in een converterstation.

1.4.2 Waterstofverbindingen

De waterstofverbinding voor PAWOZ bestaat uit leidingen en de bijbehorende stations, zoals weergegeven in Afbeelding 1.3. Dat zijn de aanlandingsstations en afsluiterlocaties. De onderzoeksopgave voor PAWOZ bestaat uit drie leidingen voor het transport van waterstof, inclusief waterstof aanlandingsstation en afsluiterlocaties.

Vanaf een platform op zee loopt een leiding over de zeebodem naar het vasteland. Bij de aanlanding komt een waterstof aanlandingsstation. Bij de aanlanding komt ook een afsluiterlocatie waar de leiding op zee kan worden afgesloten van de leiding op land. De leidingen op land worden aangesloten op het Waterstofnetwerk Nederland dat wordt ontwikkeld door Hynetwork (100 % dochteronderneming van Gasunie, www.hynetwork.nl). Bij de aansluiting op het landelijk waterstofnetwerk is ook een afsluiterlocatie voorzien.

Afbeelding 1.3 Schematische weergave van een waterstofverbinding



Platform op zee
Waterstof wordt gemaakt door elektrolyse. Daarbij wordt met behulp van elektriciteit (opgewekt uit windenergie) zeewater gesplitst in waterstof (in gasvorm) en zuurstof. Elektrolyse op zee kan plaatsvinden in de turbine zelf (decentraal) of op een platform (centraal). Bij centrale compressie van waterstof, kunnen verschillende type onderconstructies worden gebruikt.

De platforms voor waterstof zijn geen onderdeel van het voornemen. De platforms zijn niet meegenomen. De windturbines zelf en de parkbekabeling maken ook geen onderdeel uit van PAWOZ.

Leiding op zee
Uitgangspunt voor PAWOZ zijn nieuwe leidingen met een diameter van 48 inch. Voor de aanleg van leidingen op de Noordzee en het Waddengebied is het uitgangspunten om de leidingen in één keer voldoende diep te begraven, zodat ze niet blootspoelen. De diepte is bepaald in een begraafdiepte studie die als bijlage is opgenomen bij de Notitie Routeontwikkeling.

Er kunnen verschillende installatietechnieken worden gebruikt op zee, de ondiepere geulen en de droogvallende wadplaten. Er kan baggerwerk nodig zijn om voldoende waterdiepte voor de installatievaartuigen of voldoende ingraafdiepte te realiseren.

Leiding op land
Ook voor leidingen op land is het uitgangspunt nieuwe leidingen met een diameter van 48 inch. Voor de aanleg van leidingen op land zijn er twee type installatietechnieken: een open ontgraving of een sleufloze techniek, zoals een horizontaal gestuurde boring (hierna: HDD-boring).

Aanlandingsstations en afsluiterlocaties
Uitgangspunt is dat een waterstof aanlandingsstation een oppervlakte van 2 ha heeft. Daarbij is ervan uitgegaan dat de compressie van waterstof op zee plaatsvindt. Waar mogelijk wordt een waterstof aanlandingsstation gebouwd in de nabijheid van reeds aanwezige infrastructuur (‘bundelingsprincipe’). Een afsluiterlocatie heeft een oppervlakte van 20 m bij 20 m.

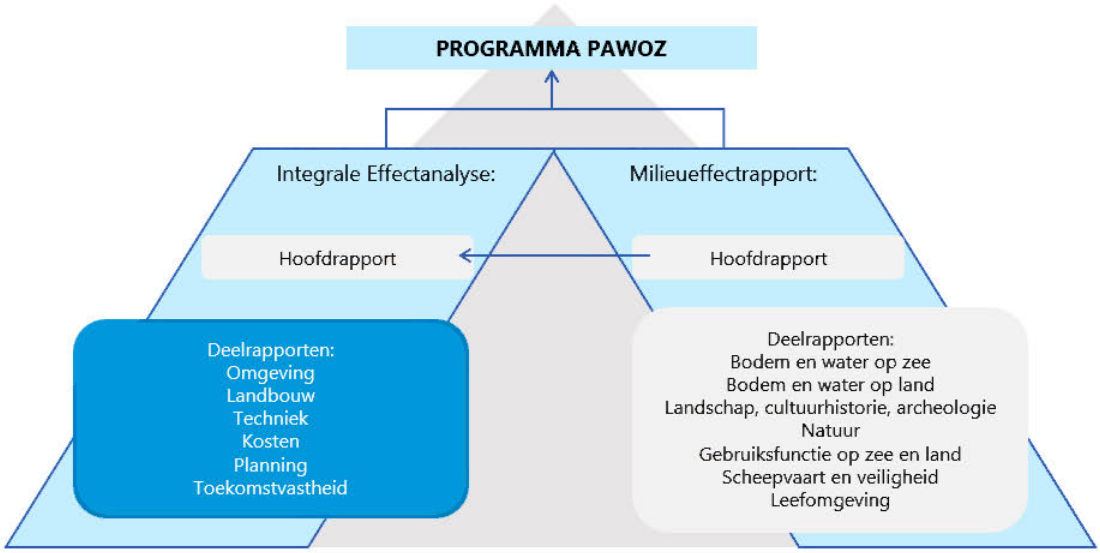
1.4.3 Tunnelsysteem tussen Ballonplaat en Eemshaven

Als alternatief op de in de vorige paragrafen beschreven aanlegtechnieken voor het elektriciteitsnet en waterstofnetwerk is onderzocht of kabelsystemen of leidingen in een geboord tunnelsysteem onder het Waddengebied kunnen worden aangelegd. De uitgangspunten die op dit alternatief van toepassing zijn, wijken af van de uitgangspunten uit de vorige paragrafen. Voor de ontwikkeling van het tunnelsysteem is een intredepunt op de Noordzee en een aanlandingspunt in of nabij de Eemshaven nodig. Het intredepunt op de Noordzee ligt op de Ballonplaat. Voor het aanlandingspunt in de Eemshaven is met zoekgebieden gewerkt. Het tunnelsysteem bestaat uit meerdere tunnelbuizen waar de kabelsystemen en leidingen in liggen. Het tunnelsysteem wordt enkel onderzocht als route voor het doorkruisen van het Waddengebied. Vanaf zowel het intredepunt als aanlandingspunt worden de kabelsystemen en leidingen naar respectievelijk de windparken en de aansluitpunten op het vasteland met conventionele technieken aangelegd.

1.5 Leeswijzer deelrapport

De IEA van PAWOZ bestaat uit een hoofdrapport en zes deelrapporten. In het hoofdrapport staan de hoofdlijnen over de effecten voor de besluitvorming over het Programma. In de deelrapporten staan effectbeschrijvingen en analyses van omgeving, landbouw, techniek, kosten, planning en toekomstvastheid. Dit is het deelrapport over Landbouw. Het milieudeel van de IEA is gebaseerd op de resultaten van het MER. De Integrale effectanalyse en het MER geven samen de overwegingen op het gebied van milieu, omgeving, landbouw, techniek, kosten, planning en toekomstvastheid voor PAWOZ.

Afbeelding 1.4 Positie van dit deelrapport in de rapportagestructuur van de IEA en het MER



Opbouw van dit deelrapport

Het rapport bestaat uit de volgende hoofdstukken:

- hoofdstuk 2 beschrijft de routes en stationslocaties die zijn onderzocht;
- hoofdstuk 3 beschrijft de methodiek die is toegepast in dit deelrapport voor het bepalen van de effecten op landbouw;
- hoofdstuk 4 gaat in op de resultaten van de onderzoeken naar de effecten op landbouw in dit deelrapport;
- hoofdstuk 5 geeft de conclusie van dit deelrapport;
- hoofdstuk 6 beschrijft de mitigerende maatregelen die kunnen worden toegepast om de effecten op landbouw te beperken;
- hoofdstuk 7 beschrijft de leemtes in kennis.

Het rapport sluit af met de afkortingen- en begrippenlijst.

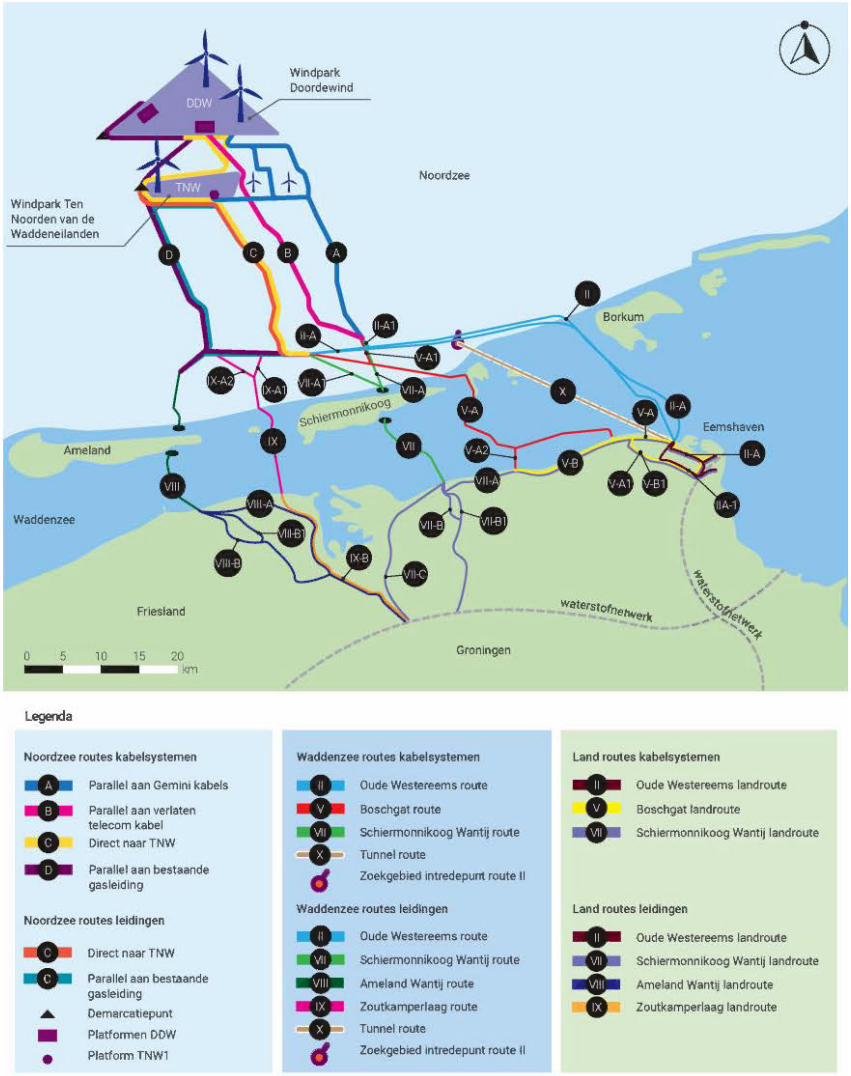
2

ROUTES EN STATIONS

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn de onderzochte routes en de locaties van stations beschreven. Afbeelding 2.1 geeft alle onderzochte routes weer. Op de kaart staan de routenummers (zoals A, II, etc.) in combinatie met de bijbehorende varianten (A, A1, et cetera). Bijvoorbeeld II-A is de II: Oude Westereems (land)route A. De legenda van Afbeelding 2.1 is ook van toepassing op de andere afbeeldingen in dit hoofdstuk. Een toelichting op de totstandkoming van de routes staat in het hoofdrapport van het MER en is stapsgewijs uitgewerkt in de Notitie Routeontwikkeling.

Afbeelding 2.1 Overzichtskaart routes



2.2 Noordzee

De paragrafen hieronder beschrijven de platforms voor het elektriciteitsnetwerk en de routes op de Noordzee die zijn onderzocht.

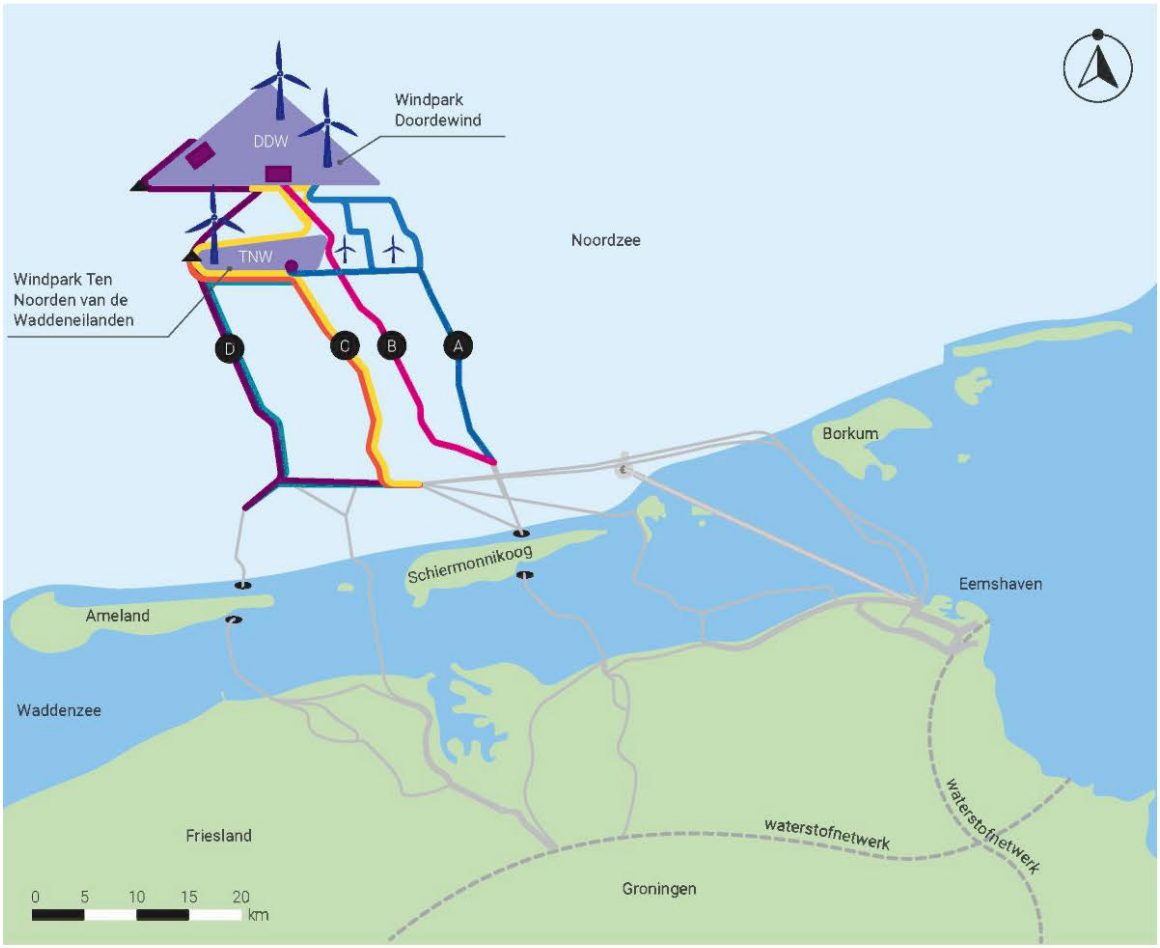
2.2.1 (zoekgebieden) Platforms

Voor het elektriciteitsnetwerk zijn platforms TNW en DDW onderzocht. Voor DDW zijn twee zoekgebieden bekeken: DDW-1 en DDW-2. De onderzochte locaties staan in de overzichtskaart in Afbeelding 2.2 als twee paarse blokken en één paarse stip.

2.2.2 Noordzeeroutes

Er zijn vier routes op de Noordzee onderzocht. De routes staan in onderstaande afbeelding. De routes sluiten aan op de routes door het Waddengebied bij de 6-zeemijlsgrens van de kust. Op de Noordzee worden kabelsystemen geïnstalleerd met een vertical injector of een trencher. De leidingen worden geïnstalleerd met schepen met een dynamisch positioneringssysteem en begraafmaterieel.

Afbeelding 2.2 Overzichtskaart van de Noordzeeroutes



In Tabel 2.1 staat de te onderzoeken technisch maakbare configuratie en de corridorbreedte per route. De vier Noordzeeroutes zijn onderzocht voor elektrische verbindingen. Het startpunt van de routes voor elektrische verbindingen ligt in windpark DDW. De twee meest westelijke Noordzeeroutes C en D zijn ook onderzocht voor waterstofverbindingen met het startpunt ten westen van windpark TNW of vanaf het demarcatiepunt PAWOZ en pVAWOZ. Zoals is aangegeven in paragraaf 1.2 is windpark TNW aangewezen als pilot project voor 500 MW aan waterstof. Er is gekeken of er voldoende ruimte in de corridors van de Noordzeeroutes voor kabelsystemen is om de overige 200 MW van windpark TNW (met een capaciteit van 700 MW) te verbinden met windpark DDW. Daarbij is er aangenomen dat als de maximale configuratie van kabelsystemen past, dan is er voldoende ruimte voor de verbinding tussen TNW en DDW.

Tabel 2.1 Onderzochte configuratie van de routes door de Noordzee

Route	Route naam	Te onderzoeken maximale technisch maakbare configuratie	Corridor (breedte)
A	Parallel aan Gemini kabels	7 kabelsystemen	Variërend: circa 1 km tot max 3 km
B	Parallel aan verlaten telecomkabel	7 kabelsystemen	3 km
C	Direct naar TNW	7 kabelsystemen en 3 leidingen	6 km
D	Parallel aan bestaande gasleiding	7 kabelsystemen en 3 leidingen	6 km

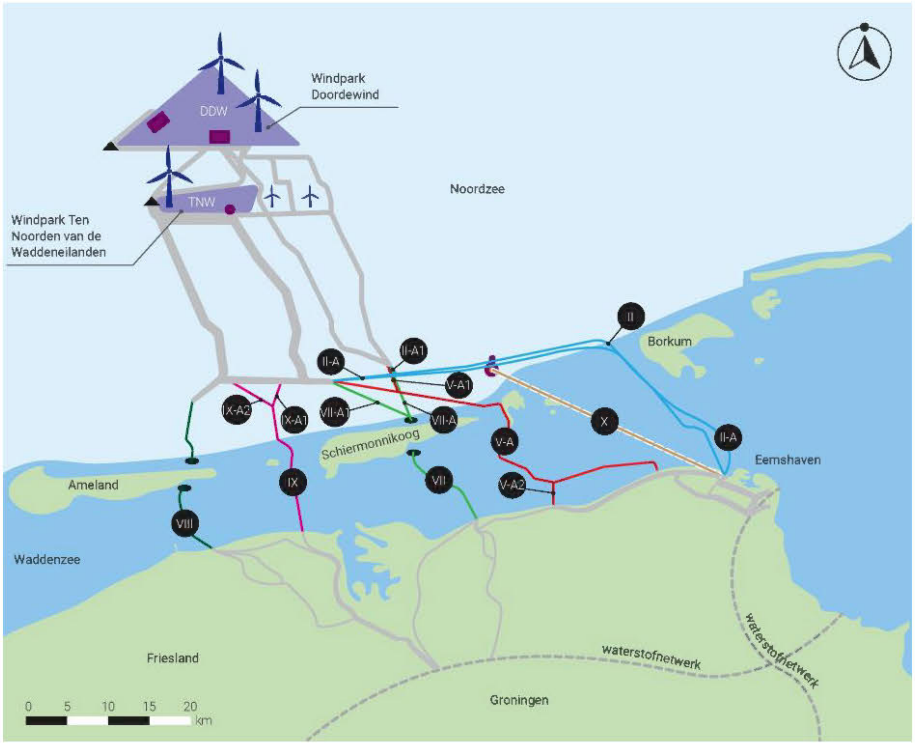
Optimalisaties

- het deel van de corridor van route A: Parallel aan Gemini dat over Duits grondgebied liep, is niet meer beschouwd. De corridor wordt hierdoor op een aantal locaties smaller. Deze wijziging van de corridor heeft geen impact op het maximaal aantal kabelsystemen dat kan worden ingepast langs de route;
- de Noordzeeroutes zijn ter hoogte van de aansluiting met de Waddengebied routes lokaal gewijzigd, om de aansluiting op de Waddenroutes te verbeteren. Dit zijn zeer kleine lokale wijzigingen.

2.3 Waddengebied

Er zijn zes routes door het Waddengebied onderzocht, waarvan enkele routes varianten hebben. De routes zijn weergegeven in onderstaande afbeelding. De routes lopen vanaf het land naar de aansluiting op de Noordzeeroutes bij de 6-zeemijlsgrens van de kust. In Tabel 2.2 staat de te onderzoeken technisch maakbare configuratie en de corridorbreedte per route.

Afbeelding 2.3 Overzichtskaart van de routes door het Waddengebied



Tabel 2.2 Onderzochte configuratie van de routes door het Waddengebied

Route	Route naam	Variant	Te onderzoeken maximale technisch maakbare configuratie	Corridor (breedte)
II	Oude Westereems route	A, A1 voor kabelsystemen, 1 leidingvariant	6 kabelsystemen óf 3 leidingen óf 1 kabelsysteem en 3 leidingen óf 2 kabelsystemen en 1 leiding	Variërend: min 700 m tot max 1.300 m (kabelsystemen) min 500 m tot max 700 m (leidingen)
V	Boschgat route	A, A1, A2	1 kabelsysteem	130 m
VII	Schiermonnikoog Wantij route	A, A1 voor kabelsystemen, 1 leidingvariant	7 kabelsystemen en 3 leidingen óf 7 kabelsystemen óf 3 leidingen	Variërend: min 1.500 m tot max 4.000 m (kabelsystemen) min 2.000 m tot max 4.000 m (leidingen)
VIII	Ameland Wantij route		3 leidingen	2.000 m
IX	Zoutkamperlaag route	A1, A2	3 leidingen	200 m
X	Tunnel route	multi-tube* (meerdere tunnelbuizen)	5 (DC) kabelsystemen en 2 leidingen	160 m

* Met één energiedrager per tunnelbuis.

2.3.1 II: Oude Westereems route

De II: Oude Westereems route is beschouwd voor kabelsystemen en leidingen. Uitgangspunt voor deze route is het volgen van morfologisch stabiele diepe delen in het Eemsestuarium. Hierdoor is de begraafdiepte beperkt. De route loopt vanaf Eemshaven West door de Oude Westereems geul. De route voor de kabelsystemen is net anders dan de route voor leidingen.

Dit komt door de verschillende aanlegtechnieken die voor kabelsystemen en leidingen worden gebruikt. Daarom is een iets andere route gekozen om bestaande kabels en leidingen te passeren. Ten noorden van Schiermonnikoog splitst de route voor de kabelsystemen zich in twee varianten, waarvan er een aansluit op de Noordzeeroutes A en B en de andere op de Noordzeeroutes C en D. De route voor de leidingen sluit aan op de Noordzeeroutes C en D.

Installatiemethode kabelsystemen
De kabelsystemen worden voor het grootste gedeelte van de route geïnstalleerd met een vertical injector of een trencher. Hiervoor moet zeer lokaal worden gebaggerd om voldoende waterdiepte te realiseren voor de installatieschepen. De route kruist de primaire waterkering en bestaande kabels langs de kust met een HDD-boring.

Installatiemethode leidingen
Leidingen worden geïnstalleerd met een S-lay pijpenlegschip en daarna begraven met ingraafmaterieel. Op de route door de Eemsgeul zijn voorbereidende baggerwerkzaamheden nodig om de gewenste begraafdiepte te bereiken. De route kruist de waterkering en bestaande kabels langs de kust met een geboorde segmenttunnel van
circa 6 km lang.

Optimalisaties
- voor de leiding variant van de II: Oude Westereems route wordt bij de aanleg van leidingen over het 6 km lange deel tussen de COBRA-kabel en de betonde Eemsgeul stremming van de scheepvaart in de Eemsgeul voorkomen;
- verbreding corridor van 500 m naar minimaal 700 m tot maximaal 1.300 m voor kabelsystemen;
- verbreding corridor van 500 m naar minimaal 500 m tot maximaal 700 m voor leidingen;
- baggerwerkzaamheden voor de aanleg van leidingen worden beperkt en het baggermateriaal dat ontstaat wordt elders verspreid. Hierdoor wordt de permanente verandering van de bodemdynamiek en het ontstaan van een vertroebelingspluim door de verspreiding van baggermateriaal beperkt. Hierbij wordt rekening gehouden met de eis dat het baggermateriaal binnen hetzelfde (kombergings)gebied moet worden verspreid.

2.3.2 V: Boschgat route

De V: Boschgat route is alleen beschouwd voor kabelsystemen. De route loopt vanaf Uithuizen via de droogvallende wadplaten en volgt de geulen Zuid Oost Lauwers en Boschgat via de westkant van het referentiegebied naar het noorden. Een variant start verder naar het westen en sluit aan op de route door het Boschgat. Ten noorden van Schiermonnikoog splitst de route zich in twee varianten, waarvan er een aansluit op de Noordzeeroutes A en B en de andere op de Noordzeeroutes C en D.

Installatiemethode kabelsystemen
Op de ondiep liggende wadplaten wordt een wadtrencher ingezet. In de diepere getijdegeulen wordt drijvend materieel gebruikt met een vertical injector of een trencher. De route kruist de primaire waterkering en bestaande kabels met een HDD-boring.

Optimalisaties
- baggerwerkzaamheden voor de aanleg van kabelsystemen worden beperkt en het baggermateriaal dat ontstaat wordt elders verspreid. Hierdoor wordt de permanente verandering van de bodemdynamiek en het ontstaan van een vertroebelingspluim door de verspreiding van baggermateriaal beperkt. Hierbij wordt rekening gehouden met de eis dat het baggermateriaal binnen hetzelfde (kombergings)gebied moet worden verspreid.

2.3.3 VII: Schiermonnikoog Wantij route

De VII: Schiermonnikoog Wantij route is beschouwd voor kabelsystemen en leidingen. De basis van deze route is het volgen van de ondiepe droogvallende wadplaten tussen de Groningse kust bij Kloosterburen en Schiermonnikoog. Ten noorden van Schiermonnikoog splitst de route zich in twee varianten, waarvan er een aansluit op de Noordzeeroutes A en B en de andere op de Noordzeeroutes C en D.

Installatiemethode kabelsystemen
Op de ondiep liggende wadplaten wordt een wadtrencher gebruikt om kabelsystemen te installeren. De kabelsystemen worden met een HDD-boring onder de primaire waterkering op land en onder het eiland Schiermonnikoog door geïnstalleerd. Ten noorden van Schiermonnikoog worden kabelsystemen met een trencher of een vertical injector op diepte gebracht. Hier zijn voorbereidende baggerwerkzaamheden nodig.

Installatiemethode leidingen
Het wantij tussen de Groningse kust bij Kloosterburen en Schiermonnikoog wordt overgestoken met een serie van opeenvolgende HDD-boringen. De leidingen worden met een HDD-boring onder de primaire waterkering op land en onder het eiland Schiermonnikoog door geïnstalleerd. Ten noorden van Schiermonnikoog wordt een open ontgraving in de brandingszone gemaakt met een kofferdam om de leiding op diepte te brengen. De leiding wordt vervolgens met de 'S-Lay' techniek geïnstalleerd. In dieper water wordt een pijpenlegschip en begraafmaterieel ingezet.

Optimalisaties
- verbreding corridor van 1.500 m naar minimaal 1.500 m tot maximaal 4.000 m voor kabelsystemen;
- verbreding corridor van 2.000 m naar minimaal 2.000 m tot maximaal 4.000 m voor leidingen.

2.3.4 VIII: Ameland Wantij route

De VIII: Ameland Wantij route is alleen voor leidingen beschouwd. Dit is de meest westelijke route. De basis van deze route is het volgen van de ondiepe droogvallende wadplaten tussen de Friese kust rond Ternaard en Ameland. De route sluit aan op Noordzeeroute D.

Installatiemethode leidingen
Het wantij wordt overgestoken met een serie van opeenvolgende HDD-boringen. De leidingen worden met een HDD-boring onder de primaire waterkering en onder het oostelijke deel van Ameland door geïnstalleerd. Ten noorden van Ameland wordt een open ontgraving in de brandingszone gemaakt met een kofferdam om de leiding op diepte te brengen. De leiding wordt vervolgens via de 'S-Lay' techniek geïnstalleerd. In dieper water wordt een pijpenlegschip en begraafmaterieel ingezet.

Optimalisaties
- geen optimalisaties.

2.3.5 IX: Zoutkamperlaag route

De IX: Zoutkamperlaag route is alleen beschouwd voor leidingen. Uitgangspunt van deze route is het volgen van de diepere geulen. De route start ten westen van het Lauwersmeer. Via geul de Zoutkamperlaag loopt de route tussen Het Rif en Schiermonnikoog en ten westen van de Gronden van het Plaatgat in noordelijke richting. Ten noorden van de eilanden splitst de route zich in twee varianten, waarvan er een aansluit op Noordzeeroute C en de andere op Noordzeeroute D.

Installatiemethode leidingen
Leidingen worden geïnstalleerd met een S-lay pijpenlegschip en daarna begraven met ingraafmaterieel. Op de route door de Zoutkamperlaag zijn voorbereidende baggerwerkzaamheden nodig om de gewenste begraafdiepte te bereiken. De route kruist de waterkering ten westen van Lauwersmeer met een HDD-boring.

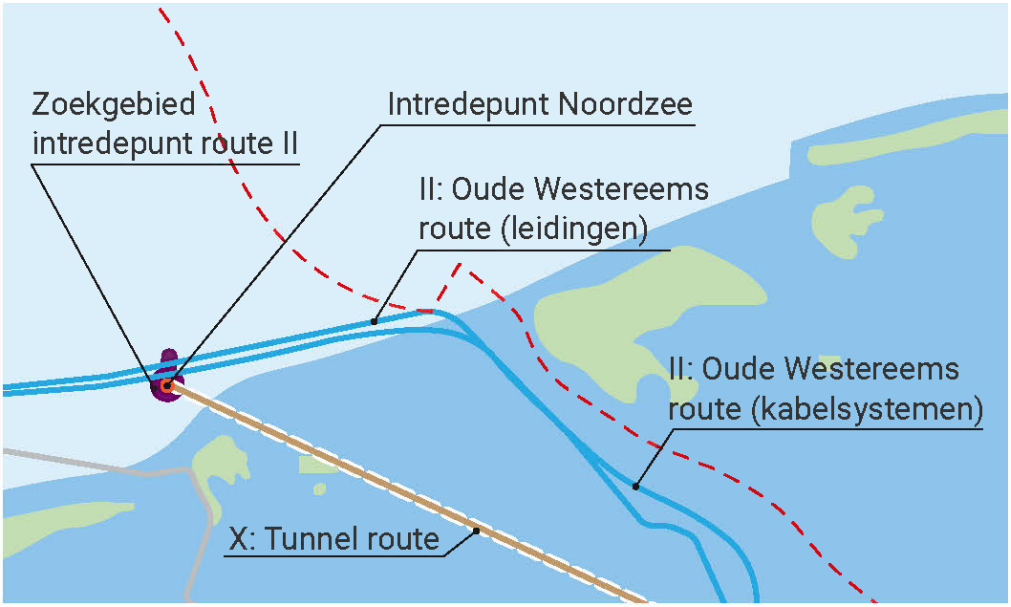
Optimalisaties

- baggerwerkzaamheden voor de aanleg van leidingen worden beperkt en het baggermateriaal dat ontstaat wordt elders verspreid. Hierdoor wordt de permanente verandering van de bodemdynamiek en het ontstaan van een vertroebelingspluim door de verspreiding van baggermateriaal beperkt. Hierbij wordt rekening gehouden met de eis dat het baggermateriaal binnen hetzelfde (kombergings)gebied moet worden verspreid.

2.3.6 X: Tunnel route

X: Tunnel route heeft een lengte van ongeveer 26 km. De X: Tunnel route begint bij het intredepunt op de Noordzee en eindigt bij een aanlandingspunt op het vasteland. Het intredepunt Noordzee ligt op de Ballonplaat, een zandbank ten noorden van Rottumerplaat en ten westen van Borkum. Het intredepunt wordt kunstmatig aangelegd met zand binnen een zeewering. Zoekgebied intredepunt Route II verbindt het intredepunt Noordzee met de II: Oude Westereems route. Vanaf het zoekgebied intredepunt Route II volgen de kabelsystemen en leidingen de II: Oude Westereems route naar de Noordzeeroutes. Afbeelding 2.4 geeft het intredepunt Noordzee en zoekgebied intredepunt Route II weer.

Afbeelding 2.4 Visualisatie van het intredepunt Noordzee en zoekgebied intredepunt Route II



Richting het vasteland lopen maximaal zeven tunnelbuizen in een rechte lijn vanaf het intredepunt Noordzee naar het aanlandingspunt nabij de Eemshaven. De tunnels liggen diep (ongeveer 30 tot 45 m onder NAP) onder het Natura 2000-gebied Waddenzee, de Noordzeekustzone, Rottumeroog en de bestaande kabels en leidingen. Nabij de Eemshaven komen de tunnelbuizen weer bovengronds. Vanaf een aanlandingspunt volgen de kabelsystemen en leidingen de II: Oude Westereems landroute naar de aansluitpunten op land.

Installatiemethode

De activiteiten voor de aanleg van het intredepunt Noordzee bestaan uit de volgende stappen: baggeren van een toegangsgeul, aanleggen van een zeewering, opspuiten van zand, aanleg van golfbrekers, realisatie van kade en baggeren van het havenbassin.

Nadat het intredepunt is gerealiseerd, worden twee schachten met combiwanden gebouwd voor de eerste drie tunnelbuizen. Vanuit deze schachten kunnen tunnelbuizen op diepte worden geboord. Vervolgens kunnen de volgende twee schachten en vier tunnelbuizen worden gemaakt. De schachten bij het aanlandingspunt nabij de Eemshaven zijn vergelijkbaar met de schachten op het intredepunt Noordzee. De tunnelbuizen worden vanaf twee zijden geboord: vanaf het intredepunt en het aanlandingspunt.

Vervolgens wordt in elke tunnelbuis afzonderlijk één kabelsysteem of leiding aangelegd. Kabelsystemen worden als geheel in de tunnelbuizen getrokken met een monorail. Leidingen worden in segmenten de tunnelbuizen ingereden met een rails waarna ze aan elkaar worden gelast.

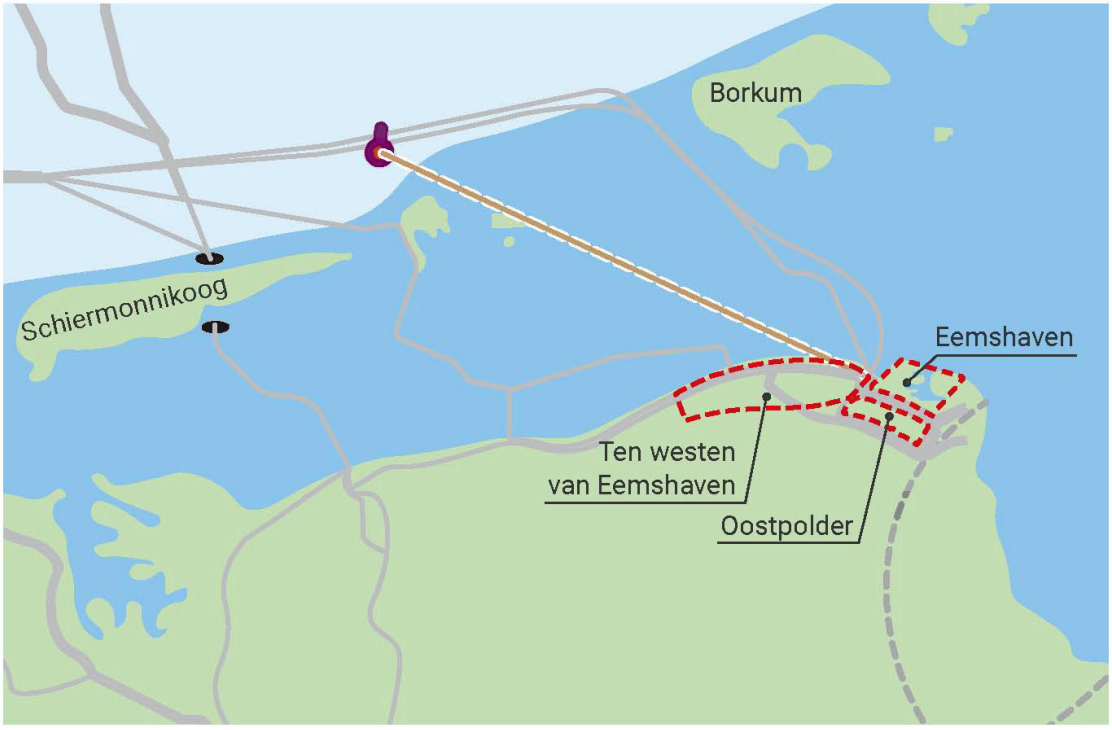
2.4 Vasteland

De paragrafen hieronder beschrijven de routes op het vasteland, de zoekgebieden voor het aanlandingspunt van de tunnel, de waterstof aanlandingsstations en afsluiterlocaties en de transformator- en converterstations die zijn onderzocht.

2.4.1 Zoekgebieden aanlandingspunt tunnel

Voor het aanlandingspunt van de tunnel zijn drie zoekgebieden onderzocht: Eemshaven, Oostpolder en Ten westen van Eemshaven. Afbeelding 2.5 geeft deze zoekgebieden weer. De kabelsystemen worden vanuit het aanlandingspunt aangesloten op het landelijk hoogspanningsnet en de leidingen op het Waterstofnetwerk Nederland. Dit is meegenomen als onderdeel van de corridors van de landroutes voor kabelsystemen en leidingen.

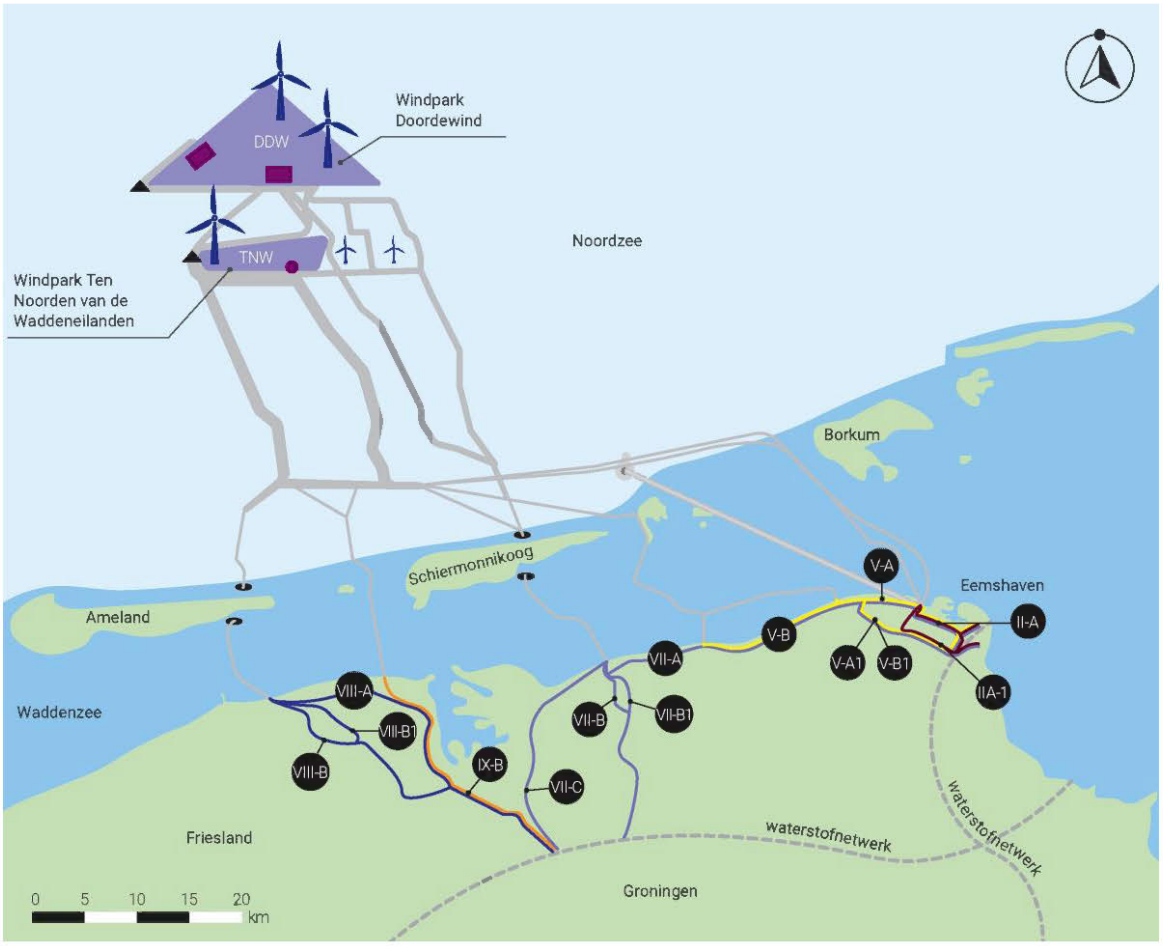
Afbeelding 2.5 Overzichtskaart zoekgebieden aanlandingspunt tunnel



2.4.2 Overzichtskaart landroutes kabelsystemen en leidingen

Er zijn vijf landroutes onderzocht, met diverse varianten. De routes staan in onderstaande afbeelding. In Tabel 2.3 staat de te onderzoeken technisch maakbare configuratie en de corridorbreedte per route.

Afbeelding 2.6 Overzichtskaart van routes op land



Tabel 2.3 Onderzochte configuratie van de routes over het vasteland

Route	Route naam	Variant	Te onderzoeken maximale technisch maakbare configuratie	Corridor (breedte)
II	Oude Westereems landroute	A, A1	7 kabelsystemen en 3 leidingen	1.500 m
V	Boschgat landroute	A, A1, B, B1	1 kabelsysteem	500 m
VII	Schiermonnikoog Wantij landroute	A	7 kabelsystemen en 3 leidingen	1.500 m
		B, B1, C	3 leidingen	500 m
VIII	Ameland Wantij landroute	A, B, B1	3 leidingen	500 m
IX	Zoutkamperlaag landroute	B	3 leidingen	500 m

Optimalisaties

- voor delen van de corridor nabij Natura 2000-gebieden is nader ecologisch onderzoek benodigd in de project-MER;
- voor delen van de corridor nabij weidevogelgebieden geldt dat deze gebieden vermeden moeten worden of er nader onderzoek moet worden uitgevoerd naar mogelijke mitigerende maatregelen voor effecten op weidevogelgebieden in de project-MER;
- daar waar woningen in de corridor liggen geldt dat deze moeten worden vermeden;
- voor de delen van de corridor die lopen door gebieden met een hoge beschermde archeologische verwachtingswaarde uit de late bronstijd -nieuwe tijd en een hoge verwachtingswaarde uit het paleolithicum- vroege bronstijd geldt dat deze moeten worden vermeden. Of, als vermijden niet mogelijk is, dat in de project-MER de mogelijkheid voor passeren met een gestuurde boring moet worden onderzocht inclusief archeologisch onderzoek;
- voor de delen van de corridor waar eendenkooien liggen, geldt dat deze moeten worden vermeden. Of, als vermijden niet mogelijk is, dat in de project-MER de mogelijkheid voor passeren met een gestuurde boring moet worden onderzocht;
- daar waar beschermde dorpsgezichten en monumenten in de corridor liggen, geldt dat deze moeten worden vermeden;
- als er een oude dijk in de corridor ligt maar niet over de volledige breedte, geldt dat de dijk moet worden vermeden of een gestuurde boring moet worden toegepast. Als een oude dijk de volle breedte van de corridor kruist dan moet een gestuurde boring worden toegepast;
- daar waar zich woningen bevinden binnen de significante geluidscontouren (aanlegfase) of bij overschrijding van de geluidsruimte in het gezoneerde bedrijventerrein Eemshaven (gebruiksfase), geldt dat nader geluidsonderzoek moet worden gedaan in de project-MER;
- een gestuurde boring wordt toegepast voor het kruisen van Natura 2000-gebieden of de corridor is versmald (als een corridor deels overlapt met Natura 2000-gebied);
- delen van verschillende landroutes die dezelfde route volgen zijn identiek gemaakt;
- centerlines en corridors zijn aangepast zodat de routes voor kabelsystemen en leidingen aansluiten op de waterstof aanlandingsstations en transformator- en converterstations;
- de landroutes zijn aangepast zodat deze niet meer overlappen met Natura 2000-gebieden (zoals de Waddenzee en de Klutenplas);
- de zoekgebieden en corridors zijn aangepast zodat deze enkel nog op land liggen en niet meer overlappen met de Waddenzee.

De zoekgebieden voor het aanlandingspunt van de tunnel en de zoekgebieden voor het transformatorstation en de converterstations zijn niet veranderd na optimalisatie. Ook de zoekgebieden voor de waterstof aanlandingsstations zijn gelijk gebleven, maar waterstof aanlandingsstation 18 is vervallen.

2.4.3 Landroutes kabelsystemen

De Waddenzeeroutes voor kabelsystemen sluiten aan op een route over het vasteland richting een aansluitpunt op het landelijke hoogspanningsnet in de Eemshaven. De verschillende routes zijn in werkelijkheid één lange route tussen Kloosterburen en de Eemshaven waar op verschillende locaties wordt aangesloten.

Tabel 2.4 Overzicht van routes voor kabelsystemen over land naar de Eemshaven

Aanlandingszone - aansluitpunt	Sluit aan op route door Waddengebied
Ten Westen van de Eemshaven → Eemshaven	II: Oude Westereems route, X: Tunnel route
Uithuizen → Eemshaven	V: Boschgat route
Westernieland → Eemshaven	V: Boschgat route
Kloosterburen → Eemshaven	VII: Schiermonnikoog Wantij route

Vanaf Kloosterburen loopt de route de eerste 10 km parallel aan de Middendijk. Daarna volgt de route tot aan Noordpolderzijl de primaire waterkering binnendijks. Ten oosten van Noordpolderzijl volgt de route de Uithuizerpolderdijk tot aan de Eemshaven. In het gebied ten noorden/noordoosten van Valom loopt de route om het geplande windpark Eemshaven-west. Nabij de poldermolen 'Goliath' komt de landroute bij de Eemshaven aan. De route volgt zoveel mogelijk de rand van agrarische percelen.

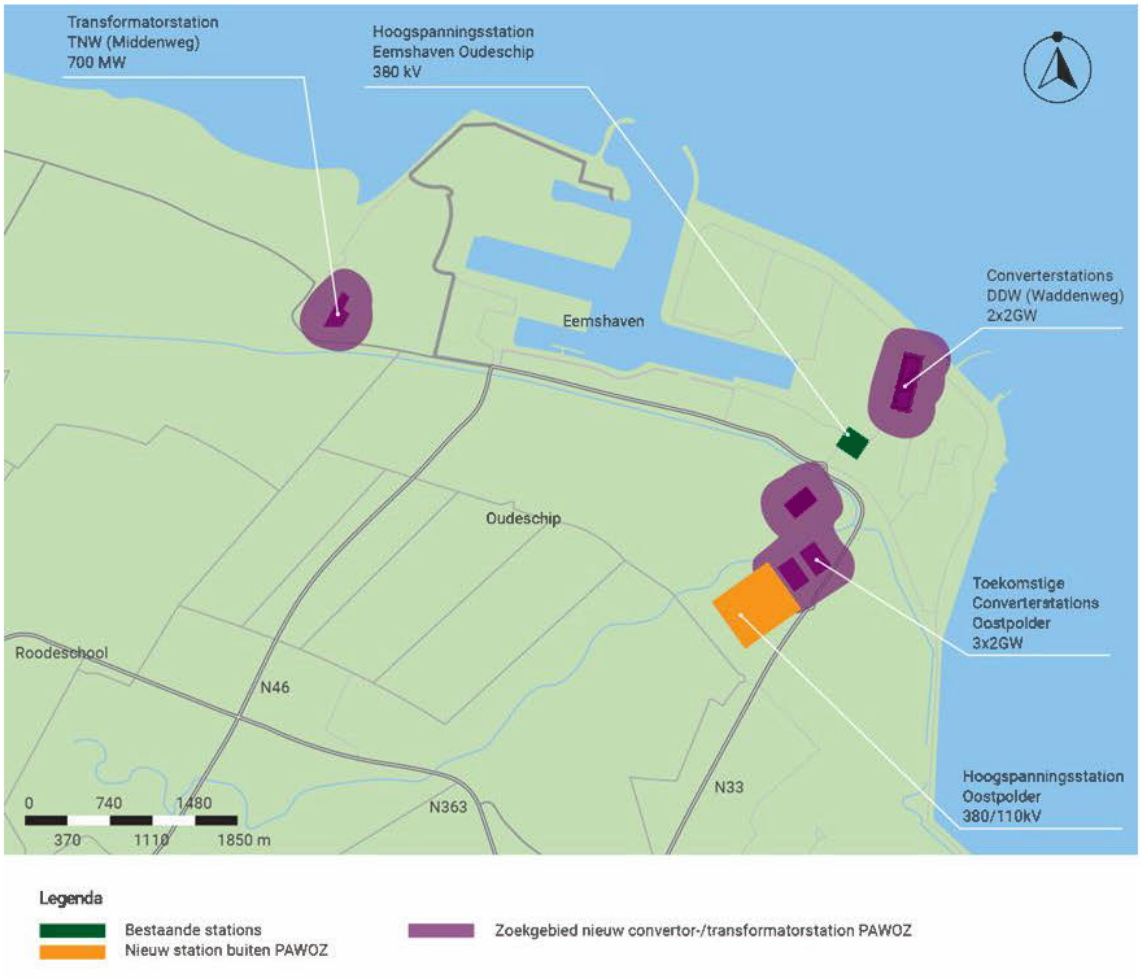
Uitgangspunt is dat de kabelsystemen op land worden aangelegd met een open ontgraving. Primaire waterkeringen worden gekruist met een HDD-boring.

2.4.4 Zoekgebieden transformator- en converterstations

In Afbeelding 2.7 staan het bestaande hoogspanningsstation Oudeschip in de Eemshaven en de zoekgebieden voor nieuwe hoogspanningsstations, het transformatorstation en converterstations. Omdat de exacte locaties van de nieuwe stations nog niet definitief zijn, zijn bufferzones van 200 meter getekend als zoekgebied van PAWOZ.

In het westen van de Eemshaven ligt het zoekgebied TNW Middenweg. Hier komt het transformatorstation voor windgebied TNW, als deze niet wordt ontsloten met een waterstofverbinding, maar met een elektrische verbinding. In het oosten van de Eemshaven ligt het zoekgebied voor twee converterstations voor windgebied DDW. Ten zuidwesten hiervan is een zoekgebied voor drie converterstations in de Oostpolder voorzien om toekomstige windparken aan te sluiten.

Afbeelding 2.7 Bestaande en voorziene hoogspanningsstations in en rondom de Eemshaven



2.4.5 Landroutes waterstofleidingen

Voor het transport van waterstof met leidingen over land zijn verschillende routes onderzocht. De routes sluiten aan op het Waterstofnetwerk Nederland (westelijke routes) en op het Waterstofnetwerk Groningen (in de Eemshaven). Aansluitpunten liggen in de Eemshaven en tussen Grijpskerk en Tjuchem. De routes volgen zoveel mogelijk de rand van agrarische percelen.

Voor de westelijke landroutes voor leidingen is de corridorbreedte 500 m. Voor de landroute vanaf de aanlanding van de VII: Schiermonnikoog Wantij route, die zowel is onderzocht voor kabelsystemen als leidingen, is een corridorbreedte van 1.500 m aangehouden.

Tabel 2.5 Overzicht van routes voor leidingen over land

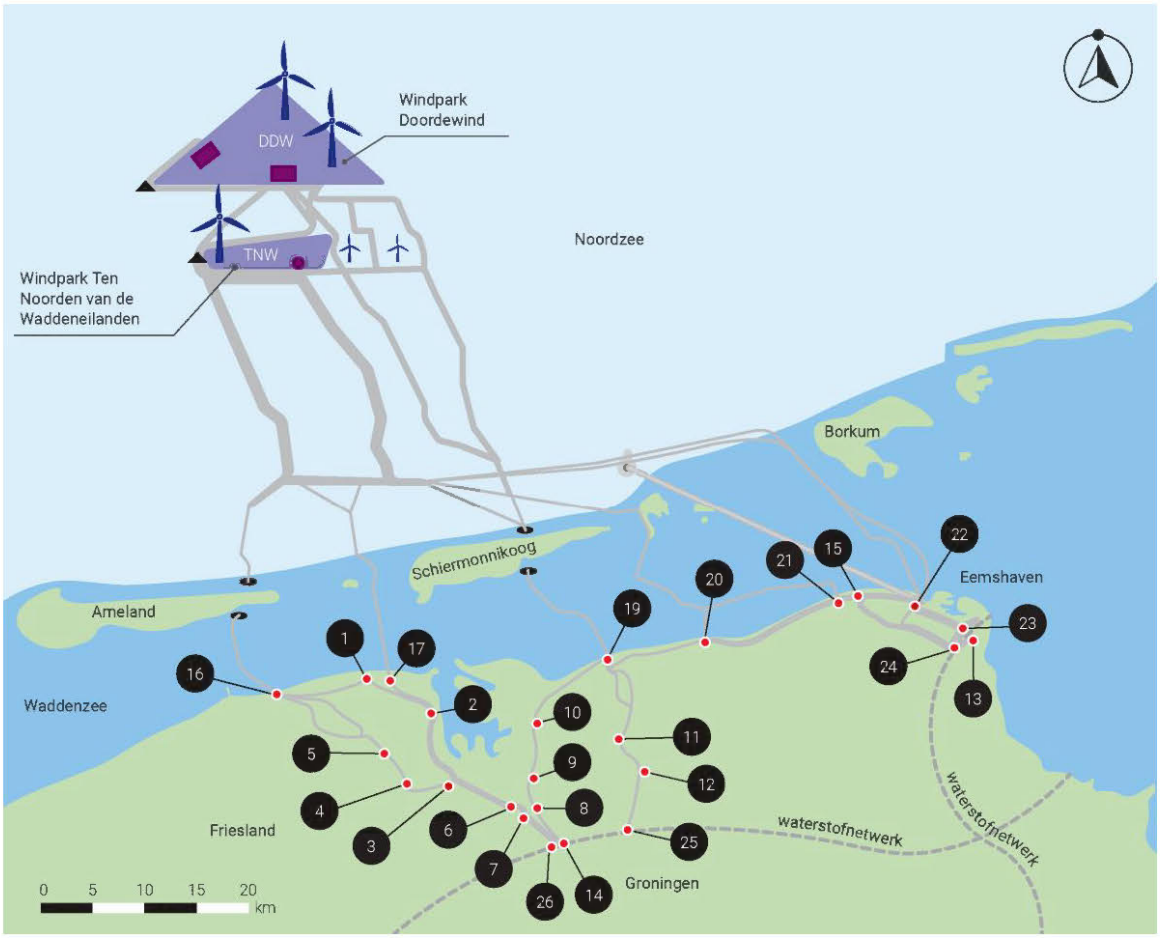
Aanlandingszone - aansluitpunt	Sluit aan op route door Waddengebied
Ten Westen van de Eemshaven → Eemshaven	II: Oude Westereems route, X: Tunnel route
Schiermonnikoog Wantij → Eemshaven	VII: Schiermonnikoog Wantij route
Ameland Wantij (nabij Ternaard) → Waterstofnetwerk Nederland	VIII: Ameland Wantij route
Zoutkamperlaag (nabij Moddergat) → Waterstofnetwerk Nederland	IX: Zoutkamperlaag route
Zoutkamperlaag (nabij Lauwersoog) → Waterstofnetwerk Nederland	IX: Zoutkamperlaag route

Uitgangspunt is dat de leidingen op land worden aangelegd met een open ontgraving. Primaire waterkeringen worden gekruist met een HDD-boring.

2.4.6 Aanlandingsstations en Afsluiterlocaties

In Afbeelding 2.8 staan de 25 locaties waar waterstof aanlandingsstations en afsluiterlocaties voor waterstof zijn onderzocht. Na optimalisatie is waterstof aanlandingsstation 18 vervallen.

Afbeelding 2.8 Te onderzoeken waterstof aanlandingsstations



3

METHODIEK

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk licht toe hoe de effectbeoordeling in de IEA plaatsvindt voor het thema landbouw. Er wordt nader ingegaan op de onderzochte criteria, de aanpak van het onderzoek, de onzekerheidsfactor en de beoordelingsmethodiek. Voorliggend deelrapport kan worden gezien als een samenvatting van het rapport Agrarische Waarden (bijlage I) en de verziltingsonderzoeken (bijlage II en III).

3.2 Aanpak

Om helder te krijgen welke impact het aanleggen van kabelsystemen en/of leidingen heeft op de landbouw, zijn er verschillende landbouw- en milieuonderzoeken uitgevoerd. In de Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD) is vastgelegd op welke onderzoeken, met welke diepgang zijn uitgevoerd. Zo zijn er onderzoeken uitgevoerd naar de lengte van de routes, het effect op bodemopbouw, het risico op plantenziekten, effecten naar opwarming van de bodem en de effecten op (de mate van) verzilting. De onderzoeken komen voor een gedeelte uit een zienswijze (formele reactie) van LTO Noord op de concept NRD. Een aantal voorstellen uit deze zienswijze van LTO Noord kunnen in deze fase van PAWOZ nog niet onderzocht worden, omdat de routes en manier van bouwen nog niet met voldoende detail zijn vastgelegd. Tabel 3.1 toont welke criteria in het deelrapport Landbouw zijn onderzocht en waar deze criteria zijn oorsprong vindt.

Tabel 3.1 Onderzochte criteria thema Landbouw

Onderdeel van onderzoek	Criteria	Oorsprong criterium
Agrarische waarden (bijlage I)	Routelengte	NRD
	Bodemopbouw	NRD
	Plantenziekten	Zienswijze LTO Noord
	Bodemopwarming	Zienswijze LTO Noord
Verzilting (bijlage II en III)	Verzilting	NRD

Onderzoeksaanpak

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de onderzoeksaanpak. Hierin zijn de vijf onderzochte criteria weergeven, samen met de onderzochte effecten en bijhorende onderzoeksaanpak.

Tabel 3.2 Criteria landbouw en onderzoeksaanpak

#	(Sub)criterium	Beschouwde effecten	Onderzoeksaanpak
1	**Routelengte** - routelengte in agrarische percelen; - aantal betrokken perceeleigenaren; - routelengte in huiskavels	1. Werkstroken, -terreinen en bouwwegen in agrarische percelen, waardoor (delen) bepaalde tijd niet gebruikt kunnen worden (verminderde inkomsten). 2. Menging van grond (hierna: grondroering) en extra belasting van bodem in agrarische percelen, waardoor er schade in de structuur van de bodem ontstaat. Dit wordt beperkt door cultuurtechnisch verantwoorde werkzaamheden, maar kan enkele jaren verminderde inkomsten veroorzaken (verminderde opbrengst en bruikbaarheid). 3. Onder zakelijk recht van opstal aanbrengen van ondergrondse infrastructuur in huiskavels.	Kwantitatieve GIS-analyse: meting op basis van openbaar beschikbare data*.
2	**Bodemopbouw**	1. Grondroering in agrarische percelen met als gevolg structuurschade, minder gewasopbrengst en verminderde bruikbaarheid perceel resulterend in verminderde inkomsten. 2. Bemaling: ontwateren van grondlagen met als gevolg compacter worden van de bodem (structuurschade, klink) resulterend in tijdelijk en beperkte effecten, mits zetting zorgvuldig cultuurtechnisch hersteld. 3. Belasting van werkterreinen door materieel leidt tot compactering/zetting van de bodem resulterend in gewasschade en verminderde opbrengst.	Bureaustudie op basis van openbaar beschikbare data (GIS-analyse) en expert judgement*. Gevoeligheid structuurschade bepalen door meting van raakvlakken van route met aanwezige grondsoorten, in combinatie met gevoeligheden voor structuurschade. Waarde-indicatie geteelde gewassen bepalen door meting van raakvlakken met geteelde gewassen, in combinatie met per gewas vastgestelde gewaswaarde (bron: Gasunie).
3	**Plantenziekten**	1. Grondtransport zorgt voor verhoogd risico besmetting schone (delen van) percelen met plantenziekten resulterend in gewasschade, verminderde opbrengst. 2. Verplaatsing materieel tussen percelen zorgt voor verhoogd risico besmetting schone percelen met plantenziekten resulterend in gewasschade, verminderde opbrengst, waardevermindering grond.	Bureaustudie op basis van openbaar beschikbare data*. De waarde bepalen door vermenigvuldiging van bepaalde waarde-indicatie voor geteelde gewassen langs de route, met gemeten lengte van route gelegen in akkerbouwpercelen.
4	**Opwarming bodem**	1. Ondergrondse kabelsystemen en leidingen leiden tot temperatuurverschil in en onder teelaarde laag van agrarische percelen. Dit kan ongelijkmatige gewassengroei veroorzaken, met inkomstenderving als gevolg. 2. Kabels en leidingen zijn verschillend qua maximale temperatuur, constructie, frequentie en duur van momenten waarop hoogste temperatuur wordt bereikt. Hierdoor verschilt de impact.	Bureaustudie op basis van openbaar beschikbare data, modellering en expert judgement*. De waarde bepalen, door omvang van het gebied waarop ongelijkmatige groei wordt verwacht te vermenigvuldigen met waarde-indicatie van de gewassen (bron: Gasunie) langs route.
5	**Verzilting**	1. Bij de werkzaamheden bij de aanleg van kabelsystemen en leidingen worden mogelijk zoetwatersystemen doorkruist. Landbouw is afhankelijk van deze zoetwatersystemen omdat het zorgt voor zoetwaterzekerheid in de wortelzone. Door de historische inpoldering en de ligging van het studiegebied, vormt verzilting een risico. Beschouwd wordt het effect op de zoetwatersystemen.	Bureaustudie op basis van openbaar beschikbare data, veldonderzoek, modellering en expert judgement*. De effecten bepalen met grondwatermodel (dichtheidsafhankelijke stroming) gesimuleerd voor representatieve standaardsituaties voor de variabiliteit in bodem, grondwater, kwel, zoet-zout situatie en de werkwijze van aanleg langs routes.

* Rekening houdend met de aanwezige kennisleemtes en routeonzekerheid in deze fase.

Onzekerheidsfactor

In deze fase van het Programma is het nog niet duidelijk hoeveel opgewekt vermogen er in de toekomst naar land moet worden getransporteerd. Wel is per route, op basis van een (vergunnings)technische beschouwing, bepaald wat het minimale en maximale aantal aan te leggen leidingen of kabelsystemen is. De routes zijn globaal uitgewerkt en als lijn (de centerline) met contour (de corridor) weergeven (zie hiervoor ook de Notitie Routeontwikkeling deel 2). Het ontbreken van deze precieze gegevens beïnvloedt het onderzoek. Kortgezegd: voor meer detail in de analyses is meer duidelijkheid nodig over de precieze ligging en het te transporteren vermogen over de route. Daarom is er in het Agrarisch Waardenonderzoek een onzekerheidsfactor meegenomen, bepaald door:

- routeonzekerheid: De effecten op de landbouw zijn onderzocht op de centerline van de corridor. In de vervolgfases wordt een precieze route bepaald. De kans is groot dat deze route afwijkt van de centerline. Hoe verder van de centerline af, hoe groter de kans dat de resultaten uit dit onderzoek niet kloppen. Om hier rekening mee te houden zijn de varianten 'noord' en zuid' toegevoegd aan de randen van de corridor. Deze extra lijnen zijn ook beoordeeld om het verschil met de centerline aan te duiden in procenten;
- minimale en maximale configuratie: Per route is zowel de minimale als maximale aantal kabelsystemen of leidingen beschouwd. De minimale configuratie is één kabelsysteem of één leiding per route. De maximale configuratie is het aantal kabelsystemen en leidingen dat technisch in de corridor past.

Beoordelingsmethodiek achtergrondrapporten

De achtergrondrapporten Agrarische waarden en Verzilting (zie bijlages I tot en met III) gebruiken een andere beoordelingsschaal en -methode dan de standaard beoordelingsschaal van de IEA-deelrapporten. Dit leidt daardoor tot een verschil tussen de definitieve beoordeling in het IEA-hoofdrapport en de deelbeoordelingen in het Agrarische Waardenonderzoek en Verziltingsonderzoek.

Beiden achtergrondrapporten geven namelijk een vergelijking ten opzichte van de route met de meeste effecten, ze beoordelen dus relatief. In de beoordelingssystematiek van de IEA-deelrapporten wordt elke route afzonderlijk beoordeeld op de effecten, en niet in relatie tot andere routes. Er wordt dus puur gekeken naar het optreden en de verwachte impact van effecten op de betreffende route.

Tabel 3.3 Beoordelingsschaal deelrapporten Agrarische waarden en Verzilting

Aspect	Score	Index resultaat	Toelichting
Agrarische waarden: routelengte, bodemopbouw, plantenziekten en bodemopbouw (criteria 1 t/m 4)	0	0-25	Minimaal 75 % minder impact op de agrarische bedrijfsvoering dan de route met het meest negatieve resultaat.
	-	25-50	50 % tot 75 % minder impact op de agrarische bedrijfsvoering dan de route met het meest negatieve resultaat.
	- -	50-75	25 % tot 50 % minder impact op de agrarische bedrijfsvoering dan de route met het meest negatieve resultaat.
	- - -	75-100	Maximaal 25 % minder impact op de agrarische bedrijfsvoering dan de route met het meest negatieve resultaat.
Verzilting (criteria 5)		Beperkt	Beperkte kans op verziltingsrisico door onttrekking.
		Onzeker	Onzekere kans op verziltingsrisico door onttrekking.
		Hoog	Hoge kans op verziltingsrisico door onttrekking.

Beoordelingsmethodiek IEA-deelrapporten

De beoordelingsschaal voor het IEA-hoofdrapport is weergegeven in Tabel 3.4 en loop van (++) naar (---) op een 6-puntschaal. Alle gevonden effecten in alle deelrapporten moeten worden beoordeeld op deze schaal.

Tabel 3.4 Beoordelingsschaal vanuit Notitie Reikwijdte en Detailniveau

Score	Methodiek	Wanneer van toepassing
++	sterk positief effect ten opzichte van de referentiesituatie	Dit zijn effecten die leiden tot een sterke verbetering ten opzichte van de referentiesituatie
+	positief effect ten opzichte van de referentiesituatie	Dit zijn effecten die leiden tot een verbetering ten opzichte van de referentiesituatie
0	neutraal effect ten opzichte van de referentiesituatie	Dit zijn effecten die geen verschil ten opzichte van de referentiesituatie veroorzaken
-	licht/beperkt negatief effect ten opzichte van de referentiesituatie	Dit zijn effecten die een licht negatief effect ten opzichte van de referentiesituatie veroorzaken
- -	negatief effect ten opzichte van de referentiesituatie	Dit zijn effecten die een negatief effect ten opzichte van de referentiesituatie veroorzaken, waarbij er zicht op mitigatie is
- - -	sterk negatief effect ten opzichte van de referentiesituatie	Dit zijn effecten die een negatief effect ten opzichte van de referentiesituatie veroorzaken, waarbij er geen zicht op mitigatie is

Toelichting op beoordelingsschaal

Een positieve score (++/+) wordt alleen gegeven als de kwaliteit van het beoordelingsaspect verbetert ten opzichte van de referentiesituatie. Dit komt in de praktijk niet of nauwelijks voor. Een neutrale score (0) wordt gegeven als de er geen effect wordt gevonden.

Een effect wordt als sterk negatief effect (---) beoordeeld als bijvoorbeeld blijkt dat een gevonden effect in strijd is met de normering vanuit vastgestelde wet- en regelgeving. Indien dit effect voorkomen of fors verminderd kan worden (gemitigeerd) dan kan de beoordeling na vaststelling daarvan aangepast worden naar een 'negatief effect' (--). In alle andere gevallen is de beoordeling van een effect daarmee 'licht negatief'.

Beoordeling gevonden effecten landbouwonderzoeken

Zoals aangegeven zijn de beoordelingen in de achtergrondrapporten Agrarische Waardenonderzoek en het Verziltingsonderzoek 'relatieve' beoordelingen. Deze beoordelingen zijn dan ook niet één op één te vertalen naar de beoordeling in het IEA-hoofdrapport. Daarin wordt namelijk puur gekeken naar de impact van het gevonden effect op de route in relatie tot de referentiesituatie: wat gebeurt er als er geen kabelsystemen of leidingen worden aangelegd?

Aangezien er geen effecten gevonden zijn die in wet- en regelgeving vastgestelde normeringen overschrijven, worden alle gevonden effecten beoordeeld met een '*licht negatief ten opzichte van de referentiesituatie*' (-). Toch zijn de effecten zelf per route onderscheidend. Dit is terug te vinden in de beoordelingen in de bijlagen. Deze informatie kan bij het besluit in het programmadocument PAWOZ meegewogen worden als beslisinformatie.

Belangrijkste parameter die van invloed is op de effecten is de lengte van de landroute: hoe langer de route, hoe meer effect er optreedt. Een deel van de effecten kan mogelijk voorkomen of verminderd worden door mitigerende maatregelen te nemen. Deze maatregelen zijn benoemd in de achtergrondrapporten en worden kort samengevat in hoofdstuk 6 dan die deelrapport Landbouw.

4

RESULTATEN

Deze vat de belangrijkste resultaten die naar voren zijn gekomen in de effectanalyse vanuit landbouw samen en geeft aan voor welke routes deze gelden. Tabel 4.1 geeft een overzicht van de beoordeling van routes ten opzichte van de referentiesituatie. Zoals is aangegeven in paragraaf 3.2 is voor alle routes een licht negatieve (-) beoordeling van toepassing. Een uitgebreide beschrijving van de resultaten is opgenomen in Bijlage I t/m III.

Verschil minimale en maximale configuratie

Bij aanleg van extra kabelsystemen en/of leidingen op dezelfde route worden geen grote veranderingen (negatief of positief) in effecten verwacht. De meeste effecten zullen zich herhalen en kunnen bij elkaar worden opgeteld. Hierdoor blijven de verhoudingen tussen de routes gelijk en wordt de effectbeoordeling van de minimale en maximale configuratie gelijkgesteld.

Uitzondering hierop is het criteria bodemopwarming. Extra kabelsysteem/kabelsystemen en/of leiding(en) zorgen voor een grotere temperatuurstijging onder de grond (een bredere opgewarmde zone), wat plantengroei kan verstoren. Bij de maximale configuratie is dit effect daardoor het grootst.

Routelengte

De landroutes liggen bijna helemaal in agrarisch gebied en hebben een negatieve impact op de agrarische bedrijfsvoering. Dit veroorzaakt het risico op inkomstenverlies en waardevermindering van de grond. Deze gevolgen worden groter naarmate de route langer is, meer perceeleigenaren betrokken zijn en de route door meer huiskavels loopt.

Routelengte in agrarische percelen

Veel routes eindigen in de omgeving van de Eemshaven. Hoe verder de aanlandlocatie op land naar het westen ligt, hoe langer de route in agrarische percelen wordt. De langste route is de VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A. De kortste route is de II: Oude Westereems landroute A.

Een aantal routes voor leidingen heeft een aanlandlocatie op land in het westelijk deel van het projectgebied vanwaar de route richting de stationslocaties in de omgeving Grijpskerk/Zuidhorn gaat. De VIII: Ameland Wantij landroute A is hier de langste route en de VII: Schiermonnikoog Wantij landroutes B en B1 de kortste routes.

Aantal betrokken perceeleigenaren

Uit de resultaten blijkt dat het aantal betrokken perceeleigenaren hetzelfde toeneemt als de routelengte in agrarische percelen. Lokale verschillen hebben weinig invloed op de totaal routebeoordeling.

Routelengte in huiskavels

Langere routes hebben meer kans om huiskavels te kruisen. De meeste bebouwing is in het westen en zuiden van het Lauwersmeer. Hierdoor hebben de VIII: Ameland Wantij landroutes B en B1 de grootste routelengte in huiskavels. Het valt op dat de II: Oude Westereems landroute A en de V: Boschgat landroute A in verhouding weinig routelengte in huiskavels hebben. Uit de routeonzekerheid volgt voor een aantal routes dat een andere ligging van de route binnen de corridor dan de centerline tot een aanmerkelijke verhoging kan leiden van de routelengte in huiskavels.

Bodemopbouw

De impact van de routes op het criterium bodemopbouw wordt bepaald door de hoeveelheid structuurschade, wat afhankelijk is van de lengte van de route, de gevoeligheid van de aanwezig grondsoorten voor structuurschade en de economische waarde van de agrarische grond. Uit de analyse blijkt dat de routelengte hierin bepalend is.

Dit komt doordat de gemiddelde gevoeligheid voor structuurschade en de gemiddelde financiële waarde van de gewassen minder van elkaar verschillen dan de routelengte in agrarische percelen. De langste routes hebben daarom de hoogste gevoeligheid voor structuurschade. Daarom zijn de effecten hetzelfde als bij het criteria routelengte.

Plantenziekten

Per route is de kans op risico's door de verspreiding van plantenziekten bepaald. De routelengte is hierin bepalend. De langste routes hebben het hoogste risico's op verspreiding van plantenziekten. Daarom zijn de effecten hetzelfde als bij het criteria routelengte

Bodemopwarming

Het effect van bodemopwarming verschilt tussen de minimale en maximale configuratie. Dit wordt onderstaand nader toegelicht. Voor deze analyse zijn projectspecifieke randvoorwaarden gekozen als basis voor het bepalen van de breedte van de opgewarmde zone. Aangenomen wordt dat de gewasontwikkeling in verstorende mate wordt beïnvloed vanaf een temperatuurverschil van meer dan 2 graden Celsius. Ook is het aangenomen dat bepalende diepte voor de gewasontwikkeling op ongeveer 0,40 m beneden maaiveld ligt. Deze randvoorwaarden hebben als doel om in beeld te brengen of langs de routes een groter of juist kleiner gebied ontstaat waar de opwarming van de bodem toeneemt tot boven deze randvoorwaarden. Hiermee ontstaat een representatieve vergelijking tussen de routes van het risico dat de bodemopwarming de gewasontwikkeling beïnvloedt. De daadwerkelijke mate waarin de gewasontwikkeling wordt beïnvloed door de opwarming van de bodem, is in deze fase niet bepaald. Dit vraagt om een detailniveau van het onderzoek dat niet passend is bij deze fase van PAWOZ.

Minimale configuratie

Bij één kabelsysteem wordt de minste impact verwacht langs de Boschgat Landroute A en de Oude Westereems Landroute A. De meeste impact van bodemopwarming wordt verwacht langs de langste routes: de VII Schiermonnikoog Wantij landroutes A en A1. De verschillen in de gemiddelde financiële waarde voor gewassen, grondsoorten en grondwaterstanden zijn in vergelijking met het verschil in routelengte in akkerbouwpercelen klein. Hierdoor is de routelengte bepalend voor het criterium bodemopwarming.

Bij één leiding is de verwachting volgens de modelberekeningen dat de temperatuur niet meer dan 2 graden Celsius zal stijgen. Daarmee wordt er bij een leiding geen overschrijding van de gebruikte grenswaarde vanuit bodemopwarming verwacht.

Maximale configuratie

Het aantal kabelsystemen, gegeven de maximale configuratie, verschilt per route. Hierdoor is er ook een groot verschil in breedte van de opgewarmde zone. Daarom is het aantal kabelsystemen bepalend voor de impact. In de V: Boschgat landroutes (1 kabelsysteem) wordt de minste impact verwacht. De hoogste impact wordt verwacht in de VII: Schiermonnikoog Wantij landroutes A en A1 (7 kabelsystemen).

Voor de leidingen is de maximale configuratie bij alle routes gelijk: 3 leidingen. De minste impact wordt verwacht langs de II: Oude Westereems landroute A1 en de VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B. De hoogste impact wordt verwacht langs de VII: Schiermonnikoog Wantij landroutes A en A1.

Verzilting

Voor de verzilting zijn twee aparte onderzoeken uitgevoerd: één voor kabelsystemen (bijlage II) en één voor leidingen (bijlage III). Beide onderzoeken hebben een vergelijkbare conclusie.

De berekeningen laten zien dat de verwachting is dat het zoutgehalte (de verzilting) toeneemt bij aanleg van kabelsystemen en leidingen. Na bemaling bij een open ontgraving verdwijnt het zoete water ter plaatse van het kabelsysteem of de leiding. Verder weg van de sleuf zijn de effecten groter voor zandige grond dan voor zavelige/kleiige grond. Dit komt doordat zanderige grond meer water doorlaat.

Op 20 meter van het kabelsysteem of leiding is het effect op de afname van zoet water maar 5 cm. Dit verschil bevindt zich vooral in de grondwaterstand. De verandering in de grens tussen zoet en zout water is heel klein. Dit is belangrijk, omdat de verwachting is dat grondwater zich sneller hersteld dan de grens tussen zoet en zout water.

De grootste impact voor de landbouw wordt verwacht waar de zoetwatervoorraad al klein is. Kleine veranderingen in de zoetwatervoorraad kunnen daar het verschil maken tussen wel of geen schade door zout water. In alle gevallen is er sprake van herstel, de onderlinge hersteltijden verschillen echter afhankelijk van het bodemtype.

Kabelsystemen
Het verziltingrisico door de aanleg van kabelsystemen is niet per landroute bepaald. Er is gekeken naar standaardprofielen voor de VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A. In een projectfase kan elk perceel langs de route gekoppeld worden aan het meest vergelijkbare onderzochte standaardprofiel.

Leidingen
Het verziltingsrisico van de landroutes voor leidingen is verdeeld in klassen: laag, onzeker, en hoog. De VII: Schiermonnikoog Wantij landroutes B en B1 bevatten een relatief kleine oppervlakte aan percelen waar onzeker tot hoge verziltingsrisico's verwacht worden. De VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A en de VIII: Ameland Wantij landroutes A, B en B1 hebben een relatief groot oppervlak aan percelen waar onzeker tot hoge verziltingsrisico's verwacht worden. Het verschil tussen de routes komt door de routelengte. De verhouding tussen de risicoklassen (kans op verzilting) is voor alle routes vergelijkbaar.

De resultaten van het verziltingsrisico zijn op route-niveau betrouwbaarder dan op het niveau van individuele percelen vanwege de beschikbare databronnen.

Tabel 4.1 Overzicht beoordelingen thema Landbouw

Routes	II: Oude Westereems landroute		II: Oude Westereems landroute		II: Oude Westereems landroute		II: Oude Westereems landroute		V: Boschgat landroute		V: Boschgat landroute		V: Boschgat landroute		V: Boschgat landroute		VII: Schiermonnikoog Wantij landroute		VII: Schiermonnikoog Wantij landroute		VII: Schiermonnikoog Wantij landroute		VII: Schiermonnikoog Wantij landroute		VII: Schiermonnikoog Wantij landroute	
Variant	A		A		A1		A1		A		A1		B		B1		A		A		B		B1		C	
Kabels / leidingen	K		L		K		L		K		K		K		K		K		L		L		L		L	
Centerline (1) / de gehele corridor (C) of zoekgebied (Z)	1	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1	C	1	C
Routelengte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bodemopbouw	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plantenziekten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bodemopwarming	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Verzilting	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 14.2 Overzicht beoordelingen thema Landbouw (Vervolg)

Routes en aanlandingspunt tunnel	**VIII: Ameland Wantij landroute**		**VIII: Ameland Wantij landroute**		**VIII: Ameland Wantij landroute**		**IX: Zoutkamperlaag landroute**	
Variant	A		B		B1		B	
kabels / leidingen	L		L		L		L	
centerline (1) / de gehele corridor (C) of zoekgebied (Z)	1	C	1	C	1	C	1	C
Routelengte	-	-	-	-	-	-	-	-
Bodemopbouw	-	-	-	-	-	-	-	-
Plantenziekten	-	-	-	-	-	-	-	-
Bodemopwarming	-	-	-	-	-	-	-	-
Verzilting	-	-	-	-	-	-	-	-

5

CONCLUSIE

Vanuit de effectbeoordeling wordt geconcludeerd dat alle routes effect hebben op de agrarische bedrijfsvoering. De routelengte is de meeste bepalende factor voor alle onderzochte effecten: hoe langer de route over land, hoe groter de effecten op de landbouw. Andere onderzochte criteria zijn beperkt onderscheidend en nemen evenredig toe met de routelengte. Het verschil tussen de minimale en maximale configuratie is beperkt onderscheidend: de onderlinge verhouding is nagenoeg gelijk. Enkel bij het criterium bodemopwarming varieert de impact van de maximale configuratie ten opzichte van de impact van een enkel kabelsysteem of leiding door het grote verschil in breedte van de opgewarmde zone.

6

MITIGERENDE MAATREGELEN EN VERVOLGSTAPPEN

Uit het onderzoek blijkt dat er effecten zijn. De routelengte/aanlegtechniek is veelal bepalend voor de onderzochte effecten. Door het toepassen van mitigerende maatregelen kunnen de effecten verminderd worden.

Hiernaast verdient het aanbeveling om in de vervolgfase (project-mer) samen met de landeigenaren de vervolgstap in het ontwerp te maken, zodat effecten voorkomen/geminimaliseerd kunnen worden. In Tabel 6.1 zijn per onderzocht criteria de mitigerende maatregelen weergeven die het effect op het onderzochte criteria kunnen beperken.

Tabel 6.1 Mitigerende maatregelen en vervolgstappen per criteria

Criteria	Mitigerende maatregelen	Vervolgstappen
Routelengte	- meerdere verbindingen tegelijk aanleggen; - optimale ruimtelijke inpassing ten aanzien van de kadastrale grenzen, om zo het aantal betrokken perceeleigenaren en de routelengte in huiskavels te beperken.	- inrichten omgevingsproces: vroegtijdig gesprekken met de betreffende perceeleigenaren.
Bodemopbouw	- meerdere verbindingen tegelijk aanleggen; - minder grondwerk door inzet HDD-boringen of innovatie uitvoeringsmethoden; - optimale ruimtelijke inpassing op basis van aanvullende informatie uit veldwerkonderzoek.	- fijnmazig bodemonderzoek (gebied kent hoge variatie in opbouw), om tot een optimale cultuurtechnische uitvoeringswijze en cultuurtechnisch herstel te komen; - voortdurende monitoring van innovatieve aanlegtechnieken en de toepasbaarheid ervan voor PAWOZ; - inventariseren van mogelijkheden om door middel van bundeling te zorgen voor beperking van het aantal uitbreidingen dat in de routes wordt aangelegd.; - nader onderzoek naar kennisleemtes.
Plantenziekten	- meerdere verbindingen tegelijk aanleggen; - minder grondwerk door inzet HDD-boringen of innovatie uitvoeringsmethoden; - optimale ruimtelijke inpassing op basis van aanvullende informatie uit veldwerkonderzoek.	- fytosanitair bodemonderzoek om zoveel mogelijk informatie en inzicht te verkrijgen in de aanwezigheid van planten- en bodemgebonden ziekten en plagen; - voortdurende monitoring van innovatieve aanlegtechnieken en de toepasbaarheid ervan voor PAWOZ; - inventariseren van mogelijkheden om door middel van bundeling te zorgen voor beperking van het aantal uitbreidingen dat in de routes wordt aangelegd; - nader onderzoek naar kennisleemtes.

Criteria	Mitigerende maatregelen	Vervolgstappen
Bodemopwarming	- optimalisatie diepteligging van de kabelsystemen en leidingen: diepere aanleg beperkt de opwarming van de bodem in de wortelzone van de gewassen en verhoogt de afvoer van warmte door het grondwater; - optimalisatie ontwerp door toepassing van maatregelen in en om de sleuf om de warmteafgifte naar de omgeving te bevorderden, waardoor de minder stijging van bodemtemperatuur t.p.v. de wortelzone.	- verwerken van specifieke bodem- en grondwatercondities; - bepalen en toepassen van gedetailleerde uitgangspunten voor het energietransport door de kabelsystemen en leidingen; - het verwerken van een warmteverliesberekening voor de waterstofleidingen, op basis van de specifieke bedrijfscondities.
Verzilting	- in de studies is uitgegaan van aanleg volgens de standaard open ontgravingsmethode. Hoe meer een mitigerende maatregel de hoeveel water die wordt onttrokken (totale onttrokken debiet) kan verkleinen, hoe groter de verwachte effectiviteit van de maatregel. Het totale onttrokken debiet kan worden verkleind door de onttrekkingsduur te verkorten en/of het debiet te verkleinen.	- in projectfase onderzoeken waar inzet van HDD-boringen (om bemaling fors te verkleinen) mogelijk is.

7

LEEMTES IN KENNIS

De effectbeoordeling die beschreven is in dit rapport is grotendeels gebaseerd op openbaar beschikbare data, zoals kadastrale data. Zie hiervoor ook Tabel 3.2 in Hoofdstuk 3. Voor een aantal criteria is hiernaast ook gewerkt met aannames van experts (expert judgement), omdat precieze informatie ontbreekt. Dit worden kennisleemtes genoemd. Tabel 7.1 geeft per onderzocht criterium aan welke kennisleemtes er zijn.

Tabel 7.1 Kennisleemtes per criterium

#	Criterium	Kennisleemtes
1	Routelengte	Geen
2	Bodemopbouw	Geen
3	Plantenziekten	- geen informatie over de aanwezigheid van plantenziekten in bepaalde gebieden op dit moment; - geen informatie over de besmettelijkheid van specifieke plantenziekten door de aanlegwerkzaamheden; - geen informatie over de gevoeligheid van verschillende gewassen voor plantenziekten.
4	Opwarming bodem	- geen informatie over het echte effect van verhoogde bodemtemperatuur op de gewasontwikkeling. Dit is onvoldoende bekend om een nauwkeurigere analyse uit te voeren; - geen informatie van het chloridegehalte in het grondwater op de verspreiding van warmte in de bodem. - geen informatie over de invloed van opwarming op de bodemstructuur en het bodemleven.
5	Verzilting	- de bodem en kwel zijn gebaseerd op beschikbare gegevens van regionale en landelijke schaal. Deze databronnen geven op regionale schaal een goed beeld van de variatie, maar per individuele percelen kan de data verschillen van de werkelijkheid. Dit betekent dat de resultaten van dit onderzoek het verziltingsrisico op route-niveau beter weergeeft dan op het niveau van individuele percelen.

8

AFKORTINGEN- EN BEGRIPPENLIJST

Tabel 8.1 Lijst met begrippen

Term	Toelichting
66kV-kabels (AC)/66kV-wisselstroomkabels	Ten behoeve van het transporteren van elektriciteit (wisselstroom) vanaf de turbines naar het platform op zee.
220kV-kabels (AC)/220kV-wisselstroomkabels	Ten behoeve van het transporteren van elektriciteit (wisselstroom) vanaf het platform op zee naar het transformatorstation op land.
380kV-kabels (AC)/380kV-wisselstroomkabels	Ten behoeve van het transporteren van elektriciteit (wisselstroom) vanaf converterstation of transformatorstation naar het aansluitpunt landelijke 380kV-net op land.
525kV-kabels (DC)/525kV-gelijkstroomkabels	Ten behoeve van het transporteren van elektriciteit (gelijkstroom) vanaf het platform op zee naar het converterstation op land.
Aanlandingszone	Zone waar de kabelsystemen voor elektriciteitstransport en waterstofleidingen voor waterstoftransport op zee aan het vasteland komen en de (primaire) zeewering kruisen.
Aanlandingspunt tunnel	Het punt waar de tunnel begint in of nabij de Eemshaven. Hier komt een schacht waar de kabelsystemen en/of leidingen de tunnel ingaan.
Aanlegtechnieken	Technische methoden waarmee de verschillende onderdelen van het project worden gerealiseerd. Een voorbeeld van een aanlegtechniek is: boren.
Aansluitpunt	Punt van een (bestaand) hoogspanningsstation of het Waterstofnetwerk Nederland waarop respectievelijk kabelsystemen voor elektriciteitstransport of waterstofleidingen worden aangesloten.
ADC-toets	Een streng toetsingskader dat wordt gebruikt wanneer uit een Passende Beoordeling blijkt dat significante effecten op Natura 2000-gebieden vooralsnog niet kunnen worden uitgesloten. Bij een ADC-toets moet een project aan drie voorwaarden voldoen: A: er geen alternatieven zijn; D: sprake is van dwingende redenen van groot openbaar belang; C: de nodige compenserende maatregen worden getroffen om te waarborgen dat de algehele samenhang van Natura 2000 bewaard blijft.
Afsluiterlocatie	Omheinde installaties waar bedienbare afsluiters zitten die de gasstroom in de ondergrondse leiding kunnen regelen.
Alternatief	Een andere manier dan het voornemen om (in aanvaardbare mate) tegemoet te komen aan de doelstelling(en). De Wet milieubeheer schrijft voor, dat in een MER alleen alternatieven moeten worden beschouwd, die redelijkerwijs in de besluitvorming een rol kunnen spelen.
Autonome ontwikkeling	Op zichzelf staande ontwikkelingen die een verandering in het plangebied tot gevolg hebben, die onafhankelijk van het voornemen plaatsvinden en waarover al een besluit is genomen. Bijvoorbeeld wanneer deze ontwikkelingen vastgesteld zijn in een ruimtelijk plan of de vergunning ervoor is verleend. Over de uitvoering ervan bestaat voldoende zekerheid.
Autonome processen	Ontwikkelingen in de fysieke omgeving die onafwendbaar zijn en een gegeven zijn voor de toekomstige staat van de kenmerken van de omgeving. Het betreft bijvoorbeeld zeespiegelstijging en andere gevolgen van klimaatverandering. In het algemeen leiden deze processen over een lange periode pas tot relevante veranderingen.
Ballonplaat	Dit is een zandplaat op de Noordzee ongeveer 4 kilometer ten noorden van Rottumerplaat. Hier is de zee redelijk ondiep en de bodem redelijk stabiel. In dit gebied wordt onderzocht waar het intredepunt van de tunnel zou kunnen komen.

Term	Toelichting
Baseline(s)	Het 'bevriezen' van het ontwerp (o.a. uitgangspunten, route), zie 'bevriesmoment'. Onderdeel van het iteratieve proces. Baseline 0 = vastgesteld in de NRD; Baseline 1 = nadere uitwerking in de fase routeontwikkeling; Baseline 2 = optimalisatie van baseline 1. Op dit niveau worden de effecten beoordeeld; Baseline 3 = optimalisatie op basis van de effectenbeoordeling.
Belanghebbende	Iemand die bij dit programma een bepaald belang heeft, bijvoorbeeld een overheid, (maatschappelijke) organisatie, grondeigenaar, agrariër of een bewoner.
Beoordelingsaspect (milieuaspect)	Een beoordelingsaspect/milieuaspect is een onderwerp dat binnen een MER wordt onderzocht. Bijvoorbeeld het beoordelingsaspect 'Bodem en Water'. Elk aspect is vertaald naar één of meerdere deelaspecten. Bijvoorbeeld het deelaspect 'Bodem' of 'Grondwater' binnen het beoordelingsaspect 'Bodem en water'.
Beoordelingskader	Lijst met daarin alle criteria die per (milieu)aspect onderzocht worden in het MER.
Beoordelingsschaal	Schaal die aangeeft hoe een criterium beoordeeld wordt in het MER. Deze schaal maakt onderscheid tussen positieve, neutrale en negatieve beoordelingen.
Bevoegd gezag	Overheidsorgaan dat bevoegd is een besluit te nemen over het voornemen van de initiatiefnemer.
Bevriesmoment	Momenten in de tijd (binnen het proces) wanneer het ontwerp wordt 'bevroren'.
Centerline	De middellijn van een route voor de kabelsystemen en/of waterstofleidingen. Elke route heeft een effectbeoordeling voor de situatie waarbij 1 kabelsysteem of 1 waterstofleiding op deze middellijn wordt aangelegd.
Commissie voor de milieueffectrapportage (Commissie mer)	Onafhankelijke, bij wet ingestelde, commissie die het bevoegd gezag adviseert over de reikwijdte en detailniveau van het MER en de beoordeling van de kwaliteit van het MER.
Compenserende maatregelen	Wanneer na het toepassen van mitigerende maatregelen restschade overblijft dan kunnen compenserende maatregelen getroffen worden. Bijvoorbeeld; bomen moeten worden gekapt. Het aanplanten van nieuwe bomen op een andere plek is dan een compenserende maatregel.
Configuratie	Manier waarop iets is opgebouwd uit losse componenten. In PAWOZ-Eemshaven betekent dit een specifieke samenstelling van kabelsystemen en/of leidingen in een route. Een configuratie is bijvoorbeeld één DC-kabelsysteem en één waterstofleiding.
Converterstation	Station waar gelijkstroom wordt omgezet in wisselstroom en op het juiste spanningsniveau wordt gebracht.
Corridor	De maximale breedte van een route waarbinnen de kabelsystemen en/of waterstofleidingen kunnen komen te liggen. Deze corridor verschilt per route. Elke route heeft een effectbeoordeling voor de situatie waarbij de maximale configuratie in de corridor van de route wordt aangelegd.
Criterium	Een criterium is een maatstaf die gebruikt wordt om een beoordelingsaspect of deelaspect in het MER te beoordelen. Bijvoorbeeld het criterium 'invloed op zetting' om voor het deelaspect 'Grondwater' te beschrijven wat het effect is van grondwaterverlaging.
Cumulatie	De bij elkaar opgetelde effecten van verschillende ontwikkelingen samen. De verschillende ontwikkelingen kunnen zowel binnen als buiten het voornemen plaatsvinden.
Deelaspect	Een deelaspect is één van de onderdelen van een beoordelingsaspect. Bijvoorbeeld het deelaspect 'Bodem' of 'Grondwater' als onderdeel van het beoordelingsaspect 'Bodem en water'.
Deelrapport	Rapporten ter ondersteuning van het MER of IEA dat concentreert op een bepaald thema, bijvoorbeeld natuur, Landschap, Cultuurhistorie en Archeologie en Bodem en Water.
Demarcatie PAWOZ - pVAWOZ	Tussen de onderzoeken voor PAWOZ en pVAWOZ is gewerkt met zogenaamde demarcatiepunten. Omdat de onderzoeken van deze programma's gelijktijdig plaatsvinden is afgesproken tot waar PAWOZ een route onderzoekt en waar pVAWOZ start. Het demarcatiepunt is dus het punt waar de te onderzoeken routes van PAWOZ en pVAWOZ op elkaar aansluiten. Voor kabelsystemen ligt het demarcatiepunt ten westen van windgebied DDW. Voor leidingen ligt het demarcatiepunt ten westen van windgebied TNW.
Eems-Dollard verdrag	Overeenkomst tussen Nederland en Duitsland waarin afspraken zijn gemaakt over het gemeenschappelijk beheer en gebruik van het Eems-Dollard Verdragsgebied.
Elektriciteitskabel	Kabels met ondergrondse ligging ten behoeve van het transporteren van elektriciteit.

Term	Toelichting
EM-velden	Elektromagnetische velden als gevolg van de elektriciteitstransport door kabels of als gevolg van het transformatorstation en/of converterstation.
eParticipatie	Website die iedereen in staat stelt om online zijn of haar mening te geven of met nieuwe informatie of inzichten te komen.
Flens	Een afsluiter die kan worden toegepast op het uiteinde van een pijpleiding.
Gasunie	Gasunie is een netwerkbedrijf voor energie. Via Hynetwork Services (een 100% dochteronderneming van Gasunie) ontwikkelt Gasunie het waterstofnetwerk op land, Waterstofnetwerk Nederland. En Gasunie maakt zich klaar om ook het waterstofnetwerk op zee te ontwikkelen.
Gebruiksfuncties	De huidige en toekomstige functies in een gebied. Bijvoorbeeld, wonen, natuur of recreatie.
Gevoeligheidsanalyse	Een gevoeligheidsanalyse onderzoekt de invloed van veranderingen in de inputparameters op de uitvoer van een model of systeem.
Hoofdrapport	Dit zelfstandig leesbare document bevat de belangrijkste beslisinformatie uit de deelrapporten. Alleen onderscheidende en (sterk) negatieve effecten zijn in het hoofdrapport weergegeven.
Ingreep	Voor het uitvoeren van het voornemen (bijvoorbeeld: het aanleggen van een kabel) zijn verschillende ingrepen nodig (zoals graven, bemalen, baggeren of heien). Elke ingreep kan met verschillende aanlegtechnieken aangelegd worden. De relatie tussen elke ingreep en het effect op het milieu wordt beschreven onder ingreep-effectrelaties.
Ingreep-effectrelatie	Een ingreep-effectrelatie verwijst naar de relatie tussen het voornemen en het effect dat het voornemen veroorzaakt. Het voornemen bestaat uit verschillende ingrepen (bijvoorbeeld: graven, bemalen, baggeren of heien) welke in locatie, omvang en tijd verschillende effecten kunnen veroorzaken. Het beschrijven van de relatie wordt gebruikt om te begrijpen welke ingrepen welk effect hebben. Hiermee wordt de impact van het voornemen beoordeeld.
Initiatiefnemer	Een natuurlijk persoon, dan wel privaat- of publiekrechtelijk rechtspersoon (een particulier, bedrijf, instelling of overheidsorgaan) die een bepaalde activiteit wil (doen) ondernemen en daarover een besluit vraagt. Bij PAWOZ-Eemshaven is het Ministerie van Klimaat en Groene Groei de initiatiefnemer.
Integrale effectenanalyse (IEA)	Een analyse van de milieueffecten, kosten, omgeving, techniek, landbouw, planning en toekomstvastheid van de routes. Voor PAWOZ-Eemshaven is hiervoor een apart document opgesteld.
Intredepunt op de Noordzee	Het punt waar de tunnel begint bij de Ballonplaat op de Noordzee. Hier komt een schacht waar de kabelsystemen en/of leidingen de tunnel ingaan.
Iteratief proces	Een iteratief proces is een herhaaldelijke manier om een doel te bereiken of een probleem op te lossen. In plaats van alles in één keer te doen, worden kleine stappen gedaan en wordt telkens gekeken hoe het verbetert kan worden. Een cyclus van acties wordt herhaald, waarbij feedback en nieuwe inzichten worden gebruikt om elke keer beter te worden. In PAWOZ-Eemshaven wordt dit iteratieve proces gebruikt om de routes te verbeteren, dit wordt optimalisatie genoemd. Het doel van het optimaliseren van de routes is om negatieve effecten zoveel mogelijk te verminderen of zelfs helemaal weg te nemen. Het optimaliseren van de routes in een iteratief proces is de routeontwikkeling. Dit vindt plaats aan de hand van baselines.
Kabelcircuit	Set van drie fasedraden die samen een volwaardige eenheid vormen waarop driefasen-wisselspanning bedreven kan worden.
Kabelsysteem	Een kabelsysteem is een bundel van elektriciteitskabels dat bestaat uit twee parallelle kabelcircuits bij wisselstroom of één kabelcircuit + een glasvezelverbinding bij gelijkstroom. Het betreft alleen de elektriciteitskabels, niet het platform of transformator/converterstation.
Kilovolt (kV)	Eenheid van elektrische spanning.
Klimaatneutraal	Klimaatneutraal betekent dat we ervoor zorgen dat we geen schadelijke stoffen uitstoten die het klimaat veranderen. We compenseren of verminderen de schadelijke stoffen die we produceren.
Kofferdam	Een kofferdam is een tijdelijke constructie gemaakt van damwanden die wordt ingezet bij het aanleggen van infrastructuur. Het doel van de kofferdam is om aanzanding in een gebaggerde sleuf te voorkomen en de werkzaamheden te beschermen tegen golven en stromingen.
Kwelder	Kwelders zijn begroeide stukken land die direct, zonder duinenrij of dijken, aan zee grenzen. Ze liggen meestal langs ondiepe getijdengebieden zoals de Waddenzee of langs de Noordzeekust.

Term	Toelichting
	Bij storm of extra hoog water komt een kwelder onder water te staan. Kwelders spelen een belangrijke rol in de kustbescherming. Door de aanwezigheid van de begroeiing op de kwelders wordt het opstuiven van zand tegengegaan en wordt de kustlijn verstevigd. Bovendien bieden kwelders een leefgebied voor verschillende soorten vogels, vissen en andere dieren.
Lay-length	Dit is de afstand die nodig is om één omwenteling van de streng rond de diameter van de geleider te voltooien voor een kabelsysteem.
Milieueffectrapportage (mer)	De wettelijk geregelde procedure van milieueffectrapportage; een hulpmiddel bij de besluitvorming, dat bestaat uit het maken, beoordelen en gebruiken van een milieueffectrapport en het evalueren achteraf van de gevolgen voor het milieu van de uitvoering van een activiteit. Onder de Omgevingswet wordt de afkorting mer gebruikt.
mer-plicht	De verplichting tot het opstellen van een milieueffectrapport voor een bepaald besluit over een bepaalde activiteit.
Microreliëf	Onder microreliëf worden hoogteverschillen verstaan van minimaal 10 à 30 cm over afstanden van één tot drie meter.
Microtunnel	Pijpleiding aanlegtechniek waarbij tijdens de voortgang van het boorproces complete tunnelsecties ingeduwd worden om de boorgang te stabiliseren. Deze methode is technisch beperkt in lengte (ongeveer 2 km) en diameter (ongeveer 2 m).
Milieueffectrapport (MER)	Het rapport waarin de resultaten worden neergelegd van het onderzoek naar de milieueffecten van een voornemen en van de redelijkerwijs in beschouwing te nemen alternatieven daarvoor.
Mitigerende maatregelen	Maatregelen die worden genomen om de nadelige effecten van activiteiten of fysieke ingrepen te verminderen dan wel te voorkomen.
MW	Megawatt = 1.000 kilowatt (kW). kW is een eenheid van elektrisch vermogen.
MWh	Megawattuur = 1.000 kilowattuur (kWh). kWh is een eenheid van energie.
Monitoringsprogramma	Programma dat bijhoudt of de situatie beter of slechter wordt door de realisatie van het voornemen.
Morfodynamiek	De verandering van de zeebodem, het transport van sedimenten en het samenspel hiertussen.
Morfologie	Vorm van de zeebodem.
Natura 2000-gebieden	Ecologisch netwerk van speciale beschermingszones die zijn aangewezen in de Habitatrichtlijn of de Vogelrichtlijn. Volgens deze Europese richtlijnen moeten lidstaten specifieke diersoorten en hun natuurlijke leefomgeving (habitat) beschermen om de biodiversiteit te behouden.
Natuur Netwerk Nederland (NNN)	Het door de overheid nagestreefde en in beleidsnota's vastgelegde landelijke netwerk van natuurgebieden en verbindingszones daartussen.
Nearshore	Het gebied nabij de kust met geringere waterdiepte dan offshore gebieden. In het geval van PAWOZ-Eemshaven wordt hier het Waddengebied bedoeld.
Niet gesprongen explosieven (NGE)	In en op de zeebodem liggende niet gesprongen explosieven, overgebleven van de oorlogshandelingen in beide wereldoorlogen en van militaire activiteiten op zee. Voor de installatie van de kabelsystemen op zee kunnen niet gesprongen explosieven een gevaar opleveren voor de betrokkenen.
Nota van Antwoord	Een document met daarin een reactie op ontvangen vragen en opmerkingen uit de periode van ter inzage legging.
Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD)	De NRD geeft aan met wat (reikwijdte) en met welke diepgang (detailniveau) de alternatieven worden onderzocht en beschreven worden in het milieueffectrapport (MER).
NSG-Richtlijn laagfrequent geluid	De NSG-Richtlijn laagfrequent geluid is bedoeld om klachtenbehandelaars, met name akoestische onderzoekers, een handvat te bieden om een klacht over laagfrequent geluid te kunnen objectiveren. De Richtlijn geeft daarom een criterium (referentiecurve) waaraan het resultaat van geluidsmetingen in woningen kan worden getoetst. NSG is de Nederlandse Stichting Geluidshinder.
Offshore	Aanduiding voor op zee en een gebied zeewaarts van de 6-mijlszone. Vaak ook gerefereerd aan waterdieptes van meer dan 10 tot 20 meter.
Omgevingsbesluit	In bijlage V van dit besluit staat een lijst met zowel de mer-plichtige als de mer-beoordelingsplichtige activiteiten opgenomen en de daarvoor benodigde besluiten.

Term	Toelichting
Omgevingsplan	Het omgevingsplan bevat algemene regels van de gemeente voor de fysieke leefomgeving. Iedere gemeente heeft 1 omgevingsplan onder de Omgevingswet. Het omgevingsplan vervangt het geldende bestemmingsplan en de beheersverordening uit de Wet ruimtelijke ordening.
Omgevingswet	Wet in Nederland, die per 1 januari 2024 is ingegaan, waarin alle wetten zijn samengevoegd die met de fysieke leefomgeving, waaronder ook het milieu, te maken hebben.
Onshore	Aanduiding voor 'op land'.
Open planproces	Het proces waarin de provincie Groningen en gemeente Het Hogeland in samenwerking met de omgeving haar plannen voor de Oostpolder uitwerkt.
Optimalisatie	Het aanpassen van het voornemen om negatieve effecten te mitigeren.
Outstanding Universal Value	De Outstanding Universal Value staat voor een culturele en/of natuurlijke betekenis die zo uitzonderlijk groot is dat het de nationale grenzen overschrijdt en van gemeenschappelijk belang is voor huidige en toekomstige generaties van de hele mensheid. Daardoor is de permanente bescherming van dit erfgoed van het grootste belang voor de internationale gemeenschap als geheel.
Overige toekomstige ontwikkelingen	Naast de autonome ontwikkelingen zijn er overige toekomstige ontwikkelingen in hetzelfde (plan- of studie)gebied die zich in een voorfase (toekomstig idee) bevinden en waarover eventuele besluitvorming na de besluitvorming over PAWOZ-Eemshaven plaatsvindt.
Parallelle projecten	Andere projecten die gelijktijdig aan PAWOZ-Eemshaven plaatsvinden, zoals VAWOZ 2040.
Participatie	Het betrekken van belanghebbenden (zoals; inwoners, maatschappelijke organisaties, grondeigenaren, agrariërs, regionale en lokale overheden en ondernemers) bij het maken van een programma of plan.
Passende Beoordeling	Een Passende Beoordeling is een beoordeling van de effecten van een activiteit op de natuurdoelstellingen van een Natura 2000-gebied. Wanneer significante effecten op Natura 2000-gebieden niet op voorhand uitgesloten kunnen worden of onzeker zijn, moet een Passende Beoordeling worden uitgevoerd. In de Passende Beoordeling worden de mogelijke effecten van de aanleg, het beheer, het gebruik en de verwijdering van de activiteit, in cumulatie met andere plannen en projecten, beoordeeld in het licht van de instandhoudingsdoelstellingen van de betrokken Natura 2000-gebieden.
Plangebied	Het gebied waarbinnen het voornemen kan worden gerealiseerd.
Plan-MER	Het MER voor een plan of programma. PAWOZ-Eemshaven heeft een plan-MER.
Platform	Locatie waar energie van windparken op zee wordt verzameld en/of omgezet voor transport naar land.
Programma	Een programma is een instrument onder de Omgevingswet. Het vat het nieuwe beleid op hoofdlijnen samen en is kaderstellend (geeft de grenzen aan) voor nieuwe plannen of projecten. PAWOZ-Eemshaven resulteert in een programma. Dit is een notitie waarin beschreven staat welke routes wel/niet kunnen en een prioritering. Dit wordt ook het programma-beleidsdocument genoemd.
Projectbesluit	Het projectbesluit is een instrument voor waterschappen, provincies en het Rijk voor het mogelijk maken van complexe projecten met een publiek belang. Het projectbesluit wijzigt het omgevingsplan met regels die nodig zijn voor het uitvoeren, inwerking hebben of in stand houden van het project. De gewijzigde regels van het omgevingsplan zijn onderdeel van het projectbesluit. Het projectbesluit vervangt het inpassingsplan, tracébesluit, projectplan uit de Waterwet en de coördinatieregelingen uit de Wro, Tracéwet, Waterwet en Ontgrondingenwet.
Project-MER	Het MER voor een projectbesluit dat het vervolg kan zijn op PAWOZ-Eemshaven. Een project-MER kent een groter detailniveau dan een plan-MER.
Referentiesituatie	Bij deze situatie wordt uitgegaan van de huidige situatie en de autonome ontwikkeling. Deze situatie dient als referentiekader voor de effectbeschrijving van de routes in het MER.
Rijkscoördinatieregeling (RCR)	De procedure als bedoeld in paragraaf 3.6.3 van de Wet op de ruimtelijke ordening. Wanneer een initiatief onder de RCR valt dan moet er een (Rijks)inpassingsplan worden vastgesteld en de voorbereiding en bekendmaking daarvan wordt gecoördineerd door het Rijk.
Risk Based Burial Depth (RBBD)	Het bepalen van een begraafdiepte waarvoor geldt dat de faalkans van een kabelsysteem als gevolg van externe bedreigingen zodanig klein is dat het risico acceptabel is.

Term	Toelichting
Robuust ontwerp	De maximale configuratie van een route. Waarbij de maximale fysieke en/of milieuruimte die mogelijk is binnen een route is ingevuld. Een robuust ontwerp is een technisch uitvoerbaar en vergunbaar alternatief dat een realistische worst-case situatie omvat.
Route	Een mogelijke ligging voor de kabelsystemen en/of waterstofleidingen van het platform in een windenergiegebied naar een aansluitlocatie op het landelijk hoogspannings- en/of waterstofnetwerk.
Routeontwikkeling	De routeontwikkeling tijdens PAWOZ-Eemshaven is een doorlopend proces, waarbij van grof naar fijn wordt gewerkt. Dit bekent dat tijdens het project routes worden geoptimaliseerd om tot een robuust ontwerp te komen. Het beschrijft bijvoorbeeld het ontwerpproces, de uitgangspunten voor het routeontwerp, het routeontwerp per route en de trechtering van routes in aanloop naar de effectbeoordeling.
Segmenttunnel	Pijpleiding aanlegtechniek waarbij tijdens de voortgang van het boorproces de tunnelwand wordt opgebouwd door het plaatsen van segmenten die samen een sectie van de tunnelomtrek vormen. Deze methode kan voor grotere diameters en over meerdere kilometers lengte worden toegepast.
Studiegebied	Het gebied waarbinnen zich milieugevolgen kunnen voordoen als gevolg van het voornemen (of alternatieven) en dat dient te worden beschouwd in het MER. De omvang van het studiegebied kan per beoordelingsaspect verschillen.
Systeemintegratie	Het op een gecoördineerde wijze integreren (koppelen) van ketens van verschillende energiedragers en gebruikssectoren tot één duurzaam, betrouwbaar, betaalbaar en veilig energiesysteem, met een breed maatschappelijk draagvlak.
TenneT	TenneT is in Nederland de beheerder van het elektriciteitsnet vanaf een spanningsniveau van 110 kV. Ook beheert TenneT het Elektriciteitsnet op zee.
Thema	De deelrapporten van het MER gaan over beoordelingsaspecten, de deelrapporten van de IEA gaan over thema's. Bijvoorbeeld techniek, landbouw of kosten. Elk deelrapport behandelt één thema. Een thema bestaat uit (deel)aspecten en criteria.
Ter inzage legging	De periode waarin de NRD, het plan-MER, de IEA en het programma te lezen zijn. Dit is ook de periode waarin iedereen een zienswijze kan indienen en vragen kan stellen over de NRD, het plan-MER, de IEA en het programma.
Toetsingsadvies	Een document met daarin de resultaten van de toetsing van het plan-MER door de Commissie voor de mer. De Commissie mer kan ook om een tussentijds toetsingsadvies gevraagd worden.
Trechtering	Het onderbouwd laten afvallen van bepaalde routes of bepaalde configuraties binnen routes. Elke route is in steeds groter detail onderzocht. Hieruit komt naar voren welke routes wel en niet kansrijk zijn. Dit is onderdeel van het iteratieve proces.
Variant	Een (deel van een) route kan verschillende paden volgen. Dit zijn de varianten van de route. Bijvoorbeeld: de route die ligt in het Schiermonnikoog Wantij in de Waddenzee (de VIII - Schiermonnikoog Wantij route) heeft twee varianten voor de ligging van kabelsystemen (A en A1)
Voornemen	Een omschrijving van de activiteit die de initiatiefnemer wil gaan uitvoeren. Het beschrijft wat er wordt gebouwd en hoe het wordt aangelegd.
Voorzorgbeleid magneetvelden	Maatregelen waarmee netbeheerders de magneetvelden van onderdelen van het elektriciteitsnet structureel verminderen. Dit heeft tot doel om de mogelijke gezondheidsrisico's van magneetvelden te verminderen.
Wantij	Een gebied tussen eilanden en de kust waar wel sprake is van eb en vloed, maar niet van stroming.
Waterstof	Waterstof is een veelvoorkomend chemisch element. Waterstof is een energiedrager, dat betekent dat duurzaam opgewekte elektriciteit wordt omgezet naar waterstof in gasvorm. Dit kan opgeslagen en via leidingen getransporteerd worden, vergelijkbaar met aardgas. Waterstof heeft een belangrijke rol in de energietransitie en kan gebruikt worden voor bijvoorbeeld zware industrie, brandstof voor grote voertuigen of energieopslag.
Waterstof aanlandingsstation	Dit station bevat de noodzakelijke functies voor het aansluiten van waterstof op het Waterstofnetwerk Nederland. Deze functies zijn nog niet vastgesteld. Voorbeelden zijn het meten en eventueel regelen van de druk, meten van de kwaliteit van het waterstofgas en faciliteiten die nodig zijn om de leiding intern te kunnen inspecteren.

Term	Toelichting
Waterstofleiding	Leidingen waarin waterstofgas kan worden getransporteerd. Dit kunnen hergebruikte leidingen zijn of nieuw aan te leggen leidingen.
Waterstofnetwerk Nederland	Het netwerk van waterstofleidingen door Nederland die ontwikkeld en beheerd worden door Gasunie dochter HyNetwork Services (HNS). Dit netwerk is nog in ontwikkeling en zal bestaan uit nieuw aan te leggen leidingen en het (her-)gebruik van bestaande leidingen. De waterstofleidingen van PAWOZ-Eemshaven sluiten aan op het noordelijke deel van dit te ontwikkelen netwerk (Waterstofnetwerk Groningen).
Werkstrook	De werkstrook is het gebied dat tijdens de aanlegfase wordt gebruikt voor het opstellen van machines en voertuigen en voor het opslaan van afgegraven zand.
Werkterrein	Een tijdelijke werkplek rondom het voornemen waar bouwbedrijven werkzaamheden uitvoeren. Hier worden bijvoorbeeld materialen opgeslagen en constructies opgebouwd.
Zeemijl / nautische mijl	Een zeemijl (Engels: Nautical Mile, afgekort NM of nmi) is een lengtemaat die gelijk is aan precies 1.852 meter.
Zienswijze	Iedereen kan een formele reactie geven op het MER, de IEA en het programma. Dit kan tijdens de periode van terinzagelegging.

Tabel 8.2 Lijst met afkortingen

Afkorting	Betekenis
AC	Alternating Current (wisselstroom). Wisselstroom is een elektrische stroom met een periodiek wisselende stroomrichting. Vrijwel het hele elektriciteitsnet in Nederland maakt gebruik van dit type stroom. Dit type wordt ook gebruikt voor het ontsluiten van windpark TNW.
AO	Ambtelijk Overleg
BOP	Bestuurlijk Overleg Programma
BOW	Bestuurlijk Overleg Waddengebied
Ciemer	Commissie voor de milieueffectrapportage
CO_2	Koolstofdioxide
dB	Decibel, eenheid van geluidsniveau
DC	Direct Current (gelijkstroom) is een elektrische stroom waarbij de stroomrichting constant is, in tegenstelling tot wisselstroom. De 525 kV-kabels worden met gelijkstroom bedreven.
DDW	Windenergiegebied Doordewind
EDV	Eems-Dollard Verdragsgebied
EMV	Elektromagnetische Velden
EEZ	Exclusieve Economische Zone
GIS	Geografisch Informatiesysteem
GW	Gigawatt
HDD	Horizontal Directional Drilling. Oftewel: een gestuurde boring
HNS	HyNetwork Services (Gasunie-dochter)
HSAO	Huidige Situatie, Autonome Ontwikkelingen
IEA	Integrale Effectenanalyse
KRW	Kaderrichtlijn Water
kV	Kilovolt
kWh	Kilowattuur
LCA	Landschap, Cultuurhistorie en Archeologie
LTO Noord	Land- en Tuinbouw Organisatie Noord

Afkorting	Betekenis
mer	Milieueffectrapportage (procedure)
MER	Milieueffectrapport (product)
Ministerie van BZK	Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
Ministerie van KGG	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
MW	Megawatt
MWh	Megawattuur
N2000	Natura 2000-gebied
NGE	Niet Gesprongen Explosieven
NGT	Noord Gas Transport. Dit is een bestaande gasleiding op zee
NNN	Natuurnetwerk Nederland
NM	Nautische Mijl
NOZ TNW	Net op Zee Ten Noorden van de Waddeneilanden
NRD	Notitie Reikwijdte en Detailniveau
NZA	Noordzeeakkoord
PAWOZ	Programma Aansluiting Wind Op Zee
OBW	Omgevingsberaad Waddengebied
OO	Omgevingsoverleg
PB	Passende Beoordeling
PvA	Plan van Aanpak
RBBD	Risk Based Burial Depth Oftewel: risico gestuurde begraafdiepte
RCR	Rijkscoördinatieregeling
RHDHV	Royal HaskoningDHV
RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
RWS	Rijkswaterstaat
SO	Schetsontwerp
TEC	Tunnel Engineering Consultants
TNW	Windenergiegebied Ten Noorden van de Waddeneilanden
TWh	Terawattuur
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
VAWOZ 2030	Verkenning Aanlanding Wind Op Zee 2030
VAWOZ 2040	Verbindingen Aanlanding Wind Op Zee 2040
VO	Voorontwerp
WNN	Waterstofnetwerk Nederland
W+B	Witteveen+Bos

Bijlagen

BIJLAGE: RAPPORTAGE ANALYSE IMPACT AGRARISCHE WAARDE PAWOZ

Rapportage

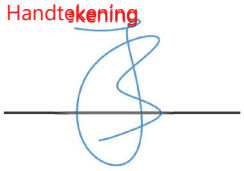
Analyse impact agrarische waarden

PAWOZ

Opdrachtgever:	Royal HaskoningDHV
Project:	PAWOZ
Kenmerk:	RE22146-R01
Revisie:	G
Auteur(s):	J. Sluis
Datum:	24 januari 2025

Rotterdam Engineering B.V.
Vasteland 78
3011 BN Rotterdam
Telefoon: 010-226 4935

E info@rotterdamengineering.nl
I www.rotterdamengineering.nl
IBAN: NL08 INGB 0006 9391 59
Handelsregister nr. 24391533
BTW-identificatie nr. NL819092691.B01

Revisie	Datum	Beschrijving	Opsteller	Gecontroleerd
G	24-01-2025	Definitieve rapportage	Jelle Sluis	Leonie Janssen-Engberink
			Handtekening 	Handtekening 

© Copyright Rotterdam Engineering

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie of op welke andere wijze ook zonder uitdrukkelijke toestemming van de uitgever.

Inhoudsopgave

1.	**Beschrijving van het programma PAWOZ-Eemshaven**	**18**
1.1.	Aanleiding voor het Programma	18
1.2.	Doelstellingen van het Programma	18
1.3.	Plangebied	19
1.4.	Voornemen	20
2.	**Wettelijk kader en beleidskader**	**26**
2.1.	Aspect specifiek wettelijk kader	26
2.2.	Aspect specifiek beleidskader	28
3.	**Huidige situatie en plan- en studiegebied**	**31**
3.1.	Huidige situatie op land	31
3.2.	Bodemkwaliteit	34
4.	**Autonome ontwikkelingen agrarische gebieden**	**41**
5.	**Routes en stations**	**43**
5.1.	Inleiding	43
5.2.	Noordzee	44
5.3.	Waddengebied	45
5.4.	Vasteland	51
6.	**Methodiek analyse agrarische waarden**	**58**
6.1.	Inleiding	58
6.2.	Onderzoeksaanpak	61
6.3.	Relevante ingreep-effect relaties	84
6.4.	Beoordelingsmethodiek	85
7.	**Resultaten effectbeoordeling**	**86**
7.1.	Criterium 1 - tracélengte in landbouwgrond	86
7.2.	Criterium 2 – bodemopbouw	92
7.3.	Criterium 3 – Plantenziekten	95
7.4.	Criterium 4 – Bodemopwarming	98
8.	**Conclusies, mitigatie en vervolg**	**102**
8.1.	Criterium 1 - tracélengte in landbouwgrond	102
8.2.	Criterium 2 - Bodemopbouw	103
8.3.	Criterium 3 - plantenziekten	104
8.4.	Criterium 4 - bodemopwarming	106

Bijlagen

Bijlage 1 Overzichtskaart PAWOZ-routes inclusief scope

Bijlage 2_Overzichtskaarten agrarische analyses

a. Percelen
b. Gewaspercelen
c. Huiskavels
d. Bodemkaart
e. Grondsoorten
f. Grondwaterstand hoog
g. Grondwaterstand laag

Bijlage 3_Gevoeligheid grondsoorten voor structuurschade

Bijlage 4_Gewaswaarde-indicatie

Bijlage 5 Rapportage modelberekening bodemopwarming

Bijlage 6 Analyseresultaten agrarische analyses

a. Resultaten criterium 1 – tracélengte in agrarische percelen
b. Resultaten criterium 2 – bodemopbouw
c. Resultaten criterium 3 – plantenziekten
d. Resultaten criterium 4 – bodemopwarming
e. Overzicht resultaten alle criteria

Afkortingen- en begrippenlijst

Tabel 0.1 Afkortingen en betekenis.

Afkorting	Betekenis
IEA	Integrale Effectenanalyse
KRW	Kaderrichtlijn Water
kV	Kilovolt
kWh	Kilowattuur
LCA	Landschap, Cultuurhistorie en Archeologie
Mer	Milieueffectrapportage (procedure)
MER	Milieueffectrapport (product)
Ministerie van BZK	Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
Ministerie van EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
MW	Megawatt
MWh	Megawattuur
N2000	Natura 2000-gebied
NGE	Niet Gesprongen Explosieven
NGT	Noord Gas Transport. Dit is een bestaande gasleiding op zee
NNN	Natuurnetwerk Nederland
NM	Nautische Mijl
NOZ TNW	Net op Zee Ten Noorden van de Waddeneilanden
NRD	Notitie Reikwijdte en Detailniveau
NZA	Noordzeeakkoord
PAWOZ	Programma Aansluiting Wind Op Zee
OBW	Omgevingsberaad Waddengebied
OO	Omgevingsoverleg
PB	Passende Beoordeling
PvA	Plan van Aanpak
RBBD	Risk Based Burial Depth Oftewel: risico gestuurde begraafdiepte
RCR	Rijkscoördinatieregeling
RHDHV	Royal HaskoningDHV
RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
RWS	Rijkswaterstaat
SO	Schetsontwerp
TEC	Tunnel Engineering Consultants
TNW	Windenergiegebied Ten Noorden van de Waddeneilanden
TWh	Terawattuur
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
VAWOZ 2030	Verkenning Aanlanding Wind Op Zee 2030
VAWOZ 2040	Verbindingen Aanlanding Wind Op Zee 2040

VO	Voorontwerp
Wnb	Wet natuurbescherming
WNN	Waterstofnetwerk Nederland
W+B	Witteveen + Bos

Tabel 0.2 Termen en toelichting.

Term	Toelichting
66kV-kabels (AC)/66kV-wisselstroomkabels	Ten behoeve van het transporteren van elektriciteit (wisselstroom) vanaf de turbines naar het platform op zee
220kV-kabels (AC)/220kV-wisselstroomkabels	Ten behoeve van het transporteren van elektriciteit (wisselstroom) vanaf het platform op zee naar het transformatorstation op land
380kV-kabels (AC)/380kV-wisselstroomkabels	Ten behoeve van het transporteren van elektriciteit (wisselstroom) vanaf converterstation of transformatorstation naar het aansluitpunt landelijke 380kV-net op land
525kV-kabels (DC)/525kV-gelijkstroomkabels	Ten behoeve van het transporteren van elektriciteit (gelijkstroom) vanaf het platform op zee naar het converterstation op land
Aanlandingszone	Zone waar de kabels voor elektriciteitstransport en waterstofleidingen voor waterstoftransport op zee aan het vaste land komen en de (primaire) zeewering kruisen
Aanlandingspunt Eemshaven	Het punt waar de tunnel begint bij de Eemshaven. Hier komt een schacht waar de kabels en/of leidingen de tunnel ingaan
Aanlegtechnieken	Technische methoden waarmee de verschillende onderdelen van het project worden gerealiseerd. Een voorbeeld van een aanlegtechniek is: boren
Aansluitpunt	Punt van een (bestaand) hoogspanningsstation of het Waterstofnetwerk Nederland waarop respectievelijk kabels voor elektriciteitstransport of waterstofleidingen worden aangesloten
ADC-toets	Een streng toetsingkader dat wordt gebruikt wanneer uit een passende beoordeling blijkt dat significante effecten op Natura 2000-gebieden niet kunnen worden uitgesloten. Bij een ADC-toets moet een project aan drie voorwaarden voldoen: **A**: er geen alternatieven zijn; D: sprake is van dwingende redenen van groot openbaar belang; C: de nodige compenserende maatregen worden getroffen om te waarborgen dat de algehele samenhang van Natura 2000 bewaard blijft
Afsluiterlocatie	Omheinde installaties waar bedienbare afsluiters zitten die de gasstroom in de ondergrondse leiding kunnen regelen
Alternatief	Een andere manier dan de voorgenomen activiteit om (in aanvaardbare mate) tegemoet te komen aan de doelstelling(en). De Wet milieubeheer schrijft voor, dat in een MER alleen alternatieven moeten worden beschouwd, die redelijkerwijs in de besluitvorming een rol kunnen spelen
Aspect (milieuaspect)	Een aspect/milieuaspect is een onderwerp dat binnen een MER wordt onderzocht. Bijvoorbeeld het aspect 'Bodem en Water'. Elk aspect is vertaald naar één of meerdere deelaspecten. Bijvoorbeeld het deelaspect 'Bodem' of 'Grondwater' binnen het aspect 'Bodem en water'
Autonome ontwikkeling	Op zichzelf staande ontwikkelingen die een verandering in het plangebied tot gevolg hebben, die onafhankelijk van de voorgenomen activiteit plaatsvinden en waarover al een besluit is genomen.

	Bijvoorbeeld wanneer deze ontwikkelingen vastgesteld zijn in een ruimtelijk plan of de vergunning ervoor is verleend. Over de uitvoering ervan bestaat voldoende zekerheid
Autonome processen	Ontwikkelingen in de fysieke omgeving die onafwendbaar zijn en een gegeven zijn voor de toekomstige staat van de kenmerken van de omgeving. Het betreft bijvoorbeeld zeespiegelstijging en andere gevolgen van klimaatverandering. In het algemeen leiden deze processen over een lange periode pas tot relevante veranderingen
Ballonplaat	Dit is een zandplaat op de Noordzee ongeveer 4 kilometer ten noorden van Rottumerplaat. Hier is de zee redelijk ondiep en redelijk stabiel. In dit gebied wordt onderzocht waar het in/uittredepunt van de tunnel zou kunnen komen
Baseline(s)	Het 'bevriezen' van het ontwerp (o.a. uitgangspunten, route), zie 'bevriesmoment'. Onderdeel van het iteratieve proces. Baseline 0 = vastgesteld in de NRD Baseline 1 = nadere uitwerking in de fase routeontwikkeling Baseline 2 = optimalisatie van baseline 1. Op dit niveau worden de effecten beoordeeld Baseline 3 = optimalisatie op basis van de effectenbeoordeling
Belang	Iets wat belangrijk is voor een individu of partij
Belanghebbende	Iemand die bij dit programma een bepaald belang heeft, bijvoorbeeld een overheid, (maatschappelijke) organisatie, grondeigenaar, agrariër of een bewoner
Beoordelingskader	Lijst met daarin alle criteria die per (milieu)aspect onderzocht worden in het MER
Beoordelingsschaal	Schaal die aangeeft hoe een criterium beoordeeld wordt in het MER. Deze schaal maakt onderscheid tussen positieve, neutrale en negatieve beoordelingen
Besluit milieueffectrapportage	In de bijlage van dit besluit staat een lijst met activiteiten, plannen en projecten waarvoor is aangegeven of en wanneer een mer-procedure gedaan moet worden
Bevoegd gezag	Overheidsorgaan dat bevoegd is een besluit te nemen over de voorgenomen activiteit van de initiatiefnemer
Bevriesmoment	Momenten in de tijd (binnen het proces) wanneer het ontwerp wordt 'bevroren'
Centerline	De middellijn van een route voor de kabelsystemen en/of waterstofleidingen. Elke route heeft een effectbeoordeling voor de situatie waarbij 1 kabelsysteem of 1 waterstofleiding op deze middellijn wordt aangelegd
Commissie voor de milieueffectrapportage (Commissie mer)	Onafhankelijke, bij wet ingestelde, commissie die het bevoegd gezag adviseert over de reikwijdte en detailniveau van het MER en de beoordeling van de kwaliteit van het MER
Compenserende maatregelen	Wanneer na het toepassen van mitigerende maatregelen restschade overblijft dan kunnen compenserende maatregelen getroffen worden. Bijvoorbeeld; bomen moeten worden gekapt. Het aanplanten van nieuwe bomen op een andere plek is dan een compenserende maatregel
Configuratie	Manier waarop iets is opgebouwd uit losse componenten. In PAWOZ-Eemshaven betekent dit een specifieke samenstelling van kabels en/of leidingen in een route. Een configuratie is bijvoorbeeld één DC-kabelsysteem en één waterstofleiding

Converterstation	Station waar gelijkstroom wordt omgezet in wisselstroom en op het juiste spanningsniveau wordt gebracht.
Corridor	De maximale breedte van een route waarbinnen de kabelsystemen en/of waterstofleidingen kunnen komen te liggen. Deze corridor verschilt per route. Elke route heeft een effectbeoordeling voor de situatie waarbij de maximale configuratie in de corridor van de route wordt aangelegd
Criterium	Een criterium is een maatstaf die gebruikt wordt om een (milieu)aspect of deelaspect in het MER te beoordelen. Bijvoorbeeld het criterium 'Zetting' om voor het deelaspect 'Grondwater' te beschrijven wat het effect is van grondwaterverlaging
Cumulatie	De bij elkaar opgetelde effecten van verschillende ontwikkelingen samen. De verschillende ontwikkelingen kunnen zowel binnen als buiten de voorgenomen activiteit plaatsvinden
Deelaspect	Een deelaspect is één van de onderdelen van een (milieu)aspect. Bijvoorbeeld het deelaspect 'Bodem' of 'Grondwater' als onderdeel van het aspect 'Bodem en water'
Deelrapport	Rapporten ter ondersteuning van het MER of IEA dat concentreert op een bepaald thema, bijvoorbeeld natuur, Landschap, Cultuurhistorie en Archeologie en Bodem en Water
Eems-Dollardverdrag	Overeenkomst tussen Nederland en Duitsland waarin afspraken zijn gemaakt over het gemeenschappelijk beheer en gebruik van het Eems-Dollard verdragsgebied
Elektriciteitskabel	Kabels met ondergrondse ligging ten behoeve van het transporteren van elektriciteit
EM-velden	Elektromagnetische velden als gevolg van de elektriciteitstransport door kabels (tracé) of als gevolg van het transformatorstation en/of converterstation
eParticipatie	Website die iedereen in staat stelt om online zijn of haar mening te geven of met nieuwe informatie of inzichten te komen
Flens	Een afsluiter die kan worden toegepast op het uiteinde van een pijpleiding.
Gasunie	Gasunie is een netwerkbedrijf voor energie. Via Hynetwork Services (een 100% dochteronderneming van Gasunie) ontwikkelt Gasunie het waterstofnetwerk op land, Waterstofnetwerk Nederland. En Gasunie maakt zich klaar om ook het waterstofnetwerk op zee te ontwikkelen.
Gebruiksfuncties	De huidige en toekomstige functies in een gebied. Bijvoorbeeld, wonen, natuur of recreatie
Gevoeligheidsanalyse	Een gevoeligheidsanalyse onderzoekt de invloed van veranderingen in de inputparameters op de uitvoer van een model of systeem
Hoofdrapport	Dit zelfstandig leesbare document bevat de belangrijkste beslisinformatie uit de deelrapporten. Alleen onderscheidende en (sterk) negatieve effecten zijn in het hoofdrapport weergegeven
Ingreep	Voor het uitvoeren van de voorgenomen activiteit (bijvoorbeeld: het aanleggen van een kabel) zijn verschillende ingrepen nodig (zoals graven, bemalen, baggeren of heien). Elke ingreep kan met verschillende aanlegtechnieken aangelegd worden. De relatie tussen elke ingreep en het effect op het milieu wordt beschreven onder ingreep-effectrelaties
Ingreep-effectrelatie	Een ingreep-effectrelatie verwijst naar de relatie tussen de voorgenomen activiteit en het effect dat de voorgenomen activiteit veroorzaakt. De

	voorgenomen activiteit bestaat uit verschillende ingrepen (bijvoorbeeld: graven, bemalen, baggeren of heien) welke in locatie, omvang en tijd verschillende effecten kunnen veroorzaken. Het beschrijven van de relatie wordt gebruikt om te begrijpen welke ingrepen welk effect hebben. Hiermee beoordelen we de impact van de voorgenomen activiteit
Initiatiefnemer	Een natuurlijk persoon, dan wel privaat- of publiekrechtelijk rechtspersoon (een particulier, bedrijf, instelling of overheidsorgaan) die een bepaalde activiteit wil (doen) ondernemen en daarover een besluit vraagt. Bij PAWOZ-Eemshaven is het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat de initiatiefnemer
Integrale effectenanalyse (IEA)	Een analyse van de milieueffecten, kosten, omgeving, techniek, landbouw, planning en toekomstvastheid van de routes. Voor PAWOZ-Eemshaven is hiervoor een apart document opgesteld
Intredepunt op de Noordzee	Het punt waar de tunnel begint bij de Ballonplaat op de Noordzee. Hier komt een schacht waar de kabels en/of leidingen de tunnel ingaan
Iteratief proces	Een iteratief proces is een herhaaldelijke manier om een doel te bereiken of een probleem op te lossen. In plaats van alles in één keer te doen, doe je kleine stappen en kijk je telkens hoe je het kunt verbeteren. Je gaat steeds opnieuw door een cyclus van acties, waarbij je feedback en nieuwe inzichten gebruikt om elke keer beter te worden. In PAWOZ-Eemshaven wordt dit iteratieve proces gebruikt om de routes te verbeteren, dit wordt optimalisatie genoemd. Het doel van het optimaliseren van de routes is om negatieve effecten zoveel mogelijk te verminderen of zelfs helemaal weg te nemen. Het optimaliseren van de routes in een iteratief proces is de routeontwikkeling. Dit vindt plaats aan de hand van baselines.
Kabelcircuit	Set van drie fasedraden die samen een volwaardige eenheid vormen waarop driefasen-wisselspanning bedreven kan worden
Kabelsysteem	Een kabelsysteem is een bundel van elektriciteitskabels dat bestaat uit twee parallelle kabelcircuits bij wisselstroom of één kabelcircuit + een glasvezelverbinding bij gelijkstroom. Het betreft alleen de elektriciteitskabels, niet het platform of transformator/converterstation
Kilovolt (kV)	Eenheid van elektrische spanning
Kwelder	Kwelders zijn begroeide stukken land die direct, zonder duinenrij of dijken, aan zee grenzen. Ze liggen meestal langs ondiepe getijdengebieden zoals de Waddenzee of langs de Noordzeekust. Bij storm of extra hoog water komt een kwelder onder water te staan. Kwelders spelen een belangrijke rol in de kustbescherming. Door de aanwezigheid van de begroeiing op de kwelders wordt het opstuiven van zand tegengegaan en wordt de kustlijn verstevigd. Bovendien bieden kwelders een leefgebied voor verschillende soorten vogels, vissen en andere dieren
Milieueffectrapportage (mer)	De wettelijk geregelde procedure van milieueffectrapportage; een hulpmiddel bij de besluitvorming, dat bestaat uit het maken, beoordelen en gebruiken van een milieueffectrapport en het evalueren achteraf van de gevolgen voor het milieu van de uitvoering van een activiteit. Onder de Omgevingswet wordt de afkorting mer gebruikt
mer-plicht	De verplichting tot het opstellen van een milieueffectrapport voor een bepaald besluit over een bepaalde activiteit
Microtunnel	Pijpleiding aanlegtechniek waarbij tijdens de voortgang van het boorproces complete tunnelsecties ingeduwd worden om de boorgang te

	stabiliseren. Deze methode is technisch beperkt in lengte (ongeveer 2 km) en diameter (ongeveer 2 m).
Milieueffectrapport (MER)	Het rapport waarin de resultaten worden neergelegd van het onderzoek naar de milieueffecten van een voorgenomen activiteit en van de redelijkerwijs in beschouwing te nemen alternatieven daarvoor
Mitigerende maatregelen	Maatregelen die worden genomen om de nadelige effecten van activiteiten of fysieke ingrepen te verminderen dan wel te voorkomen
MW	Megawatt = 1.000 kilowatt (kW). kW is een eenheid van elektrisch vermogen
MWh	Megawattuur = 1.000 kilowattuur (kWh). kWh is een eenheid van energie
Monitoringsprogramma	Programma dat bijhoudt of de situatie beter of slechter wordt door de realisatie van de voorgenomen activiteit
Morfodynamiek	De verandering van de zeebodem, het transport van sedimenten en het samenspel hiertussen
Morfologie	Vorm van de zeebodem
Natura 2000-gebieden	Ecologisch netwerk van speciale beschermingszones die zijn aangewezen in de Habitatrichtlijn of de Vogelrichtlijn. Volgens deze Europese richtlijnen moeten lidstaten specifieke diersoorten en hun natuurlijke leefomgeving (habitat) beschermen om de biodiversiteit te behouden
Natuur Netwerk Nederland (NNN)	Het door de overheid nagestreefde en in beleidsnota's vastgelegde landelijke netwerk van natuurgebieden en verbindingszones daartussen
Nearshore	Het gebied nabij de kust met geringere waterdiepte dan offshore gebieden. In het geval van PAWOZ-Eemshaven wordt hier het Waddengebied bedoeld
Niet gesprongen explosieven (NGE)	In en op de zeebodem liggende niet gesprongen explosieven, overgebleven van de oorlogshandelingen in beide wereldoorlogen en van militaire activiteiten op zee. Voor de installatie van de kabels op zee kunnen niet gesprongen explosieven een gevaar opleveren voor de betrokkenen
Nota van Antwoord	Een document met daarin een reactie op ontvangen vragen en opmerkingen uit de periode van ter inzage legging
Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD)	De NRD geeft aan met wat (reikwijdte) en met welke diepgang (detailniveau) de alternatieven worden onderzocht en beschreven worden in het milieueffectrapport (MER)
NSG-Richtlijn laagfrequent geluid	De NSG-Richtlijn laagfrequent geluid is bedoeld om klachtenbehandelaars, met name akoestische onderzoekers, een handvat te bieden om een klacht over laagfrequent geluid te kunnen objectiveren. De Richtlijn geeft daarom een criterium (referentiecurve) waaraan het resultaat van geluidsmetingen in woningen kan worden getoetst. NSG is de Nederlandse Stichting Geluidshinder
Offshore	Aanduiding voor op zee en een gebied zeewaarts van de 6-mijlszone. Vaak ook gerefereerd aan waterdieptes van meer dan 10 tot 20 meter
Omgevingsplan	Het omgevingsplan bevat algemene regels van de gemeente voor de fysieke leefomgeving. Iedere gemeente heeft 1 omgevingsplan onder de Omgevingswet. Het omgevingsplan vervangt het geldende bestemmingsplan en de beheersverordening uit de Wet ruimtelijke ordening
Omgevingsvraagstuk	Een onderwerp waar stakeholders een belang, zorg of wens over hebben geuit

Omgevingswet	Wet in Nederland, die per 1 januari 2024 is ingegaan, waarin alle wetten zijn samengevoegd die met de fysieke leefomgeving, waaronder ook het milieu, te maken hebben
Onshore	Aanduiding voor 'op land'
Open planproces	Het proces waarin de provincie Groningen en gemeente Het Hogeland in samenwerking met de omgeving haar plannen voor de Oostpolder uitwerkt
Optimalisatie	Het aanpassen van de voorgenomen activiteit om negatieve effecten te mitigeren
Overige toekomstige ontwikkelingen	Naast de autonome ontwikkelingen zijn er overige toekomstige ontwikkelingen in hetzelfde (plan- of studie)gebied die zich in een voorfase (toekomstig idee) bevinden en waarover eventuele besluitvorming na de besluitvorming over PAWOZ-Eemshaven plaatsvindt
Parallelle projecten	Andere projecten die gelijktijdig aan PAWOZ-Eemshaven plaatsvinden, zoals VAWOZ 2040
Participatie	Het betrekken van belanghebbenden (zoals; inwoners, maatschappelijke organisaties, grondeigenaren, agrariërs, regionale en lokale overheden en ondernemers) bij het maken van een programma of plan
Passende Beoordeling	Een Passende Beoordeling is een beoordeling van de effecten van een activiteit op de natuurdoelstellingen van een Natura 2000-gebied. Wanneer significante effecten op Natura 2000-gebieden niet op voorhand uitgesloten kunnen worden of onzeker zijn, moet een Passende Beoordeling worden uitgevoerd. In de Passende Beoordeling worden de mogelijke effecten van de aanleg, het beheer, het gebruik en de verwijdering van de activiteit, in cumulatie met andere plannen en projecten, beoordeeld in het licht van de instandhoudingsdoelstellingen van de betrokken Natura 2000-gebieden
Plangebied	Het gebied waarbinnen de voorgenomen activiteit kan worden gerealiseerd
PlanMER	Het MER voor een plan of programma. PAWOZ-Eemshaven heeft een planMER
Platform	Locatie waar energie van windparken op zee wordt verzameld en/of omgezet voor transport naar land
Programma	Een programma is een instrument onder de Omgevingswet. Het vat het nieuwe beleid op hoofdlijnen samen en is kaderstellend (geeft de grenzen aan) voor nieuwe plannen of projecten. PAWOZ-Eemshaven resulteert in een programma. Dit is een notitie waarin beschreven staat welke routes wel/niet kunnen en een prioritering. Dit wordt ook het programma-beleidsdocument genoemd
Projectbesluit	Het projectbesluit is een instrument voor waterschappen, provincies en het Rijk voor het mogelijk maken van complexe projecten met een publiek belang. Het projectbesluit wijzigt het omgevingsplan met regels die nodig zijn voor het uitvoeren, inwerking hebben of in stand houden van het project. De gewijzigde regels van het omgevingsplan zijn onderdeel van het projectbesluit. Het projectbesluit vervangt het inpassingsplan, tracébesluit, projectplan uit de Waterwet en de coördinatieregelingen uit de Wro, Tracéwet, Waterwet en Ontgrondingenwet

ProjectMER	Het MER voor een projectbesluit dat het vervolg kan zijn op PAWOZ-Eemshaven. Een projectMER kent een groter detailniveau dan een planMER
Referentiesituatie	Bij deze situatie wordt uitgegaan van de huidige situatie en de autonome ontwikkeling. Deze situatie dient als referentiekader voor de effectbeschrijving van de routes in het MER
Rijkscoördinatieregeling (RCR)	De procedure als bedoeld in paragraaf 3.6.3 van de Wet op de ruimtelijke ordening. Wanneer een initiatief onder de RCR valt dan moet er een (Rijks)inpassingsplan worden vastgesteld en de voorbereiding en bekendmaking daarvan wordt gecoördineerd door het Rijk
Risk Based Burial Depth (RBBD)	Het bepalen van een begraafdiepte waarvoor geldt dat de faalkans van de kabel als gevolg van externe bedreigingen zodanig klein is dat het risico acceptabel is
Robuust ontwerp	De maximale configuratie van een route. Waarbij de maximale fysieke en/of milieuruimte die mogelijk is binnen een route is ingevuld. Een robuust ontwerp is een technisch uitvoerbaar en vergunbaar alternatief dat een realistische worst-case situatie omvat
Route	Een mogelijke ligging voor de elektriciteitskabels en/of waterstofleidingen van het platform in een windenergiegebied naar een aansluitlocatie op het landelijk hoogspannings- en/of waterstofnetwerk
Routeontwikkeling	De routeontwikkeling tijdens PAWOZ-Eemshaven is een doorlopend proces, waarbij van grof naar fijn wordt gewerkt. Dit bekent dat tijdens het project routes worden geoptimaliseerd om tot een robuust ontwerp te komen. Het beschrijft bijvoorbeeld het ontwerpproces, de uitgangspunten voor het routeontwerp, het routeontwerp per route en de trechtering van routes in aanloop naar de effectbeoordeling.
Segmenttunnel	Pijpleiding aanlegtechniek waarbij tijdens de voortgang van het boorproces de tunnelwand wordt opgebouwd door het plaatsen van segmenten die samen een sectie van de tunnelomtrek vormen. Deze methode kan voor grotere diameters en over meerdere kilometers lengte worden toegepast.
Stakeholder	Een individu of partij die belang heeft en/of invloed uitoefent op het programma
Studiegebied	Het gebied waarbinnen zich milieugevolgen kunnen voordoen als gevolg van de voorgenomen activiteit (of alternatieven) en dat dient te worden beschouwd in het MER. De omvang van het studiegebied kan per milieuaspect verschillen
Systeemintegratie	Het op een gecoördineerde wijze integreren (koppelen) van ketens van verschillende energiedragers en gebruikssectoren tot één duurzaam, betrouwbaar, betaalbaar en veilig energiesysteem, met een breed maatschappelijk draagvlak
TenneT	TenneT is in Nederland de beheerder van het elektriciteitsnet vanaf een spanningsniveau van 110 kV. Ook beheert TenneT het Net op zee
Thema	De deelrapporten van het MER gaan over aspecten, de deelrapporten van de IEA gaan over thema's. Bijvoorbeeld techniek, landbouw of kosten. Elk deelrapport behandelt één thema. Een thema bestaat uit (deel)aspecten en criteria
Ter inzage legging	De periode waarin de NRD, het planMER, de IEA en het programma te lezen zijn. Dit is ook de periode waarin iedereen een zienswijze kan

	indienen en vragen kan stellen over de NRD, het planMER, de IEA en het programma
Toetsingsadvies	Een document met daarin de resultaten van de toetsing van het planMER door de Commissie voor de mer. De Commissie mer kan ook om een tussentijds toetsingsadvies gevraagd worden
Trechtering	Het onderbouwd laten afvallen van bepaalde routes of bepaalde configuraties binnen routes. Elke route is in steeds groter detail onderzocht. Hieruit komt naar voren welke routes wel en niet kansrijk zijn. Dit is onderdeel van het iteratieve proces.
Variant	Een (deel van een) route kan verschillende paden volgen. Dit zijn de varianten van de route. Bijvoorbeeld: de route die ligt in het Schiermonnikoog Wantij in de Waddenzee (de VIII - Schiermonnikoog Wantij route) heeft twee varianten voor de ligging van kabelsystemen (A en A1)
Voorgenomen activiteit	Een omschrijving van de activiteit die de initiatiefnemer wil gaan uitvoeren. Het beschrijft wat er wordt gebouwd en hoe het wordt aangelegd
Voorzorgbeleid magneetvelden	Maatregelen waarmee netbeheerders de magneetvelden van onderdelen van het elektriciteitsnet structureel verminderen. Dit heeft tot doel om de mogelijke gezondheidsrisico's van magneetvelden te verminderen
Wantij	Een gebied tussen eilanden en de kust waar wel sprake is van eb en vloed, maar niet van stroming
Waterstof	Waterstof is een veelvoorkomend chemisch element. Waterstof is een energiedrager, dat betekent dat duurzaam opgewekte elektriciteit wordt omgezet naar waterstof in gasvorm. Dit kan opgeslagen en via leidingen getransporteerd worden, vergelijkbaar met aardgas. Waterstof heeft een belangrijke rol in de energietransitie en kan gebruikt worden voor bijvoorbeeld zware industrie, brandstof voor grote voertuigen of energieopslag
Waterstof aanlandingsstation	Dit station bevat de noodzakelijke functies voor het invoeden van waterstof op het Waterstofnetwerk Nederland. Deze functies zijn nog niet vastgesteld. Voorbeelden zijn het meten en eventueel regelen van de druk, meten van de kwaliteit van het waterstofgas en faciliteiten die nodig zijn om de leiding intern te kunnen inspecteren
Waterstofleiding	Leidingen waarin waterstofgas kan worden getransporteerd. Dit kunnen hergebruikte leidingen zijn of nieuw aan te leggen leidingen
Waterstofnetwerk Nederland	Het netwerk van waterstofleidingen door Nederland die ontwikkeld en beheerd worden door Gasunie dochter HyNetwork Services (HNS). Dit netwerk is nog in ontwikkeling en zal bestaan uit nieuw aan te leggen leidingen en het (her-)gebruik van bestaande leidingen. De waterstofleidingen van PAWOZ-Eemshaven sluiten aan op het noordelijke deel van dit te ontwikkelen netwerk (Waterstofnetwerk Groningen)
Werkstrook	De werkstrook is het gebied dat tijdens de aanlegfase wordt gebruikt voor het opstellen van machines en voertuigen en voor het opslaan van afgegraven zand
Werkterrein	Een tijdelijke werkplek rondom de voorgenomen activiteit waar bouwbedrijven werkzaamheden uitvoeren. Hier worden bijvoorbeeld materialen opgeslagen en constructies opgebouwd

Zeemijl / nautische mijl	Een zeemijl (Engels: Nautical Mile, afgekort NM of nmi) is een lengtemaat die gelijk is aan precies 1.852 meter
Zienswijze	Iedereen kan een formele reactie geven op het MER, de IEA en het programma. Dit kan tijdens de periode van terinzagelegging

Leeswijzer

Voor u ligt de definitieve rapportage van de analyse impact agrarische waarden voor PAWOZ-Eemshaven.

Dit rapport maakt deel uit van de integrale Effect Analyse (IEA) die voor PAWOZ wordt opgesteld. De IEA bestaat uit drie onderdelen:

- Publieksvriendelijke samenvatting (volgt bij 100%-versie);
- Hoofdrapport;
- Deelrapport per thema.

De samenvatting is een zelfstandig leesbaar document met daarin een publiekvriendelijke weergave van de informatie uit de IEA.

Het hoofdrapport beschrijft op hoofdlijnen aanleiding voor PAWOZ-Eemshaven, de huidige situatie de autonome ontwikkelingen en de onderzoeksaanpak van de milieueffecten. Meer gedetailleerde informatie en onderbouwingen zijn onderdeel van de deelrapporten.

Dit deelrapport neemt u mee in de landbouwkundige context waarbinnen PAWOZ plaatsvindt en beschrijft het onderzoek naar de impact van PAWOZ op de agrarische waarden in de landsecties van de tracés.

Dit deelrapport is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 1 bevat een algemene inleidende tekst over het programma PAWOZ-Eemshaven waarin we het doel, de aanleiding, de projectonderdelen onderverdeeld in zee en land, en het plangebied van het project beschrijven;
- Hoofdstuk 2 gaat vervolgens in op het wettelijk- en beleidskader dat relevant is voor het thema landbouw.
- Hoofdstuk 3 beschrijft de huidige situatie binnen het plangebied, vanuit landbouwkundig perspectief.
- Hoofdstuk 4 toont de autonome ontwikkelingen binnen het plangebied die relevant zijn voor het thema landbouw.
- Hoofdstuk 5 beschrijft de routes en stations
- Hoofdstuk 6 geeft een overzicht van de aspecten die voor dit thema onderzocht worden, beschrijft de relevante ingreep-effect relaties en laat zien op welke wijze deze geanalyseerd en beoordeeld worden.
- Hoofdstuk 7 beschrijft voor elk van de criteria de analyseresultaten en effectenbeoordeling.
- Hoofdstuk 8 geeft de conclusie, mitigatiemaatregelen om effecten te beperken en aanbevelingen voor een vervolgstudie.

Inleiding

Voor u ligt de definitieve rapportage van de analyse naar de impact van de PAWOZ-Eemshaven op agrarische waarden. Deze rapportage is opgesteld door Rotterdam Engineering in opdracht van het Ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG). Deze analyse is onderdeel van de IEA voor de PAWOZ-routes in de landsecties.

De landsecties van de PAWOZ-routes liggen in een gebied dat in hoge mate gebruikt wordt voor agrarische bedrijfsvoering. De percelen in het gebied zijn grotendeels in gebruik bij agrarische ondernemers. Het is daarom van belang om de impact van PAWOZ-Eemshaven op de belangen van de agrarische sector mee te wegen in de uitwerking van het programma.

In de NRD is de reikwijdte en het detailniveau beschreven waarmee deze impact wordt onderzocht. De belangen van de agrarische sector zijn vertaald naar agrarische waarden die in dit kader worden uitgewerkt. Op verzoek van LTO-Noord wordt een aantal aanvullende agrarische waarden eveneens onderzocht, waardoor deze waarden worden meegewogen in de besluitvorming van het programma.

Definitieve rapportage
Deze definitieve rapportage geeft inzicht in de agrarisch waarden die binnen dit deelrapport als criteria worden uitgewerkt. Het rapport beschrijft de relevante ingreep-effect relaties en de methodiek waarmee deze worden geanalyseerd en beoordeeld.

Op basis van de begin 2024 geoptimaliseerde PAWOZ-routes en presentaties aan de stakeholders is de analysemethodiek aangescherpt. Vervolgens zijn de agrarische analyses uitgevoerd: de resultaten en beoordeling worden in dit rapport beschreven.

In deze definitieve versie is de feedback van de externe stakeholders van het thema landbouw verwerkt.

Samenvatting

De landsecties van de PAWOZ-routes liggen in een gebied dat in hoge mate gebruikt wordt voor agrarische bedrijfsvoering. De percelen in het gebied zijn grotendeels in gebruik bij agrarische ondernemers. Het is daarom van belang om de impact van PAWOZ-Eemshaven op de belangen van de agrarische sector mee te wegen in de uitwerking van het programma. Deze kwantitatieve analyse is onderdeel van de IEA voor de PAWOZ-routes in de landsecties.

In de NRD is de reikwijdte en het detailniveau beschreven waarmee de impact van de routes is onderzocht. De belangen van de agrarische sector zijn vertaald naar agrarische waarden en op verzoek van LTO-Noord is een aantal aanvullende agrarische waarden eveneens onderzocht. De agrarische waarden zijn voor dit rapport omgezet naar de volgende criteria:

Tabel 0.3: Criteria in deze rapportage.

Nr.	Criterium	Oorsprong criterium
1	Tracélengte in landbouwgrond a. Tracélengte in agrarische percelen b. Aantal betrokken perceeleigenaren c. Tracélengte in huiskavels	NRD
2	Bodemopbouw	NRD
3	Plantenziekten	zienswijze LTO-Noord
4	Opwarming bodem	zienswijze LTO-Noord

LTO Noord heeft in hun zienswijze op de concept-NRD verzocht om, naast de hierboven benoemde criteria, ook de agrarische waarden 'elektromagnetische velden', 'verziltingsrisico' en 'aanlegmethode' als criteria te beschouwen. Paragraaf 6.1.1 bevat de toelichting waarom deze agrarische waarden in dit onderzoek niet zijn meegenomen.

Doelstelling analyses

De doelstelling van de analyses die in het kader van dit deelrapport zijn uitgevoerd, is om de PAWOZ-routes onderling te vergelijken en rangschikken op de impact die de aanleg van de ondergrondse infrastructuur van PAWOZ heeft op de agrarische waarden die in dit rapport zijn onderzocht. Op deze wijze wordt inzichtelijk welke routes de minste negatieve effecten hebben op de agrarische bedrijfsvoering.

Onzekerheden

In deze fase van het programma gelden nog twee onzekerheden die in de aanpak van de analyses zijn verwerkt:

<u>Minimale en maximale projectscope</u>

In deze fase van het programma kan nog niet worden vastgesteld hoeveel windparken worden gerealiseerd en hoeveel opgewekt vermogen naar land moet worden getransporteerd. Wel is per

route vastgesteld wat de minimale en maximale projectscope is die in deze route kan worden aangelegd, uitgedrukt in het aantal te leggen waterstofleidingen of hoogspanningskabels. In dit onderzoek is per route zowel de minimale projectscope als de maximale projectscope beschouwd.

Tracéonzekerheid

In deze fase van het programma zijn de PAWOZ-routes globaal uitgewerkt. De routes zijn dan ook gerepresenteerd als lijn, voorzien van een contour. Deze contour noemen we binnen PAWOZ het 'studiegebied' van een route. De breedte van het studiegebied wordt bepaald door de maximaal aan te leggen infrastructuur.

De agrarische analyses zijn uitgevoerd op de in deze fase voorgestelde PAWOZ-routes, gelegen op de middenlijn van het studiegebied. In de projectfase, het vervolg van het Programma, wordt een nadere route gedefinieerd voor de aan te leggen infrastructuur. De kans dat deze nadere route bij een meer gedetailleerde uitwerking afwijkt van de middenlijn, is echter zeer groot. Het gebrek aan een exacte ligging in deze fase noemen we binnen deze analyse de 'tracéonzekerheid'. Naast de analyse van de middenlijn, zijn er langs de randen van het studiegebied twee aanvullende lijnen geanalyseerd, om zo de afwijking elders in het studiegebied te kunnen onderzoeken. Zo kan worden vastgesteld of bij nadere uitwerking van de routes in de vervolgfase, een grotere impact op de agrarische waarden moet worden verwacht.

Conclusie

Uit deze analyse naar de impact op de agrarische waarden volgt een eenduidige conclusie: de lengte van de routes is op alle criteria doorslaggevend in de analyseresultaten en effectenbeoordeling van de routes: kortere routes hebben minder impact op de agrarische waarden dan langere routes.

Voor zowel de hoogspanningsverbindingen van TenneT als voor de waterstofleidingen van Gasunie is route II: Oude Westereems Landroute A de route met de minste impact op de agrarische waarden.

1. Beschrijving van het programma PAWOZ-Eemshaven

Dit is het deelrapport over landbouw van de Integrale Effectanalyse (IEA) van het Programma Aansluiting Wind Op Zee - Eemshaven. In de IEA zijn de effecten op omgeving, landbouw, milieu, techniek, kosten, planning en toekomstvastheid onderzocht van meerdere routes voor kabelsystemen en waterstofleidingen vanaf toekomstige windparken op de Noordzee, door het Waddengebied en het vasteland naar Eemshaven. De IEA zorgt ervoor dat de minister van Klimaat en Groene Groei deze effecten goed meeneemt in het besluit over het Programma.

1.1. Aanleiding voor het Programma

Boven de Waddeneilanden komen nieuwe windparken op de Noordzee. Dat zijn in elk geval het windpark Ten Noorden van de Waddeneilanden (TNW, 700 Megawatt) en het windpark Doordewind (DDW, 4 Gigawatt). De Nederlandse overheid heeft plannen om in de toekomst nog meer windparken op zee te ontwikkelen. Energie vanuit deze nieuwe windparken moet ook aan land worden gebracht.

De energie van deze windparken moet naar het landelijke hoogspanningsnet van TenneT of het Waterstofnetwerk Nederland van Gasunie in de buurt van de Eemshaven worden gebracht. Dit kan met elektriciteitskabels (hierna: kabelsystemen) of, als de stroom op zee wordt omgezet naar waterstof, met waterstofleidingen (hierna: leidingen). Het Rijk onderzoekt nu, samen met de omgeving, op welke routes en locaties het mogelijk is om kabelsystemen, leidingen en bijbehorende stations aan te leggen, te gebruiken en te onderhouden om de windenergie naar de Eemshaven te brengen. En welke routes de voorkeur hebben om eerst te worden gebruikt.

Daarbij is het belangrijk om goed te onderzoeken wat de effecten zijn van allerlei routes en stationslocaties, en hoe deze verschillen bij gebruik van verschillende aanlegtechnieken. De besluitvorming over welke routes te benutten en in welke volgorde vindt plaats in het Programma Aansluiting Wind Op Zee – Eemshaven (hierna: PAWOZ) en wordt vastgelegd in het Programmadocument PAWOZ.

1.2. Doelstellingen van het Programma

Het doel van PAWOZ is om te onderzoeken waar voldoende ruimte is om kabelsystemen, leidingen en de bijbehorende stations in de Noordzee, het Waddengebied en op land aan te leggen. Met ruimte wordt de combinatie van fysieke ruimte en milieuruimte bedoeld. Beiden zijn nodig om kabelsystemen, leidingen en stations aan te kunnen leggen. Het gaat in elk geval om de ruimte voor het aansluiten van windparken TNW en DDW. En verder is onderzocht hoeveel ruimte er nog meer is voor toekomstige aansluitingen. Hierbij is de scope voor dit onderzoek vastgezet op een maximum van 10,7 GW aan elektrische verbindingen en 36-42 GW aan waterstof verbindingen.

Op elke route zijn er uitdagingen, omdat er bepaalde regels gelden en er andere gebruikers zijn. Per route is onderzocht hoeveel beschikbare ruimte er is. Deze informatie vormt input voor het Programma. In het Programma worden de routes geprioriteerd. Dit betekent dat de ene route de voorkeur krijgt boven een andere route. Als TNW en DDW worden ontwikkeld, dan worden routes uit PAWOZ gebruikt om de windparken aan te sluiten. Voor andere toekomstige windparken worden routes uit PAWOZ meegewogen met de routes uit pVAWOZ. PAWOZ draagt zo bij aan het aansluiten van windparken op zee en daarmee aan het terugbrengen van de Nederlandse CO2-uitstoot en de energietransitie van Nederland.

Opgave aangewezen en toekomstige windenergiegebieden

Opgave DDW
Windenergiegebied Doordewind (DDW) gaat bestaan uit twee windkavels, DDW-1 en DDW-2. Beide krijgen een capaciteit van 2 GW. In dit MER zijn beide toekomstige windkavels voor de eenvoud samengenomen. Het wordt aangeduid als 'Windpark DDW' met een capaciteit van 4 GW. DDW wordt met twee gelijkstroom (DC)-kabelsystemen (van elk 2 GW) aangesloten op het landelijk hoogspanningsnet.

Opgave TNW
Windpark Ten Noorden van de Waddeneilanden (TNW) krijgt een capaciteit van 700 MW. Het windpark is in maart 2023 aangewezen als een demonstratieproject voor waterstof voor 500 MW en moet met een leiding worden aangesloten op het Waterstofnetwerk Nederland. Ook wordt gekeken of er ruimte is om de resterende 200 MW met een elektrische verbinding te kunnen koppelen aan DDW. Als alternatief is onderzocht of TNW met twee wisselspanning (AC)-kabelsystemen (van elk 350 MW) kan worden aangesloten op het landelijk hoogspanningsnet.

Toekomstige windenergiegebieden
Het is nog niet besloten welke gebieden er in de toekomst, na windenergiegebieden TNW en DDW, worden gereserveerd voor windenergie en waar de energie van deze parken gaat aanlanden. Het Programma Verbindingen Aanlanding Wind Op Zee 2031-2040 (pVAWOZ) onderzoekt de aanlanding van de toekomstige windparken. pVAWOZ gebruikt de resultaten van PAWOZ om te bepalen of en via welke routes toekomstige windgebieden kunnen aansluiten op de Eemshaven.

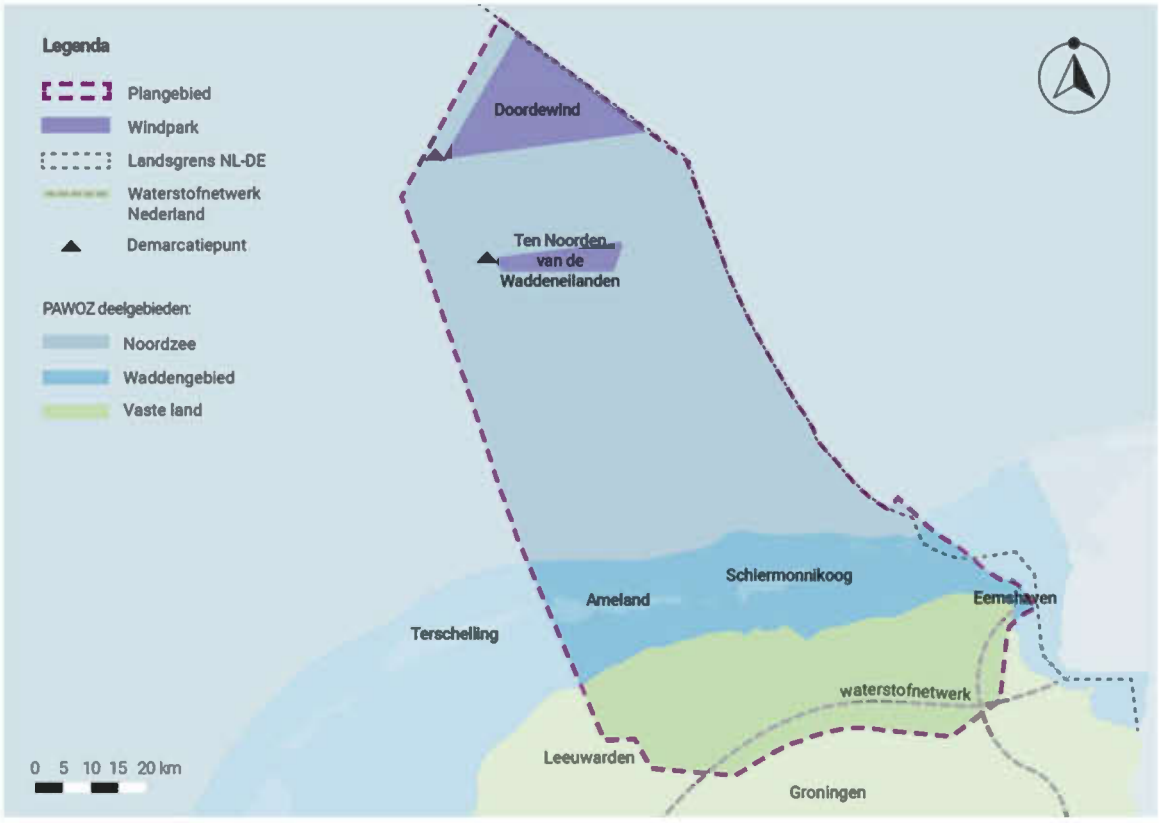
1.3. Plangebied

Afbeelding 1.1 laat zien in welk gebied de routes en stationslocaties zijn onderzocht. Dit wordt het plangebied van PAWOZ genoemd. Het plangebied is verdeeld in drie deelgebieden: de Noordzee, het Waddengebied en het vasteland. De Waddeneilanden en de kust van het vasteland zijn onderdeel van het Waddengebied.

Demarcatie PAWOZ – pVAWOZ

Tussen de onderzoeken voor PAWOZ en pVAWOZ is gewerkt met zogenaamde demarcatiepunten. Omdat de onderzoeken van deze programma's gelijktijdig plaatsvinden is afgesproken tot waar PAWOZ een route onderzoekt en waar pVAWOZ start. Het demarcatiepunt is dus het punt waar de te onderzoeken routes van PAWOZ en pVAWOZ op elkaar aansluiten. Voor kabelsystemen ligt het demarcatiepunt ten westen van windgebied DDW. Voor leidingen ligt het demarcatiepunt ten westen van windgebied TNW.

Afbeelding 1.1 - Het plangebied van PAWOZ.



1.4. Voornemen

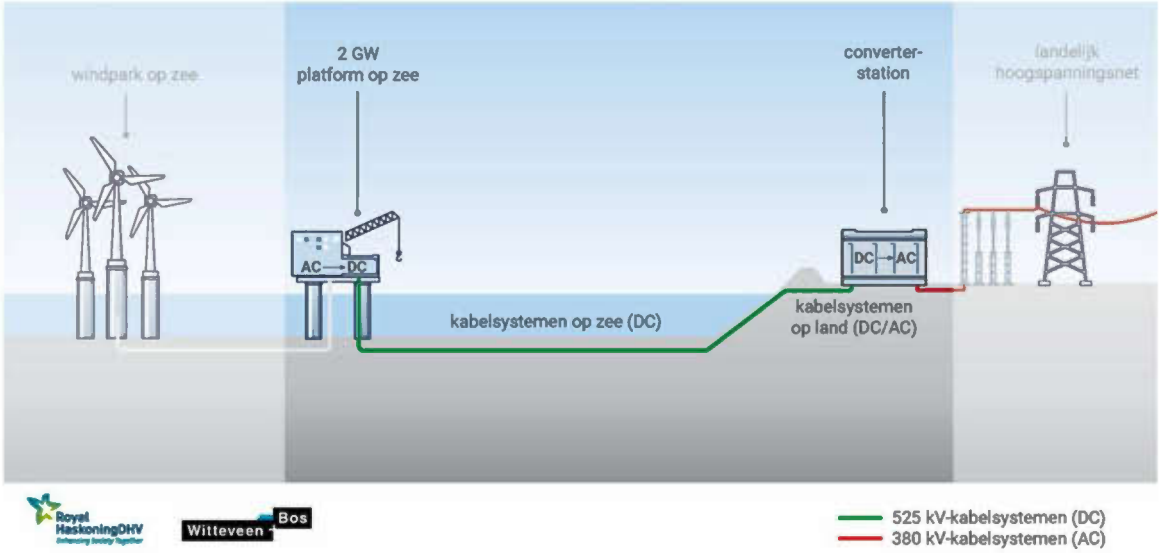
Het voornemen voor PAWOZ is om energie van windparken op zee boven de Waddeneilanden aan te sluiten op het landelijke hoogspanningsnet van TenneT of het Waterstofnetwerk Nederland van Gasunie in de buurt van de Eemshaven. Er is ook onderzocht of een tunnelsysteem kan worden gebruikt om onder het grootste deel van het Waddengebied door te gaan. In deze paragraaf staan de hoofdlijnen van het elektriciteitsnet, het waterstofnetwerk, en het tunnelsysteem. Een uitgebreidere toelichting van het voornemen en de aanlegtechnieken staat in het hoofdrapport van het MER en is uitgewerkt in de Notitie Routeontwikkeling.

1.4.1. Elektrische verbindingen

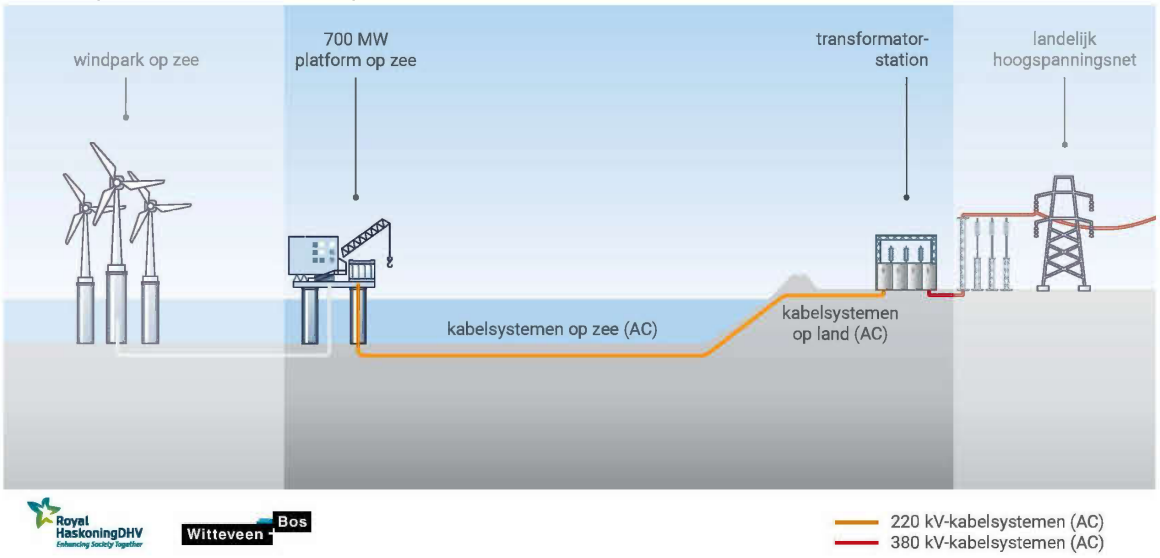
De elektrische verbinding voor PAWOZ bestaat uit kabelsystemen en de bijbehorende stations. Dat zijn de platforms op zee bij TNW en DDW en de transformator- of converterstations op land. De onderzoeksopgave voor PAWOZ bestaat uit vijf gelijkstroom (DC)-verbindingen van 525 kV (2 GW) en twee wisselstroom (AC)-verbindingen van 220 kV (350 MW). De soorten verbindingen zijn weergeven in Afbeelding 1.2 en Afbeelding 1.3, voor respectievelijk gelijkstroom en wisselstroom.

De AC- en DC-verbindingen lopen van een platform op zee, via kabelsystemen onder de zeebodem naar het vasteland. Vervolgens wordt de elektriciteit met kabelsystemen op land naar een transformatorstation (voor AC) of converterstation (voor DC) gebracht. Daar wordt het spanningsniveau omgezet naar 380 kV. Tenslotte wordt de elektriciteit getransporteerd naar een 380 kV-hoogspanningsstation waar het wordt aangesloten op het landelijke hoogspanningsnet. De 380 kV-stations die in beeld zijn voor de aansluiting op het landelijke hoogspanningsnet zijn Eemshaven Oudeschip en Eemshaven Oostpolderweg. Deze 380 kV-stations zijn geen onderdeel van het voornemen.

Afbeelding 1.2 - Schematische weergave van het elektriciteitsnet (gelijkstroom).



Afbeelding 1.3 - Schematische weergave van het elektriciteitsnet (wisselstroom).



Platforms op zee

De platforms van TNW en DDW zijn onderdeel van het voornemen. Voor DDW zijn twee zoekgebieden onderzocht. TenneT heeft een standaard ontworpen voor een 700 MW wisselstroomplatform en voor een 2 GW gelijkstroom platform. De platforms van toekomstige windparken zijn niet meegenomen. Dat is omdat nog niet duidelijk is of, en zo ja welke, windparken worden aangesloten op de Eemshaven. De windturbines zelf en de parkbekabeling maken geen onderdeel uit van PAWOZ. Deze onderdelen worden in een latere fase in kavelbesluiten verder uitgewerkt.

Kabelsystemen op zee

Uitgangspunt voor de onderlinge afstand tussen TenneT kabelsystemen op zee is 200 m. Dit geldt zowel voor AC- als DC-kabelsystemen. Voor de aanleg van kabelsystemen op de Noordzee en het Waddengebied wordt het principe 'bury and would like to forget' toegepast. Dat principe is erop gericht kabelsystemen in één keer voldoende diep te begraven, zodat ze niet blootspoelen. De diepte is bepaald in een begraafdiepte studie die als bijlage is opgenomen in de Notitie Routeontwikkeling.

Er zijn verschillende kabelinstallatietechnieken voor op zee, de ondiepere geulen en de droogvallende wadplaten. Er kan baggerwerk nodig zijn om voldoende waterdiepte voor de installatievaartuigen of voldoende ingraafdiepte te realiseren. Voor het passeren van de kust en de eilanden worden horizontaal gestuurde boringen (hierna: HDD-boring) toegepast.
De duur van de werkzaamheden voor de aanleg van een kabelsysteem op zee is onder andere afhankelijk van de aanlegtechniek, de kabellengte en de route. Het uitgangspunt van PAWOZ is dat er maximaal één kabelsysteem per jaar wordt aangelegd.

Kabelsystemen op land
Waar de kabelsystemen aan land komen, moeten die worden omgezet naar ondergrondse kabelsystemen op land. Om de kabelsystemen op land en op zee op elkaar aan te sluiten is op deze locatie (aan de landzijde van de waterkering) een overgangsmof nodig. Dat is een soort 'kroonsteen' tussen de kabelsystemen op land en op zee.

Voor de aanleg van kabelsystemen op land zijn twee installatietechnieken: een open ontgraving of een HDD-boring.

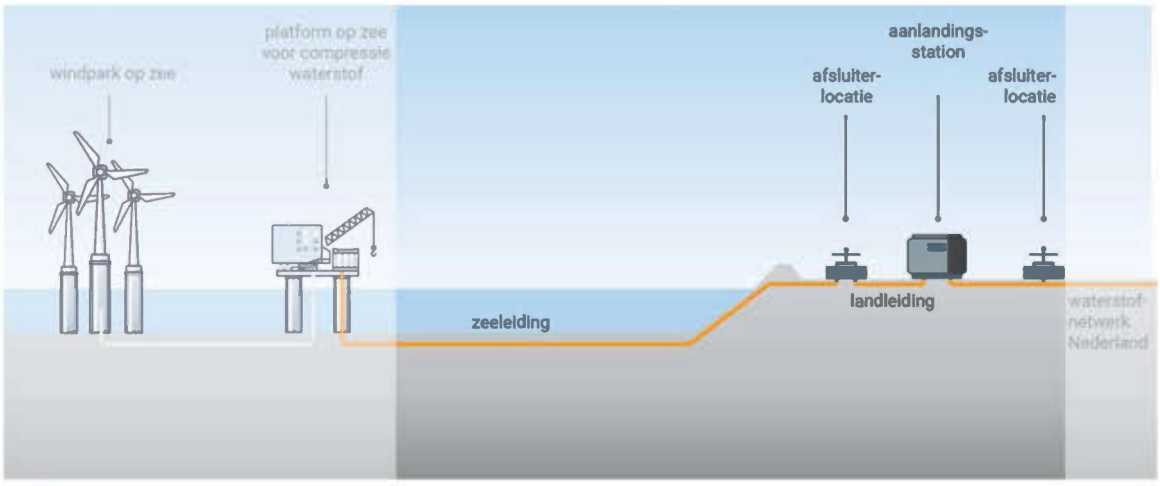
Transformatorstation of converterstation
Voordat de kabelsystemen op land kunnen worden aangesloten op het landelijke hoogspanningsnet moet de spanning worden getransformeerd naar 380 kV wisselspanning. Dat gebeurt in een transformatorstation. In het geval van een DC-verbinding betekent dit dat deze eerst nog moet worden geconverteerd (van DC naar AC). Dit gebeurt in een converterstation.

1.4.2. Waterstofverbindingen

De waterstofverbinding voor PAWOZ bestaat uit leidingen en de bijbehorende stations, zoals weergegeven in Afbeelding 1.4. Dat zijn de aanlandingsstations en afsluiterlocaties. De onderzoeksopgave voor PAWOZ bestaat uit drie leidingen voor het transport van waterstof, inclusief waterstof aanlandingsstation en afsluiterlocaties.

Vanaf een platform op zee loopt een leiding over de zeebodem naar het vasteland. Bij de aanlanding komt een waterstof aanlandingsstation. Bij de aanlanding komt ook een afsluiterlocatie waar de leiding op zee kan worden afgesloten van de leiding op land. De leidingen op land worden aangesloten op het Waterstofnetwerk Nederland dat wordt ontwikkeld door Hynetwork (100 % dochteronderneming van Gasunie, www.hynetwork.nl). Bij de aansluiting op het landelijk waterstofnetwerk is ook een afsluiterlocatie voorzien.

Afbeelding 1.4 - Schematische weergave van een waterstofverbinding



Platform op zee

Waterstof wordt gemaakt door elektrolyse. Daarbij wordt met behulp van elektriciteit (opgewekt uit windenergie) zeewater gesplitst in waterstof (in gasvorm) en zuurstof. Elektrolyse op zee kan plaatsvinden in de turbine zelf (decentraal) of op een platform (centraal). Bij centrale compressie van waterstof, kunnen verschillende type onderconstructies worden gebruikt.

De platforms voor waterstof zijn geen onderdeel van het voornemen. De platforms zijn niet meegenomen. De windturbines zelf en de parkbekabeling maken ook geen onderdeel uit van PAWOZ.

Leiding op zee

Uitgangspunt voor PAWOZ zijn nieuwe leidingen met een diameter van 48 inch. Voor de aanleg van leidingen op de Noordzee en het Waddengebied is het uitgangspunt om de leidingen in één keer voldoende diep te begraven, zodat ze niet blootspoelen. De diepte is bepaald in een begraafdiepte studie die als bijlage is opgenomen bij de Notitie Routeontwikkeling.

Er kunnen verschillende installatietechnieken worden gebruikt op zee, de ondiepere geulen en de droogvallende wadplaten. Er kan baggerwerk nodig zijn om voldoende waterdiepte voor de installatievaartuigen of voldoende ingraafdiepte te realiseren.

Leiding op land

Ook voor leidingen op land is het uitgangspunt nieuwe leidingen met een diameter van 48 inch. Voor de aanleg van leidingen op land zijn er twee type installatietechnieken: een open ontgraving of een sleufloze techniek, zoals een horizontaal gestuurde boring (hierna: HDD-boring).

Aanlandingsstations en afsluiterlocaties

Uitgangspunt is dat een waterstof aanlandingsstation een oppervlakte van 2 ha heeft. Daarbij is ervan uitgegaan dat de compressie van waterstof op zee plaatsvindt. Waar mogelijk wordt een waterstof aanlandingsstation gebouwd in de nabijheid van reeds aanwezige infrastructuur ('bundelingsprincipe'). Een afsluiterlocatie heeft een oppervlakte van 20 m bij 20 m.

1.4.3. Tunnelsysteem tussen Ballonplaat en Eemshaven

Als alternatief op de in de vorige paragrafen beschreven aanlegtechnieken voor het elektriciteitsnet en waterstofnetwerk is onderzocht of kabelsystemen of leidingen in een geboord tunnelsysteem onder het Waddengebied kunnen worden aangelegd. De uitgangspunten die op dit alternatief van toepassing zijn, wijken af van de uitgangspunten uit de vorige paragrafen. Voor de ontwikkeling van het tunnelsysteem is een intredepunt op de Noordzee en een aanlandingspunt in of nabij de Eemshaven nodig. Het intredepunt op de Noordzee ligt op de Ballonplaat. Voor het aanlandingspunt in de Eemshaven is met zoekgebieden gewerkt. Het tunnelsysteem bestaat uit meerdere tunnelbuizen waar de kabelsystemen en leidingen in liggen. Het tunnelsysteem wordt enkel onderzocht als route voor het doorkruisen van het Waddengebied. Vanaf zowel het intredepunt als aanlandingspunt worden de kabelsystemen en leidingen naar respectievelijk de windparken en de aansluitpunten op het vasteland met conventionele technieken aangelegd.

2. Wettelijk kader en beleidskader

Deze paragraaf geeft een overzicht van de vigerend regelgeving en het vigerend beleid, relevant voor het aspect agrarische waarden. Er is grote overlap met het MER deelrapport Bodem en Water op Land. Om deze reden wordt hier zo veel mogelijk bij aangesloten. Om een dubbele beoordeling te voorkomen wordt de beoordeling aan het wettelijk- en beleidskader omschreven in het MER deelrapport Bodem en Water op Land.

2.1. Aspect specifiek wettelijk kader

In Tabel 2.1 is het wettelijke kader voor landbodem, oppervlakte- en grondwater samengevat en de relevantie beschreven. Hierbij is uitgegaan van de Omgevingswet die op 1 januari 2024 in werking is getreden.

Tabel 2.1 - Wettelijk kader agrarische waarden (overgenomen uit het deelrapport Bodem en Water op Land).

Wet- en regelgeving	Uitleg en relevantie
Omgevingswet	De Omgevingswet stelt regels voor de vergunningverlening, toezicht en handhaving op activiteiten die de waterkwaliteit, waterkwantiteit, veiligheid en watersystemen beïnvloeden. Ook bevat de Omgevingswet regels met betrekking tot bodemenergiesystemen, graven in de bodem en grondwater. Veel van de normen in de Omgevingswet vloeien voort uit Europese richtlijnen, zoals de Kaderrichtlijn Water, de Grondwaterrichtlijn en de Drinkwaterrichtlijn. Onder de Omgevingswet zijn verschillende regels die voorheen onder de Waterwet op rijksniveau waren gesteld overgegaan naar de waterschapsverordeningen (zie onder provinciale wetgeving de Waterschapsverordening Noorderzijlvest en de Waterschapsverordening Wetterskip Fryslân). Regels voor wateractiviteiten en activiteiten in de bodem zijn onder de Omgevingswet gebundeld. *Relevantie: Bij de aanleg van de routes voor kabelsystemen en leidingen worden diverse watersystemen doorkruist.*
Aanvullingswet en -besluit bodem Omgevingswet	Via de Aanvullingswet bodem Omgevingswet en het Aanvullingsbesluit bodem Omgevingswet zijn de regels voor bodem onderdeel gemaakt van het systeem van de Omgevingswet. Het nieuwe wettelijke instrumentarium voor bodem berust op drie pijlers: 1 het voorkomen van nieuwe verontreiniging of aantasting (preventie); 2 het meewegen van bodemkwaliteit als onderdeel van een brede afweging over de kwaliteit van de leefomgeving in relatie tot functies (toedeling van functies); 3 het op duurzame en doelmatige wijze beheren van resterende historische verontreinigingen (beheer historische verontreinigingen). Elke pijler kent zijn eigen instrumenten die ontleend worden uit de Omgevingswet. De nieuwe regels komen in de plaats van de regels voor het beheer van bodemkwaliteit, zoals de Wet

	bodembescherming, het Besluit bodemkwaliteit en het Besluit uniforme saneringen. Voor de voormalige Wet bodembescherming (Wbb) (die gericht was op het saneren van bestaande (risicovolle) verontreinigingen, het voorkomen van nieuwe verontreinigingen en het terugdringen van verontreinigingen door diffuse bronnen) geldt overgangsrecht Wbb dat geregeld is via de Aanvullingswet en het Aanvullingsbesluit bodem. Het overgangsrecht geldt voor lopende saneringen, reeds beschikte verontreinigingen (voor 1 januari 2024), locaties waar nazorg van toepassing is en verontreinigingen die zijn ontstaan tussen 1987 en 2024. *Relevantie: Omdat er gegraven gaat worden in de bodem is toetsing aan deze wetgeving relevant.*
Besluit bodemkwaliteit en de Regeling bodemkwaliteit	Het Besluit bodemkwaliteit (Bbk) is gericht op hergebruik van grond, baggerspecie en bouwstoffen, zodat minder primaire grondstoffen nodig zijn. Het bevat daarnaast een toetsingskader gericht op het toepassen van grond, baggerspecie en bouwstoffen en regels ten aanzien van kwaliteitsborging voor de uitvoering. De Regeling bodemkwaliteit geeft een technische invulling aan de regels van het Besluit bodemkwaliteit. Hierin is onder andere geregeld op welke wijze de kwaliteit van bouwstoffen, grond en baggerspecie wordt bepaald en aan de daarvoor geldende normen worden getoetst. Ook geeft de Regeling bodemkwaliteit invulling aan de regels met betrekking tot de kwaliteitsborging in het bodembeheer. De regels voor hergebruik van bouwstoffen, grond en baggerspecie staan, nu de Omgevingswet in werking is getreden, deels in het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) en deels in het Besluit bodemkwaliteit (Bbk). Via het Aanvullingsbesluit bodem is het Bbk gewijzigd. *Relevantie: Bij toepassing van grond op de landbodem dient de kwaliteit getoetst te worden aan eisen uit het gemeentelijk beleid (generiek of gebied specifiek) en de regels van het Besluit. Hierbij wordt rekening gehouden met de bodemfunctie, bestaande bodemkwaliteit en lokale of regionale situatie.*
Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl)	Het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl) is een van de algemene maatregelen van bestuur waar de Omgevingswet in doorwerkt. Het Bkl is gericht op het beschermen en verbeteren van de kwaliteit van de leefomgeving. Het stelt specifieke regels over milieu, natuur, water, en andere aspecten die belangrijk zijn voor een gezonde omgeving. Ook staan in het Bkl instructieregels, beoordelingsregels en regels voor monitoring met betrekking tot bouwactiviteiten op bodemgevoelige locaties, nazorg en aanwijzing van bodembeheergebieden. De instructieregels zijn regels vanuit het Rijk die gemeenten in hun omgevingsplannen moeten verwerken. *Relevantie: Voor het aanleggen van kabelsystemen/leidingen gaan graafwerkzaamheden plaatsvinden die toetsing aan Bkl noodzakelijk maakt.*
Besluit activiteiten leefomgeving (Bal)	Het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) omschrijft algemene rijksregels voor milieubelastende activiteiten (MBA) in de fysieke leefomgeving. Daarnaast is omschreven of activiteiten meldingsplichtig zijn of een omgevingsvergunning nodig hebben.

Verschillende MBA's in het Bal hebben een directe of indirecte relatie met bodem, zoals:
- bouwen op verontreinigde bodem;
- op of in bodem brengen van meststoffen;
- graven in bodem (boven en onder de interventiewaarde en boven en beneden 25 m3);
- saneren van de bodem;
- opslaan van grond en baggerspecie;
- toepassen van bouwstoffen;
- toepassen van grond of baggerspecie.

Relevantie: Sommige werkzaamheden binnen het project worden als milieubelastende activiteiten aangemerkt dat toetsing aan het Bal noodzakelijk maakt.

2.2. Aspect specifiek beleidskader

Op nationaal, regionaal, provinciaal, waterschap en gemeentelijk niveau stellen beleid kaders aan het project. De onderstaande tabellen beschrijven deze kaders voor elk beleidsniveau.

Tabel 2.2 - Beleidskader nationaal en regionaal niveau voor aspect agrarische waarden.

Wet- en regelgeving	Uitleg en relevantie
Europese Bodemstrategie, 2021	Als onderdeel van de biodiversiteitsstrategie en de klimaatadaptatiestrategie heeft de EU in november 2021 de EU-bodemstrategie uitgebracht. Hierin is expliciet het belang van de bodem naar voren gebracht en wordt het medium als sleutel gezien voor de grote uitdagingen van dit moment. Als belangrijkste ambities stelt de EU-bodemstrategie dat in 2050 alle EU bodem-ecosystemen in goede (gezonde) staat zijn en daarmee weerbaar tegen externe factoren als klimaatverandering. De EU benadrukt dat hiervoor ingrijpende veranderingen nodig zijn. In 2050 is bescherming, duurzaam gebruik en herstel van bodems de norm bij wet- en regelgeving die raakvlakken hebben met het fysieke domein. De EU benadrukt hierbij wel dat er zorgvuldig moet worden gekeken naar lokale/regionale bodemsoorten, klimaatcondities en landgebruik. *Relevantie: Vanuit Europa wordt wet- en regelgeving voor middellange en lange termijn opgesteld welke doorwerkt in de nationale wetgeving. De opgaven, de uitwerking en de voorwaarden zijn relevant voor de beoordeling van het project.*
Nationale omgevingsvisie (NOVI), 2020	In de NOVI geeft het Rijk een langetermijnvisie op de toekomstige ontwikkeling van de leefomgeving van Nederland. De NOVI is opgesteld met het oog op duurzame ontwikkeling van de bewoonbaarheid van het land en de bescherming en verbetering van het leefmilieu. De NOVI stelt de bodem en ondergrond centraal bij het maken van deze keuzes in ruimtelijke ontwikkeling door de ondergrond in samenhang met de bovengrond te beschouwen. Functies moeten, meer dan voorheen, passen bij de natuurlijke eigenschappen van het natuurlijke systeem als geheel. Hierbij wordt een holistische benadering nagestreefd, waarbij zowel de fysische, biologische en

	chemische eigenschappen van het bodem-watersysteem een rol spelen. *Relevantie: De activiteiten van het project spelen in de ondergrond en maakt beschouwing binnen de NOVI noodzakelijk.*
Regionaal Waterprogramma Fryslân, 2022-2027, vastgesteld 30 november 2022	Het Regionaal Waterprogramma is een omgevingsprogramma met beleidskaders van het provinciale waterbeheer en klimaatadaptatie. De Omgevingswet verplicht het opstellen van een Regionaal Waterprogramma. Het legt de hoofdlijnen vast van het in de provincie te voeren waterbeleid (regionale oppervlaktewateren en het grondwater) en de daartoe behorende aspecten van het provinciale ruimtelijke beleid. De provincie geeft met maatregelen uitvoering aan de toepassing van Europese en Nationale richtlijnen zoals de Grondwaterrichtlijnen, KRW en Richtlijn Overstromingsrisico's. Waterschappen werken het programma nader uit in een wettelijk verplicht waterbeheerprogramma. *Relevantie: Binnen het regionaal waterprogramma geeft de provincie uitvoering aan de Kaderrichtlijn Water en de Grondwaterrichtlijn. Er wordt bijvoorbeeld aangegeven aan welke doelen en normen de kwaliteit van het grondwater of oppervlaktewater moet voldoen.*
Programma Water 2024 (provincie Groningen)	Het Regionaal Waterprogramma (RWP) genaamd 'Programma water 2024' is een omgevingsprogramma met beleidskaders van het provinciale waterbeheer en klimaatadaptatie. De Omgevingswet verplicht het opstellen van een Regionaal Waterprogramma. Het RWP maakt onderdeel uit van de Omgevingsvisie. Het legt de hoofdlijnen vast van het in de provincie te voeren waterbeleid (regionale oppervlaktewateren en het grondwater) en de daartoe behorende aspecten van het provinciale ruimtelijke beleid. Het gaat bijvoorbeeld om de toepassing van Europese en Nationale richtlijnen zoals de Grondwaterrichtlijnen, KRW en Richtlijn Overstromingsrisico's. Waterschappen werken het programma nader uit in een wettelijk verplicht waterbeheerprogramma. *Relevantie: zie voorgaande toelichting Regionaal Waterprogramma Fryslân.*
Meerjarenprogramma Ondergrond en bodem 2020-2025	Het MJP 2020-2025 biedt een overzicht van actuele maatschappelijke trends en opgaven in relatie tot het bodem- en grondwatersysteem en actualiseert het tactisch en uitvoeringsbeleid van de provincie Groningen ten aanzien van bodem, ondergrond en grondwater bij deze maatschappelijke opgaven. Het programma is samen met de gemeenten en waterschappen opgesteld. *Relevantie: Er dient rekening gehouden te worden met genoemde trends en opgaven.*

Tabel 2.3 - Beleidskader provinciaal niveau voor aspect agrarische waarden.

Wet- en regelgeving	Uitleg en relevantie
Groningen: • **Rapport Bodemkwaliteitskaart buitengebied provincie Groningen (PFAS), 3-12-2019;**	De bodemkwaliteitskaart geeft de gebiedseigen diffuse bodemkwaliteit weer binnen een gemeente of regio. Op basis van deze kwaliteit en ambities van de gemeente kunnen gebiedsspecifieke eisen, voor onderzoek en

• **Actualisatie Regionale Bodemkwaliteitskaart Provincie Groningen, 14-04-2020;** • **Regionale Nota bodembeheer provincie Groningen, 20-06-2013;** • **Erratum Regionale Nota bodembeer provincie Groningen, 20-04-2020.** **Fryslân:** • **Interactieve bodemkwaliteitskaart Fryslân, FUMO, 2018;** • **Bodemkwaliteitskaart PFAS in Fryslân, 23-01-2020;** • **Nota bodembeheer 2018, Fumo in samenwerking met 13 gemeenten in Fryslân, 2018.**	grondverzet, door de gemeente zijn geformuleerd. Deze eisen zijn vastgelegd in de Nota bodembeheer. Op basis van de bodemkwaliteitskaart kan ter plaatse van onverdachte gebieden, zonder extra milieu hygiënisch bodemonderzoek, de kwaliteit van de vrijkomende grond worden bepaald. Tevens kan met behulp van de bodemkwaliteitskaart worden bepaald aan welke kwaliteitseisen een toe te passen partij grond of baggerspecie in het plangebied dient te voldoen. Door een gezamenlijke beheernota op te stellen kan grondverzet tussen de deelnemende gemeenten onderling eenvoudiger plaatsvinden. *Relevantie: In de nota's bodembeheer en de bodemkwaliteitskaarten is de gemiddelde chemische grondkwaliteit op basis van bodemonderzoek per provincie vastgelegd. Hiermee kan indicatief een indruk worden verkregen welke kwaliteit grond bij het project zal vrijkomen. Deze informatie is voor het plangebied beschreven en weergegeven in deze rapportage. Hiermee kan indicatief een indruk worden verkregen welke kwaliteit grond bij het project zal vrijkomen. Deze informatie is voor het plangebied beschreven en weergegeven in deze rapportage.*

Tabel 2.4 - Beleidskader richtlijnen voor aspect agrarische waarden.

Wet- en regelgeving	Uitleg en relevantie
Nederlandse Norm (NEN) 5717 - oktober 2023	Bodem - Waterbodem - Strategie voor het uitvoeren van milieuhygiënisch vooronderzoek.
Nederlandse Norm (NEN) 5725 - oktober 2023	Bodem - Landbodem - Strategie voor het uitvoeren van milieuhygiënisch vooronderzoek.
Nederlandse Norm (NEN) 5720 - oktober 2023	Bodem - Waterbodem - Strategie voor het uitvoeren van milieuhygiënisch onderzoek.
Nederlandse Norm (NEN) 5740 - oktober 2023	Bodem - Landbodem - Strategie voor het uitvoeren van verkennend bodemonderzoek - Onderzoek naar de milieuhygiënische kwaliteit van bodem en grond. *Relevantie: betreffen de richtlijnen voor de uitvoering van onderzoek om de chemische kwaliteit van de land- en waterbodem vast te stellen.*
Bodembescherming: combinaties van voorzieningen en maatregelen (BB-CVM)-2020	Bedrijven in Nederland gebruiken veel verschillende stoffen. Veruit de meeste van deze stoffen horen niet in de bodem thuis. Bij bedrijfsmatige activiteiten, waarbij het risico bestaat dat deze stoffen in de bodem terechtkomen, moet een bedrijf zijn bodem beschermen tegen die stoffen. De BB-CVM is een document waarin de Best Beschikbare Technieken (BBT) moeten worden beschreven om de bodem te beschermen bij bedrijfsmatige activiteiten. *Relevantie: Het is mogelijk dat ter plaatse van aanlandingspunten, transformator- en convertorstation of in de Eemshaven activiteiten plaatsvinden waar bodembescherming noodzakelijk is.*

3. Huidige situatie en plan- en studiegebied

Het studiegebied is het gebied waar de mogelijke effecten van de voorgenomen activiteit plaatsvinden. Voor de criteria onder het aspect 'agrarische waarden is het studiegebied gelijk aan het plangebied van het onderdeel vasteland, zoals beschreven in paragraaf 1.3.

3.1. Huidige situatie op land

In deze paragraaf staat de huidige situatie van de bodemopbouw en de bodemkwaliteit. Dit komt overeen met de omschreven situatie in het MER-deelrapport Bodem en Water op Land. In dit rapport zijn naast de bodemopbouw en -kwaliteit ook het grondwater en het oppervlaktewater beschreven.

3.1.1. Bodemopbouw

Voor de uit te voeren activiteiten binnen PAWOZ is draagkracht en zetting van de bodem belangrijk. In dit kader is het belangrijk inzicht in de bodemopbouw te krijgen om de juiste keuzes in fundering te maken.

De bodemopbouw bestaat uit verschillende grondsoorten zoals zand, klei en veen. De voorkomende grondsoorten in de bodem gaan in elkaar over, variëren in laagdikten en verschillen per gebied. Elke grondsoort heeft zijn eigen draagkracht en zettingsgevoeligheid. Zandgronden zijn stabiel en hebben veel draagkracht voor constructies. Klei- en veengronden hebben een geringe draagkracht, zijn gevoeliger voor zetting en zijn als onstabieler te beschouwen (ook wel 'slappe gronden'). Veen is daarentegen weer zettingsgevoeliger dan klei.

Hieronder is de bodemopbouw op basis van de gegevens uit het DINO-loket met REGISII versie 2.2 beschreven. Er zijn drie dwarsdoorsnedes gemaakt van het plangebied aan de hand van boorgegevens. Gezien de te onderzoeken routes loopt één dwarsdoorsnede parallel langs de kust en twee meer westelijk dwars op de kust, één door de provincie Groningen ten oosten van het Lauwersmeer en één door de provincie Friesland ten westen van het Lauwersmeer (zie Afbeelding 3.1 en Afbeelding 3.2).

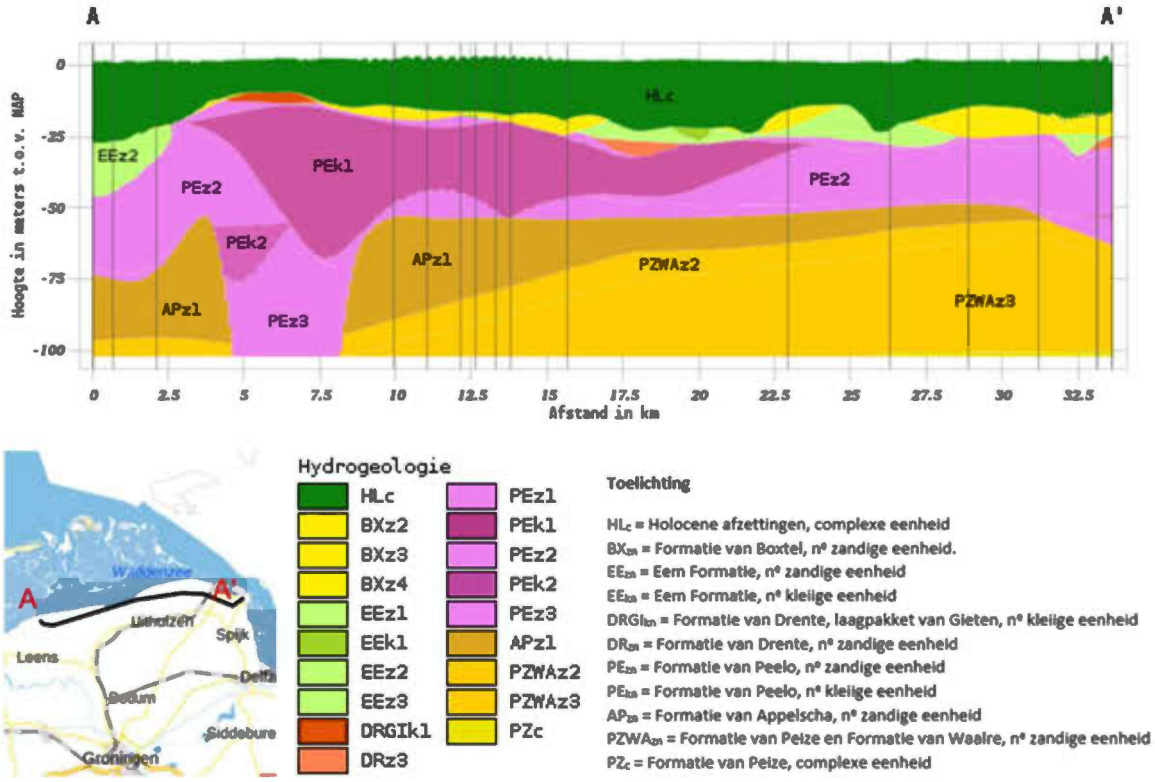
Onderstaand is de bodemopbouw beschreven:

- de bovengrond langs de kust van de provincie Groningen (onder andere rond de Oostpolder en de Eemshaven) bestaat voornamelijk uit klei. De ondiepe bodem bestaat voornamelijk uit zand en kleiig zand. Vanaf circa NAP -10 m neemt de hoeveelheid klei in de bodem toe (zie Afbeelding 3.1).
- oostelijk van het Lauwersmeer, dwars op de kust bestaat de bovengrond voornamelijk uit klei. De ondiepe bodem bestaat voornamelijk uit zand, kleiig zand en plaatselijk is nog basisveen aanwezig. Vanaf circa NAP -10 m neemt de hoeveelheid klei in de bodem toe.

Verder landinwaarts zijn er daarnaast ondiepe kleigronden aanwezig tot een diepte van NAP -4 tot -15 m (zie Afbeelding 3.1).

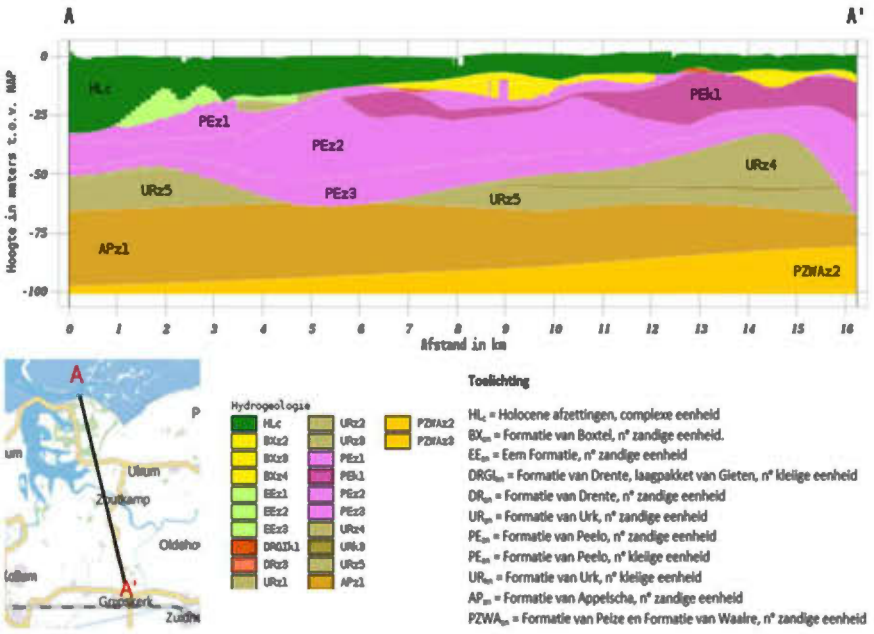
- westelijk van het Lauwersmeer, landinwaarts ter plaatse van de onderzochte route aldaar, bestaat de bodem voornamelijk uit kleigronden. De diepte van deze kleilagen neemt landinwaarts af van circa NAP -90 m tot circa NAP -8 m. Dit gebied is vanwege deze kleilagen gevoelig voor zettingen.

Afbeelding 3.1 - Bodemopbouw langs de kust (bron: DinoLoket).

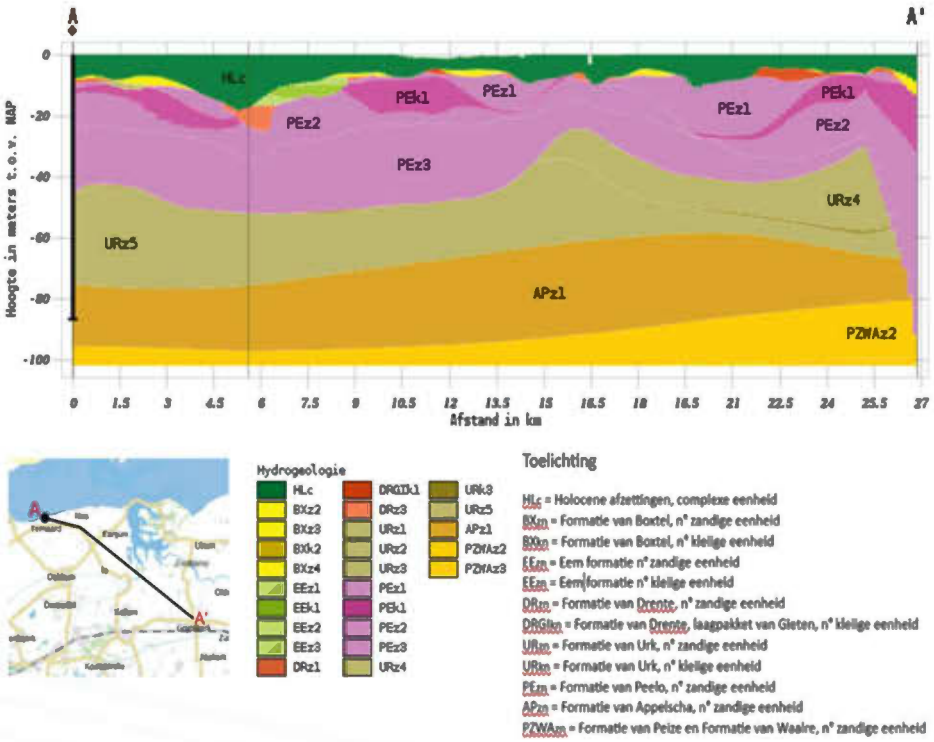


Afbeelding 3.2 - Bodemopbouw landinwaarts (boven: Groningen, onder: Friesland. Bron: DinoLoket).

Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2



Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2.1



3.2. Bodemkwaliteit

In de provincies Groningen en Fryslân (inclusief de Waddeneilanden) zijn de gemeenten samenwerkingsverbanden aangegaan en hebben gezamenlijk de algemene bodemkwaliteit bepaald. Deze is vastgelegd in bodemkwaliteitskaarten en beschreven in een Nota bodembeheer (in paragraaf 2.2):

- alle Groningse gemeenten (met uitzondering van de gemeenten Veendam en Pekela) hebben samen met de waterschappen Hunze en Aa's en Noorderzijlvest en de provincie Groningen een gezamenlijke bodemkwaliteitskaart opgesteld;
- de noordelijke gemeenten in Fryslân hebben gezamenlijk bodembeleid opgesteld. Ze beschikken over een gebiedsdekkende bodemkwaliteitskaart en een gezamenlijke Nota bodembeheer. Het doel hiervan is om grondverzet binnen de geldende gebiedsgrenzen te vergemakkelijken.

Algemene bodemkwaliteit

Een bodemkwaliteitskaart geeft de diffuse milieuhygiënische kwaliteit van de landbodem weer. Op basis van de bodemkwaliteitskaart kan ter plaatse van onverdachte gebieden de milieuhygiënische kwaliteit van de bodem worden beoordeeld. Bepaalde locaties zijn uitgesloten van de bodemkwaliteitskaart. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om bekende bodemverontreinigingen en/of verdachte locaties gebaseerd op historische of huidige (bedrijfs-) activiteiten. Verdachte locaties, is waar vroeger bodembedreigende (bedrijfs-)activiteiten hebben plaatsgevonden of waar al bodemverontreiniging tijdens voorgaande onderzoeken is geconstateerd. In de bodemkwaliteitskaarten zijn ook gebieden uitgesloten, omdat sprake is van te weinig waarnemingen of als gevolg van heterogeniteit.

In een bodemkwaliteitskaart wordt een bodembeheergebied ingedeeld in één of meer zones met een vergelijkbare milieuhygiënische bodemkwaliteit bestaande uit de volgende klassen: Landbouw/Natuur, Wonen, Industrie en overige. Het gaat hierbij om de 'gemiddelde' kwaliteit, afgezien van verdachte locaties en/of bekende bodemverontreinigingen.

Onderstaande afbeelding toont de ontgravingskaart van de bovengrond van de bodemkwaliteitskaarten van Groningen en Fryslân. De afbeelding geeft een goed beeld van de algemene bodemkwaliteit in het plangebied waarbij onderscheid is gemaakt in de kwaliteitsklassen Landbouw/Natuur (groen), Wonen (geel) en Industrie (paars). Voor de kwaliteitsklassen zijn toetsingsnormen voor de separate parameter opgenomen waaraan getoetst kan worden.
De bovengrond langs de kustzone van de provincies Groningen en Fryslân valt volledig in de bodemkwaliteitsklasse Landbouw/Natuur en wordt vooral in natuur- of landbouwgebieden waargenomen.

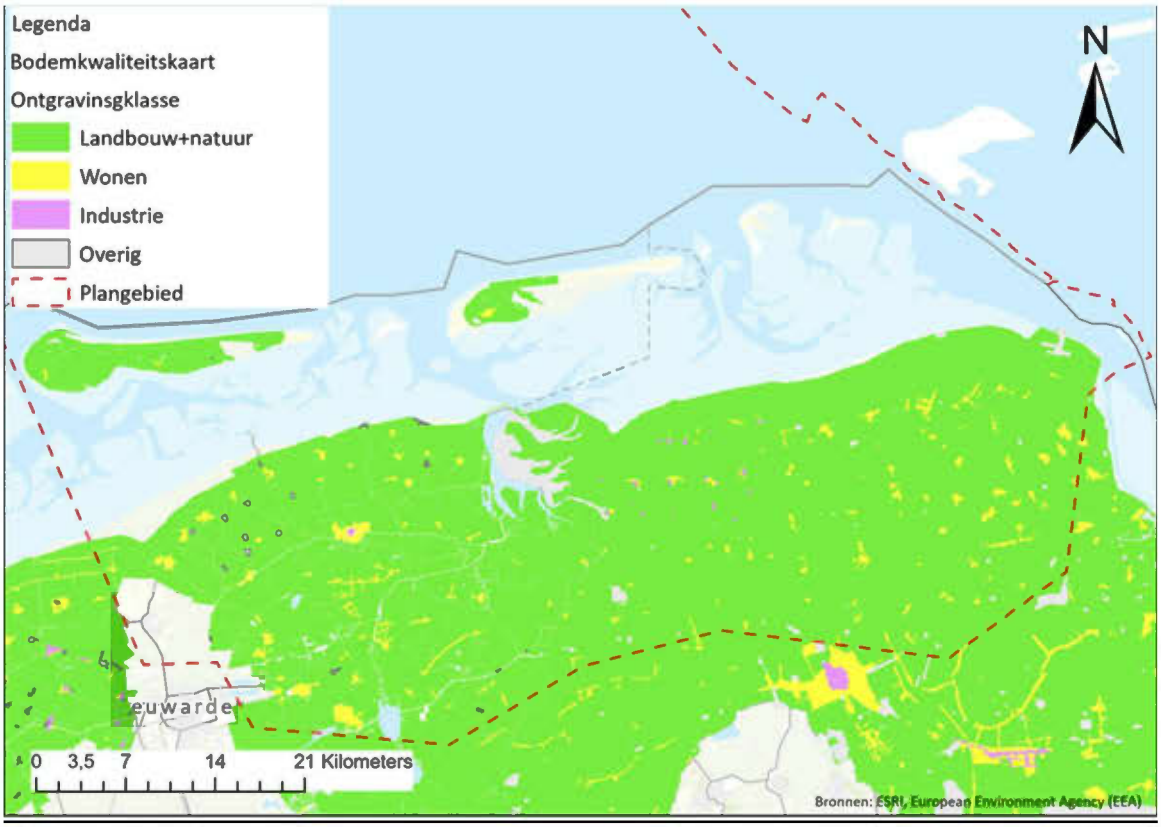
De klasse Landbouw/Natuur staat gelijk aan de Achtergrondwaarde (AW2000). Binnen de Regeling Bodemkwaliteit 2022 wordt aan de interventiewaarde getoetst. Bij overschrijding van de

interventiewaarde kunnen risico's voor mens, ecosysteem en/of verspreiding ontstaan en dat bodemsanering noodzakelijk kan maken. Indien grond voldoet aan de achtergrondwaarde (uit de voormalige Wet Bodembescherming) is er geen sprake van aanwezigheid van verontreinigingen.

Oostelijk van het Lauwersmeer heeft de bovengrond grotendeels de klasse Landbouw/Natuur. Ter hoogte van dorpen is de bodemkwaliteit door menselijk handelen beïnvloed en valt in de ontgravingsklasse Wonen. Zeer plaatselijk bevindt zich de ontgravingsklasse Industrie. Wegbermen vallen in de klasse Industrie, omdat ze diffuus verontreinigd zijn door wegverkeer (uitstoot van schadelijke stoffen, olielekkage, zoutstrooiing en afslijting van autobanden). Dit staat niet weergegeven op de bodemkwaliteitskaarten maar wordt beschreven in de Nota Bodembeheer.

Westelijk van het Lauwersmeer heeft de bovengrond ook grotendeels de klasse Landbouw/Natuur, met lokaal de klasse Wonen. Dit deel van het plangebied laat in principe een vergelijkbaar beeld zien als oostelijk van het Lauwersmeer.

Afbeelding 3.3 - Ontgravingskaart bovengrond Fryslân en Groningen (bron: FUMO, interactieve bodemkwaliteitskaart Fryslân en Provincie Groningen, Bkk2020).



Zeer Zorgwekkende Stoffen

Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) zijn chemische stoffen die gevaarlijk zijn voor mens of milieu, omdat die bijvoorbeeld kankerverwekkend zijn, de voortplanting verstoren of zich in de

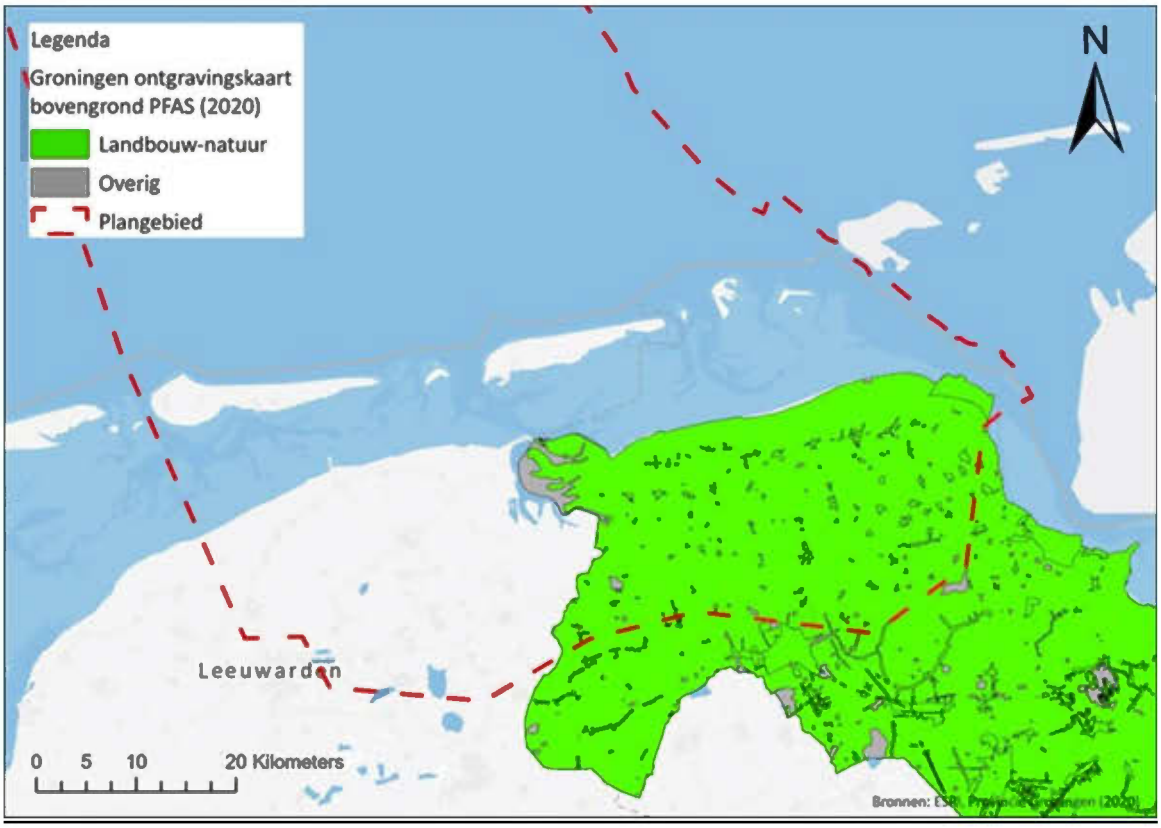
voedselketen ophopen. PFAS-verbindingen (oftewel: Poly- en perfluoralkyl verbindingen) zijn een voorbeeld van ZZS die de afgelopen jaren veel aandacht hebben gekregen. PFAS zijn zeer wijdverbreid aanwezig in het milieu en veroorzaken in lage concentraties toxische effecten op mens en milieu.

In juli 2019 is door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een 'Tijdelijk Handelingskader PFAS' uitgebracht waarin kaders zijn aangegeven hoe om te gaan met PFAS-houdende grond. In 2021 is deze geactualiseerd met het 'Geactualiseerde handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie'. Het handelingskader biedt een landelijk kader voor de omgang met PFAS-houdende grond en baggerspecie.

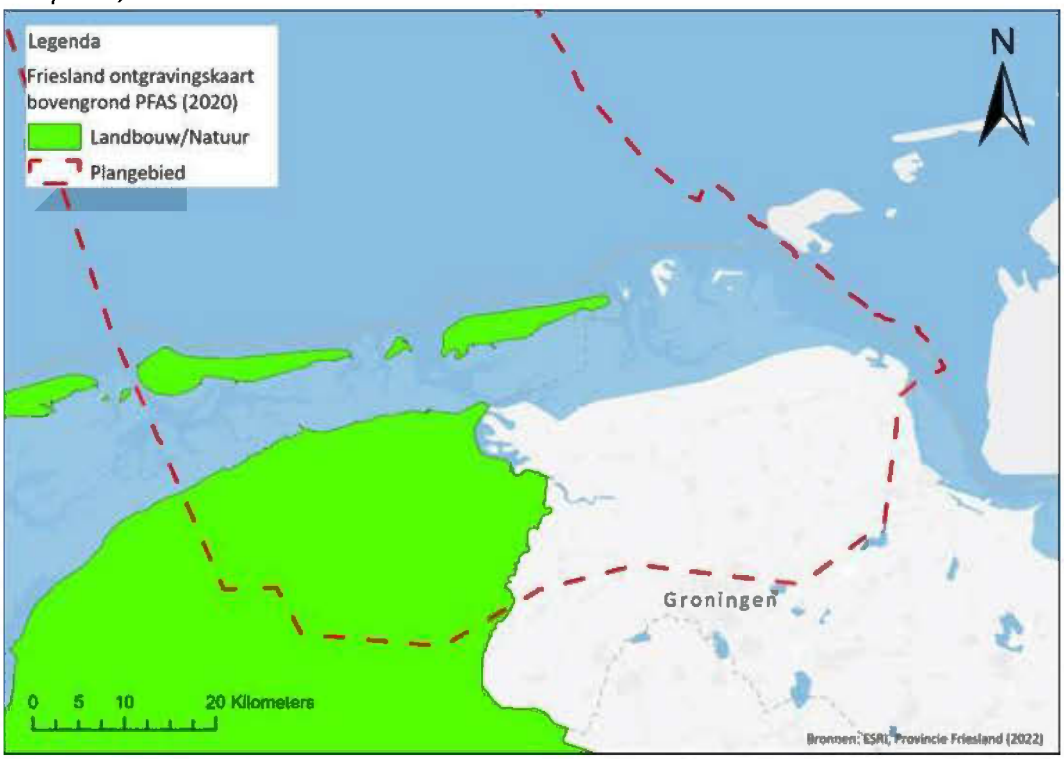
Omdat in de genoemde bodemkwaliteitskaarten van Fryslân en Groningen PFAS niet is meegenomen, zijn voor beide provincies bodemkwaliteitskaarten opgesteld, aangevuld met deze parameter. Deze hebben als hoofddoel het grondverzet binnen de beheergebieden van de provincies te vergemakkelijken.

In Afbeelding 3.4 en Afbeelding 3.5 is de ontgravingskaart van de bovengrond van de bodemkwaliteitskaarten PFAS van respectievelijk Groningen en Fryslân weergegeven. Uit de bodemkwaliteitskaarten blijkt dat de gemiddelde gehalten aan PFAS in beide provincies (inclusief Waddeneilanden) voldoen aan de landelijk vastgestelde achtergrondwaarden voor Landbouw/Natuur uit het handelingskader PFAS. Hiermee zal deze parameter waarschijnlijk niet tot knelpunten gaan leiden bij grondverzet. Op lokaal niveau (bijvoorbeeld Eemshaven) kunnen gehalten afwijken en verhoogd zijn (bij de effectbeoordeling is hier rekening mee gehouden).

Afbeelding 3.4 - Ontgravingskaart bovengrond PFAS Provincie Groningen (bron: Bodemkwaliteitskaart PFAS Provincie Groningen, Antea Group 2019).



Afbeelding 3.5 - Ontgravingskaart bovengrond PFAS Fryslân (bron: Bodemkwaliteitskaart PFAS in Fryslân, Antea Group 2020).



Verdachte locaties en bodemberontreinigingen

Een aantal locaties worden in de bodemkwaliteitskaarten uitgesloten. Dit zijn locaties met een bekende bodemverontreiniging, sanerings- en gesaneerde locaties of waar (bedrijfs-)activiteiten hebben plaatsgevonden (of plaatsvinden) waarvan bekend is, of het vermoeden bestaat, dat de bodemkwaliteit afwijkt van die van de omgeving. Voorbeelden zijn (niet uitputtend): wegtracés, ophooglagen, dempingen, (voormalige) stortplaatsen, (voormalige) bedrijvigheid, (voormalige) erven, oefenterreinen defensie, ondergrondse brandstoftanks of bestrijdingsmiddelenopslag. Deze locaties worden aangemerkt als 'verdachte' locaties en worden binnen de uitvoering van een vooronderzoek in beeld gebracht.

Afbeelding 3.6 geeft de ligging van verdachte locaties binnen een deel van het plangebied voor PAWOZ weer. Het complete beeld kan worden verkregen via www.bodemloket.nl.

Afbeelding 3.6 - Ligging van verdachte locaties binnen een deel van het plangebied voor het PAWOZ-project (bron: www.bodemloket.nl).



Verzilting

Er zijn reeds diverse onderzoeken uitgevoerd naar verzilting van het kustgebied, waar het met name voor de landbouw een groeiend probleem wordt. Verzilting betreft de toename van de concentratie chloride in bodem, grondwater en oppervlaktewater. Hierdoor neemt de hoeveelheid zoet water af. De landbouw is afhankelijk van een bepaalde hoeveelheid zoet water. De productie van veel gangbare gewassen (o.a. aardappelen, maïs, suikerbieten) neemt af bij toenemende

chloridegehaltes. Er treedt gewasschade op. Onderzoeken richten zich bijvoorbeeld op adaptieve maatregelen zoals het versterken van de zoetwaterlenzen via antiverziltingsdrainage. In het project Spaarwater is bijvoorbeeld onderzoek verricht naar technieken om de verzilting tegen te gaan en de voorraad zoet water in de bodem te vergroten (zoetwaterinfiltratie, effectiever watergebruik, peilgestuurde drainage en precisiebemesting). Het telen van zouttolerante gewassen is ook een alternatief dat door ondernemers beschouwd kan worden.

Landbouw is in het kustgebied mogelijk vanwege zoetwaterlenzen (ontstaan door neerslagoverschot en irrigatie) die op het zoute grondwater drijven. In zomers met een groot neerslagtekort kunnen deze lenzen grotendeels verdwijnen of zeer dun worden. Via capillaire werking (kweldruk) kan het zoute water dan tot in de wortelzone van gewassen stijgen. In de winters zal de lens in de regel weer in dikte toenemen, vanwege het neerslagoverschot. Dit herstel kan jaren duren.

- Acacia Water, 2019. Spaarwater. Rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik en waterbeheer in de verziltende waddenregio,
- De Louw, P.G.B., Eeman, S., Oude Essink, G.H.P., Vermue, E., Post, V.E.A., 2013. Rainwater lens dynamics and mixing between infiltrating rainwater and upward saline groundwater seepage beneath a tile-drained agricultural field. Journal of Hydrology 501, 133-145
- Stuyt, L.C.P.M., Blom-Zandstra en R.A.L. Kselik (2016). Inventarisatie en analyse zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van bestaande gegevens. Wageningen University & Research, ESG-rapport 2739. Wageningen

TNW, Ten Noorden van de Waddeneilanden

In het kader van Net op Zee Ten Noorden van de Waddeneilanden is een verkennend onderzoek naar de risico's van verzilting bij de aanleg van een kabelverbinding uitgevoerd. Deze studie heeft geen instemming van Acacia Water en LTO Noord gekregen en sluit niet aan bij een veldstudie. Het onderzoek heeft aangegeven dat over een breedte van 20 meter de zoet waterlens kan worden weggepompt en zout water omhoog kan worden getrokken. Door het onttrekken van grondwater aan de bodem kan door zogenaamde opkegeling lokale verzilting ontstaan.

- Antea Group, 2020. *Verkennend onderzoek effecten verzilting Bodem en Water op Land, Aanleg kabelverbinding Net op Zee Ten Noorden van de Waddeneilanden – Route Eemshaven – West (vaste landbodem).*
- Witteveen en Bos, 2020. Hoofdrapport milieueffectenrapportage Net op Zee Ten Noorden van de Waddeneilanden, definitief.

Acacia Water

Acacia Water heeft in opdracht van Gasunie en TenneT in het kader van de IEA PAWOZ Eemshaven een studie naar Verzilting uitgevoerd. Dit onderzoek richt zich op de beïnvloeding van het zoet/zout grensvlak ten gevolge van de bemaling. Hierbij worden een aantal standaardprofielen met overeenkomstige hydrologische situatie (bodemopbouw, kwel) in het plangebied als studieobjecten beschouwd. De (diepte)ligging van dit zoet zout grensvlak en de mate van kwel is

ook in deze studie gebaseerd op openbare informatie (LHM) die met name van regionale van aard is. Het is de vraag of regionale (grondwater)modellen de mate van kwel en beïnvloeding van het zoet/zout grensvlak op perceelsniveau kunnen voorspellen. Deels worden de resultaten geverifieerd met resultaten uit het veld. Deze gedetailleerde informatie kan meegenomen worden in de projectMER-fase van PAWOZ. Ook mitigerende maatregelen of herstelmaatregelen (gericht op herstel van de zoet/zoutlens) krijgen in deze fase van het onderzoek een plek. De onderzoeksresultaten zijn te vinden in de rapportage verziltingsonderzoek waterstofleiding en de verziltingsstudie tracé Eemshaven west (naar kabelsystemen).

4. Autonome ontwikkelingen agrarische gebieden

De toekomstige ontwikkelingen die plaatsvinden in het plangebied en wellicht relevant zijn voor PAWOZ zijn onderverdeeld in de volgende drie categorieën:

- Autonome ontwikkelingen zijn plannen en projecten waarvoor de besluitvormingsprocedure is doorlopen (onherroepelijke besluiten) en dus vergund zijn of waarvoor de vergunningaanvraag(en) is ingediend, maar die nog niet gerealiseerd zijn. Deze zijn relevant als ze effecten hebben op hetzelfde (plan- of studie) gebied of op dezelfde functies en beoordelingsaspecten als PAWOZ.
- Overige Toekomstige ontwikkelingen zijn ontwikkelingen in het (plan- of studie) gebied die zich in een voorfase (toekomstig idee) bevinden en waarover eventuele besluitvorming nog zal plaatsvinden.
- Autonome processen: ontwikkelingen in de fysieke omgeving die onafwendbaar zijn en een gegeven zijn voor de toekomstige staat van de kenmerken van de omgeving. Het betreft bijvoorbeeld zeespiegelstijging en andere gevolgen van klimaatverandering. Deze autonome processen beïnvloeden de toekomstige referentiesituatie en worden waar nodig behandeld. In het algemeen leiden deze processen over een lange periode pas tot relevante veranderingen.

Autonome ontwikkelingen zijn meegenomen in PAWOZ. Hierin staat beschreven hoe PAWOZ rekening houdt met deze ontwikkelingen. Er wordt geen rekening gehouden met de overige toekomstige ontwikkelingen en autonome processen, omdat hierover nog niet genoeg zekerheid is om ervan uit te gaan dat deze ontwikkeling daadwerkelijk uitgevoerd zullen worden.

Tabel 4.1 - Autonome ontwikkelingen en processen.

Ontwikkelingen	Beschrijving
Het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG)	Het Nationaal Programma Landelijk Gebied (NPLG) richt zich op drie kerndoelen: het in een samenhangende aanpak realiseren van de Europese internationale verplichtingen op het terrein van (1) natuur (met als onderliggend doel de stikstofopgave), (2) water en (3) klimaat. Deze doelen hangen sterk samen en zijn sterk normerend. Nederland is als EU-lidstaat juridisch verplicht eraan te voldoen.
Toekomstagenda Lauwersmeer	In de Toekomstagenda Lauwersmeer zijn de onderwerpen beschreven waaraan de komende tien jaar gewerkt gaat worden om het Lauwersmeer voor de lange termijn robuuster te maken tegen zeespiegelstijging, bodemdaling, hevige regenval en langdurige droogte. De opgaven zijn ondergebracht in zes thema's: (1) Waterveiligheid en waterkwantiteit, (2) Waterkwaliteit en natuur, (3) Duurzame landbouw en visserij, (4) Ruimtelijke kwaliteit, (5) Kennis delen en ontwikkelen en (6) Duurzame economie, duurzame recreatie en toerisme.
Klimaatverandering	Een autonoom proces dat van invloed is op de bodem, het grondwater en het oppervlaktewater is klimaatverandering. De verandering in de wereldwijde en regionale klimaatpatronen als gevolg van de toenemende hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer vinden ook plaats in Nederland en hebben daarmee

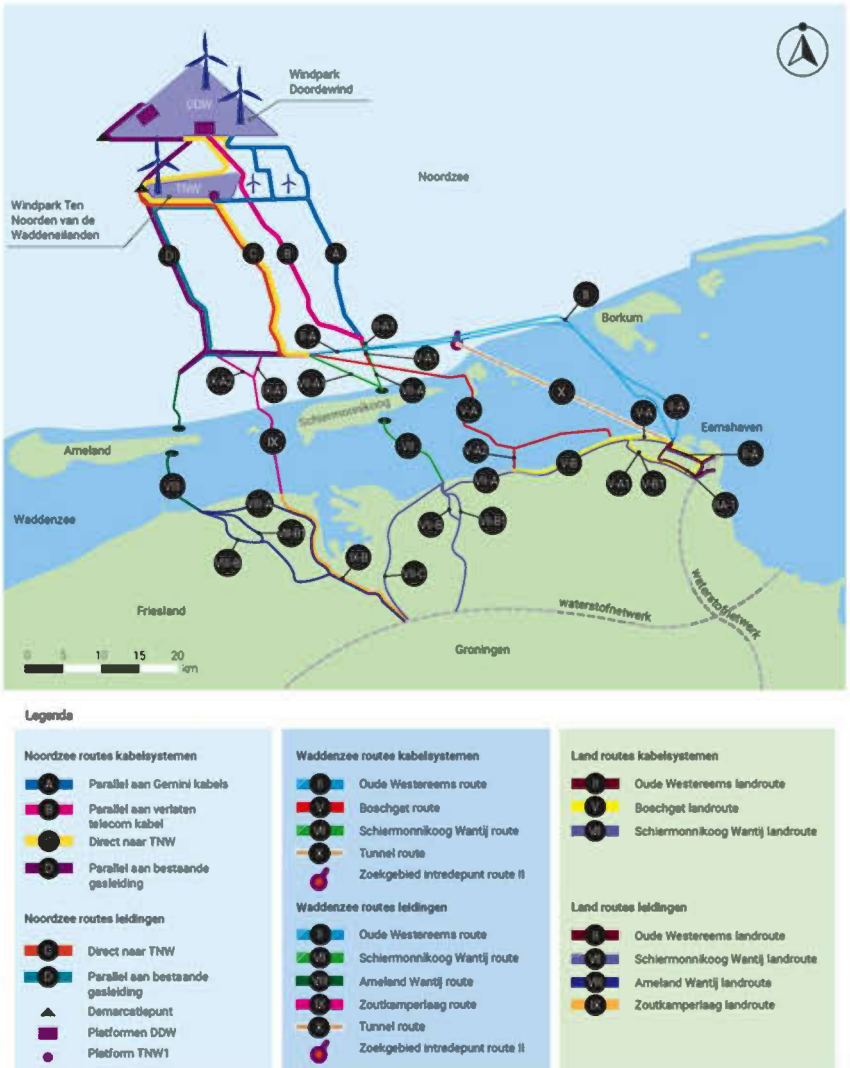
	gevolgen voor de voorgenomen activiteit. De toename van neerslag en extreme neerslag kan op alle routes leiden tot hogere grondwaterstanden. Daarnaast kan toenemende droogte resulteren in het lager uitzakken van grondwaterstanden. In de klei en veen ondergronden kan dit leiden tot toename van oxidatie van organische stof en leidt daarmee tot inklinking van de ondiepe bodem. Een toename in langdurige droge periodes kunnen leiden tot een afnamen van de zoetwaterlens. Daarnaast treedt zeespiegel stijging op, wat leidt tot een toenemende kweldruk in laaggelegen polders aan de kust.
Verzilting	Door de zeespiegelstijging en bodemdaling staat de zoetwaterlens onder druk en schuift het grensvlak zoet – zout dichter naar het maaiveld. Verzilting neemt dus toe, zeker in droge zomers zoals die van 2022. Dit is schadelijk voor de zoetwatervoorziening die we nodig hebben voor huidige gebruiksfuncties zoals landbouw en natuur.
Bodemdaling	Naast de Waddenzee wordt ook onder het vasteland zout en gas gewonnen. Daardoor daalt de bodem en het maaiveld. In combinatie met zeespiegelstijging levert dat risico's op voor het gebied. Voor de verschillende gebieden wordt vanaf heden tot 2080 een verdere bodemdaling verwacht van maximaal 10 tot 15 centimeter. Bodemdaling heeft effect op het bodemprofiel, het risico op zettingen en de grondwaterstand en de waterafvoer.

5. Routes en stations

5.1. Inleiding

In dit hoofdstuk zijn de onderzochte routes en de locaties van stations beschreven. Afbeelding 5.1 geeft alle onderzochte routes weer. Op de kaart staan de routenummers (zoals A, II, etc.) in combinatie met de bijbehorende varianten (A, A1, et cetera). Bijvoorbeeld II-A is de II: Oude Westereems (land)route A. De legenda van Afbeelding 5.1 is ook van toepassing op de andere afbeeldingen in dit hoofdstuk. Een toelichting op de totstandkoming van de routes staat in het hoofdrapport van het MER en is stapsgewijs uitgewerkt in de Notitie Routeontwikkeling.

Afbeelding 5.1 - Overzichtskaart routes.



5.2. Noordzee

De paragrafen hieronder beschrijven de platforms voor het elektriciteitsnetwerk en de routes op de Noordzee die zijn onderzocht.

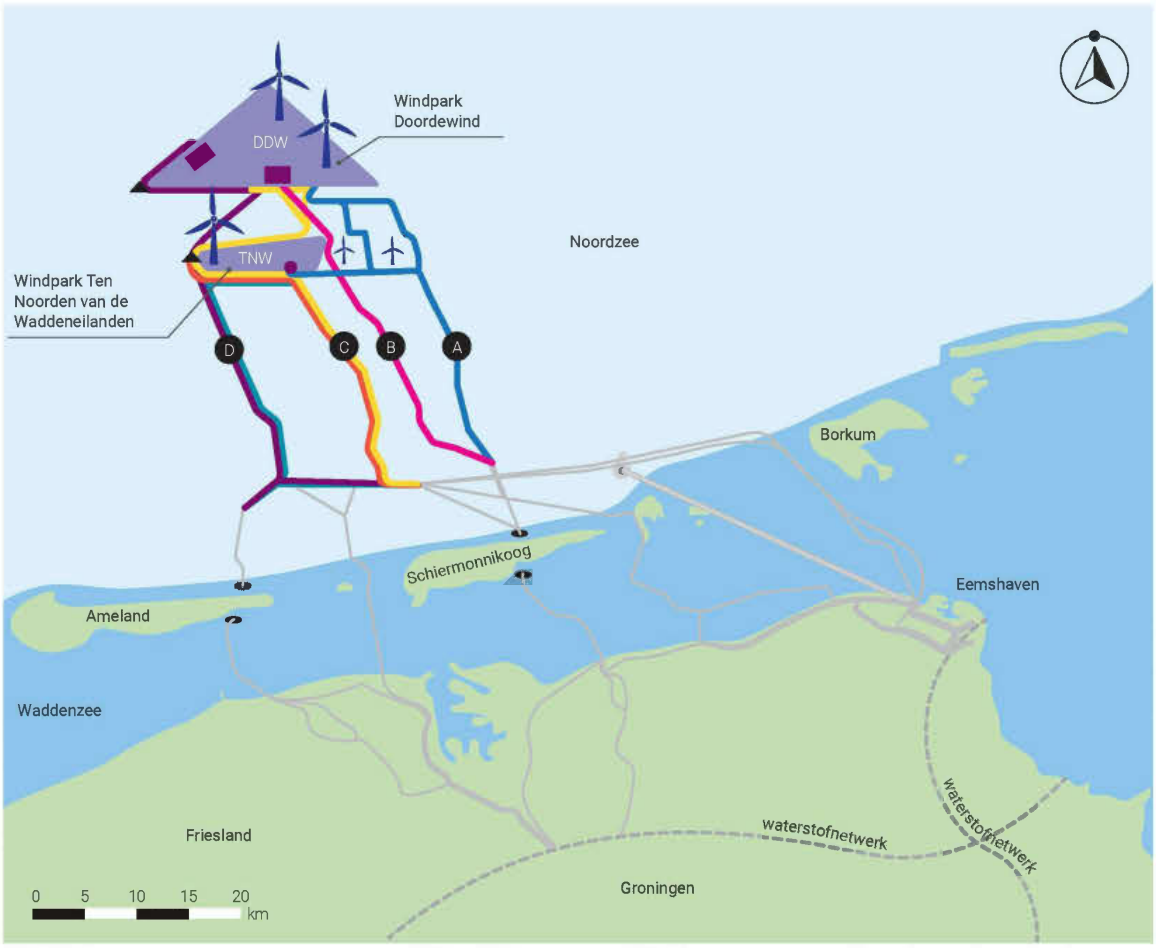
5.2.1. (zoekgebieden) Platforms

Voor het elektriciteitsnetwerk zijn platforms TNW en DDW onderzocht. Voor DDW zijn twee zoekgebieden bekeken: DDW-1 en DDW-2. De onderzochte locaties staan in de overzichtskaart in Afbeelding 5.2 als twee paarse blokken en één paarse stip.

5.2.2. Noordzeeroutes

Er zijn vier routes op de Noordzee onderzocht. De routes staan in Afbeelding 5.2. De routes sluiten aan op de routes door het Waddengebied bij de 6-zeemijlsgrens van de kust. Op de Noordzee worden kabelsystemen geïnstalleerd met een vertical injector of een trencher. De leidingen worden geïnstalleerd met schepen met een dynamisch positioneringssysteem en begraafmaterieel.

Afbeelding 5.2 - Overzichtskaart van de Noordzeeroutes.



In Tabel 5.1 staat de te onderzoeken technisch maakbare configuratie en de corridorbreedte per route. De vier Noordzeeroutes zijn onderzocht voor elektrische verbindingen. Het startpunt van de routes voor elektrische verbindingen ligt in windpark DDW. De twee meest westelijke Noordzeeroutes C en D zijn ook onderzocht voor waterstofverbindingen met het startpunt ten westen van windpark TNW of vanaf het demarcatiepunt PAWOZ en pVAWOZ. Zoals is aangegeven in paragraaf 1.2 is windpark TNW aangewezen voor 500 MW aan waterstof. Er is gekeken of er voldoende ruimte in de corridors van de Noordzeeroutes voor kabelsystemen is om de overige 200 MW van windpark TNW (met een capaciteit van 700 MW) te verbinden met windpark DDW. Daarbij is er aangenomen dat als de maximale configuratie van kabelsystemen past, dan is er voldoende ruimte voor de verbinding tussen TNW en DDW.

Tabel 5.1 - Onderzochte configuratie van de routes door de Noordzee.

Route	Route naam	Te onderzoeken maximale technisch maakbare configuratie	Corridor (breedte)
A	Parallel aan Gemini kabels	7 kabelsystemen	Variërend: circa 1 km tot max 3 km
B	Parallel aan verlaten telecomkabel	7 kabelsystemen	3 km
C	Direct naar TNW	7 kabelsystemen en 3 leidingen	6 km
D	Parallel aan bestaande gasleiding	7 kabelsystemen en 3 leidingen	6 km

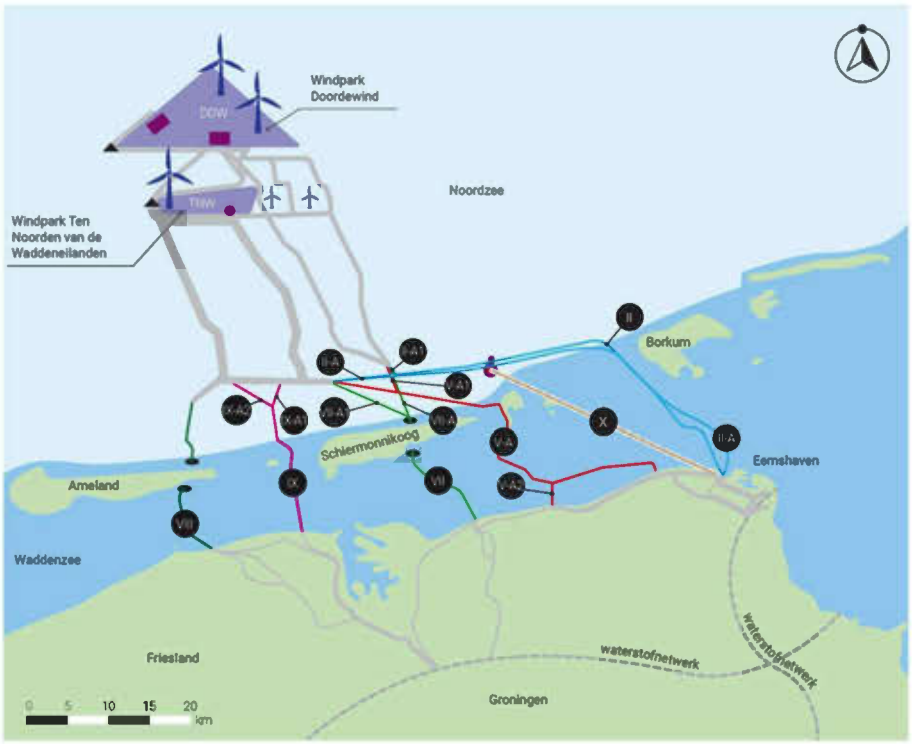
Optimalisaties

- het deel van de corridor van route A: Parallel aan Gemini dat over Duits grondgebied liep, is niet meer beschouwd. De corridor wordt hierdoor op een aantal locaties smaller. Deze wijziging van de corridor heeft geen impact op het maximaal aantal kabelsystemen dat kan worden ingepast langs de route;
- de Noordzeeroutes zijn ter hoogte van de aansluiting met de Waddengebied routes lokaal gewijzigd, om de aansluiting op de Waddenroutes te verbeteren. Dit zijn zeer kleine lokale wijzigingen.

5.3. Waddengebied

Er zijn zes routes door het Waddengebied onderzocht, waarvan enkele routes varianten hebben. De routes zijn weergegeven in Afbeelding 5.3. De routes lopen vanaf het land naar de aansluiting op de Noordzeeroutes bij de 6-zeemijlsgrens van de kust. In Tabel 5.2 staat de te onderzoeken technisch maakbare configuratie en de corridorbreedte per route.

Afbeelding 5.3 - Overzichtskaart van de routes door het Waddengebied.



Tabel 5.2 - Onderzochte configuratie van de routes door het Waddengebied.

Route	Route naam	Variant	Te onderzoeken maximale technisch maakbare configuratie	Corridor (breedte)
II	Oude Westereems route	A, A1 voor kabelsystemen, 1 leidingvariant	6 kabelsystemen óf 3 leidingen óf 1 kabelsysteem en 3 leidingen óf 2 kabelsystemen en 1 leiding	Variërend: min 700 m tot max 1.300 m (kabelsystemen) min 500 m tot max 700 m (leidingen)
V	Boschgat route	A, A1, A2	1 kabelsysteem	130 m
VII	Schiermonnikoog Wantij route	A, A1 voor kabelsystemen, 1 leidingvariant	7 kabelsystemen en 3 leidingen óf 7 kabelsystemen óf 3 leidingen	Variërend: min 1.500 m tot max 4.000 m (kabelsystemen) min 2.000 m tot max 4.000 m (leidingen)
VIII	Ameland Wantij route		3 leidingen	2.000 m
IX	Zoutkamperlaag route	A1, A2	3 leidingen	200 m
X	Tunnel route	multi-tube* (meerdere tunnelbuizen)	5 (DC) kabelsystemen en 2 leidingen	160 m

** Met één energiedrager per tunnelbuis.*

5.3.1. II: Oude Westereems route

De II: Oude Westereems route is beschouwd voor kabelsystemen en leidingen. Uitgangspunt voor deze route is het volgen van morfologisch stabiele diepe delen in het Eemsestuarium. Hierdoor is de begraafdiepte beperkt. De route loopt vanaf Eemshaven West door de Oude Westereems geul. De route voor de kabelsystemen is net anders dan de route voor leidingen.
Dit komt door de verschillende aanlegtechnieken die voor kabelsystemen en leidingen worden gebruikt. Daarom is een iets andere route gekozen om bestaande kabels en leidingen te passeren. Ten noorden van Schiermonnikoog splitst de route voor de kabelsystemen zich in twee varianten, waarvan er een aansluit op de Noordzeeroutes A en B en de andere op de Noordzeeroutes C en D. De route voor de leidingen sluit aan op de Noordzeeroutes C en D.

Installatiemethode kabelsystemen
De kabelsystemen worden voor het grootste gedeelte van de route geïnstalleerd met een vertical injector of een trencher. Hiervoor moet zeer lokaal worden gebaggerd om voldoende waterdiepte te realiseren voor de installatieschepen. De route kruist de primaire waterkering en bestaande kabels langs de kust met een HDD-boring.

Installatiemethode leidingen
Leidingen worden geïnstalleerd met een S-lay pijpenlegschip en daarna begraven met ingraafmaterieel. Op de route door de Eemsgeul zijn voorbereidende baggerwerkzaamheden nodig om de gewenste begraafdiepte te bereiken. De route kruist de waterkering en bestaande kabels langs de kust met een geboorde segmenttunnel van circa 6 km lang.

Optimalisaties
- voor de leiding variant van de II: Oude Westereems route wordt bij de aanleg van leidingen over het 6 km lange deel tussen de COBRA-kabel en de betonde Eemsgeul stremming van de scheepvaart in de Eemsgeul voorkomen;
- verbreding corridor van 500 m naar minimaal 700 m tot maximaal 1.300 m voor kabelsystemen;
- verbreding corridor van 500 m naar minimaal 500 m tot maximaal 700 m voor leidingen;
- baggerwerkzaamheden voor de aanleg van leidingen worden beperkt en het baggermateriaal dat ontstaat wordt elders verspreid. Hierdoor wordt de permanente verandering van de bodemdynamiek en het ontstaan van een vertroebelingspluim door de verspreiding van baggermateriaal beperkt. Hierbij wordt rekening gehouden met de eis dat het baggermateriaal binnen hetzelfde (kombergings)gebied moet worden verspreid.

5.3.2. V: Boschgat route

De V: Boschgat route is alleen beschouwd voor kabelsystemen. De route loopt vanaf Uithuizen via de droogvallende wadplaten en volgt de geulen Zuid Oost Lauwers en Boschgat via de westkant

van het referentiegebied naar het noorden. Een variant start verder naar het westen en sluit aan op de route door het Boschgat. Ten noorden van Schiermonnikoog splitst de route zich in twee varianten, waarvan er een aansluit op de Noordzeeroutes A en B en de andere op de Noordzeeroutes C en D.

Installatiemethode kabelsystemen
Op de ondiep liggende wadplaten wordt een wadtrencher ingezet. In de diepere getijdegeulen wordt drijvend materieel gebruikt met een vertical injector of een trencher. De route kruist de primaire waterkering en bestaande kabels met een HDD-boring.

Optimalisaties

- baggerwerkzaamheden voor de aanleg van kabelsystemen worden beperkt en het baggermateriaal dat ontstaat wordt elders verspreid. Hierdoor wordt de permanente verandering van de bodemdynamiek en het ontstaan van een vertroebelingspluim door de verspreiding van baggermateriaal beperkt. Hierbij wordt rekening gehouden met de eis dat het baggermateriaal binnen hetzelfde (kombergings)gebied moet worden verspreid.

5.3.3. Schiermonnikoog Wantij route

De VII: Schiermonnikoog Wantij route is beschouwd voor kabelsystemen en leidingen. De basis van deze route is het volgen van de ondiepe droogvallende wadplaten tussen de Groningse kust bij Kloosterburen en Schiermonnikoog. Ten noorden van Schiermonnikoog splitst de route zich in twee varianten, waarvan er een aansluit op de Noordzeeroutes A en B en de andere op de Noordzeeroutes C en D.

Installatiemethode kabelsystemen
Op de ondiep liggende wadplaten wordt een wadtrencher gebruikt om kabelsystemen te installeren. De kabelsystemen worden met een HDD-boring onder de primaire waterkering op land en onder het eiland Schiermonnikoog door geïnstalleerd. Ten noorden van Schiermonnikoog worden kabelsystemen met een trencher of een vertical injector op diepte gebracht. Hier zijn voorbereidende baggerwerkzaamheden nodig.

Installatiemethode leidingen
Het wantij tussen de Groningse kust bij Kloosterburen en Schiermonnikoog wordt overgestoken met een serie van opeenvolgende HDD-boringen. De leidingen worden met een HDD-boring onder de primaire waterkering op land en onder het eiland Schiermonnikoog door geïnstalleerd. Ten noorden van Schiermonnikoog wordt een open ontgraving in de brandingszone gemaakt met een kofferdam om de leiding op diepte te brengen. De leiding wordt vervolgens met de 'S-Lay' techniek geïnstalleerd. In dieper water wordt een pijpenlegschip en begraafmaterieel ingezet.

Optimalisaties

- verbreding corridor van 1.500 m naar minimaal 1.500 m tot maximaal 4.000 m voor kabelsystemen;
- verbreding corridor van 2.000 m naar minimaal 2.000 m tot maximaal 4.000 m voor leidingen.

5.3.4. VIII: Ameland Wantij route

De VIII: Ameland Wantij route is alleen voor leidingen beschouwd. Dit is de meest westelijke route. De basis van deze route is het volgen van de ondiepe droogvallende wadplaten tussen de Friese kust rond Ternaard en Ameland. De route sluit aan op Noordzeeroute D.

Installatiemethode leidingen

Het wantij wordt overgestoken met een serie van opeenvolgende HDD-boringen. De leidingen worden met een HDD-boring onder de primaire waterkering en onder het oostelijke deel van Ameland door geïnstalleerd. Leidingen worden onder het oostelijke deel van Ameland door geboord met een HDD-boring. Ten noorden van Ameland wordt een open ontgraving in de brandingszone gemaakt met een kofferdam om de leiding op diepte te brengen. De leiding wordt vervolgens via de 'S-Lay' techniek geïnstalleerd. In dieper water wordt een pijpenlegschip en begraafmaterieel ingezet.

Optimalisaties

- geen optimalisaties.

5.3.5. IX: Zoutkamperlaag route

De IX: Zoutkamperlaag route is alleen beschouwd voor leidingen. Uitgangspunt van deze route is het volgen van de diepere geulen. Er zijn twee varianten voor de start ten westen of oosten van het Lauwersmeer. Via geul de Zoutkamperlaag loopt de route tussen Het Rif en Schiermonnikoog en ten westen van de Gronden van het Plaatgat in noordelijke richting. Ten noorden van de eilanden splitst de route zich in twee varianten, waarvan er een aansluit op Noordzeeroute C en de andere op Noordzeeroute D.

Installatiemethode leidingen

Leidingen worden geïnstalleerd met een S-lay pijpenlegschip en daarna begraven met ingraafmaterieel. Op de route door de Zoutkamperlaag zijn voorbereidende baggerwerkzaamheden nodig om de gewenste begraafdiepte te bereiken. De route kruist de waterkering ten westen van Lauwersmeer met een HDD-boring.

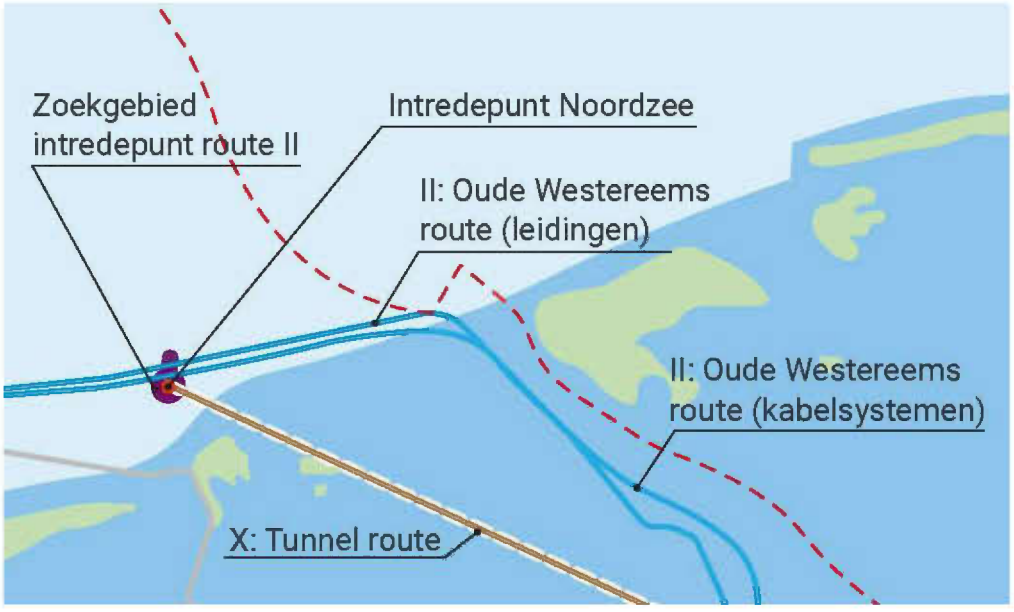
Optimalisaties

- baggerwerkzaamheden voor de aanleg van leidingen worden beperkt en het baggermateriaal dat ontstaat wordt elders verspreid. Hierdoor wordt de permanente verandering van de bodemdynamiek en het ontstaan van een vertroebelingspluim door de verspreiding van baggermateriaal beperkt. Hierbij wordt rekening gehouden met de eis dat het baggermateriaal binnen hetzelfde (kombergings)gebied moet worden verspreid.

5.3.6. X: Tunnel route

X: Tunnel route heeft een lengte van ongeveer 26 km. De X: Tunnel route begint bij het intredepunt op de Noordzee en eindigt bij een aanlandingspunt op het vasteland. Het intredepunt Noordzee ligt op de Ballonplaat, een zandbank ten noorden van Rottumerplaat en ten westen van Borkum. Het intredepunt wordt kunstmatig aangelegd met zand binnen een zeewering. Zoekgebied intredepunt Route II verbindt het intredepunt Noordzee met de II: Oude Westereems route. Vanaf het zoekgebied intredepunt Route II volgen de kabelsystemen en leidingen de II: Oude Westereems route naar de Noordzeeroutes. Afbeelding 5.4 geeft het intredepunt Noordzee en zoekgebied intredepunt Route II weer.

Afbeelding 5.4 - Visualisatie van het intredepunt Noordzee en zoekgebied intredepunt Route II.



Richting het vasteland lopen maximaal zeven tunnelbuizen in een rechte lijn vanaf het intredepunt Noordzee naar het aanlandingspunt nabij de Eemshaven. De tunnels liggen diep (ongeveer 30 tot 45 m onder NAP) onder het Natura 2000-gebied Waddenzee, de Noordzeekustzone, Rottumeroog en de bestaande kabels en leidingen. Nabij de Eemshaven komen de tunnelbuizen weer bovengronds. Vanaf een aanlandingspunt volgen de kabelsystemen en leidingen de II: Oude Westereems landroute naar de aansluitpunten op land.

Installatiemethode

De activiteiten voor de aanleg van het intredepunt Noordzee bestaan uit de volgende stappen: baggeren van een toegangsgeul, aanleggen van een zeewering, opspuiten van zand, aanleg van golfbrekers, realisatie van kade en baggeren van het havenbassin.

Nadat het intredepunt is gerealiseerd, worden twee schachten met combiwanden gebouwd voor de eerste drie tunnelbuizen. Vanuit deze schachten kunnen tunnelbuizen op diepte worden geboord. Vervolgens kunnen de volgende twee schachten en vier tunnelbuizen worden gemaakt. De schachten bij het aanlandingspunt nabij de Eemshaven zijn vergelijkbaar met de schachten op het intredepunt Noordzee. De tunnelbuizen worden vanaf twee zijden geboord: vanaf het intredepunt en het aanlandingspunt.

Vervolgens wordt in elke tunnelbuis afzonderlijk één kabelsysteem of leiding aangelegd. Kabelsystemen worden als geheel in de tunnelbuizen getrokken met een monorail. Leidingen worden in segmenten de tunnelbuizen ingereden met een rails waarna ze aan elkaar worden gelast.

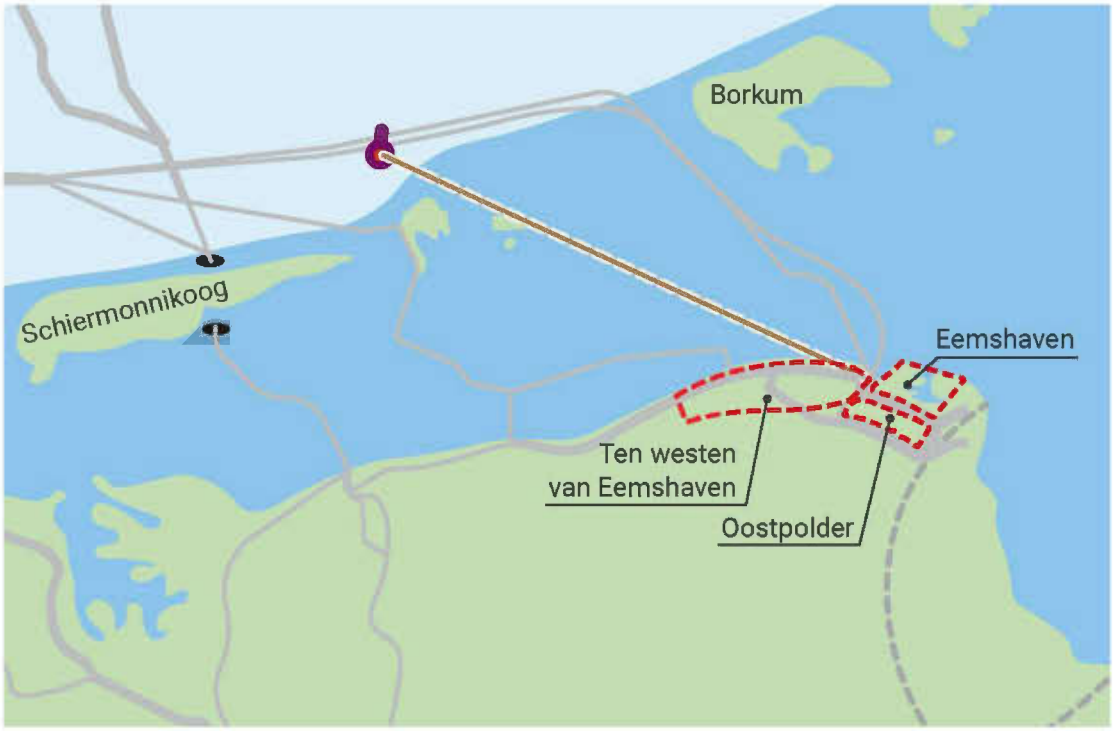
5.4. Vasteland

De paragrafen hieronder beschrijven de routes op het vasteland, de zoekgebieden voor het aanlandingspunt van de tunnel, de waterstof aanlandingsstations en afsluiterlocaties en de transformator- en converterstations die zijn onderzocht.

5.4.1. Zoekgebieden aanlandingspunt tunnel

Voor het aanlandingspunt van de tunnel zijn drie zoekgebieden onderzocht: Eemshaven, Oostpolder en Ten westen van Eemshaven. Afbeelding 5.5 geeft deze zoekgebieden weer. De kabelsystemen worden vanuit het aanlandingspunt aangesloten op het landelijk hoogspanningsnet en de leidingen op het Waterstofnetwerk Nederland. Dit is meegenomen als onderdeel van de corridors van de landroutes voor kabelsystemen en leidingen.

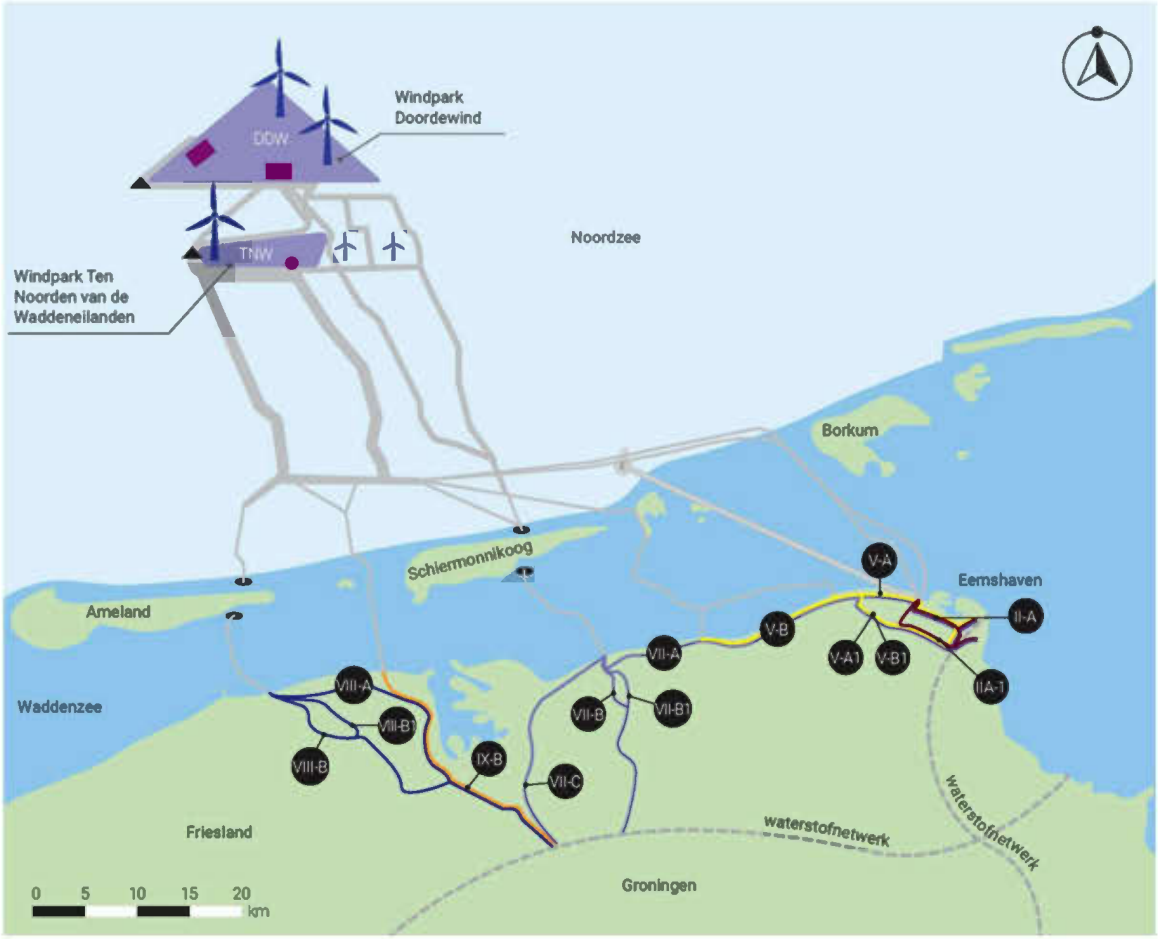
Afbeelding 5.5 - Overzichtskaart zoekgebieden aanlandingspunt tunnel



5.4.2. Overzichtskaart landroutes kabelsystemen en leidingen

Er zijn vijf landroutes onderzocht, met diverse varianten. De routes staan in Afbeelding 5.6. In Tabel 5.3 staat de te onderzoeken technisch maakbare configuratie en de corridorbreedte per route.

Afbeelding 5.6 - Overzichtskaart van routes op land.



Tabel 5.3 - Onderzochte configuratie van de routes over het vasteland.

Route	Route naam	Variant	Te onderzoeken maximale technisch maakbare configuratie	Corridor (breedte)
II	Oude Westereems landroute	A, A1	7 kabelsystemen en 3 leidingen	1.500 m
V	Boschgat landroute	A, A1, B, B1	1 kabelsysteem	500 m
VII	Schiermonnikoog Wantij landroute	A	7 kabelsystemen en 3 leidingen	1.500 m
		B, B1, C	3 leidingen	500 m
VIII	Ameland Wantij landroute	A, B, B1	3 leidingen	500 m
IX	Zoutkamperlaag landroute	B	3 leidingen	500 m

Optimalisaties

- voor delen van de corridor nabij Natura 2000-gebieden is nader ecologisch onderzoek benodigd in de project-mer;
- voor delen van de corridor nabij weidevogelgebieden geldt dat deze gebieden vermeden moeten worden of er nader onderzoek moet worden uitgevoerd naar mogelijke mitigerende maatregelen voor effecten op weidevogelgebieden in de project-mer;
- daar waar woningen in de corridor liggen geldt dat deze moeten worden vermeden;
- voor de delen van de corridor die lopen door gebieden met een hoge beschermde archeologische verwachtingswaarde uit de late bronstijd -nieuwe tijd en een hoge verwachtingswaarde uit het paleolithicum- vroege bronstijd geldt dat deze moeten worden vermeden. Of, als vermijden niet mogelijk is, dat in de project-mer de mogelijkheid voor passeren met een gestuurde boring moet worden onderzocht inclusief archeologisch onderzoek;
- voor de delen van de corridor waar eendenkooien liggen, geldt dat deze moeten worden vermeden. Of, als vermijden niet mogelijk is, dat in de project-mer de mogelijkheid voor passeren met een gestuurde boring moet worden onderzocht;
- daar waar beschermde dorpsgezichten en monumenten in de corridor liggen, geldt dat deze moeten worden vermeden;
- als er een oude dijk in de corridor ligt maar niet over de volledige breedte, geldt dat de dijk moet worden vermeden of een gestuurde boring moet worden toegepast. Als een oude dijk de volle breedte van de corridor kruist dan moet een gestuurde boring worden toegepast;
- daar waar zich woningen bevinden binnen de significante geluidscontouren (aanlegfase) of bij overschrijding van de geluidsruimte in het gezoneerde bedrijventerrein Eemshaven (gebruiksfase), geldt dat nader geluidsonderzoek moet worden gedaan in de project-mer;
- een gestuurde boring wordt toegepast voor het kruisen van Natura 2000-gebieden of de corridor is versmald (als een corridor deels overlapt met Natura 2000-gebied);
- delen van verschillende landroutes die dezelfde route volgen zijn identiek gemaakt;
- centerlines en corridors zijn aangepast zodat de routes voor kabelsystemen en leidingen aansluiten op de waterstof aanlandingsstations en transformator- en converterstations;
- de landroutes zijn aangepast zodat deze niet meer overlappen met Natura 2000-gebieden (zoals de Waddenzee en de Klutenplas);
- de zoekgebieden en corridors zijn aangepast zodat deze enkel nog op land liggen en niet meer overlappen met de Waddenzee.

De zoekgebieden voor het aanlandingspunt van de tunnel en de zoekgebieden voor het transformatorstation en de converterstations zijn niet veranderd na optimalisatie. Ook de zoekgebieden voor de waterstof aanlandingsstations zijn gelijk gebleven, maar waterstof aanlandingsstation 18 is vervallen.

5.4.3. Landroutes kabelsystemen

De Waddenzeeroutes voor kabelsystemen sluiten aan op een route over het vasteland richting een aansluitpunt op het landelijke hoogspanningsnet in de Eemshaven. De verschillende routes zijn in werkelijkheid één lange route tussen Kloosterburen en de Eemshaven waar op verschillende locaties wordt aangesloten.

Tabel 5.4 - Overzicht van routes voor kabelsystemen over land naar de Eemshaven.

Aanlandingszone - aansluitpunt	Sluit aan op route door Waddengebied
Ten Westen van de Eemshaven → Eemshaven	II: Oude Westereems route, X: Tunnel route
Uithuizen → Eemshaven	V: Boschgat route
Westernieland → Eemshaven	V: Boschgat route
Kloosterburen → Eemshaven	VII: Schiermonnikoog Wantij route

Vanaf Kloosterburen loopt de route de eerste 10 km parallel aan de Middendijk. Daarna volgt de route tot aan Noordpolderzijl de primaire waterkering binnendijks. Ten oosten van Noordpolderzijl volgt de route de Uithuizerpolderdijk tot aan de Eemshaven. In het gebied ten noorden/noordoosten van Valom loopt de route om het geplande windpark Eemshaven-west. Nabij de poldermolen 'Goliath' komt de landroute bij de Eemshaven aan. De route volgt zoveel mogelijk de rand van agrarische percelen.

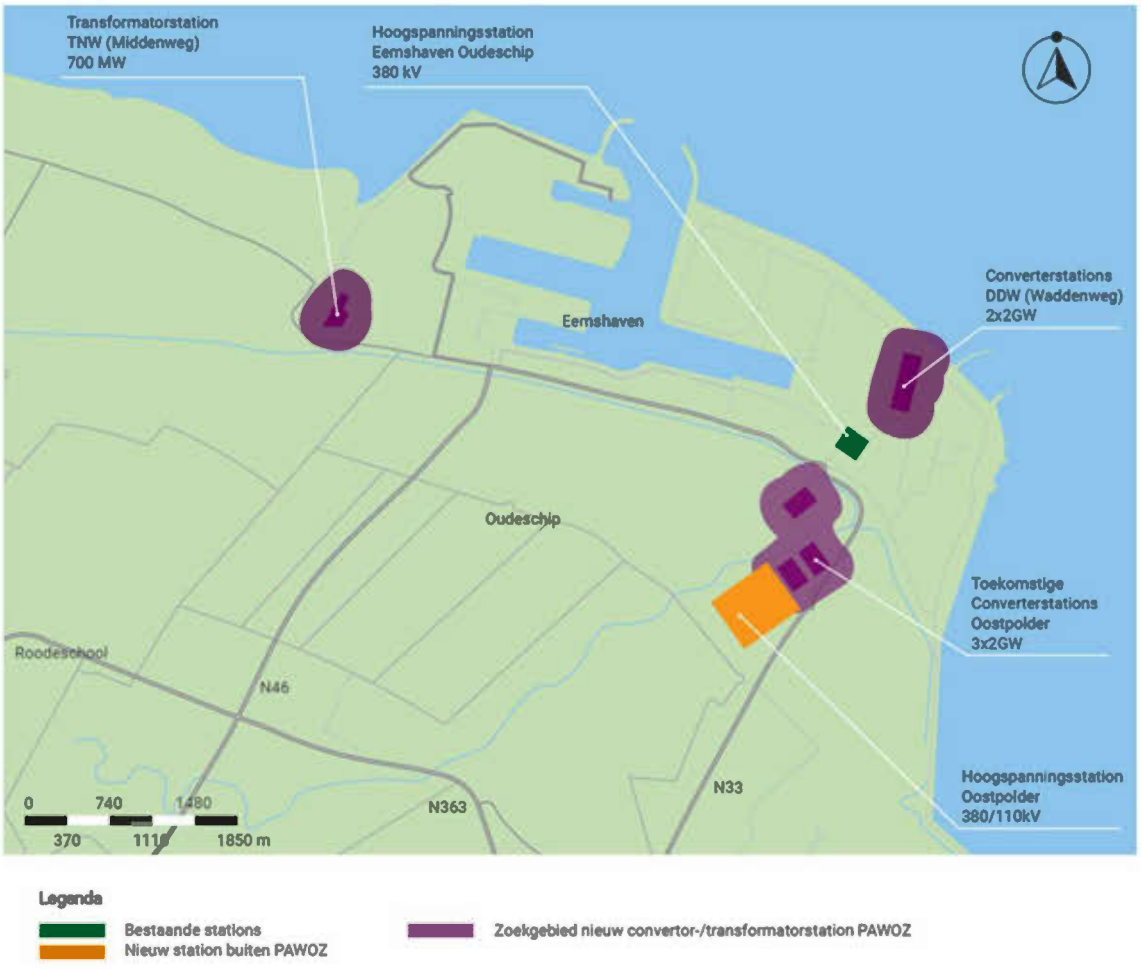
Uitgangspunt is dat de kabelsystemen op land worden aangelegd met een open ontgraving. Primaire waterkeringen worden gekruist met een HDD-boring.

5.4.4. Zoekgebieden transformator- en converterstations

In Afbeelding 5.7 staan het bestaande hoogspanningsstation Oudeschip in de Eemshaven en de zoekgebieden voor nieuwe hoogspanningsstations, het transformatorstation en converterstations. Omdat de exacte locaties van de nieuwe stations nog niet definitief zijn, zijn bufferzones van 200 meter getekend als zoekgebied van PAWOZ.

In het westen van de Eemshaven ligt het zoekgebied TNW Middenweg. Hier komt het transformatorstation voor windgebied TNW, als deze niet wordt ontsloten met een waterstofverbinding, maar met een elektrische verbinding. In het oosten van de Eemshaven ligt het zoekgebied voor twee converterstations voor windgebied DDW. Ten zuidwesten hiervan is een zoekgebied voor drie converterstations in de Oostpolder voorzien om toekomstige windparken aan te sluiten.

Afbeelding 5.7 - Bestaande en voorziene hoogspanningsstations in en rondom de Eemshaven.



5.4.5. Landroutes waterstofleidingen

Voor het transport van waterstof met leidingen over land zijn verschillende routes onderzocht. De routes sluiten aan op het Waterstofnetwerk Nederland (westelijke routes) en op het Waterstofnetwerk Groningen (in de Eemshaven). Aansluitpunten liggen in de Eemshaven en tussen Grijpskerk en Tjuchem. De routes volgen zoveel mogelijk de rand van agrarische percelen.

Voor de westelijke landroutes voor leidingen is de corridorbreedte 500 m. Voor de landroute vanaf de aanlanding van de VII: Schiermonnikoog Wantij route, die zowel is onderzocht voor kabelsystemen als leidingen, is een corridorbreedte van 1.500 m aangehouden.

Tabel 5.5 - Overzicht van routes voor leidingen over land.

Aanlandingszone - aansluitpunt	Sluit aan op route door Waddengebied
Ten Westen van de Eemshaven → Eemshaven	II: Oude Westereems route, X: Tunnel route
Schiermonnikoog Wantij → Eemshaven	VII: Schiermonnikoog Wantij route
Ameland Wantij (nabij Ternaard) → Waterstofnetwerk Nederland	VIII: Ameland Wantij route

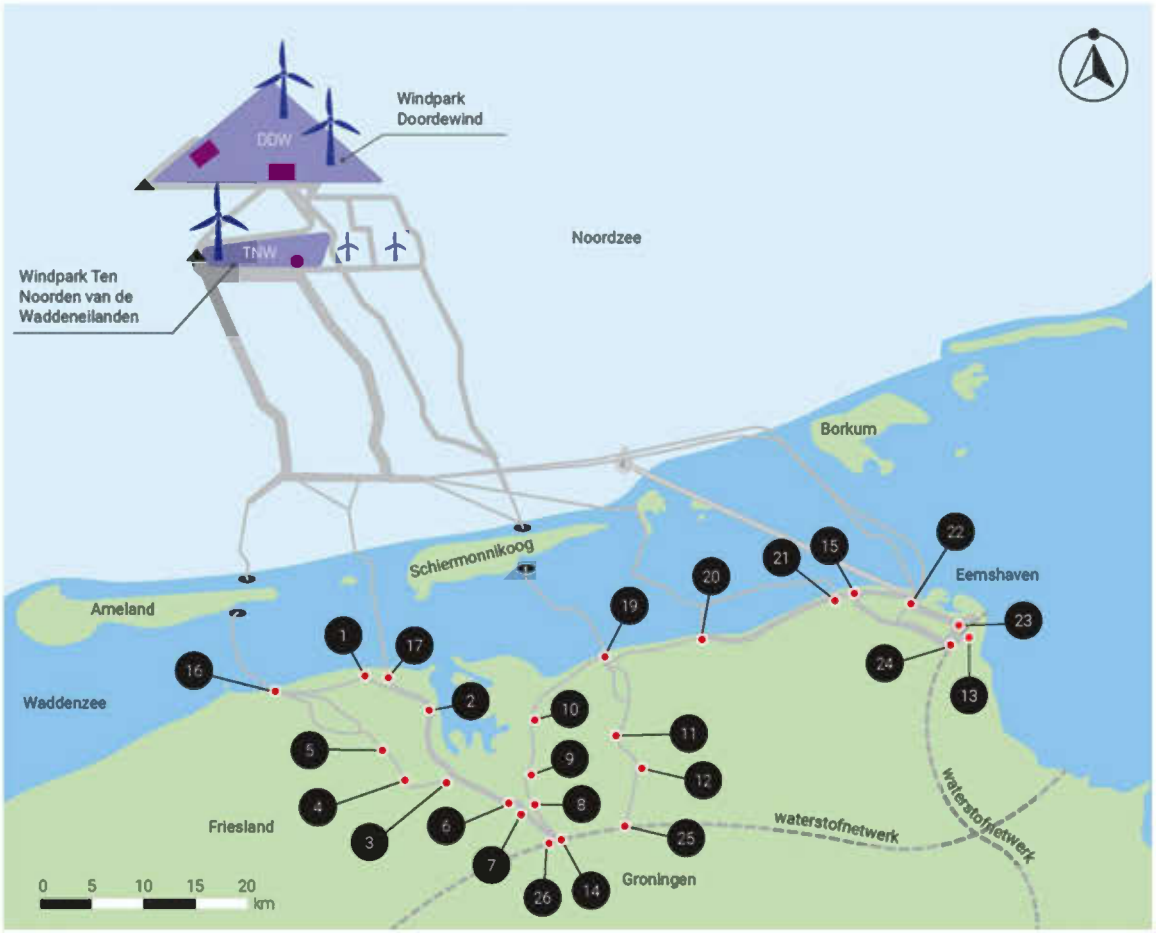
Zoutkamperlaag (nabij Moddergat) → Waterstofnetwerk Nederland	IX: Zoutkamperlaag route
Zoutkamperlaag (nabij Lauwersoog) → Waterstofnetwerk Nederland	IX: Zoutkamperlaag route

Uitgangspunt is dat de leidingen op land worden aangelegd met een open ontgraving. Primaire waterkeringen worden gekruist met een HDD-boring.

5.4.6. Aanlandingsstations en Afsluiterlocaties

In Afbeelding 5.8 staan de 25 locaties waar waterstof aanlandingsstations en afsluiterlocaties voor waterstof zijn onderzocht. Na optimalisatie is waterstof aanlandingsstation 18 vervallen.

Afbeelding 5.8 - Te onderzoeken waterstof aanlandingsstations.



6. Methodiek analyse agrarische waarden

6.1. Inleiding

In de Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD) is vastgesteld welke agrarische waarden als criteria worden beschouwd in dit deelrapport van de IEA. Hiernaast heeft LTO-Noord een zienswijze ingediend op de NRD. In deze zienswijze zijn suggesties gedaan voor aanvullende agrarische waarden en voor de onderzoeksmethode.

In deze fase kan een aantal van deze aanvullende agrarische waarden (deels) al onderzocht worden, met een detailniveau passend bij het huidige mate van uitwerking van de routes. Deze agrarische waarden zijn als criteria aan dit onderzoek toegevoegd, resulterend in de onderzoeksopzet uitgewerkt in het vervolg van dit hoofdstuk. Tabel 6.1 in paragraaf 6.1.1 geeft een overzicht van de agrarische waarden die zijn uitgewerkt in dit onderzoek. In het vervolg van paragraaf 6.1.1 wordt toegelicht welke agrarische waarden in deze fase niet in dit onderzoek kunnen worden onderzocht.

De onderzoeksaanpak wordt in paragraaf 6.2 per criterium nader uitgewerkt.

Doelstelling analyses
De doelstelling van de analyses die in het kader van dit deelrapport worden uitgevoerd, is om de PAWOZ-routes onderling te vergelijken en rangschikken op de impact die de aanleg van de ondergrondse infrastructuur van PAWOZ heeft op de agrarische waarden die in dit rapport zijn onderzocht. Op deze wijze wordt inzichtelijk welke routes de minste negatieve effecten hebben op de agrarische bedrijfsvoering. De beoordeling van de routes in dit deelrapport beperkt zich tot de agrarische waarden die binnen dit deelrapport als criteria worden onderzocht.

Detailniveau analyses
Het detailniveau van de analyses is vastgesteld in de NRD, op basis van de fase (planMER en IEA) waarin het programma zicht bevindt. Uitgangspunt voor de deelrapportages in de IEA is dat de criteria worden beschouwd door middel van kwantitatieve beschrijving of kwantitatieve bureaustudies, waar mogelijk ondersteund door expert judgement en literatuurstudie.
Aspecten die van invloed zijn op het detailniveau van de analyses zijn:

- Beschikbaarheid van kennis (expertise, literatuur);
- Beschikbaarheid van data.

6.1.1. Criteria agrarische waarden

Tabel 6.1 toont de agrarische waarden die binnen dit deelrapport als criteria worden geanalyseerd.

Tabel 6.1 - Criteria agrarische waarden.

Nr.	Criterium	Oorsprong	Detailniveau
1	Tracélengte in landbouwgrond • Tracélengte in agrarische percelen • Aantal betrokken perceeleigenaren • Tracélengte in huiskavels	NRD	Kwantitatieve beschrijving/meting
2	Bodemopbouw	NRD	Kwantitatieve bureaustudie o.b.v. expert judgement
3	Plantenziekten	zienswijze LTO-Noord	Kwantitatieve beschrijving/meting
4	Opwarming bodem	zienswijze LTO-Noord	Kwantitatieve bureaustudie o.b.v. modellering

LTO Noord heeft in hun zienswijze op de concept-NRD verzocht om, naast de hierboven benoemde criteria, ook de agrarische waarden 'elektromagnetische velden', 'verziltingsrisico' en 'aanlegmethode' als criteria te beschouwen. Hieronder is toegelicht waarom deze agrarische waarden in deze analyse niet worden behandeld.

Elektromagnetische velden (EMV)
De gevolgen van elektromagnetische velden (EMV) van wisselstroom hoogspanningscomponenten voor de woon- en werkomgeving, wordt binnen PAWOZ getoetst in het MER-deelrapport 'Leefomgeving'(1). EMV wordt daarom niet getoetst in het agrarisch waarden onderzoek.

Verziltingsrisico
Verzilting is een geohydrologisch aspect dat optreedt als gevolg van stijging van de zoet/zoutspiegel in het grondwater. Het aspect verzilting is door Acacia Water onderzocht(2)(3) als onderdeel van deze fase van PAWOZ. In de IEA wordt de resultaten van het rapport 'Verzilting' en dit agrarisch waardenonderzoek beschreven onder het thema Landbouw.

(1): Deelrapport Leefomgeving Door: Combinatie RHDHV en Witteveen+Bos Opdrachtgever: Ministerie van Klimaat en Groene Groei en Klimaat

(2): PAWOZ-Eemshaven, waterstofroutes Gasunie: Verkennend onderzoek naar verziltingseffecten van aanleg van waterstofroutes in Noord Nederland Door: Acacia Water Opdrachtgever: Gasunie

(3): Effectberekeningen verzilting tracé Eemshaven: Programma Aansluiting Wind op Zee – Eemshaven Door: Acacia Water Opdrachtgever: TenneT

Aanlegmethode

Het vaststellen van de aanlegmethode waarmee de PAWOZ-infrastructuur wordt gerealiseerd, is een voorwaarde om de impact van route tot route te kunnen vergelijken. Zie hiervoor ook de NRO-deel 2.

Gekozen is om in deze fase uit te gaan van aanleg in open sleuf. Hierdoor ontstaat een 'worst case' beschouwing van de effecten en van de impact die daaruit volgt op de agrarische bedrijfsvoering. Deze beschouwing is 'worst case' omdat aanleg door middel van HDD-boringen in elk geval neutraal is ten aanzien van de impact op de agrarische bedrijfsvoering, maar voor veel van de geanalyseerde aspecten zal zorgen voor mitigatie van negatieve effecten.

Omdat de aanlegmethode als uitgangspunt wordt vastgesteld, is het binnen dit onderzoek niet mogelijk om de aanlegmethode als criterium te analyseren. Wel komt de keuze voor andere aanlegmethoden (met name HDD-boringen) aan de orde als onderdeel van het beschouwen van mogelijkheden tot mitigatie van negatieve effecten. Dit wordt beschreven in hoofdstuk 0.

Open ontgraving & HDD boringen

In dit onderzoek is de aanleg in open sleuf aangenomen als uitgangspunt voor de realisatie van de PAWOZ-kabels en leidingen. Een alternatief voor het aanleggen in open sleuf, is het aanleggen door middel van HDD-boringen. Een HDD-boring kan worden ingezet om obstakels en/of knelpunten te kruisen. Het is in deze fase echter niet vast te stellen dat aanleg door middel van HDD-boringen in alle situaties de optimale oplossing is. De keuze tussen aanleg in open ontgraving of door middel van HDD dient per situatie te worden afgewogen, rekening houdend met de belangen van alle betrokkenen.

Voor een aantal criteria kan het toepassen van HDD-boringen als mitigerende maatregel worden ingezet. Dit wordt in H0 benoemd.

6.1.2. Beoordelingskader

Bovenstaande selectie van criteria en de toe te passen detailniveau leidt tot het volgende beoordelingskader. Het beoordelingskader van dit rapport sluit aan op het beoordelingskader zoals bepaald in de NRD.

Tabel 6.2 - Beoordelingskader.

Agrarische waarde	(sub-)Criterium	Methode
Tracélengte in landbouwgrond	Tracélengte in agrarische percelen	Meting d.m.v. GIS-analyse van vastgestelde bestemmingsplannen (openbaar beschikbare data). Zie verder §6.2.1.2
	Aantal betrokken perceeleigenaren	Meting op basis van kadastrale data en d.m.v. GIS-analyse van vastgestelde bestemmingsplannen. Zie verder §6.2.1.2

	Tracélengte in huiskavels	Meting op basis van kadastrale data en d.m.v. GIS-analyse van vastgestelde bestemmingsplannen. Zie verder §6.2.1.2.
Bodemopbouw	Bodemopbouw	Bureaustudie en GIS-analyse op basis van openbaar beschikbare data en expert judgement. Zie verder §6.2.2.2.
Plantenziekten	Plantenziekten	Bureaustudie en GIS-analyse op basis van openbaar beschikbare data en expert judgement. Zie verder §6.2.3.2.
Opwarming bodem	Opwarming bodem	Bureaustudie op basis van projectuitgangspunten van TenneT, openbaar beschikbare data, modellering, expert judgement en GIS-analyse. Zie verder §6.2.4.2.

6.2. Onderzoeksaanpak

In deze paragraaf wordt per criterium de onderzoeksaanpak van de analyses vastgesteld, uitgaande van relevante ingreep-effectrelaties. Per criterium worden de factoren bepaald die onderscheidend zijn voor deze ingreep-effectrelaties.

Door middel van meetgegevens, GIS-data uit openbare bronnen en expert judgement worden deze factoren meetbaar gemaakt. Daardoor kunnen de criteria met kwantitatieve analyses worden onderzocht. De resultaten van deze kwantitatieve analyses maken de routes onderling vergelijkbaar.

Minimale en maximale projectscope

In deze fase van het programma kan nog niet worden vastgesteld hoeveel windparken worden gerealiseerd en hoeveel opgewekt vermogen naar land moet worden getransporteerd. Wel is per route vastgesteld wat de minimale en maximale projectscope is die in deze route kan worden aangelegd, uitgedrukt in het aantal te leggen waterstofleidingen of hoogspanningskabels. Dit onderzoek beschouwt per route zowel de minimale projectscope als de maximale projectscope.

Tabel 6.3 - Minimale en maximale scope PAWOZ-routes.

PAWOZ-route	Minimale scope	Maximale scope
II – Oude Westereems Landroutes	1* kabelsysteem (TenneT) of 1 waterstofleiding (Gasunie)	7** kabelsystemen (TenneT) 3 waterstofleidingen (Gasunie)
V – Boschgat Landroutes	1 kabelsysteem (TenneT)	1 kabelsysteem (TenneT)
VII – Schiermonnikoog Wantij Landroutes	1 kabelsysteem (TenneT) of 1 waterstofleiding (Gasunie)	7 kabelsystemen (TenneT) of 3 waterstofleidingen (Gasunie)
VIII – Ameland Wantij Landroutes	1 waterstofleiding (Gasunie)	3 waterstofleidingen (Gasunie)
IX – Zoutkamperlaag Landroute	1 waterstofleiding (Gasunie)	3 waterstofleidingen (Gasunie)

** Eén kabelsysteem van 2 GW, bestaande uit twee 525 kV DC-kabels.*

*** 7 kabelsystemen samengesteld uit:*

- *5 kabelsystemen van 2 GW (twee 525 kV DC-kabels);*
- *2 kabelsystemen van 350 MW (elk bestaande uit een configuratie van 220kV AC-kabels)*

Uitgangspunt hierbij is dat bij uitbreiding van de scope met extra kabels of leidingen, elk jaar één extra hoogspanningsverbinding of leiding wordt aangelegd, parallel aan de ervoor gelegde

verbinding. Per criterium is uitgewerkt hoe de minimale en maximale scope in de analyses zijn verwerkt.

Bij aanleg van een nieuwe, aanvullende verbinding is nauwelijks minder negatief effect te verwachten, ten opzichte van de reeds gelegde verbinding. Voor een aantal effecten is de verwachting zelfs dat deze bij uitbreiding van de scope in het jaar erna, zich in versterkte mate zullen voordoen. Een belangrijke oorzaak hiervan is dat de bodem geen tijd krijgt om te herstellen, wanneer de verstoring met korte tussenpozen wordt herhaald. De effecten van de ingrepen bij uitbreiding van de scope, zijn daarmee cumulatief, of zelfs versterkt cumulatief.

Eventuele versterkte effecten die optreden bij uitbreiding van de scope, zullen voor alle routes in vergelijkbare mate voorkomen. Omdat van route tot route de (versterkte) effecten bij uitbreiding van de scope in dezelfde mate zullen voorkomen, zullen de onderlinge verhoudingen tussen de routes bij uitbreiding van de scope niet wijzigen ten opzichte van de aanleg van de minimale scope. De effecten blijven gelijk of nemen voor alle routes in dezelfde mate toe. Daarom is voor de meeste criteria gekozen om in de effectbeoordeling, de beoordeling van de minimale scope over te nemen als beoordeling van de maximale scope.

Tracéonzekerheid

In deze fase van het programma zijn de PAWOZ-routes globaal uitgewerkt. De routes worden dan ook gepresenteerd als lijn, voorzien van een contour. Deze contour noemen we binnen PAWOZ het 'studiegebied' van een route. De breedte van het studiegebied wordt bepaald door de maximaal aan te leggen infrastructuur.

De agrarische analyses worden uitgevoerd op de in deze fase voorgestelde PAWOZ-routes, gelegen op de middenlijn van het studiegebied. In Afbeelding 6.1 is dit schematisch weergegeven. Binnen het studiegebied wordt, in de projectfases van het programma, een nadere route gedefinieerd voor de aan te leggen infrastructuur. Deze optimalisatie vindt plaats op basis van kansen en belemmeringen in het studiegebied.

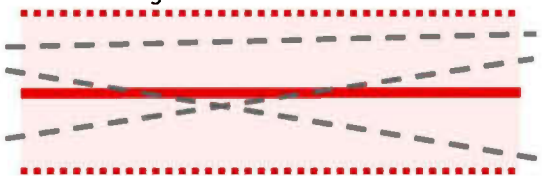
De kans dat deze nadere route afwijkt van de middenlijn, is echter zeer groot (zie Afbeelding 6.2). Het gebrek aan een exacte ligging noemen we 'tracéonzekerheid'. Voor de data en informatie die wordt toegepast in de analyses, geldt echter dat de kans op afwijkingen hiervan toe zal nemen naarmate de afstand tot de middenlijn toeneemt. Bijvoorbeeld omdat de bodemopbouw (grondsoorten) varieert of omdat perceelgrenzen binnen het studiegebied zorgen voor andere eigenaren of andere geteelde gewassen. Deze toenemende kans op afwijkende data en informatie op afstand van de middenlijn is verbeeld in Afbeelding 6.3. In Afbeelding 6.4 wordt vervolgens zichtbaar dat voor nadere uitwerkingen van routes op afstand van de middenlijn, de analyseresultaten van de middenlijn minder betrouwbaar zijn.

Afbeelding 6.1 - PAWOZ-route binnen studiegebied.



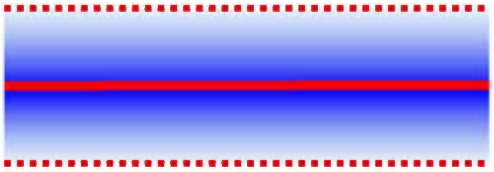
In deze fase is de middenlijn van het studiegebied vastgesteld als de route waarop de agrarische analyses worden uitgevoerd.

Afbeelding 6.2 - Projectfase: nadere route o.b.v. kansen en belemmeringen.



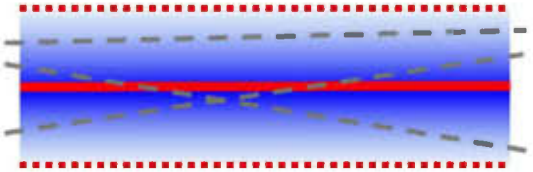
In de projectfase wordt binnen het studiegebied een nadere route gedefinieerd, die af zal wijken van de middenlijn. Deze ligging is nu nog onbekend: dit noemen we 'tracéonzekerheid'.

Afbeelding 6.3 - Afnemende betrouwbaarheid data middenlijn.



Als gevolg van de natuurlijke variatie van omstandigheden, neemt de betrouwbaarheid van analyseresultaten op de middenlijn af wanneer de afstand tot de middenlijn toeneemt.

Afbeelding 6.4 - Afwijkende resultaten voor nadere uitwerkingen verder van de middenlijn.



Aangenomen moet worden dat een nadere gedefinieerde route elders in het studiegebied, afwijkende resultaten geeft. Hierbij geldt dat de kans op afwijkende resultaten toeneemt, als de nadere route verder van de middenlijn ligt.

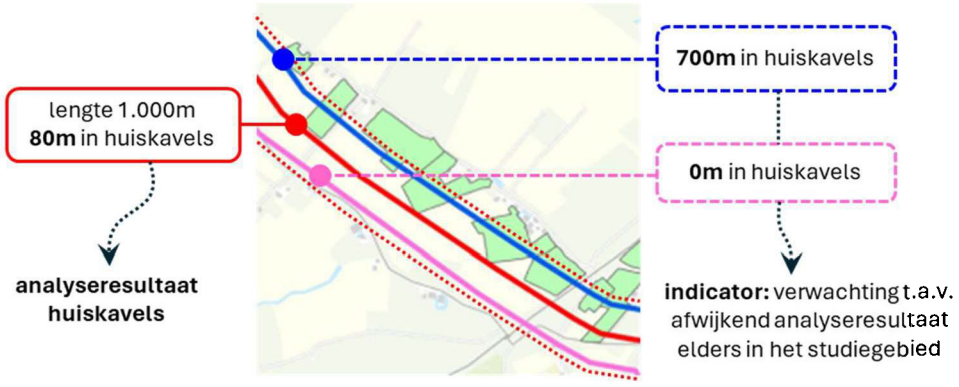
Om de afnemende betrouwbaarheid van de onderzoeksresultaten te verwerken in de onderzoeksmethodiek, zijn in de agrarische analyses extra lijnen toegevoegd nabij de randen van het studiegebied: varianten 'noord' en 'zuid'. Deze extra lijnen vormen alternatieve scenario's voor de middenlijn en worden eveneens geanalyseerd met dezelfde methodiek.

Afbeelding 6.5 - Alternatieve scenario's langs de randen van het studiegebied.



Doordat deze alternatieve scenario's nabij de randen van het studiegebied liggen, ontstaat inzicht in de mate waarin de omstandigheden binnen het studiegebied variëren.

Afbeelding 6.6 - Fictief voorbeeld 'ligging in huiskavels'.



In bovenstaand voorbeeld tonen varianten 'noord' en 'zuid' aan dat binnen het studiegebied rekening moet worden gehouden met zowel een positiever resultaat (minder ligging in huiskavels) als een veel negatiever resultaat (aanzienlijk meer ligging in huiskavels).

De afwijking van de resultaten van de varianten 'noord' en 'zuid', ten opzichte van de resultaten van de middenlijn, wordt berekend in procentpunten. In de presentatie van de analyseresultaten in hoofdstuk 7 en bijlage 6, worden deze afwijkingen direct naast de analyseresultaten getoond. De gemeten afwijking vormt zo een indicator voor de mate waarin binnen het studiegebied afwijkende resultaten moeten worden verwacht, wanneer de afstand tot de middenlijn toeneemt. In dit onderzoek is het met name van waarde om vast te stellen of rekening gehouden moet worden met een grotere impact op de agrarische waarden. Daarom wordt in de analyseresultaten in hoofdstuk 7 uitsluitend de indicator voor de negatieve afwijking getoond. De volledige resultaten zijn opgenomen in bijlage 6, daarin is ook de indicator voor positieve afwijking gepresenteerd.

6.2.1. Criterium 1 – Tracélengte in landbouwgrond

De PAWOZ-routes in de landsecties liggen in een omgeving waar veel landbouw plaats vindt. De lengte van de route is daarom een belangrijk criterium voor de impact van de route op de agrarische waarden: hetzelfde effect treft de agrarische sector in hogere mate, wanneer dit over een grotere lengte optreedt. Vanuit agrarisch perspectief heeft het daarom de voorkeur om de tracélengte in landbouwgrond zoveel mogelijk te beperken.

Het criterium tracélengte in landbouwgrond is onderverdeeld in drie subcriteria:

Tracélengte in agrarische percelen
De tracélengte in agrarische percelen toont de omvang van het gebied waarin het PAWOZ-programma effect heeft op de agrarische bedrijfsvoering. Dit wordt met name veroorzaakt door de benodigde ruimte voor de aanlegfase en de schade die de graafwerkzaamheden veroorzaken aan de bodemstructuur.

Aantal betrokken perceeleigenaren
Het aantal betrokken perceeleigenaren toont hoeveel agrariërs in hun bedrijfsvoering worden beïnvloed door het PAWOZ-programma. Met elke perceeleigenaar dient een minnelijke acquisitieprocedure te worden doorlopen met als doel het vestigen van een recht van opstal voor de kabels en/of leidingen.

Tracélengte in huiskavels
De tracélengte in huiskavels betreft de omvang van het gebied waarin de binnen PAWOZ aan te leggen ondergrondse infrastructuur huiskavels kruist. In deze percelen vormt de aanleg en aanwezigheid van de kabels en leidingen een verhoogde belemmering voor de agrarische bedrijfsvoering.

6.2.1.1. Effecten

Binnen het criterium tracélengte in landbouwgrond veroorzaakt PAWOZ de volgende relevante effecten:

1. Inrichting van werkstroken, werkterreinen en bouwwegen in agrarische percelen, waardoor (delen van) agrarische percelen een bepaalde periode niet ingezet kunnen worden in het agrarisch bedrijf.
2. Grondroering en extra belasting van de bodem in agrarische percelen, waardoor structuurschade kan ontstaan aan de bodem. Deze structuurschade wordt zoveel mogelijk beperkt door cultuurtechnisch verantwoorde uitvoering, maar kan gedurende enkele jaren enige inkomstenderving veroorzaken door verminderde opbrengst van het gewas en verminderde bruikbaarheid van het perceel.
3. Onder zakelijk recht van opstal aanbrengen van ondergrondse infrastructuur. Het vestigen van een zakelijk recht van opstal wordt in huiskavels als extra nadelig beschouwd.

6.2.1.2. Methodiek effectbeoordeling

De effecten worden beoordeeld op basis van de resultaten van een kwantitatieve analyse. De onderstaande sectie beschrijft de wijze waarop deze analyse is uitgevoerd.

Onderzoeksvraag
Analoog aan de drie subcriteria zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Wat is de totale tracélengte die aangelegd wordt in agrarische percelen?

2. Hoeveel verschillende perceeleigenaren krijgen te maken met de aanleg van de ondergrondse infrastructuur?
3. Wat is de totale lengte van de routes gelegen binnen huiskavels?

Onderzoeksaanpak

De PAWOZ routes met hun studiegebieden worden geprojecteerd op de relevante informatie:

- Percelen met een agrarische bestemming, zoals vastgesteld in het bestemmingsplan;
- Eigendomssituatie zoals vastgesteld door het kadaster;
- Percelen met status huiskavel, zoals vastgesteld door het kadaster.

Op basis van de data wordt voor elke route een kwantitatieve analyse (telling/meting) uitgevoerd van:

- De totale tracélengte, in percelen met een agrarische bestemming;
- Het aantal betrokken unieke perceeleigenaren, in percelen met een agrarische bestemming;
- De totale tracélengte gelegen in huiskavels met een agrarische bestemming.

De huiskavels zijn aangewezen door Het Kadaster en weergegeven in bijlage 2. Het Kadaster hanteert bij de vaststelling van huiskavels de volgende definitie: de verzameling aaneengesloten percelen in eigendom van één agrarisch bedrijf, direct grenzend aan de kavels met bedrijfsgebouwen.

Door analyse van de alternatieve scenario's van varianten 'noord' en 'zuid' wordt bepaald in welke mate rekening gehouden moet worden met afwijkende analyseresultaten in het studiegebied, wanneer in een latere fase de route in nader detail wordt vastgesteld.

Minimale en maximale scope

Hieronder wordt voor de drie subcriteria toegelicht hoe wordt omgegaan met de analyse en beoordeling van de maximale scope, ten opzichte van de minimale scope.

<u>Tracélengte in agrarische percelen</u>

De tracélengte in agrarische percelen wordt niet beïnvloed door uitbreiding van de scope, de verschillen in tracélengte in agrarische percelen tussen parallel aangelegde verbindingen zijn naar alle waarschijnlijkheid nihil. Er wordt daarom geen separate analyse uitgevoerd voor de maximale scope.

De effectbeoordeling van de routes bij aanleg van de maximale scope wordt gelijkgesteld aan de effectbeoordeling van de minimale scope.

Aantal betrokken perceeleigenaren

In dit onderzoek wordt aangenomen dat bij uitbreiding van de scope door aanleg van extra verbindingen, gekozen wordt om zoveel mogelijk gebruik te maken van dezelfde percelen en daarmee overwegend van dezelfde reeds betrokken perceeleigenaren. Situaties die hiervan afwijken, kunnen langs alle routes in dezelfde mate voorkomen en zijn daarom niet onderscheidend. De verschillen in aantal betrokken perceeleigenaren, als gevolg van uitbreiding van de scope, zijn naar alle waarschijnlijkheid beperkt. Er wordt daarom geen separate analyse uitgevoerd voor de maximale scope.

De beoordeling van de routes bij aanleg van de maximale scope wordt dan ook gelijkgesteld aan de beoordeling van de minimale scope.

Tracélengte in huiskavels

In dit onderzoek wordt aangenomen dat bij uitbreiding van de scope door aanleg van extra verbindingen, gekozen wordt om zoveel mogelijk gebruik te maken van dezelfde percelen en daarmee overwegend van dezelfde reeds geraakte huiskavels. Situaties die hiervan afwijken, kunnen langs alle routes in dezelfde mate voorkomen en zijn daarom niet onderscheidend. De verschillen in lengte in huiskavels, als gevolg van uitbreiding van de scope, zijn naar alle waarschijnlijkheid nihil. Er wordt daarom geen separate analyse uitgevoerd voor de maximale scope.

De effectbeoordeling van de routes bij aanleg van de maximale scope wordt gelijkgesteld aan de effectbeoordeling van de minimale scope.

Effectbeoordeling

De effectbeoordeling van de routes gebeurt door voor elk subcriterium de geïndexeerde resultaten per route te verdelen over de beoordelingsschaal met scores van 0 tot - - -.

De beoordeling voor het criterium tracélengte in landbouwgrond volgt uit het gemiddelde van de resultaten van de drie geanalyseerde subcriteria.
Omdat voor alle criteria geldt dat positieve impact als gevolg van de ingrepen is uitgesloten, worden in deze beoordeling geen positieve scores toegepast. De PAWOZ-routes met beoordeling '0' hebben naar verwachting de minste impact op de agrarische bedrijfsvoering.

Hoe groter de tracélengtes door agrarische percelen en huiskavels zijn, en hoe meer unieke eigenaren worden geraakt, hoe lager de variant zal worden gewaardeerd.

De resultaten van de hierboven beschreven analyse zijn uitgewerkt in paragraaf 7.1.

Bronnen

- PAWOZ routes
- Bestemmingsplan
- het Kadaster

Kennisleemtes

De analyse van criterium tracélengte is niet beperkt door kennisleemtes.

6.2.2. Criterium 2 – Bodemopbouw

Binnen dit criterium wordt de bodemopbouw beschouwd in relatie tot het herstel van de bodemstructuur na uitvoering van de aanlegwerkzaamheden. Door de uitvoering van de aanlegwerkzaamheden wordt de bodemstructuur verstoord. Deze verstoring wordt structuurschade genoemd en beïnvloedt de bruikbaarheid van het perceel, de groei van gewassen en daarmee de agrarische bedrijfsvoering. Structuurschade treedt voornamelijk op als gevolg van (een combinatie van) grondroering, extra belasting van werkterreinen en -stroken of door bemaling. De mate waarin structuurschade optreedt door de uitvoering van het werk, wordt bepaald door het werk (de aard en duur van de werkzaamheden, de diepte van de ontgraving, de zorgvuldigheid waarmee de het grondwerk wordt uitgevoerd), en de lokale bodemopbouw.

In de projectfase van de te realiseren kabels en leidingen wordt het ontwerp opgesteld, met daarbij een projectspecifiek cultuurtechnisch rapport. Het cultuurtechnisch rapport beschrijft de optimale wijze van uitvoering van het voorgenomen werk. Op basis van de uitvoeringswijze en de lokale bodemopbouw worden daarbij ook de cultuurtechnische herstelwerkzaamheden beschreven, als gevolg waarvan de mate en duur van de structuurschade zoveel mogelijk worden beperkt. Toch is structuurschade niet geheel te voorkomen en zal er in het jaar (of maximaal enkele jaren) volgend op de aanleg sprake zijn van naschade. Bepaalde grondsoorten zijn gevoeliger voor structuurschade dan andere grondsoorten. In deze gevoelige grondsoorten is de kans groter dat, ondanks zorgvuldig uitgevoerde werkzaamheden en cultuurtechnisch herstel, zwaardere structuurschade optreedt en over een langere periode sprake zal zijn van naschade.

De impact van structuurschade op de agrarische bedrijfsvoering wordt bepaald door de omvang van de structuurschade (de projectomvang binnen de agrarische percelen), in combinatie met de economische waarde die wordt blootgesteld aan de gevolgen van structuurschade.

6.2.2.1. Effecten

Voor de beoordeling van dit criterium zijn de volgende effecten beschouwd:

1. Grondroering: het ontgraven, tijdelijk opslaan en weer aanvullen van grond wordt grondroering genoemd en verstoort de bodemstructuur. Toepassing van een cultuurtechnisch verantwoorde werkwijze beperkt de structuurschade en bevordert het herstel van de

bodemstructuur. Ondanks de cultuurtechnisch verantwoorde werkwijze kan deze verstoring van de bodemstructuur gedurende enkele jaren een beperking van de gebruikswaarde van het perceel en een beperking van de agrarische bedrijfsvoering veroorzaken.

2. Bemaling: ontwatering van een grondlaag door bemaling veroorzaakt een compactere schikking van het bodemmateriaal ter plaatse, met zetting als gevolg. Indien de compactere schikking door middel van cultuurtechnisch herstel en aanvulling van grondtekort wordt opgeheven, is het effect op de gebruikswaarde en agrarische bedrijfsvoering beperkt. Het effect op de gebruikswaarde en agrarische bedrijfsvoering van compactering in de dieper gelegen bodemlagen is nihil.
   Afhankelijk van de grondwaterhuishouding en het chloridegehalte in het grondwater, kan bemaling tevens leiden tot verzilting: de bemaling onttrekt het zoete grondwater waardoor het zoute grondwater naar de oppervlakte stijgt, Het verhoogde zoutgehalte in de bodem heeft een nadelig effect op de bodemkwaliteit en op de gewasontwikkeling.
3. Belasting: de aanleg van bouwwegen en werkterreinen en de druk van rijdend materieel verhogen de belasting op de bestaande bodem, waardoor compactering van het bodemmateriaal kan ontstaan in het maaiveld en in de lagen direct daaronder. Deze compactering wordt klink genoemd. Klink is een vorm van structuurschade die door de toepassing van een cultuurtechnisch verantwoorde werkwijze wordt voorkomen, of nadien kan worden hersteld. Ondanks cultuurtechnisch herstel veroorzaakt klink gedurende maximaal enkele jaren een beperking van de gebruikswaarde en agrarische bedrijfsvoering.

6.2.2.2. Methodiek effectbeoordeling

De effecten worden beoordeeld op basis van de resultaten van een kwantitatieve analyse, gebaseerd op expert judgement. De onderstaande sectie beschrijft de wijze waarop deze analyse is uitgevoerd.

Onderzoeksvraag
Om de PAWOZ-routes op dit criterium met elkaar te kunnen vergelijken is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

In welke mate wordt de agrarische bedrijfsvoering blootgesteld aan de impact van structuurschade die ontstaat als gevolg van de aanlegwerkzaamheden?

Onderscheidende factoren binnen deze analyse zijn:

- De kwaliteit van de cultuurtechnische uitvoering: zowel van het grondwerk tijdens de aanleg, als van de cultuurtechnische herstelwerkzaamheden. Deze bepalen de mate waarin voorkombare structuurschade optreedt, alsook de duur van de naschade.
- De bodemopbouw: deze beïnvloedt zowel de mate waarin structuurschade optreedt, als de mate waarin de bodemstructuur zich in het werk (door cultuurtechnisch herstel) of op natuurlijke wijze herstelt.

- Het agrarisch gebruik: de waarde van de langs de routes geteelde gewassen is een bepalende factor voor de impact van de structuurschade op de agrarische bedrijfsvoering.

Uitgangspunten

In deze analyse wordt per route de omvang beschouwd van het risico op structuurschade. Ook wordt de impact meegewogen die structuurschade heeft op de agrarische bedrijfsvoering.

Aangenomen wordt dat voor alle routes en onder alle omstandigheden een optimale cultuurtechnische werkwijze wordt toegepast ten aanzien van de aanlegwerkzaamheden en ten aanzien van het cultuurtechnisch herstel. In deze analyse is de kwaliteit van de uitvoering dan ook niet van invloed op het resultaat van de analyse.

De benodigde hoeveelheid bouwwegen is sterk afhankelijk van de daadwerkelijke ligging van de aan te leggen kabels en leidingen. Omdat de ligging van de routes in deze fase nog niet bepaald is, kan de benodigde hoeveelheid bouwwegen niet worden ingeschat. De bouwwegen worden in deze analyse dan ook niet beschouwd.

Aangenomen wordt dat de locaties waar stations worden gerealiseerd, permanent uit het agrarisch bedrijf worden onttrokken. Structuurschade heeft op deze locaties geen impact meer op de agrarische bedrijfsvoering. De stations worden dan ook niet meegenomen in deze analyse.

Door een cultuurtechnisch verantwoorde werkwijze kan structuurschade als gevolg van tijdelijke bemaling vrijwel geheel worden voorkomen. De impact van bemaling op gebruikswaarde en agrarische bedrijfsvoering is naar verwachting nihil. Structuurschade als gevolg van bemaling wordt dan ook niet als onderscheidende factor meegenomen in deze analyse. Het aspect verzilting wordt reeds in een separaat deelrapport uitgewerkt (zie paragraaf 6.1.1) en is daarom tevens niet meegenomen in deze analyse.

De impact van structuurschade op de agrarische bedrijfsvoering is hoger naarmate de waarde van het gewas op het betreffende perceel eveneens hoger is.

Onderzoeksaanpak

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden, worden in deze analyse de volgende stappen gezet:

- Vaststellen door middel van een GIS-analyse van de betrokken agrarische percelen, door combinatie van bestemmingsplan en PAWOZ routes;
- Vaststellen door middel van een GIS-analyse van de bodemopbouw in de geselecteerde percelen, zoals vastgesteld in de bodemkaart in PDOK;
- Indeling en weging van de getroffen grondsoorten in gevoeligheden voor structuurschade (beoordeling op basis van expert judgement, door Antea Group), zie bijlage 3.

- Vaststellen door middel van een GIS-analyse van de verschillende teeltplannen binnen de agrarische percelen, zoals vastgesteld in BRP-gewaspercelen (om rekening te houden met wisselteelt worden de teeltplannen van de laatste 3 jaar beschouwd);
- Vaststellen van de waarde-indicatie van de gewassen, aan de hand van de laatst vastgestelde Gasunie/LTO-tarieven, aangevuld door Gasunie op basis van praktijkgegevens en expert judgement. Uitgangspunt is de gemiddelde waarde-indicatie van de teeltplannen van de beschouwde laatste 3 jaar.

  Belangrijk: *de gewaswaarde-indicatie is geen weergave van de mogelijke financiële schade die de agrariërs kunnen ondervinden, maar geeft een verhoudingsgetal waarmee de waarde van de geteelde gewassen per route tot elkaar in verhouding kunnen worden gezet.*

Door analyse van de alternatieve scenario's van varianten 'noord' en 'zuid' wordt bepaald in welke mate rekening gehouden moet worden met afwijkende analyseresultaten in het studiegebied, wanneer in een latere fase de route in nader detail wordt vastgesteld.

Minimale en maximale scope

Omdat uitbreiding van de scope met maximaal één hoogspanningsverbinding of waterstofleiding per jaar zal worden uitgevoerd, zullen voor elke aanvullende verbinding vrijwel dezelfde werkzaamheden worden uitgevoerd. Doordat bij jaarlijks terugkerende aanleg de bodemstructuur onvoldoende tijd krijgt om te herstellen, ontstaat bij uitbreiding van de scope een versterkt effect.

Deze effecten van uitbreiding van de scope gelden echter voor alle routes in dezelfde mate en verhouding en zijn daarom niet onderscheidend. Daarom kan worden aangenomen dat de onderlinge verhoudingen tussen de gepresenteerde resultaten voor de minimale scope en maximale scope gelijk zijn. Er wordt daarom geen separate analyse uitgevoerd voor de maximale scope: de beoordeling van de minimale scope wordt overgenomen.

Effectbeoordeling

De effectbeoordeling gebeurt door bepaling van:

- De gevoeligheid van elke route voor structuurschade,
- De waarde-indicatie van de gewassen langs elke route.

De geïndexeerde resultaten van beide deelanalyses worden per route bij elkaar opgeteld. Hierbij wordt uitsluitend gekeken naar de delen van de routes die in agrarische percelen worden aangelegd.

De gevoeligheid van een route voor structuurschade wordt bepaald door meting van de raakvlakken van de route met de aanwezige grondsoorten, in combinatie met de gevoeligheden voor structuurschade die voor die grondsoorten zijn bepaald.

De waarde-indicatie van de geteelde gewassen langs een route wordt bepaald door meting van de raakvlakken met de geteelde gewassen, in combinatie met de per gewas vastgestelde gewaswaarde.

De beoordeling van de routes komt tot stand door de geïndexeerde resultaten per route te verdelen over de beoordelingsschaal met scores van 0 tot - - -.

Omdat voor alle criteria geldt dat positieve impact als gevolg van de ingrepen is uitgesloten, worden in deze beoordeling geen positieve scores toegepast. De PAWOZ-routes met beoordeling '0' hebben naar verwachting de minste impact op de agrarische bedrijfsvoering.

De resultaten van de hierboven beschreven analyse zijn uitgewerkt in paragraaf 7.2.

Bronnen

- PAWOZ routes
- Bestemmingsplan
- Bodemkaart
- Cultuurtechnische expertise (Antea Group)
- BRP gewaspercelen
- Meest recente systematiek van gewasschadevergoedingen van GasUnie

Kennisleemtes

De analyse van criterium bodemopbouw is niet beperkt door kennisleemtes.

6.2.3. Criterium 3 – Plantenziekten

De uitvoering van werkzaamheden in de bodem introduceert een risico op de verspreiding van plantenziekten, bodemgebonden ziekten en plagen. De aanwezigheid hiervan in een perceel, vormt een bedreiging voor de groei van gewassen en voor de waarde van de betreffende cultuurgrond. Binnen de analyse van criterium 'plantenziekten' worden zowel de plantenziekten als de bodemgebonden ziekten en plagen onder dezelfde noemer uitgewerkt, om de leesbaarheid te vergroten.

Plantenziekten kunnen zich verspreiden wanneer besmette aarde of plantenresten door grondtransport of via het materieel wordt verplaatst over een perceel, of naar aangrenzende percelen. Door toepassing van een specifiek bedrijfshygiënisch fytosanitair protocol tijdens de uitvoering wordt het risico op verspreiding van eventueel aanwezige plantenziekten sterk beperkt.

Verplaatsing van grond over agrarische percelen of perceelsgrenzen vindt met name plaats bij aanleg van kabels en leidingen in open sleuf en bij het transport van materieel en grond over

perceelgrenzen heen. Bij aanleg in open sleuf wordt veel grond geroerd en verplaatst en vinden veel materieelbewegingen plaats.

Werkzaamheden voor de aanleg van stations vinden in hoge mate plaats op ingerichte bouwplaatsen, waar minder grond wordt geroerd of verplaatst. Materieel komt daardoor op die locaties minder in aanraking met grond. De stationslocaties zelf komen na de start van de bouwwerkzaamheden niet meer terug in agrarisch gebruik.

De ervaring van LTO is dat met name akkerbouwbedrijven schade ondervinden van de verspreiding van plantenziekten. Op verzoek van LTO richt deze analyse zich dan ook op de delen van de PAWOZ-routes die gelegen zijn in akkerbouwpercelen.

De huidige aanwezigheid en verspreiding van plantenziekten wordt gemonitord door de NVWA. Deze gegevens zijn echter niet volledig omdat melding van besmetting niet verplicht is. De beschikbare gegevens worden onvoldoende geacht om toe te passen in deze analyse.

Omdat er onvoldoende gegevens beschikbaar zijn, is het niet mogelijk om vast te stellen hoe groot de kans is dat langs de PAWOZ-routes besmettingen met plantenziekten aanwezig zijn. Daardoor is ook niet vast te stellen hoe groot het risico is dat plantenziekten als gevolg van de aanlegwerkzaamheden van PAWOZ worden verspreid.

Wel moet worden uitgegaan van de mogelijkheid dat akkerbouwpercelen besmet zijn met plantenziekten. In deze analyse nemen we daarom aan dat overal in het studiegebied een gelijke kans is dat aanwezige besmettingen in akkerbouwpercelen als gevolg van de uitvoering van PAWOZ worden verspreid. Hierdoor is de lengte waarover een route in akkerbouwpercelen is gelegen, maatgevend voor de blootstelling van deze route aan de risico's die volgen uit verspreiding van plantenziekten.

Wanneer een besmetting zich verspreidt als gevolg van de uitvoering van PAWOZ, dan kan dit leiden tot verminderde opbrengst en mogelijke waardevermindering van het perceel. De impact hiervan op de agrarische bedrijfsvoering wordt bepaald door de waarde van het gewas. Daarom verwerken we in deze analyse tevens een waarde-indicatie van de gewassen die langs de routes worden geteeld, op basis van geregistreerde teeltplannen.

6.2.3.1. Effecten

Voor de beoordeling van dit criterium zijn de volgende effecten beschouwd:

1. Transport en aanvoer van grond verhoogt het risico op besmetting van schone (delen van) percelen met plantenziekten, waardoor gewasschade kan ontstaan.

2. Verplaatsing van materieel naar volgende percelen verhoogt het risico op besmetting van schone percelen met plantenziekten, waardoor gewasschade en waardevermindering van de grond kan ontstaan.

6.2.3.2. Methodiek effectbeoordeling

De effecten worden beoordeeld op basis van de resultaten van een kwantitatieve analyse. De onderstaande sectie beschrijft de wijze waarop deze analyse is uitgevoerd.

Onderzoeksvraag
Om de PAWOZ-routes op dit criterium met elkaar te kunnen vergelijken is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

In welke mate wordt de agrarische bedrijfsvoering langs de PAWOZ-routes blootgesteld aan de risico's die volgen uit de verspreiding van plantenziekten?

Uitgangspunten
Aangenomen wordt dat besmetting plaats vindt binnen agrarische percelen, als gevolg van het verplaatsen van besmette grond of plantenresten naar delen die tot dat moment onbesmet waren, of als gevolg van aanvoer van aanvoer van besmette grond van elders.

Toepassing van een bedrijfshygiënisch fytosanitair protocol tijdens de uitvoering, vormt de belangrijkste bescherming tegen verspreiding van plantenziekten van een besmet perceel naar een nabij gelegen schoon perceel. Doordat de uitvoering van het protocol zeer zorgvuldig plaats moet vinden om besmetting te voorkomen, kan besmetting over de perceelgrens niet worden uitgesloten. Het aantal perceelgrenzen tussen akkerbouwpercelen is dan ook mede bepalend voor het risico op verspreiding van plantenziekten van een besmet perceel naar een schoon perceel. In de praktijk neemt bij langere tracés het aantal perceelgrenzen vrijwel recht evenredig toe met de lengte van het tracé. Dit betekent dat de lengte van de PAWOZ-routes tevens maatgevend is voor het aantal perceelgrenzen dat wordt gepasseerd. Het aantal perceelgrenzen hoeft daarom niet te worden meegenomen in de analyse van dit criterium.

Voor de locaties van de stations geldt dat de grondroering een laag risico geeft op verspreiding van een eventueel aanwezige besmetting: de grond wordt uitsluitend binnen de bouwcontour ontgraven en via (bouw-)wegen afgevoerd en de stationslocaties zelf komen niet terug in agrarisch gebruik. De stationslocaties worden daarom niet meegenomen in deze analyse.

Onderzoeksaanpak
In deze analyse wordt beschouwd welke routes de hoogste blootstelling hebben aan het risico dat volgt uit verspreiding van plantenziekten, als gevolg van de aanleg van de PAWOZ-infrastructuur. Deze blootstelling neemt toe wanneer:

- De totale lengte van de route gelegen in akkerbouwpercelen groter is;
- De gemiddelde gewaswaarde van de gewasteelt langs de route hoger is.

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden worden door middel van GIS-analyse de volgende stappen gezet:

- Lengtemeting van de tracédelen gelegen in akkerbouwpercelen, door combinatie van bestemmingsplan en PAWOZ-routes;
- Vaststellen door GIS-analyse van de verschillende teeltplannen binnen de agrarische percelen, zoals vastgesteld in BRP-gewaspercelen (om rekening te houden met wisselteelt worden de teeltplannen van de laatste 3 jaar beschouwd);
- Vaststellen van de waarde-indicatie van de gewassen, aan de hand van de laatst vastgestelde Gasunie/LTO-tarieven, aangevuld door Gasunie op basis van praktijkgegevens en expert judgement. Uitgangspunt is de gemiddelde waarde-indicatie van de teeltplannen van de beschouwde laatste 3 jaar.

Belangrijk: *de gewaswaarde-indicatie is geen weergave van de mogelijke financiële schade die de agrariërs kunnen ondervinden, maar een verhoudingsgetal waarmee waarde van de geteelde gewassen per route tot elkaar in verhouding kunnen worden gezet.*

Door analyse van de alternatieve scenario's van varianten 'noord' en 'zuid' wordt bepaald in welke mate rekening gehouden moet worden met afwijkende analyseresultaten in het studiegebied, wanneer in een latere fase de route in nader detail wordt vastgesteld.

Minimale en maximale scope

Omdat uitbreiding van de scope met maximaal één hoogspanningsverbinding of waterstofleiding per jaar zal worden uitgevoerd, moeten voor elke aanvullende verbinding vrijwel dezelfde werkzaamheden worden uitgevoerd. Bij uitbreiding van de scope zal het risico op verspreiding van plantenziekten daardoor opnieuw optreden. Het over langere tijd kunnen monitoren van de bodemkwaliteit zorgt dat besmettingen met plantenziekten waarschijnlijk eerder zullen worden gedetecteerd. Het voordeel dat hierdoor ontstaat ten opzichte van de voorgaande verbindingen, is echter niet significant omdat ook bij de eerst aangelegde verbinding fytosanitair onderzoek kan worden uitgevoerd. Ook geldt dit voordeel voor alle routes in gelijke mate, waardoor geen verschil ontstaat in de onderlinge verhoudingen van de resultaten van de routes. Er wordt daarom geen separate analyse uitgevoerd voor de maximale scope, de beoordeling van de minimale scope wordt overgenomen.

Effectbeoordeling

De waarde voor de blootstelling van de verschillende routes aan de risico's die volgen uit verspreiding van plantenziekten wordt bepaald door vermenigvuldiging van de bepaalde waarde-indicatie voor de geteelde gewassen langs het tracé, met de gemeten lengte van de route gelegen in akkerbouwpercelen.

De beoordeling van de routes komt tot stand door de geïndexeerde resultaten per route te verdelen over de beoordelingsschaal met scores van 0 tot - - -.

Omdat voor alle criteria geldt dat positieve impact als gevolg van de ingrepen is uitgesloten, worden in deze beoordeling geen positieve scores toegepast. De PAWOZ-routes met beoordeling '0' hebben naar verwachting de minste impact op de agrarische bedrijfsvoering.

Omdat het niet de verwachting is dat de aan te leggen scope (minimale scope van 1 kabel of leiding, of maximale scope van 7 kabels of 3 leidingen) leidt tot andere verhoudingen tussen de analyseresultaten van de verschillende routes, geldt dezelfde beoordeling voor zowel de minimale scope als de maximale scope.

De resultaten van de hierboven beschreven analyse zijn uitgewerkt in paragraaf 7.3.

Bronnen

- Kadaster
- PDOK
- BRP gewaspercelen
- Meest recente systematiek van gewasschadevergoedingen Gasunie/LTO

Kennisleemtes

Voor het detailniveau van de in deze fase uitgevoerde analyse zijn er geen kennisleemtes. Voor verdere verdieping van dit criterium gelden de volgende kennisleemtes:

- De huidige aanwezigheid van plantenziekten in bepaalde gebieden.
- Besmettelijkheid van specifieke plantenziekten door aanlegwerkzaamheden.
- Gevoeligheid van verschillende gewassen voor plantenziekten.

6.2.4. Criterium 4 – Opwarming bodem

Ondergrondse hoogspanningskabels en waterstofleidingen zoals binnen PAWOZ zullen worden aangelegd, worden warm als gevolg van het gebruik ervan. Doordat de kabels en leidingen warmer zijn dan de omgeving waarin ze worden aangelegd (de bodem), veroorzaken ze opwarming van de omliggende grond. Dit heet warmteafdracht. Opwarming van de bodem kan negatieve gevolgen hebben voor de agrarische bedrijfsvoering.

Algemeen geldt dat de impact van de opwarming van de bodem op de agrarische bedrijfsvoering groter is, naarmate de waarde van de gewassen hoger is. Vanuit agrarisch perspectief heeft het dan ook de voorkeur om de impact van opwarming op de agrarische bedrijfsvoering zoveel mogelijk te beperken.

Er is geen wet- of regelgeving waarin is vastgelegd hoe hoog de toelaatbare opwarming mag zijn in agrarische gebieden. Ook is het in deze fase niet haalbaar om, voor alle gewassen in alle voorkomende omstandigheden langs de routes, de invloed te bepalen van de opwarming op de gewasontwikkeling. De impact van de bodemopwarming op de agrarische bedrijfsvoering neemt echter toe, waanneer de omvang van het opgewarmde gebied toeneemt. Daarom moet worden vastgesteld in welke situaties een bredere opgewarmde zone moet worden verwacht, en wanneer een smallere opgewarmde zone.

6.2.4.1. Effecten

Voor de beoordeling van dit criterium zijn de volgende effecten beschouwd:

1. Gebruik van ondergrondse hoogspanningskabels en waterstofleidingen, waardoor een temperatuurverschil kan ontstaan in en onder de teelaarde laag van agrarische percelen. Dit temperatuurverschil kan ongelijkmatige groei veroorzaken van gewassen op een perceel, met verstoring van de agrarische bedrijfsvoering als gevolg. Relatief kleine temperatuurverschillen in bodemtemperatuur kunnen leiden tot ongelijkmatige groei van de gewassen. Dit werkt verstorend in de agrarische bedrijfsvoering, bijvoorbeeld in de gewasbestrijding. Grotere verschillen kunnen leiden tot schade aan de gewassen. Er zijn mitigerende maatregelen mogelijk om de opwarming van de bodem te beperken. Ongelijkmatige groei als gevolg van temperatuurverschillen in de bodem, is ondanks deze maatregelen niet uit te sluiten. Daarom wordt in deze analyse aangenomen dat dit effect optreedt.

   Hoogspanningskabels en waterstofleidingen hebben niet dezelfde maximale temperatuur en constructie. Ook verschilt de frequentie en duur van de momenten waarop de kabels en leidingen hun hoogste temperatuur bereiken. Hierdoor verschilt de warmteafdracht van een hoogspanningskabel, van de warmteafdracht van een waterstofleiding. Daardoor verschilt tevens de impact van de opwarming op de agrarische bedrijfsvoering. Dit verschil in impact wordt meegenomen in de resultaten van deze analyse.

Om een indicatie te verkrijgen van de mate waarin de kabels en leidingen hun omgeving kunnen opwarmen, zijn in overleg met TenneT en Gasunie uitgangspunten bepaald ten aanzien van de verwachte temperatuur en constructie van de kabels en leidingen.

Beperking van de opwarming

Er zijn aspecten die ervoor zorgen dat de opwarming van de bodem in de praktijk beperkt zal zijn. Hierdoor zal de impact op de agrarische bedrijfsvoering in de praktijk lager zijn.

Het eerste aspect is de maximale temperatuur van de kabels en leidingen waarmee in de bedrijfssituatie rekening wordt gehouden. In de modellering is uitgegaan van constante hoge temperaturen. De breedtes van de opgewarmde zones die hieruit volgen, zijn als resultaten in deze analyse verwerkt.. In de praktijk treden deze hoge temperaturen van de kabels en leidingen

uitsluitend tijdelijk op, wanneer door hoge productie van de windparken (bij veel wind) de kabels en leidingen hun maximale transportcapaciteit benutten. Wanneer de hoge temperaturen van de kabels en leidingen niet voldoende langdurig aanwezig zijn, zal de bodem niet of slechts tijdelijk opwarmen tot de berekende temperaturen. De in deze analyse toegepaste breedtes van de opgewarmde zones worden naar verwachting in de praktijk dan ook slechts periodiek en in tijdelijke situaties behaald. Hierdoor zal de impact op de agrarische bedrijfsvoering in de praktijk lager zijn.

Het tweede aspect is uitsluitend van toepassing op de waterstofleidingen van Gasunie. Doordat de leidingen warmte afgeven aan de bodem, treedt over de lengte van de leiding warmteverlies op: het waterstof in de leiding koelt af. Hierdoor neemt het vermogen van de leiding om de omgeving op te warmen, af. Er is dus sprake van een afnemend effect: de impact op de agrarische bedrijfsvoering zal het hoogst zijn aan het begin van de leiding en neemt daarna geleidelijk af. In deze fase is in de thermische analyses in bijlage 5 geen warmteverliesberekening toegepast.

6.2.4.2. Methodiek effectbeoordeling

Het effect wordt beoordeeld op basis van de resultaten van een kwantitatieve analyse van de voor dit effect onderscheidende factoren. De onderstaande sectie beschrijft de wijze waarop deze analyse is uitgevoerd.

Onderzoeksvraag
Om de PAWOZ-routes op dit criterium met elkaar te kunnen vergelijken is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

Hoe groot is de verwachte impact van de opwarming van de bodem op de agrarische bedrijfsvoering?

De onderscheidende factoren in deze vraag zijn:

- De bodemopbouw, als bepalende factor voor de wijze waarop de warmte van de kabels en leidingen zich door de bodem verspreidt;
- De grondwaterstand, als bepalende factor voor de mate waarin de warmte van de kabel of leiding in de bodem wordt afgevoerd: ligging onder de grondwaterstand verhoogt de afvoer van warmte, waardoor de opwarming van de bodem minder is dan bij ligging boven de grondwaterstand.
- Het gewas, als bepalende factor voor de gevoeligheid van de agrarische bedrijfsvoering voor opwarming van de bodem: de impact van ongelijkmatige groei is hoger wanneer de waarde van het gewas hoger is.

Uitgangspunten

Voor deze analyse zijn projectspecifieke randvoorwaarden gekozen als basis voor het bepalen van de breedte van de opgewarmde zone:

- Aangenomen wordt dat de gewasontwikkeling in verstorende mate wordt beïnvloed vanaf een temperatuurverschil van meer dan +2°C tussen de opgewarmde zone en de overige delen van het perceel. +2°C is daarmee de drempelwaarde voor de opwarming van de bodem.
- Aangenomen wordt dat de bepalende diepte voor de gewasontwikkeling op ongeveer 0,40m beneden maaiveld ligt. 0,4m minus maaiveld is daarmee de referentiediepte voor het bepalen van de breedte van de opgewarmde zone.

Ter plaatse van de stations vindt geen agrarische bedrijfsvoering plaats, waardoor de stationslocaties in dit criterium worden uitgesloten van de analyse.

Aangenomen wordt dat in graslandpercelen geen sprake is van negatieve impact op de agrarische bedrijfsvoering, als gevolg van ongelijkmatige groei. De analyse beperkt zich dan ook tot de akkerbouwpercelen binnen het studiegebied van elke route.
Het PAWOZ planuitgangspunt voor de diepteligging van kabels die in een open sleuf aangelegd worden, is 1,8m onder het maaiveld. Voor de waterstofleidingen geldt dat de bovenkant van de leiding op 3,0m onder maaiveld wordt aangelegd.

In de bepaling van de opgewarmde zone, toegevoegd in bijlage 5, is onderscheid gemaakt tussen ligging onder- en boven de grondwaterstand.

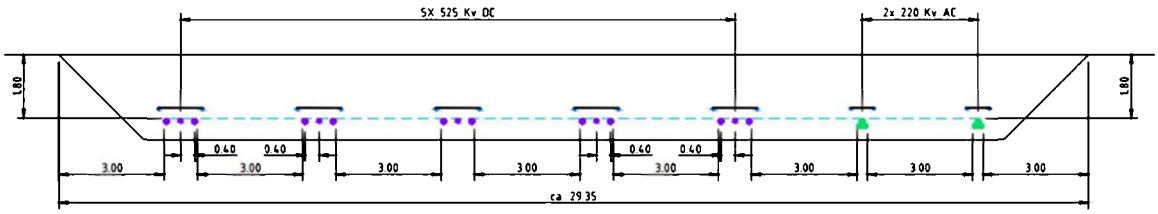
Bij aanleg van minimale scope is de breedte van de opgewarmde zone bepaald voor de aanleg van één waterstofleiding, of één 525kV DC-hoogspanningsverbinding.

Bij aanleg van de maximale scope wordt de breedte van de opgewarmde zone bepaald voor de aanleg van drie waterstofleidingen met onderlinge afstanden zoals in de PAWOZ planuitgangspunten bepaald. Voor de hoogspanningskabels is de opgewarmde zone bij maximale scope bepaald op basis van een scenario waarin 2 of 7 hoogspanningsverbindingen worden aangelegd, namelijk:

- 2x 220kV AC;
- 5x 525kV DC.

Deze configuratie correspondeert met doorsnede 'cross section 1 10,7GW' in de rapportage in bijlage 5.

Afbeelding 6.7 - 'Cross section 1 10,7GW': toegepast als maatgevende configuratie voor de maximale scope van 7 kabels.



Uit analyse van de grondsoorten in het gebied op basis van de bodemkaart, blijkt dat langs de routes met name klei en zavel voorkomen: het aandeel van overige grondsoorten is op geen enkele route meer dan 10%. Andere grondsoorten zijn dan ook buiten beschouwing gelaten in het bepalen van de opgewarmde zone.

Onderzoeksaanpak

In deze analyse wordt bepaald langs welke routes de hoogste impact verwacht wordt van de bodemopwarming. Het betreft de bodemopwarming als gevolg van de aanwezigheid van hoogspanningsverbindingen en waterstofleidingen. Deze impact neemt toe als:

- Het tracé langer is;
- De opgewarmde zone breder is;
- De gemiddelde gewaswaarde van de gewasteelt langs de route hoger is.

Er zijn in deze fase onzekerheden, ten aanzien van de exacte lokale bodemopbouw en grondwaterstand en ten aanzien van de exacte gegevens van met name de specificaties van de aan te leggen kabels. Toch is het mogelijk om met de huidige informatie en uitgangspunten per route een beeld te krijgen van het risico dat bodemopwarming de gewasontwikkeling zal beïnvloeden. De resultaten van de analyse zijn daarmee voldoende voor een representatieve vergelijking van dit criterium voor de verschillende PAWOZ-routes.

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden worden de volgende stappen gezet:

- Vaststellen door middel van een GIS-analyse van de getroffen akkerbouwpercelen waar aanleg met een open sleuf plaatsvindt, door combinatie van bestemmingsplan, BRP-gewaspercelen en PAWOZ routekaart;
- Vaststellen door middel van een GIS-analyse van de verschillende teeltplannen binnen de agrarische percelen, zoals vastgesteld in BRP-gewaspercelen (om rekening te houden met wisselteelt worden de teeltplannen van de laatste 3 jaar beschouwd);
- Vaststellen van de waarde-indicatie van de gewassen, aan de hand van de laatst vastgestelde Gasunie/LTO-tarieven, aangevuld door Gasunie op basis van praktijkgegevens en expert judgement. Uitgangspunt is de gemiddelde waarde-indicatie van de teeltplannen van de beschouwde laatste 3 jaar.
- Vaststellen door middel van een GIS-analyse van de bodemopbouw in de studiegebieden, zoals vastgesteld in de bodemkaart;

- Vaststellen van de lengte waarover de kabels of leidingen gemiddeld boven- of onder de grondwaterstand zullen liggen;
- Vaststellen van de breedte van de zone waar de opwarming de vastgestelde maximale temperatuurstijging overschrijdt, door modelberekeningen per onderscheidend bodemtype en grondwaterstand. Tabel 6.4 toont de breedtes van de opgewarmde zones zoals afgeleid uit de modelberekeningen. Uit de resultaten van de modelberekening blijkt dat de toepassing van één waterstofleiding naar verwachting geen overschrijding veroorzaakt van de grenswaarde van +2° Celsius.

Belangrijk: *de gewaswaarde-indicatie is geen weergave van de mogelijke financiële schade die de agrariërs kunnen ondervinden, maar een verhoudingsgetal waarmee waarde van de geteelde gewassen per route tot elkaar in verhouding kunnen worden gezet.*

Belangrijk: *in de modelberekening zijn voor de meest voorkomende grondsoorten en bepalende grondwaterstanden de breedtes bepaald van de opgewarmde zones. Hierbij is gebruik gemaakt van maximale waarden. Deze breedtes zullen niet op elke locatie langs de PAWOZ-routes worden behaald, omdat de in de modelberekening toegepaste maximale waarden niet constant van toepassing zijn. De resultaten van de modelberekening maken inzichtelijk wat de verhouding is tussen de verschillende routes, in de mate waarin rekening gehouden moet worden met een brede opgewarmde zone.*

Tabel 6.4 - Opgewarmde zones per bepalende grondsoort en grondwaterstand, conform uitgangspunten en modelberekening in bijlage 5.

	Breedte van de opgewarmde zone (m)					
	scope		Klei		Zavel	
	#	K/L	boven GWS	onder GWS	boven GWS	onder GWS
TenneT – minimale scope	1*	K	0,5m	geen	1m	geen
TenneT – maximale scope	7	K	17,5m	geen	24m	geen
Gasunie – minimale scope	1	L	geen	geen	geen	geen
Gasunie – maximale scope	3	L	18m	18m	18m	18m

(*)In de Boschgat Landroutes geldt een maximaal aan te leggen scope van één kabelverbinding betreft, in plaats van zeven. Voor de beoordeling van de maximale scope worden daarom voor de Boschgat Landroutes de resultaten van de minimale scope overgenomen.

Door analyse van de alternatieve scenario's van varianten 'noord' en 'zuid' wordt bepaald in welke mate rekening gehouden moet worden met afwijkende analyseresultaten in het studiegebied, wanneer in een volgende projectfase de route in nader detail wordt vastgesteld.

Minimale en maximale scope

Toepassing van een tweede of daarop volgende kabel of leiding zorgt voor een grotere toename van de bodemtemperatuur. Dit komt doordat de bodem tussen twee kabels of leidingen door beide kabels of leidingen wordt verwarmd. De naast elkaar gelegen kabels en leidingen vormen samen een serie temperatuurverhogingen die één zone vormen waarbinnen de gewasontwikkeling wordt verstoord. Bij toepassing van de maximale scope is deze zone het breedst.

De breedte van de opgewarmde zone bij maximale scope is voornamelijk afhankelijk van het aantal hoogspanningsverbindingen dat wordt aangelegd. Om de analyseresultaten en de beoordeling van de maximale scope te kunnen begrijpen is inzicht nodig in het aantal toegepaste verbindingen in de routes: dit aantal varieert van 1 kabelverbinding in de Boschgat Landroutes van TenneT, tot 3 leidingen in de Gasunie-routes en 7 kabelverbindingen in de overige Landroutes van TenneT. Het aantal verbindingen in de maximale scope is toegevoegd in de resultaat- en beoordelingstabellen in paragraaf 7.4.

Effectbeoordeling

De effectbeoordeling gebeurt door bepaling van de omvang van het gebied waarop ongelijkmatige groei wordt verwacht, door vermenigvuldiging van de breedte van de opgewarmde zone met de tracélengte gelegen in akkerbouwpercelen. De omvang van dit gebied wordt vermenigvuldigd met de waarde-indicatie van de gewassen langs de route. Door deze factoren te combineren ontstaat een indicatie per route van de impact van de opwarming van de bodem op de agrarische bedrijfsvoering. De analyseresultaten zijn geïndexeerd gepresenteerd, waarbij het resultaat met de hoogste (meest negatieve) impact waarde 100 krijgt.

De beoordeling van de routes komt tot stand door de geïndexeerde resultaten per route te verdelen over de beoordelingsschaal met scores van 0 tot - - -.

Omdat voor alle criteria geldt dat positieve impact als gevolg van de ingrepen is uitgesloten, worden in deze beoordeling geen positieve scores toegepast. De PAWOZ-routes met beoordeling '0' hebben naar verwachting de minste impact op de agrarische bedrijfsvoering.

De resultaten van de hierboven beschreven analyse zijn uitgewerkt in paragraaf 7.4.

Bronnen

- PAWOZ routekaart
- BRP-gewaspercelen
- Bodemkaart
- Grondwaterkaart
- Meest recente systematiek van gewasschadevergoedingen Gasunie/LTO

Kennisleemtes

Voor het detailniveau van de in deze fase uitgevoerde analyse zijn er geen kennisleemtes. Voor verdere verdieping van dit criterium gelden de volgende kennisleemtes:

- Nader inzicht in de opbouw van de bodem waarin de PAWOZ-infrastructuur wordt aangelegd;
- Nader inzicht in de impact van het temperatuurverschil op de gewasontwikkeling;
- Invloed van het chloridegehalte in het grondwater, op de verspreiding van warmte in de bodem;
- Invloed van opwarming op de bodemstructuur en het bodemleven.

6.3. Relevante ingreep-effect relaties

Tabel 6.5 toont de in paragraaf 6.2 beschreven relevante ingreep-effect relaties, volgend uit de criteria die binnen dit agrarisch waardenonderzoek worden onderzocht.

Tabel 6.5 - Relevante ingreep-effect relaties.

Ingreep	Projectfase		Gevolg	Effect	Criterium	Bronnen
	Aanleg / Verwijdering	Gebruik				
Inrichten van werkstroken, werkterreinen en bouwwegen	X		Delen van percelen worden onttrokken aan het agrarisch gebruik	Derving van inkomsten	Tracélengte in landbouwgrond	Zie §6.2.1.2
Grondroering in agrarische percelen	X		Structuurschade, minder gewasopbrengst, verminderde bruikbaarheid perceel	Derving van inkomsten	Tracélengte in landbouwgrond, Bodemopbouw	Zie §6.2.1.2 en §6.2.2.2
Aanleg van kabels/leidingen in agrarische percelen	X	X	Vestiging van zakelijk recht, belemmering in de bodem	Waardevermindering perceel, obstakel voor (bouw)werkzaamheden in huiskavels	Tracélengte in landbouwgrond	Zie §6.2.1.2
Bemaling: ontwateren van grondlagen	X		Compactering van bodem: structuurschade, klink;	Tijdelijk en beperkt, mits zetting zorgvuldig cultuurtechnisch hersteld	Bodemopbouw	Zie §6.2.2.2
Belasting van werkterreinen door materieel	X		Compactering van de bodem, zetting van de bodem	Gewasschade, verminderde opbrengst	Bodemopbouw	Zie §6.2.2.2
Transport van grond	X		Verhoogd risico besmetting van schone (delen van) percelen met plantenziekten	Gewasschade, verminderde opbrengst	Plantenziekten	Zie §6.2.3.2
Verplaatsing van materieel tussen percelen	X		Verhoogd risico op besmetting van schone percelen met plantenziekten	Gewasschade, verminderde opbrengst, waardevermindering grond	Plantenziekten	Zie §6.2.3.2
Gebruik van ondergrondse H^2-leidingen en HS-kabels		X	Opwarming van de bodem	Gewasschade, verminderde opbrengst	Opwarming van de bodem	Zie §6.2.4.2

6.4. Beoordelingsmethodiek

De beoordeling van de routes op de geanalyseerde criteria vindt plaats door gebruik te maken van een 4-puntschaal met scores van 0 tot - - -. Omdat voor alle criteria geldt dat positieve impact als gevolg van de ingrepen is uitgesloten, worden in deze beoordeling geen positieve scores toegepast. De PAWOZ-routes met beoordeling '0' hebben op basis van de uitgevoerde analyses een relatief lage impact op de agrarische bedrijfsvoering.

Uitsluitend de PAWOZ-routes worden beoordeeld. Dit betreft de centerlines van de routes, in het hart van de contour. De in de analyse verwerkte varianten 'noord' en 'zuid' zijn uitsluitend bedoeld om de tracéonzekerheid vast te stellen en zijn dan ook geen onderdeel van de beoordeling.

De analyseresultaten van de PAWOZ-routes zijn geïndexeerd met een maximale waarde van 100. Deze hoogste waarde van 100 is toegewezen aan de route met het meest negatieve analyseresultaat en dus de meeste impact op de agrarische bedrijfsvoering. 100 is hiermee de hoogste waarde in de beoordelingsschaal. De laagste waarde is in de beoordelingsschaal is 0, voor routes waar geen negatieve effecten worden gemeten. Dit is in deze analyse niet aan de orde.

De analyseresultaten van de overige routes worden evenredig verdeeld over de schaal, zoals weergegeven in onderstaande Tabel 6.6.

Tabel 6.6 - Beoordelingsschaal agrarische analyses.

Score	Index resultaat	Toelichting
0	0-24	Minimaal 75% minder impact op de agrarische bedrijfsvoering dan de route met het meest negatieve resultaat.
-	25-49	50% tot 75% minder impact op de agrarische bedrijfsvoering dan de route met het meest negatieve resultaat.
- -	50-74	25% tot 50% minder impact op de agrarische bedrijfsvoering dan de route met het meest negatieve resultaat.
- - -	75-100	Maximaal 25% minder impact op de agrarische bedrijfsvoering dan de route met het meest negatieve resultaat.

7. Resultaten effectbeoordeling

Dit hoofdstuk beschrijft per criterium de analyseresultaten (effectbeschrijving) en de daaruit volgende effectbeoordeling. In de effectbeoordeling zijn de routes ten opzichte van elkaar beoordeeld, op basis van de onderlinge verhoudingen van de analyseresultaten.

Indicator tracéonzekerheid
In de effectbeoordeling is naast het (geïndexeerde) resultaat van de kwantitatieve analyses de indicator voor de tracéonzekerheid weergegeven. Deze indicator geeft aan in welke mate, bij nadere uitwerking van de routes in de projectfase, rekening moet worden gehouden met een hogere impact op de agrarische bedrijfsvoering. Deze hogere impact volgt uit analyse van alternatieve scenario's langs de randen van het studiegebied, zoals toegelicht in paragraaf 6.2.

In bijlage 6 van dit rapport is per criterium het volledige analyseresultaat uitgewerkt. Hierin zijn ook de resultaten van de alternatieve scenario's uitgewerkt en wordt ook inzicht gegeven in mogelijke positieve afwijkingen in het studiegebied, als indicator voor een mogelijk lagere impact op de agrarische bedrijfsvoering bij nadere uitwerking van de routes elders in het studiegebied.

7.1. Criterium 1 - tracélengte in landbouwgrond

In de analyse van dit criterium is per route gemeten in welke mate de PAWOZ-routes interactie hebben met agrarische percelen, perceeleigenaren en huiskavels.

7.1.1. Effectbeschrijving tracélengte in landbouwgrond

Volgend uit de aard van de omgeving liggen de PAWOZ-routes vrijwel geheel in agrarisch gebied. De aanleg en aanwezigheid van de PAWOZ-infrastructuur heeft een negatieve impact op de agrarische bedrijfsvoering in de vorm van het risico op derving van inkomsten, waardevermindering, en obstakels voor ontwikkelingen in huiskavels. Deze effecten zijn getoetst door kwantitatieve analyse van drie subcriteria:

1a – tracélengte in agrarische percelen;
1b – aantal betrokken perceeleigenaren;
1c – tracélengte in huiskavels.

De impact op de agrarische bedrijfsvoering neemt toe als de lengte in agrarische percelen langer is, als een hogere aantal perceeleigenaren betrokken is en als de tracélengte in huiskavels langer is. Deze resultaten van de kwantitatieve analyses zijn hieronder per subcriterium gepresenteerd, gevolgd door een overkoepelend gemiddeld resultaat voor criterium 1 – tracélengte in landbouwgrond. De volledige analyseresultaten zijn toegevoegd in bijlage 6.

Maximale scope

Wanneer de noodzaak ontstaat voor een nieuwe hoogspannings- of waterstofverbinding, wordt deze waar mogelijk parallel aan de reeds gelegde verbinding aangelegd, in dezelfde percelen van dezelfde eigenaren. Uitbreiding van de scope leidt daardoor niet tot andere verhoudingen in de resultaten. Daaruit volgt dat in dit criterium de maximale scope dezelfde effectbeoordeling krijgt als de minimale scope.

Tracélengte in agrarische percelen

Tabel 7.1 toont het analyseresultaat van subcriterium 1a, waarin gemeten is over welke lengte elke route gelegen is in percelen met een agrarische bestemming.

Tabel 7.1 - Analyseresultaat subcriterium 1a - tracélengte in agrarische percelen.

PAWOZ-route	Minimale scope	Tracélengte in agrarische percelen (m)	Index tracélengte in agrarische percelen	Indicator tracéonzekerheid (*)
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	1 leiding	10.182	26	+5
II: Oude Westereems landroute A TenneT	1 kabel	8.212	21	+3
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	1 leiding	13.674	35	+2
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	1 kabel	12.872	33	+1
V: Boschgat landroute A TenneT	1 kabel	16.547	42	
V: Boschgat landroute A1 TenneT	1 kabel	18.115	46	
V: Boschgat landroute B TenneT	1 kabel	26.637	68	
V: Boschgat landroute B1 TenneT	1 kabel	28.205	72	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	1 leiding	38.349	98	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	1 kabel	36.058	92	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	1 leiding	39.139	100	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	1 kabel	37.619	96	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	1 leiding	16.068	41	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	1 leiding	16.881	43	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	1 leiding	19.466	50	+2
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	1 leiding	31.375	80	
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	1 leiding	28.153	72	
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	1 leiding	27.588	70	+1
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	1 leiding	22.283	57	

(*) De indicator voor de tracéonzekerheid geeft aan of binnen het studiegebied afwijkende resultaten moeten worden verwacht, wanneer de afstand tot de middenlijn toeneemt. Een indicator van +1 bij een geïndexeerd analyseresultaat van 70, geeft aan dat bij toenemende afstand tot de middenlijn rekening moet worden gehouden met een geïndexeerd analyseresultaat van 71.

Het globale verschil in lengte in agrarische percelen tussen de verschillende routes komt goed tot uiting in de overzichtskaart in bijlage 1. De meeste PAWOZ-routes hebben de omgeving van de Eemshaven als eindbestemming, gelegen aan de oostzijde van het projectgebied. Des te verder de aanlanding naar het westen ligt, des te langer de route wordt. Hierdoor zijn de Schiermonnikoog Wantij Landroutes A en A1 de langste routes in het programma, met de grootste tracélengte in agrarische percelen. De Oude Westereems landroutes, met aanlanding nabij de Eemshaven, zijn de kortste routes in het programma met de kleinste lengte in agrarische percelen.

Een aantal routes, bestemd voor waterstofleidingen, landt aan in het westelijk deel van het projectgebied en gaat daarvandaan globaal zuidwaarts richting de stationslocaties in de omgeving Grijpskerk/Zuidhorn. Van deze routes heeft Ameland Wantij landroute A de grootste lengte in agrarische percelen en hebben Schiermonnikoog Wantij Landroutes B en B1 de kleinste lengte in agrarische percelen.

Aan de indicator voor de tracéonzekerheid is te zien dat nadere uitwerking van de routes elders in het studiegebied, niet of nauwelijks zal leiden tot hogere waarden (negatievere effecten).

Aantal betrokken perceeleigenaren

Tabel 7.2 toont het analyseresultaat van subcriterium 1b, waarin per route gemeten is hoeveel unieke perceeleigenaren betrokken zijn.

Tabel 7.2 - Analyseresultaat subcriterium 1b - aantal betrokken perceeleigenaren.

PAWOZ-route	Minimale scope	Aantal perceeleigenaren	Index aantal perceeleigenaren	Indicator tracéonzekerheid (*)
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	1 leiding	31	29	+1
II: Oude Westereems landroute A TenneT	1 kabel	26	25	+1
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	1 leiding	28	26	+14
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	1 kabel	26	25	+15
V: Boschgat landroute A TenneT	1 kabel	47	44	+14
V: Boschgat landroute A1 TenneT	1 kabel	51	48	+9
V: Boschgat landroute B TenneT	1 kabel	76	72	+17
V: Boschgat landroute B1 TenneT	1 kabel	81	76	+11
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	1 leiding	105	99	+6
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	1 kabel	100	94	+10
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	1 leiding	106	100	+18
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	1 kabel	104	98	+19
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	1 leiding	37	35	+8
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	1 leiding	41	39	+7

VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	1 leiding	46	43	+3
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	1 leiding	81	76	+33
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	1 leiding	80	75	+11
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	1 leiding	76	72	+19
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	1 leiding	60	57	+23

(*) De indicator voor de tracéonzekerheid geeft aan of binnen het studiegebied afwijkende resultaten moeten worden verwacht, wanneer de afstand tot de middenlijn toeneemt. Een indicator van +33 bij een geïndexeerd analyseresultaat van 76, geeft aan dat bij toenemende afstand tot de middenlijn rekening moet worden gehouden met een geïndexeerd analyseresultaat van 106.

Uit de resultaten blijkt dat het aantal betrokken perceeleigenaren per route in dezelfde verhouding staat tot de hierboven beschreven tracélengte in agrarische percelen. Dit is verklaarbaar door de lengtes van de routes (bijna tien kilometer voor de kortste routes, tot tientallen kilometers voor de langste routes), waardoor lokale afwijkingen op de volledige route nauwelijks invloed hebben.

Hieruit volgt dat in de Schiermonnikoog Wantij Landroutes A en A1 het hoogste aantal perceeleigenaren betrokken zijn; in de Oude Westereems Landroutes A en A1 is het laagste aantal perceeleigenaren betrokken.

Uit de indicator voor tracéonzekerheid blijkt dat rekening gehouden moet worden met overwegend hogere resultaten (negatievere effecten) bij nadere uitwerking van de routes elders in het studiegebied. Doordat deze indicatie hoger is bij de routes waar al de hoogste effecten zijn gemeten, zal dit slechts beperkt leiden tot een andere onderlinge verhouding tussen de PAWOZ-routes.

Tracélengte in huiskavels

Tabel 7.3 toont het analyseresultaat van subcriterium 1c, waarin gemeten is over welke lengte elke route gelegen is in huiskavels.

Tabel 7.3 - Analyseresultaat subcriterium 1c - tracélengte in huiskavels.

PAWOZ-route	Minimale scope	Lengte in huiskavels (m)	Index lengte in huiskavels	Indicator tracéonzekerheid (*)
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	1 leiding	1.580	12	+37
II: Oude Westereems landroute A TenneT	1 kabel	608	5	+37
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	1 leiding	4.107	31	+15
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	1 kabel	3.938	29	+14
V: Boschgat landroute A TenneT	1 kabel	608	5	+8
V: Boschgat landroute A1 TenneT	1 kabel	3.687	28	+19
V: Boschgat landroute B TenneT	1 kabel	5.431	41	+50
V: Boschgat landroute B1 TenneT	1 kabel	8.509	64	+20
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	1 leiding	6.885	51	+94

VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	1 kabel	5.914	44	+100
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	1 leiding	9.160	69	+71
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	1 kabel	8.993	67	+69
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	1 leiding	8.411	63	+4
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	1 leiding	9.633	72	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	1 leiding	8.997	67	+1
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	1 leiding	10.224	76	+12
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	1 leiding	13.371	100	+15
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	1 leiding	11.341	85	+2
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	1 leiding	7.704	58	+18

(*) De indicator voor de tracéonzekerheid geeft aan of binnen het studiegebied afwijkende resultaten moeten worden verwacht, wanneer de afstand tot de middenlijn toeneemt. Een indicator van +12 bij een geïndexeerd analyseresultaat van 76, geeft aan dat bij toenemende afstand tot de middenlijn rekening moet worden gehouden met een geïndexeerd analyseresultaat van 88.

Ook voor de tracélengte in huiskavels geldt dat een langere route logischerwijs meer kans geeft op het raken van huiskavels. Doordat huiskavels zich concentreren rond bebouwing, heeft de variatie in ruimtelijke ordening invloed op de analyseresultaten. Daarom verschillen de onderlinge verhoudingen in de resultaten van de tracélengte in huiskavels met de resultaten van tracélengte in agrarische percelen en aantal betrokken perceeleigenaren.

Als gevolg van de ligging van de concentraties van huiskavels in het gebied ten westen en zuiden van het Lauwersmeer, hebben de Ameland Wantij Landroutes B en B1 de grootste tracélengte in huiskavels. Opvallend is dat de Boschgat en Oude Westereems Landroutes A relatief beperkte tracélengte in huiskavels hebben.

Uit de indicator voor tracéonzekerheid blijkt dat in het merendeel van de routes rekening gehouden moet worden met aanmerkelijk hogere resultaten (sterk negatievere effecten) bij nadere uitwerking van de routes elders in het studiegebied. Afhankelijk van de uitwerking, kan dit leiden tot een andere onderlinge verhouding tussen de PAWOZ-routes.

Tracélengte in landbouwgrond – overkoepelend resultaat criterium 1

Tabel 7.4 toont het overkoepelend resultaat voor criterium 1 – tracélengte in landbouwgrond. Hierin zijn de resultaten van de drie subcriteria zonder onderlinge weging gemiddeld.

Als gevolg van de hogere lengte in huiskavels voor de Ameland Wantij Landroutes richting Grijpskerk en Zuidhorn, nemen in het overkoepelend resultaat voor criterium 1 de verschillen af tussen de Ameland Wantij landroutes en de Schiermonnikoog Wantij Landroutes A en A1.

Vanuit het perspectief van criterium 1 is de minste impact op de agrarische bedrijfsvoering te verwachten op de Oude Westereems Landroutes en daarna op de Boschgat Landroutes A en A1.

Van de routes naar de stationslocaties bij Grijpskerk/Zuidhorn is de laagste impact te verwachten op Schiermonnikoog Wantij Landroute B.

Tabel 7.4 - Analyseresultaat criterium 1.

PAWOZ-route	Minimale scope	Gemiddelde index subcriteria	Indicator tracéonzekerheid (*)
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	1 leiding	22	+14
II: Oude Westereems landroute A TenneT	1 kabel	17	+14
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	1 leiding	31	+10
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	1 kabel	29	+10
V: Boschgat landroute A TenneT	1 kabel	30	+20
V: Boschgat landroute A1 TenneT	1 kabel	41	+9
V: Boschgat landroute B TenneT	1 kabel	60	+22
V: Boschgat landroute B1 TenneT	1 kabel	71	+10
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	1 leiding	83	+31
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	1 kabel	77	+36
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	1 leiding	90	+29
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	1 kabel	87	+29
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	1 leiding	46	+4
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	1 leiding	51	+1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	1 leiding	53	+2
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	1 leiding	78	+7
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	1 leiding	82	+9
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	1 leiding	76	+5
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	1 leiding	57	+8

(*) De indicator voor de tracéonzekerheid geeft aan of binnen het studiegebied afwijkende resultaten moeten worden verwacht, wanneer de afstand tot de middenlijn toeneemt. Een indicator van +7 bij een geïndexeerd analyseresultaat van 78, geeft aan dat bij toenemende afstand tot de middenlijn rekening moet worden gehouden met een geïndexeerd analyseresultaat van 85.

7.1.2. Effectbeoordeling tracélengte in landbouwgrond

De in bovenstaande paragraaf beschreven analyseresultaten leiden tot de in Tabel 7.5 getoonde effectbeoordeling:

Tabel 7.5 - Effectbeoordeling criterium 1 - tracélengte in landbouwgrond.

PAWOZ-route	Beoordeling minimale scope	Beoordeling maximale scope
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	0	0
II: Oude Westereems landroute A TenneT	0	0
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	-	-
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	-	-
V: Boschgat landroute A TenneT	-	-
V: Boschgat landroute A1 TenneT	-	-
V: Boschgat landroute B TenneT	- - -	- - -
V: Boschgat landroute B1 TenneT	- -	- -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	- - -	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	- - -	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	- - -	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	- - -	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	-	-
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	- -	- -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	- -	- -
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	- - -	- - -
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	- - -	- - -
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	- - -	- - -
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	- -	- -

7.2. Criterium 2 – bodemopbouw

In de analyse van dit criterium is beschouwd langs welke routes de hoogste impact op de agrarische bedrijfsvoering moet worden verwacht op de agrarische bedrijfsvoering, als gevolg van de structuurschade die ontstaat als gevolg van de aanlegwerkzaamheden.

De impact van structuurschade op de agrarische bedrijfsvoering wordt bepaald door de omvang van de structuurschade, in combinatie met de economische waarde die wordt blootgesteld aan structuurschade. De omvang van de structuurschade wordt bepaald door de tracélengte in akkerbouwpercelen, in combinatie met de gevoeligheid van de aanwezige grondsoorten voor structuurschade.

7.2.1. Effectbeschrijving bodemopbouw

De volledige analyse van dit criterium is uitgewerkt in bijlage 6. Hierin is te zien dat de tracélengte in agrarische percelen vrijwel volledig bepalend is voor de impact van structuurschade op de agrarische bedrijfsvoering langs de routes. Dit komt omdat de overige factoren die meewegen in dit criterium, de gemiddelde gevoeligheid van het tracé voor structuurschade en de gemiddelde gewaswaarde-indicatie van het tracé, in veel mindere mate van elkaar verschillen dan de tracélengte in agrarische percelen.

Als gevolg hiervan wordt op de langste routes in het programma, Schiermonnikoog Wantij Landroutes A en A1 richting de Eemshaven en Ameland Wantij Landroute A richting Zuidhorn, de hoogste impact verwacht. De Oude Westereems Landroutes zijn het kortst, waardoor op deze routes naar de Eemshaven de laagste impact wordt verwacht. Voor de waterstofverbindingen richting Grijpskerk/Zuidhorn wordt langs Schiermonnikoog Wantij Landroutes B en B1 de laagste impact verwacht.

Aan de indicator voor de tracéonzekerheid is te zien dat nadere uitwerking van de routes elders in het studiegebied, niet of nauwelijks zal leiden tot hogere waarden (negatievere effecten).

<u>Maximale scope</u>
Wanneer de noodzaak ontstaat voor een nieuwe hoogspannings- of waterstofverbinding, wordt deze waar mogelijk parallel aan de reeds gelegde verbinding aangelegd, in dezelfde percelen met dezelfde gewasteelt, in dezelfde percelen van dezelfde eigenaren en dus een zelfde gewaswaarde-indicatie. Op korte afstand van de reeds gelegde verbinding is ook geen aanleiding om significante verschillen in grondsoorten, en daarmee gevoeligheid voor structuurschade te verwachten. De impact van de aanleg van extra verbindingen tot de maximale scope, wordt daardoor opnieuw bepaald door de tracélengte in agrarische percelen. Omdat de lengte van de routes niet verandert bij aanleg van extra verbindingen, zal de impact bij aanleg van de maximale scope dezelfde onderlinge verhouding tussen de routes hebben als de impact bij aanleg van de minimale scope. Uitbreiding van de scope leidt daardoor niet tot andere verhoudingen in de resultaten. Daaruit volgt dat in dit criterium de maximale scope dezelfde effectbeoordeling krijgt als de minimale scope.

Tabel 7.6 - Analyseresultaat criterium 2 – bodemopbouw.

PAWOZ-route	Minimale scope	Index gevoeligheid tracé (agrarische percelen)	Index waarde-indicatie gewassen tracé (agrarische percelen)	Index criterium bodem-opbouw	Indicator tracé-onzekerheid (*)
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	1 leiding	26	24	25	+5
II: Oude Westereems landroute A TenneT	1 kabel	21	20	21	+4
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	1 leiding	35	36	36	
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	1 kabel	33	34	34	
V: Boschgat landroute A TenneT	1 kabel	42	39	41	
V: Boschgat landroute A1 TenneT	1 kabel	46	48	47	
V: Boschgat landroute B TenneT	1 kabel	69	63	66	+1
V: Boschgat landroute B1 TenneT	1 kabel	73	72	73	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	1 leiding	98	93	96	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	1 kabel	92	88	90	+2
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	1 leiding	100	100	100	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	1 kabel	96	97	97	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	1 leiding	44	36	40	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	1 leiding	47	39	43	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	1 leiding	50	49	50	+3
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	1 leiding	83	91	87	
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	1 leiding	75	63	69	
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	1 leiding	72	69	71	+1
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	1 leiding	60	51	56	

(*) De indicator voor de tracéonzekerheid geeft aan of binnen het studiegebied afwijkende resultaten moeten worden verwacht, wanneer de afstand tot de middenlijn toeneemt. Een indicator van +1 bij een geïndexeerd analyseresultaat van 71, geeft aan dat bij toenemende afstand tot de middenlijn rekening moet worden gehouden met een geïndexeerd analyseresultaat van 72.

7.2.2. Effectbeoordeling bodemopbouw

De in bovenstaande paragraaf beschreven analyseresultaten leiden tot de in Tabel 7.7 getoonde effectbeoordeling.

Tabel 7.7 - Effectbeoordeling criterium 2 - bodemopbouw.

PAWOZ-route	Beoordeling minimale scope	Beoordeling maximale scope
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	0	0
II: Oude Westereems landroute A TenneT	0	0
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	-	-
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	-	-
V: Boschgat landroute A TenneT	-	-
V: Boschgat landroute A1 TenneT	-	-
V: Boschgat landroute B TenneT	- -	- -
V: Boschgat landroute B1 TenneT	- -	- -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	- - -	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	- - -	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	- - -	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	- - -	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	-	-
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	-	-
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	-	-
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	- - -	- - -
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	- -	- -
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	- -	- -
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	- -	- -

7.3. Criterium 3 – Plantenziekten

In de analyse van dit criterium is per route bepaald in welke mate de agrarische bedrijfsvoering langs de PAWOZ-routes blootgesteld wordt aan de risico's die volgen uit de verspreiding van plantenziekten. Effecten van verspreiding van plantenziekten zijn gewasschade en verminderde opbrengst.

De blootstelling van de agrarische bedrijfsvoering aan de risico's die volgen uit de verspreiding van plantenziekten wordt bepaald door de gewaswaarde-indicatie van de route.

7.3.1. Effectbeschrijving plantenziekten

Tabel 7.8 toont de analyseresultaten van criterium plantenziekten. De resultaten zijn geïndexeerd gepresenteerd, waarbij het hoogste resultaat een waarde van 100 krijgt. Het hoogste resultaat betekent de hoogste negatieve impact op de agrarische bedrijfsvoering. De volledige analyseresultaten van dit criterium zijn opgenomen in bijlage 6.

Uit de analyseresultaten blijkt dat de tracélengte in akkerbouwpercelen vrijwel volledig bepalend is voor de impact van structuurschade op de agrarische bedrijfsvoering langs de routes. Dit komt

omdat de andere factor die meeweegt in dit criterium, de gemiddelde gewaswaarde-indicatie van het tracé, in veel mindere mate van elkaar verschilt dan de tracélengte in akkerbouwpercelen.

Als gevolg hiervan wordt op de langste routes in het programma, Schiermonnikoog Wantij Landroutes A en A1 richting de Eemshaven en Ameland Wantij Landroute A richting Zuidhorn, de hoogste impact verwacht. De Oude Westereems Landroutes zijn het kortst, waardoor op deze routes naar de Eemshaven een lage impact wordt verwacht. Hier maakt de gewaswaarde-indicatie wel onderscheid: als gevolg van een groot verschil in gemiddelde gewaswaarde-indicatie tussen Oude Westereems Landroutes A en A1 wordt voor de A-routes significant minder impact verwacht van voor de A1-routes. Voor de waterstofverbindingen richting Grijpskerk/Zuidhorn wordt langs Schiermonnikoog Wantij Landroutes B en B1 de laagste impact verwacht.

Aan de indicator voor de tracéonzekerheid is te zien dat nadere uitwerking van de routes elders in het studiegebied, langs enkele routes zal leiden tot licht hogere waarden (licht negatievere effecten).

Maximale scope

Wanneer de noodzaak ontstaat voor een nieuwe hoogspannings- of waterstofverbinding, wordt deze waar mogelijk parallel aan de reeds gelegde verbinding aangelegd, in dezelfde percelen met dezelfde gewasteelt en dus een zelfde gewaswaarde-indicatie. De impact van de aanleg van extra verbindingen tot de maximale scope, wordt daardoor opnieuw voornamelijk bepaald door de tracélengte in akkerbouwpercelen. Omdat deze factor vast staat, zal de impact van de maximale scope voor alle routes dezelfde onderlinge verhouding hebben als de impact van de minimale scope. Daaruit volgt dat in dit criterium de maximale scope dezelfde effectbeoordeling krijgt als de minimale scope.

Tabel 7.8 - Analyseresultaat criterium 3 - plantenziekten.

PAWOZ-route	Minimale scope	Index criterium plantenziekten	Indicator tracéonzekerheid (*)
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	1 leiding	24	+6
II: Oude Westereems landroute A TenneT	1 kabel	19	+4
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	1 leiding	38	
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	1 kabel	35	
V: Boschgat landroute A TenneT	1 kabel	31	+3
V: Boschgat landroute B TenneT	1 kabel	57	+7
V: Boschgat landroute B TenneT	1 kabel	57	+7
V: Boschgat landroute B1 TenneT	1 kabel	71	+1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	1 leiding	87	+10
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	1 kabel	81	+9
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	1 leiding	100	

VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	1 kabel	95	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	1 leiding	26	+5
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	1 leiding	29	+1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	1 leiding	41	+8
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	1 leiding	76	
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	1 leiding	40	+3
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	1 leiding	56	
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	1 leiding	42	

(*) De indicator voor de tracéonzekerheid geeft aan of binnen het studiegebied afwijkende resultaten moeten worden verwacht, wanneer de afstand tot de middenlijn toeneemt. Een indicator van +3 bij een geïndexeerd analyseresultaat van 40, geeft aan dat bij toenemende afstand tot de middenlijn rekening moet worden gehouden met een geïndexeerd analyseresultaat van 43.

Doordat de waarde-indicaties voor de geteelde gewassen langs de routes relatief weinig van elkaar verschillen, bepalen de verschillen in tracélengte in hoge mate het resultaat van deze analyse. De langste routes hebben de hoogste blootstelling aan de risico's van verspreiding van plantenziekten.

7.3.2. Effectbeoordeling plantenziekten

De in bovenstaande paragraaf beschreven analyseresultaten leiden tot de in Tabel 7.9 getoonde effectbeoordeling.

Tabel 7.9 - Effectbeoordeling criterium 3 – plantenziekten.

PAWOZ-route	Beoordeling minimale scope	Beoordeling maximale scope
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	0	0
II: Oude Westereems landroute A TenneT	0	0
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	-	-
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	-	-
V: Boschgat landroute A TenneT	-	-
V: Boschgat landroute A1 TenneT	-	-
V: Boschgat landroute B TenneT	- -	- -
V: Boschgat landroute B1 TenneT	- -	- -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	- - -	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	- - -	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	- - -	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	- - -	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	-	-
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	-	-
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	-	-
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	- - -	- - -
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	-	-

VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	- -	- -
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	-	-

7.4. Criterium 4 – Bodemopwarming

In de bedrijfsfase van de hoogspanningsverbindingen en waterstofleidingen hebben deze een hogere temperatuur dan de bodem waarin ze zijn aangelegd. Hierdoor warmt de bodem op. De aanwezigheid van de PAWOZ-infrastructuur heeft daarmee een negatieve impact op de agrarische bedrijfsvoering in de vorm van beïnvloeding van gewasontwikkeling.

De impact op de agrarische bedrijfsvoering neemt toe als de lengte in akkerbouwpercelen langer is, als de breedte van de opgewarmde zone groter is (door temperatuur, grondsoort en grondwaterstand) en als de gewaswaarde-indicatie hoger is.

Minimale en maximale scope
De analyses zijn uitgevoerd voor zowel de minimale als de maximale scope, waarbij de breedtes van de opgewarmde zones zijn toegepast zoals opgegeven in paragraaf 6.2.4.2.

De volledige analyseresultaten zijn toegevoegd in bijlage 6.

7.4.1. Effectbeschrijving bodemopwarming

In paragraaf 6.2.4.1 is aangegeven dat er aspecten zijn die de bodemopwarming beperken. Deze aspecten zijn in deze analyse niet meegenomen. De effecten van de bodemopwarming, en daarmee de impact op de agrarische bedrijfsvoering, zullen in de praktijk lager zijn.

Als gevolg van het aspect warmteverlies, dat uitsluitend optreedt bij de waterstofleidingen, zal tevens een afnemend effect ontstaan over de lengte van het tracé, waardoor de impact op de agrarische bedrijfsvoering nabij de aanlandingen van de leidingen relatief hoog is en vervolgens af zal nemen.

Effectbeschrijving minimale scope
Tabel 7.10 toont het analyseresultaat van criterium bodemopwarming, bij toepassing van de minimale scope van één waterstofleiding of één hoogspanningsverbinding.

Uit de modelberekeningen van de bodemopwarming (zie bijlage 5) blijkt dat bij toepassing van de minimale scope van één waterstofleiding geen overschrijding verwacht wordt van de grenswaarde van +2° Celsius. Bij toepassing van één waterstofleiding wordt dan ook de minste impact op de agrarische bedrijfsvoering verwacht. Doordat de drempelwaarden bij één waterstofleiding niet worden overschreden, wordt voor de waterstofroutes geen opgewarmde zone meegenomen in de analyseresultaten.

Bij aanleg van één hoogspanningsverbinding wordt de minste impact verwacht langs de Boschgat Landroute A en de Oude Westereems Landroute A. De meeste impact van bodemopwarming als gevolg van de aanleg van één hoogspanningskabel wordt verwacht langs de langste routes: Schiermonnikoog Wantij Landroutes A en A1.

Ook in de analyse van dit criterium is te zien dat de verschillen in de gemiddelde gewaswaarde-indicatie, grondsoorten en grondwaterstanden klein zijn, in vergelijking met de verschillen in tracélengte in akkerbouwpercelen. Hierdoor is de lengte in akkerbouwpercelen bepalend voor de impact van de bodemopwarming op de agrarische percelen: de langste routes hebben de meeste impact.

Ook valt op dat langs met name de Boschgat Landroutes en de Schiermonnikoog Wantij Landroutes een relatief hoge variatie aanwezig is in de bodemopbouw en grondwaterstanden binnen de studiegebieden. De indicator voor de tracéonzekerheid laat dan ook zien dat bij nadere uitwerking van deze routes elders in de studiegebieden, rekening gehouden moet worden met significant hogere waarden (negatievere effecten).

*Tabel 7.10 - Analyseresultaat criterium 4 – bodemopwarming – **minimale scope**.*

PAWOZ-route	Minimale Scope	Index opwarming (akkerbouw-percelen)	Indicator tracéonzekerheid (*)
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	1 leiding	0	
II: Oude Westereems landroute A TenneT	1 kabel	20	+9
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	1 leiding	0	
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	1 kabel	44	
V: Boschgat landroute A TenneT	1 kabel	29	+17
V: Boschgat landroute A1 TenneT	1 kabel	57	+1
V: Boschgat landroute B TenneT	1 kabel	51	+32
V: Boschgat landroute B1 TenneT	1 kabel	78	+17
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	1 leiding	0	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	1 kabel	73	+37
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	1 leiding	0	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	1 kabel	100	+16
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	1 leiding	0	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	1 leiding	0	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	1 leiding	0	
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	1 leiding	0	
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	1 leiding	0	
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	1 leiding	0	
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	1 leiding	0	

(*) De indicator voor de tracéonzekerheid geeft aan of binnen het studiegebied afwijkende resultaten moeten worden verwacht, wanneer de afstand tot de middenlijn toeneemt. Een indicator van +6 bij een geïndexeerd

analyseresultaat van 31, geeft aan dat bij toenemende afstand tot de middenlijn rekening moet worden gehouden met een geïndexeerd analyseresultaat van 37.

Effectbeschrijving maximale scope

Tabel 7.11 toont het analyseresultaat van criterium bodemopwarming, bij toepassing van de maximale scope. De volledige analyseresultaten van dit criterium zijn opgenomen in bijlage 6.

Doordat de maximale scope voor de hoogspanningsverbindingen van route tot route sterk varieert, ontstaat een groot verschil in breedte van de opgewarmde zone. Hierdoor heeft de omvang van de maximale scope van een route, uiteenlopend van één tot zeven hoogspanningsverbindingen, veel impact op het analyseresultaat.

In de Boschgat Landroutes (maximale scope van één hoogspanningsverbinding) wordt daarom de minste impact verwacht op de agrarische bedrijfsvoering. De hoogste impact wordt verwacht in de Schiermonnikoog Wantij Landroutes A en A1 van TenneT, door een combinatie van de grootste maximale scope van 7 kabels in combinatie met de langste lengte. De laagste impact bij de aanleg van 7 hoogspanningskabels wordt verwacht in de kortste route: Oude Westereems Landroute A.

Voor de routes met waterstofleidingen geldt dat de maximale scope in alle routes gelijk is: 3 leidingen. Zoals in voorgaande criteria reeds geconstateerd, is het onderlinge verschil in gewaswaarde-indicaties kleiner dan het verschil in tracélengtes. Dit betekent dat ook voor criterium bodemopwarming, de tracélengte in hoge mate bepalend is voor de impact op de agrarische bedrijfsvoering.

In het verschil tussen de analyseresultaten van de Ameland Wantij Landroutes en de Schiermonnikoog Wantij Landroutes B, B1 en en C, is zichtbaar dat de gemiddelde gewaswaarde-indicatie licht versterkend werkt in het resultaat.

De minste impact op de agrarische bedrijfsvoering wordt verwacht langs Oude Westereems Landroute A1 en Schiermonnikoog Wantij Landroute B. Langs de Schiermonnikoog Wantij Landroutes A en A1 wordt de hoogste impact verwacht.

*Tabel 7.11 - Analyseresultaat criterium 4 – bodemopwarming – **maximale scope**.*

PAWOZ-route	Maximale scope	Index opwarming (akkerbouw-percelen)	Indicator tracéonzekerheid
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	3 leidingen	24	+6
II: Oude Westereems landroute A TenneT	7 kabels	18	+6
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	3 leidingen	38	
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	7 kabels	36	
V: Boschgat landroute A TenneT	1 kabel	1	+1
V: Boschgat landroute A1 TenneT	1 kabel	2	
V: Boschgat landroute B TenneT	1 kabel	2	+1

V: Boschgat landroute B1 TenneT	1 kabel	3	+1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	3 leidingen	87	+9
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	7 kabels	69	+20
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	3 leidingen	100	
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	7 kabels	89	+5
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	3 leidingen	26	+5
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	3 leidingen	29	+1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	3 leidingen	41	+4
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	3 leidingen	76	
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	3 leidingen	40	+3
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	3 leidingen	56	
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	3 leidingen	42	

7.4.2. Effectbeoordeling bodemopwarming

De in bovenstaande paragraaf beschreven analyseresultaten leiden tot de in Tabel 7.12 getoonde effectbeoordeling.

Tabel 7.12 - Effectbeoordeling criterium 4 – bodemopwarming.

PAWOZ-route	Beoordeling minimale scope		Beoordeling maximale scope
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	0	3 L	0
II: Oude Westereems landroute A TenneT	0	7 K	0
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	0	3 L	-
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	-	7 K	-
V: Boschgat landroute A1 TenneT	-	1 K	0
V: Boschgat landroute A1 TenneT	- -	1 K	0
V: Boschgat landroute B TenneT	- -	1 K	0
V: Boschgat landroute B1 TenneT	- - -	1 K	0
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	0	3 L	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	- -	7 K	- -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	0	3 L	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	- - -	7 K	- - -
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	0	3 L	-
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	0	3 L	-
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	0	3 L	-
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	0	3 L	- - -
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	0	3 L	-
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	0	3 L	- -
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	0	3 L	-

8. Conclusies, mitigatie en vervolg

Dit hoofdstuk beschrijft per criterium de conclusies ten aanzien van de routes met de minste impact op de agrarische bedrijfsvoering, welke mitigerende maatregelen kunnen worden ingezet om de effecten op de agrarische bedrijfsvoering te beperken en welke stappen van waarde zijn in het vervolg van het proces richting realisatie van de kabels en leidingen.

Een algemene vervolgstap, niet gebonden aan de in dit onderzoek geanalyseerde criteria, is tijdige nadere inventarisatie van de mogelijkheden om de aanvullend gevraagde criteria (zoals beschreven in paragraaf 6.1) uit te werken in de projectfase van PAWOZ.

8.1. Criterium 1 - tracélengte in landbouwgrond

8.1.1. Conclusies criterium 1

De conclusies van de analyse van criterium 1 zijn zowel van toepassing op de minimale scope als op de maximale scope.

De PAWOZ-routes die, volgend uit de analyse van criterium tracélengte in landbouwgrond, de minste impact hebben op de agrarische bedrijfsvoering zijn:

- II: Oude Westereems Landroute A (Tennet)
- II: Oude Westereems Landroute A (Gasunie)

Deze routes zijn tevens de routes met de kortste lengtes gelegen in agrarische percelen. Deze routes hebben, gemeten over de drie subcriteria, de minste impact op de agrarische bedrijfsvoering. Uit de analyse blijkt dat langere routes een grotere lengte in agrarische percelen meten, een hoger aantal betrokken perceeleigenaren tellen en, over het algemeen, eveneens een hogere lengte in huiskavels tellen.

Uit de indicator voor tracéonzekerheid volgt dat voor een aantal routes geldt dat een zuidelijkere ligging tot een aanmerkelijke verhoging kan leiden van de tracélengte in huiskavels.

8.1.2. Mitigatie criterium 1

Door toepassing van mitigerende maatregelen kunnen de effecten die volgen uit de aanleg van de PAWOZ-infrastructuur worden beperkt. Om de effecten van criterium 1 te beperken kunnen de volgende mitigerende maatregelen worden overwogen:

- Gelijktijdige realisatie van meerdere verbindingen, waardoor de impact van een nieuwe aanlegfase bij uitbreiding van de scope wordt beperkt.

- Optimale ruimtelijke inpassing ten aanzien van de kadastrale grenzen, om zo het aantal betrokken perceeleigenaren en de tracélengte in huiskavels te beperken.
- Optimale ruimtelijke inpassing van het tracé in de agrarische percelen.

8.1.3. Vervolg criterium 1

In de projectfase volgend op deze planfase zal een nadere uitwerking plaatsvinden van deze route binnen het studiegebied. Om deze uitwerking zoveel mogelijk te laten slagen kunnen de volgende vervolgstappen worden gezet:

- Uitwerking van een logistiek plan voor de uitvoeringsfase, voor de omgeving van de kabel- of leidingroute.
- Brede inventarisatie van informatie en belangen door vroegtijdig gesprekken te voeren met de betreffende perceeleigenaren, zowel op het tracé als langs de logistieke routes.

8.2. Criterium 2 - Bodemopbouw

8.2.1. Conclusies criterium 2

De conclusies van de analyse van criterium 2 zijn zowel van toepassing op de minimale scope als op de maximale scope.

De PAWOZ-routes die, volgend uit de analyse van criterium bodemopbouw, de minste impact hebben op de agrarische bedrijfsvoering zijn:

- II: Oude Westereems Landroute A (Tennet)
- II: Oude Westereems Landroute A (Gasunie)

Deze routes zijn tevens de routes met de kortste lengtes gelegen in akkerbouwpercelen. Uit de analyseresultaten is af te leiden dat de gemiddelde gewaswaarde-indicaties per strekkende meter van route tot route beperkt verschillen: de laagste waarden en de hoogste waarden liggen relatief dichtbij elkaar. Hetzelfde geldt voor de gevoeligheid voor structuurschade. De lengte gelegen in akkerbouwpercelen verschilt veel meer: er zit een groot verschil in lengte tussen de kortere routes en de langere routes. Hierdoor is het verschil in lengte waarover de routes zijn gelegen in akkerbouwpercelen, bepalend voor het analyseresultaat: de kortste routes hebben de minste impact op de agrarische bedrijfsvoering.

Uit de indicator voor tracéonzekerheid volgt dat nadere uitwerking van de routes elders in het studiegebied, niet of nauwelijks zal leiden tot hogere waarden (negatievere effecten).

8.2.2. Mitigatie criterium 2

Door toepassing van mitigerende maatregelen kunnen de effecten die volgen uit de aanleg van de PAWOZ-infrastructuur worden beperkt. Om de effecten van criterium 2 te beperken kunnen de volgende mitigerende maatregelen worden overwogen:

- Gelijktijdige realisatie van meerdere verbindingen ('bundelen'), waardoor de impact van een nieuwe aanlegfase bij uitbreiding van de scope wordt beperkt.
- Minder grondwerk door inzet van HDD-boringen of innovatieve uitvoeringsmethoden, of door beperking van de diepteligging.
- Optimalisatie van het tracé in de projectfase, op basis van aanvullende informatie verkregen uit veldwerkonderzoek.
- Optimale ruimtelijke inpassing van het tracé in de agrarische percelen.
- Optimalisatie van de diepteligging: minder diepe aanleg beperkt het grondwerk.

8.2.3. Vervolg criterium 2

In de projectfase volgend op deze planfase zal een nadere uitwerking plaatsvinden van de route binnen het studiegebied. Om deze uitwerking zoveel mogelijk te laten slagen dient met name te worden ingezet op verdieping van de informatie en analyses en op innovatie. Hiervoor kunnen mogelijk de volgende stappen worden gezet:

- Fijnmazig bodemonderzoek, om tot een optimale cultuurtechnische uitvoeringswijze en cultuurtechnisch herstel te komen. Deze fijnmazigheid is noodzakelijk omdat in een groot deel van het gebied een hoge lokale variatie kent in de bodemopbouw.
- Voortdurende monitoring van innovatieve aanlegtechnieken en de toepasbaarheid ervan op de aanleg van de binnen PAWOZ beoogde kabels en leidingen.
- Inventariseren van mogelijkheden om door middel van bundeling te zorgen voor beperking van het aantal uitbreidingen dat in de tracés wordt aangelegd.
- Nader onderzoek naar kennisleemtes.

8.3. Criterium 3 - plantenziekten

8.3.1. Conclusies criterium 3

De conclusies van de analyse van criterium 3 zijn zowel van toepassing op de minimale scope als op de maximale scope.

De PAWOZ-routes die, volgend uit de analyse van criterium plantenziekten, de minste impact hebben op de agrarische bedrijfsvoering zijn:

- II: Oude Westereems Landroute A (Tennet)
- II: Oude Westereems Landroute A (Gasunie)
- VII: Schiermonnikoog Wantij Landroutes B en B1

Deze routes zijn tevens de routes met de kortste lengtes gelegen in akkerbouwpercelen. Doordat de waarde-indicaties voor de geteelde gewassen langs de routes relatief weinig van elkaar verschillen, bepalen de verschillen in tracélengte in hoge mate het resultaat van deze analyse. De langste routes hebben de hoogste blootstelling aan de risico's van verspreiding van plantenziekten.

Uit de indicator voor tracéonzekerheid volgt dat nadere uitwerking van de routes elders in het studiegebied, langs enkele routes zal leiden tot licht hogere waarden (licht negatievere effecten).

8.3.2. Mitigatie criterium 3

Door toepassing van mitigerende maatregelen kunnen de effecten die volgen uit de aanleg van de PAWOZ-infrastructuur mogelijk worden beperkt. Hiervoor kunnen de volgende mitigerende maatregelen worden overwogen:

- Gelijktijdige realisatie van meerdere verbindingen ('bundelen'), waardoor de impact van een nieuwe aanlegfase bij uitbreiding van de scope wordt beperkt.
- Minder grondwerk door inzet van HDD-boringen of innovatieve uitvoeringsmethoden, of door beperking van de diepteligging.
- Optimalisatie van het tracé in de projectfase, op basis van optimale ruimtelijke inpassing en op basis van aanvullende informatie verkregen uit veldwerkonderzoek.

8.3.3. Vervolg criterium 3

In de projectfase volgend op deze planfase zal een nadere uitwerking plaatsvinden van de route binnen het studiegebied. Om deze uitwerking zoveel mogelijk te laten slagen dient met name te worden ingezet op verdieping van de informatie en analyses en op innovatie. Hiervoor kunnen de volgende stappen worden gezet:

- Fytosanitair bodemonderzoek, om zoveel mogelijk informatie en inzicht te verkrijgen in de aanwezigheid van planten- en bodemgebonden ziekten en plagen.
- Voortdurende monitoring van innovatieve aanlegtechnieken en de toepasbaarheid ervan op de aanleg van de binnen PAWOZ beoogde kabels en leidingen.
- Inventariseren van mogelijkheden om door middel van bundeling te zorgen voor beperking van het aantal uitbreidingen dat in de tracés wordt aangelegd.
- Nader onderzoek naar kennisleemtes.

8.4. Criterium 4 - bodemopwarming

8.4.1. Conclusies criterium 4

Minimale scope

De PAWOZ-routes die, volgend uit de analyse van criterium bodemopwarming, bij aanleg van de minimale scope van één kabelverbinding of één waterstofleiding de minste impact hebben op de agrarische bedrijfsvoering zijn:

- II: Oude Westereems Landroute A (Tennet)
- II: Oude Westereems Landroute A & A1 (Gasunie)

Deze routes zijn tevens de routes met de kortste lengtes gelegen in akkerbouwpercelen. Uit de analyseresultaten is af te leiden dat de gemiddelde gewaswaarde-indicaties per strekkende meter van route tot route beperkt verschillen: de laagste waarden en de hoogste waarden liggen relatief dichtbij elkaar. Voor de waterstofleidingen volgt uit de analyse geen overschrijding van de grenswaarden, waardoor geen opgewarmde zone wordt meegenomen in de analyseresultaten. De tracélengte in akkerbouwpercelen en de gemiddelde gewaswaarde-indicatie bepalen voor deze routes het analyseresultaat.
De variatie in bodemsoorten en grondwaterstanden hebben invloed op de omvang van de opgewarmde zone van een route: er zijn relatief korte routes met een relatief grote opgewarmde zone. De verschillen die hierdoor tussen de routes ontstaan, zijn echter niet groot genoeg om het analyseresultaat daadwerkelijk te beïnvloeden. De lengte gelegen in akkerbouwpercelen verschilt van route tot route veel meer. Hierdoor is het verschil in lengte waarover de routes zijn gelegen in akkerbouwpercelen, alsnog bepalend voor het analyseresultaat.

Uit de indicator voor tracéonzekerheid volgt dat nadere uitwerking van de routes elders in het studiegebied, niet of nauwelijks zal leiden tot hogere waarden (negatievere effecten).

Maximale scope

De PAWOZ-routes die, volgend uit de analyse van criterium bodemopwarming, bij aanleg van de maximale scope de minste impact hebben op de agrarische bedrijfsvoering zijn:

- V: Boschgat Landroutes (Tennet, in deze route wordt ook bij de maximale scope één hoogspanningsverbinding aangelegd)
- II: Oude Westereems Landroute A (Tennet)
- II: Oude Westereems Landroute A en Schiermonnikoog Wantij Landroute B (Gasunie)

Doordat in de Boschgat Landroutes uitbreiding van de scope niet van toepassing is, wordt langs deze routes de minste impact verwacht op de agrarische bedrijfsvoering. De laagste impact bij de aanleg van 7 hoogspanningskabels wordt verwacht in de kortste route: Oude Westereems Landroute A.

De hoogste impact wordt verwacht in de Schiermonnikoog Wantij Landroutes A en A1 van TenneT, door een combinatie van de grootste maximale scope van 7 kabels in combinatie met de langste lengte.

Voor de routes met waterstofleidingen geldt dat de maximale scope in alle routes gelijk is: 3 leidingen. Ook hier geldt dat het verschil tussen de routes voor de lengte van het tracé gelegen in akkerbouwpercelen, groter is dan het verschil in de gemiddelde gewaswaarde-indicatie of het verschil in de omvang van de opgewarmde zone. De langste routes hebben naar verwachting dan ook de meeste impact op de agrarische bedrijfsvoering.

8.4.2. Mitigatie criterium 4

Door toepassing van mitigerende maatregelen kunnen de effecten die volgen uit de aanleg van de PAWOZ-infrastructuur mogelijk worden beperkt. Hiervoor kunnen de volgende mitigerende maatregelen worden overwogen:

- Optimalisatie van de diepteligging van de kabels en leidingen: diepere aanleg, door bijvoorbeeld het toepassen of verlengen van HDD-boringen, beperkt de opwarming van de bodem in de wortelzone van de gewassen en verhoogt de afvoer van warmte door het grondwater.
- Optimalisatie van het ontwerp: toepassing van maatregelen in en om de sleuf om de warmteafgifte naar de omgeving te bevorderden, waardoor de bodemtemperatuur ter plaatse van de wortelzone minder zal stijgen.

8.4.3. Vervolg criterium 4

In de vervolgfase, de projectfase, kan een gedetailleerde thermische analyse inzicht geven in een nauwkeurigere bepaling van de omvang (zowel de temperatuur, als de duur en frequentie) van de bodemopwarming en de daaruit volgende impact op de agrarische bedrijfsvoering. Hierin kan de volgende verdieping worden toegepast:

- Het verwerken van specifieke bodem- en grondwatercondities,
- Het bepalen en toepassen van gedetailleerde uitgangspunten voor het energietransport door de kabels en leidingen. Dit geldt voor zowel de hoogspanningsverbindingen als voor de waterstofleidingen,
- Het verwerken van een warmteverliesberekening voor de waterstofleidingen, op basis van de specifieke bedrijfscondities.

Rotterdam Engineering, 24 januari 2025

Bijlagen

Bijlage 1 Overzichtskaart PAWOZ routes inclusief scope

Bijlage 2 Overzichtskaarten agrarische analyses

a. Percelen
b. Gewaspercelen
c. Huiskavels
d. Bodemkaart
e. Grondsoorten
f. Grondwaterstand hoog
g. Grondwaterstand laag

Bijlage 3 Gevoeligheid grondsoorten voor structuurschade

Bijlage 4 Gewaswaarde indicatie

Bijlage 5 Rapportage modelberekening bodemopwarming

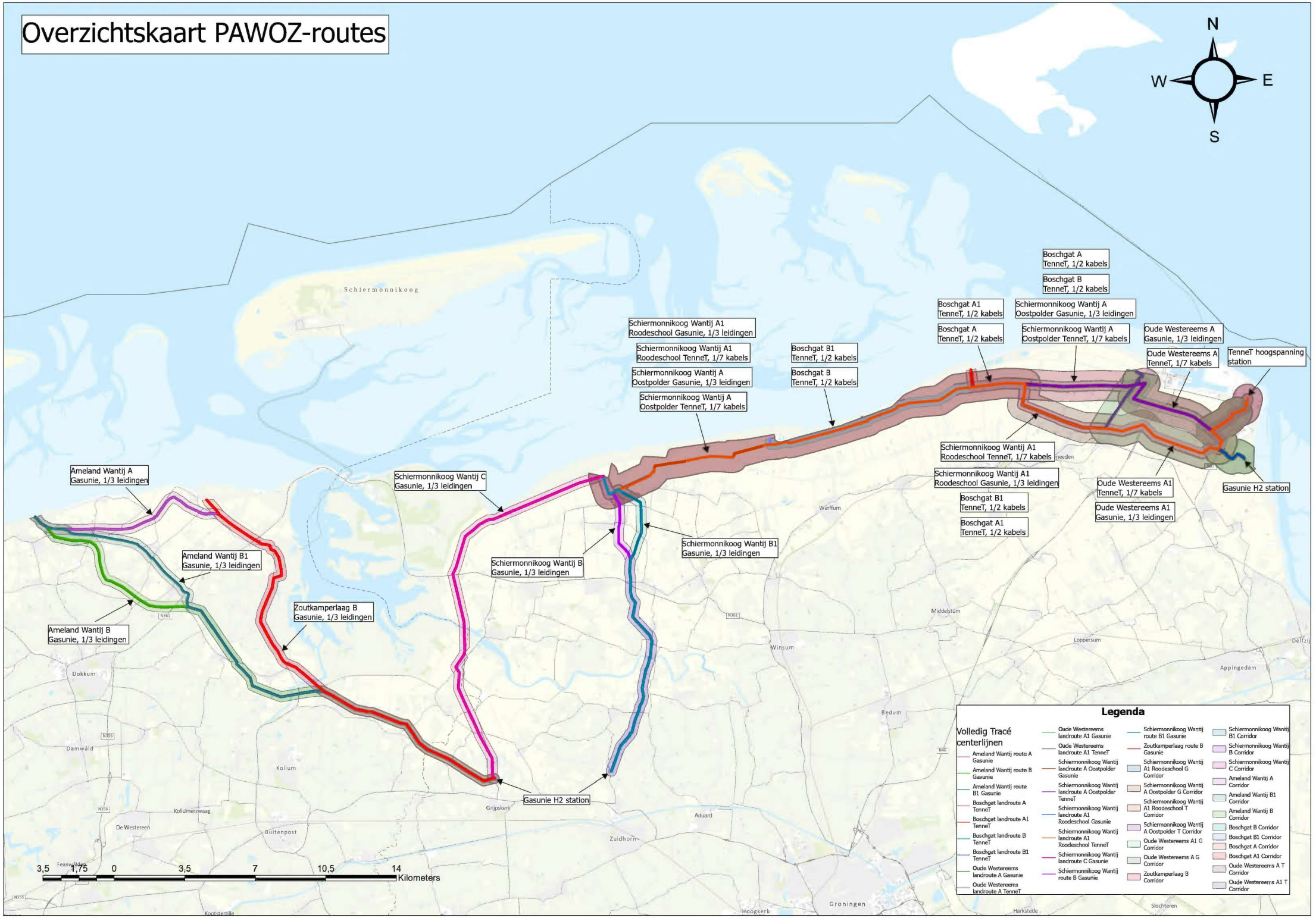
Bijlage 6 Analyseresultaten agrarische analyses

a. Resultaten criterium 1 – tracélengte in agrarische percelen
b. Resultaten criterium 2 – bodemopbouw
c. Resultaten criterium 3 – plantenziekten
d. Resultaten criterium 4 – bodemopwarming
e. Overzicht resultaten alle criteria

Bijlage 1

Overzichtskaart PAWOZ-routes inclusief scope

Overzichtskaart PAWOZ-routes



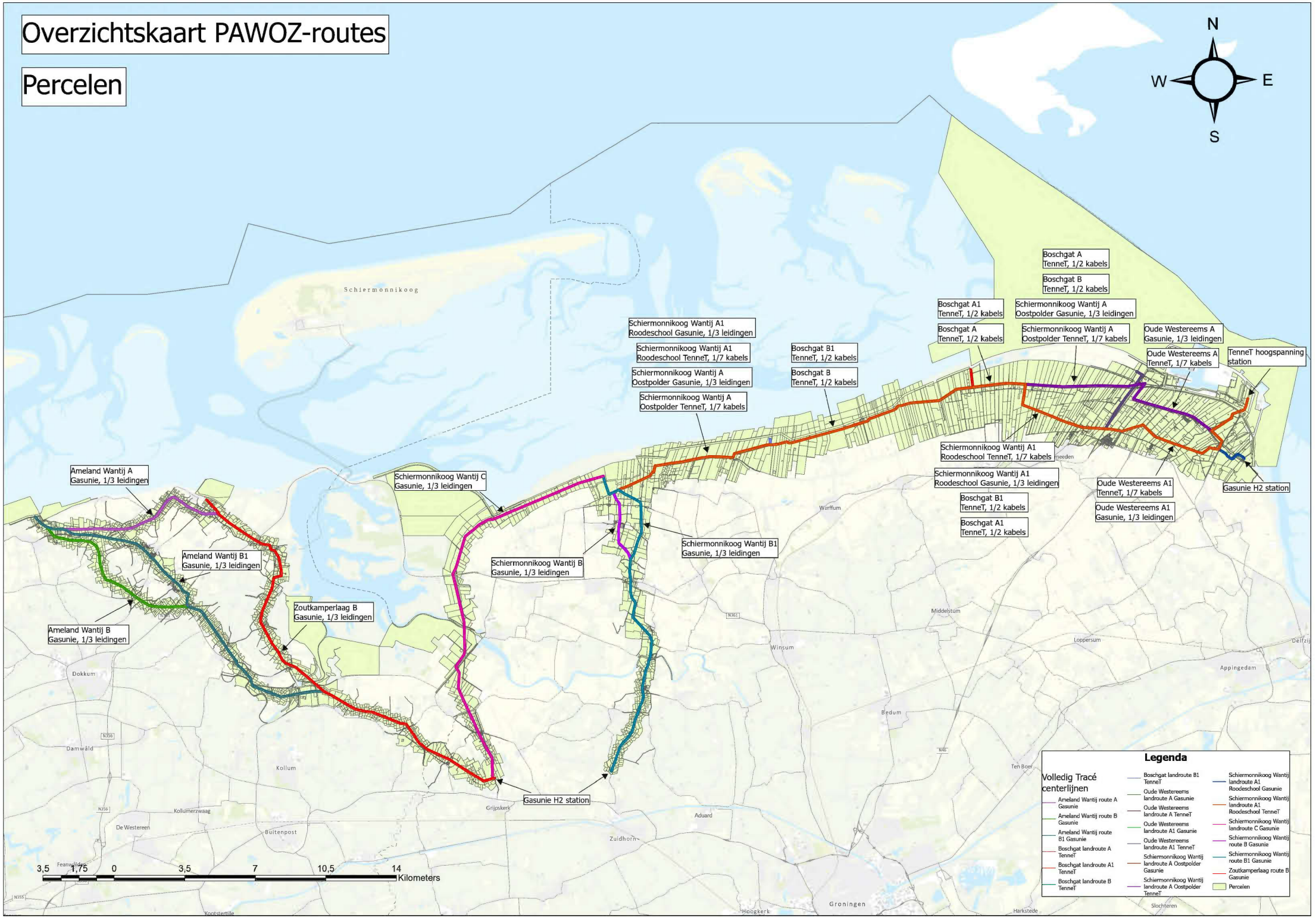
Bijlage 2

Overzichtskaarten agrarische analyses

a. Percelen
b. Gewaspercelen
c. Huiskavels
d. Bodemkaart
e. Grondsoorten
f. Grondwaterstand hoog
g. Grondwaterstand laag

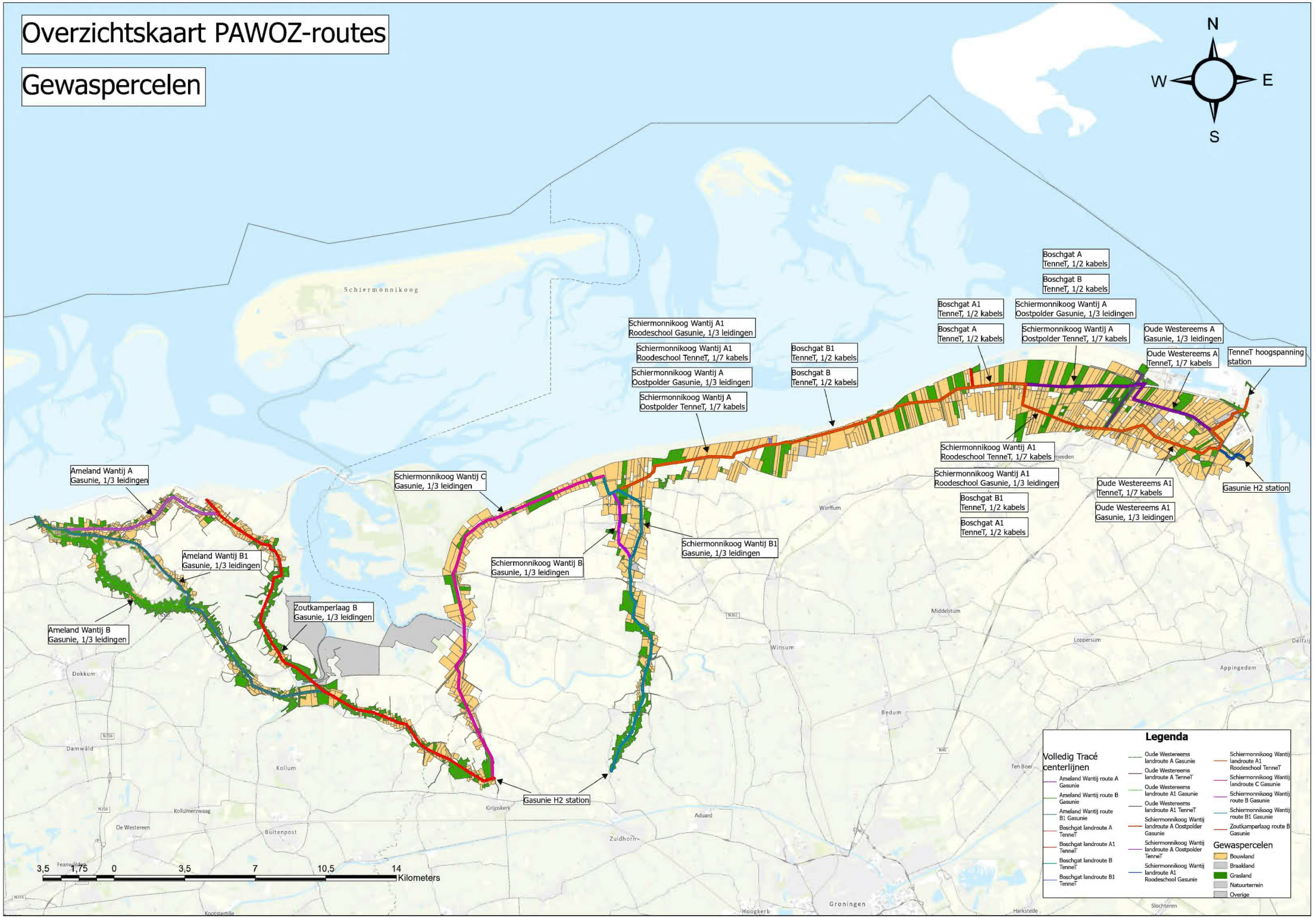
Overzichtskaart PAWOZ-routes

Percelen



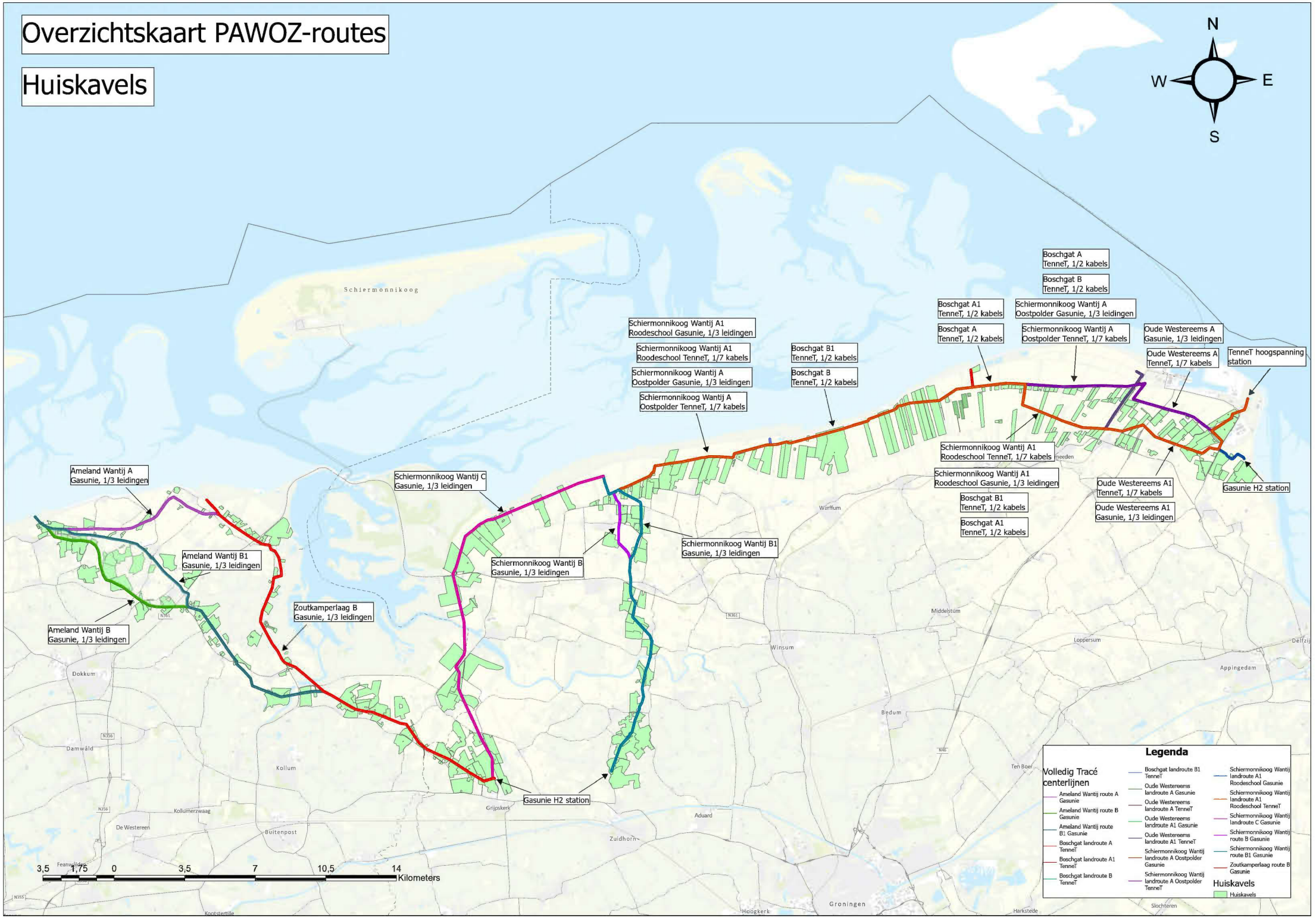
Overzichtskaart PAWOZ-routes

Gewaspercelen



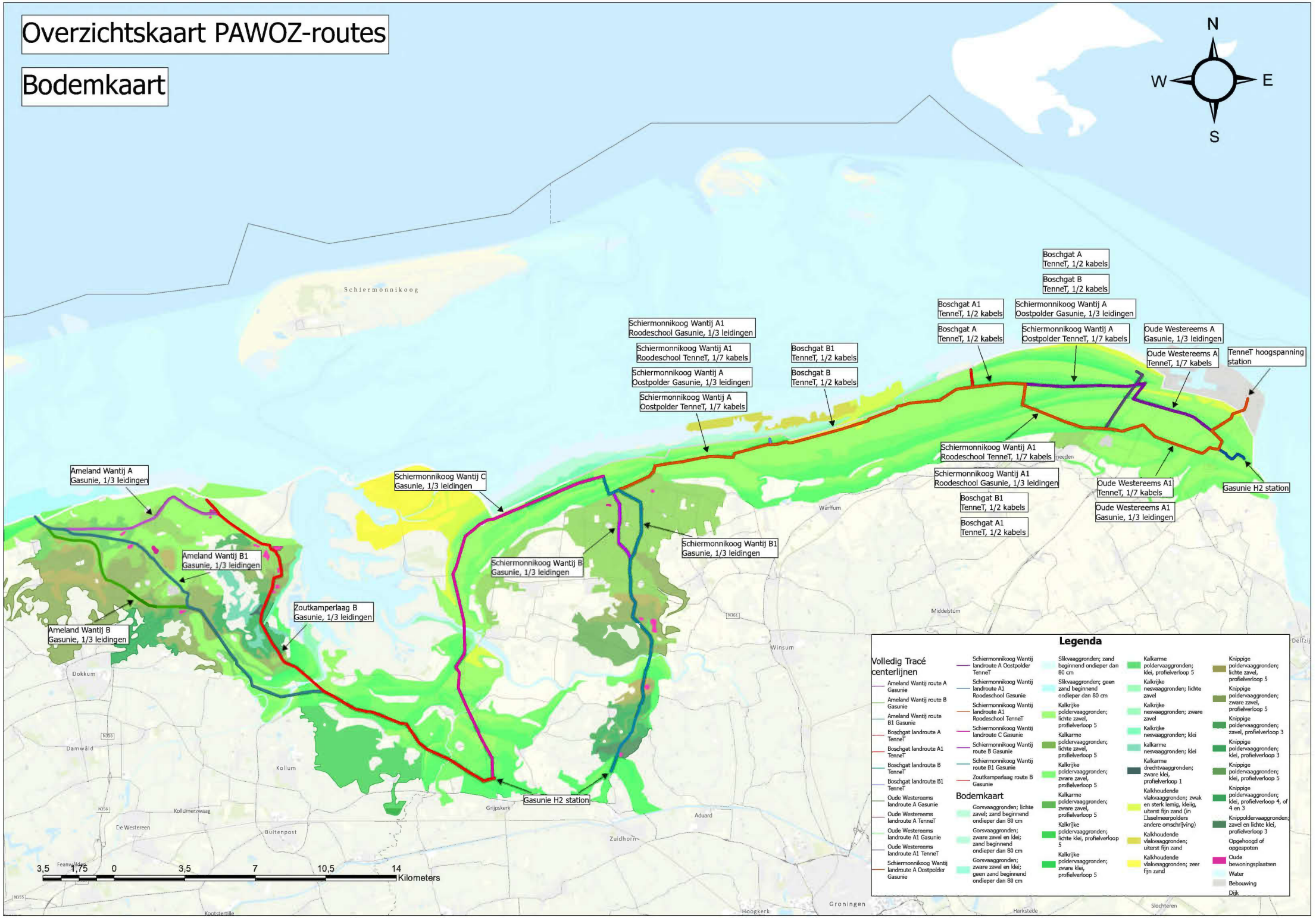
Overzichtskaart PAWOZ-routes

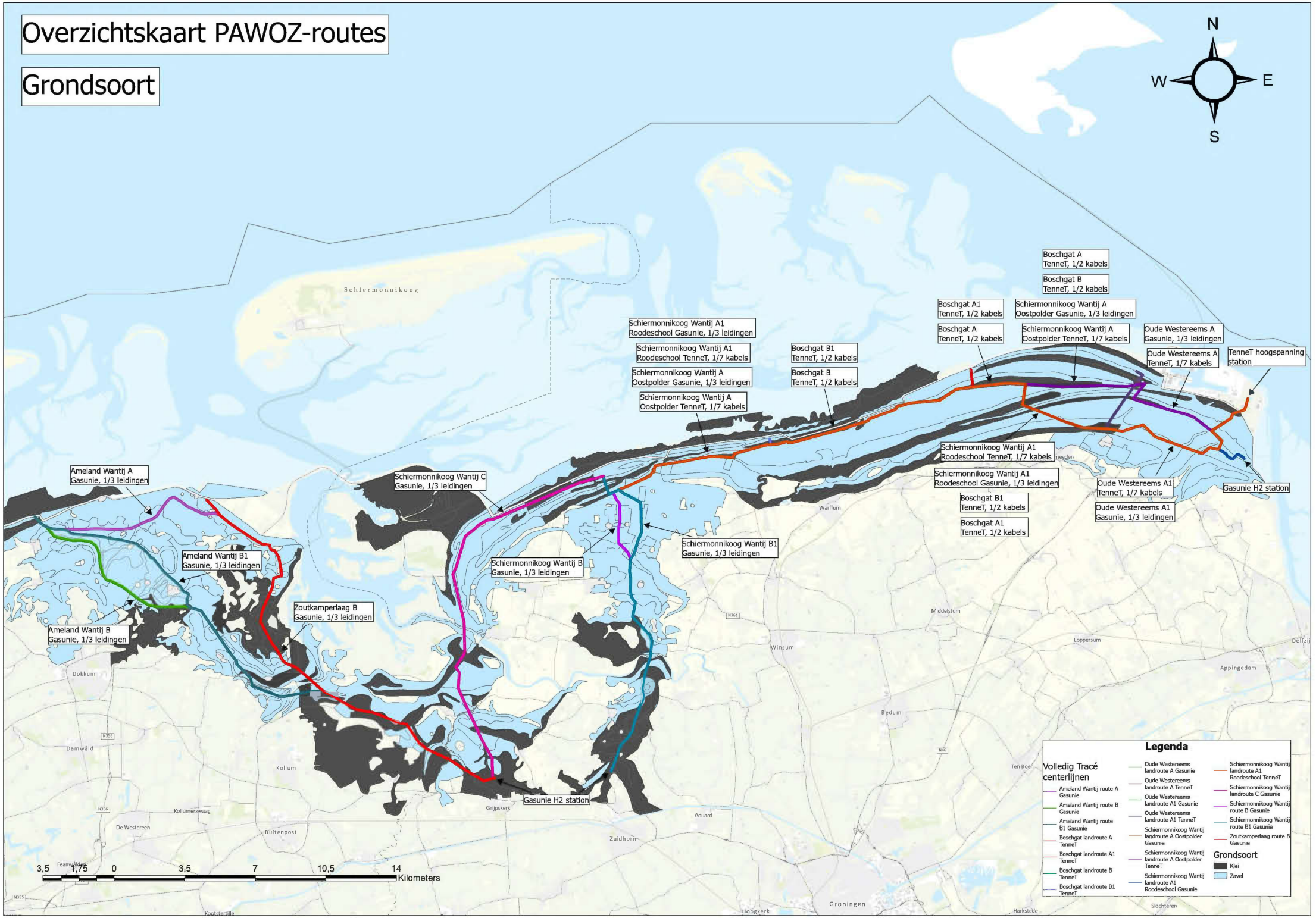
Huiskavels



Overzichtskaart PAWOZ-routes

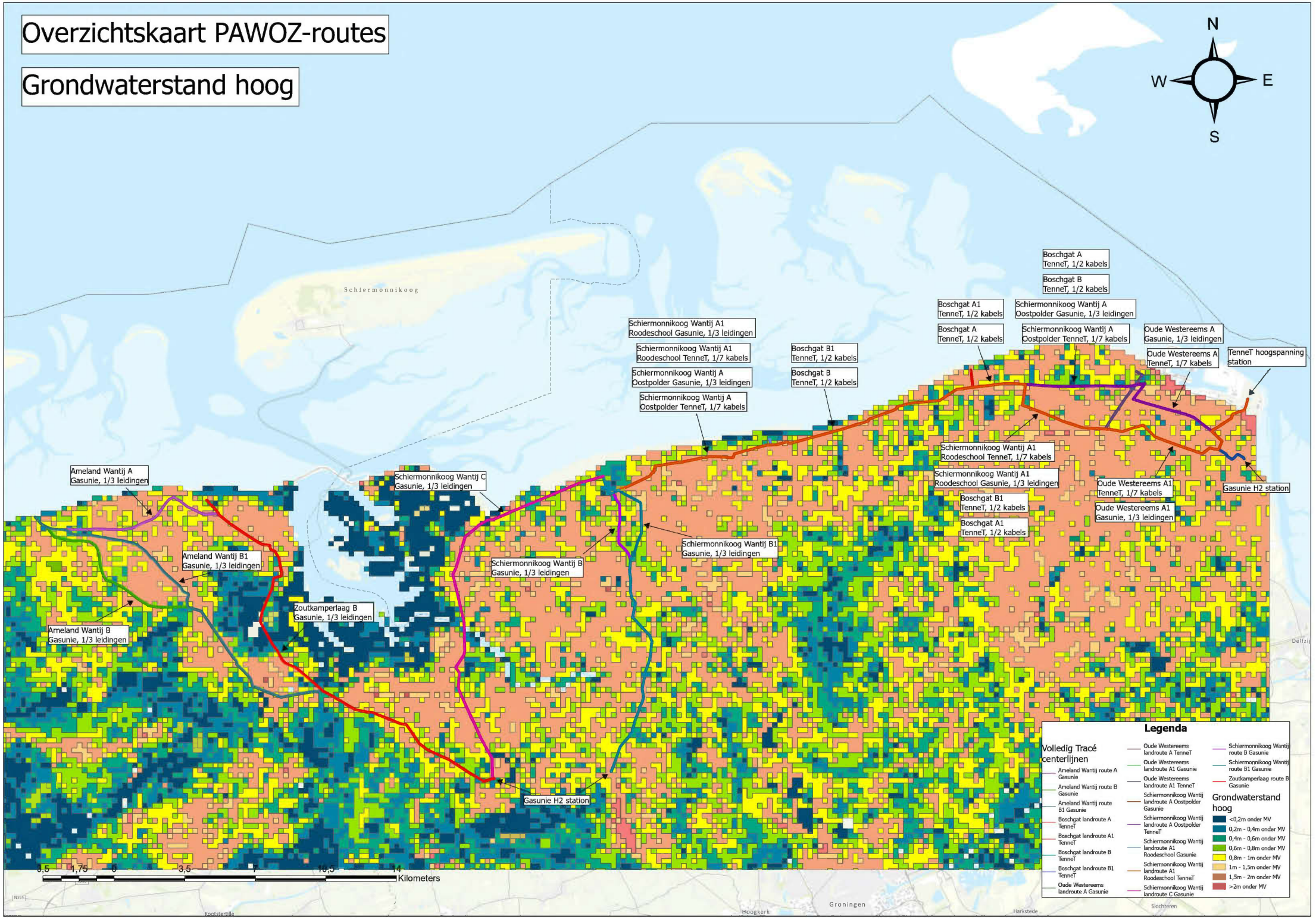
Bodemkaart




Overzichtskaart PAWOZ-routes
Grondsoort
N
W
E
S
Schiermonnikoog
Ameland Wantij A Gasunie, 1/3 leidingen
Ameland Wantij B1 Gasunie, 1/3 leidingen
Ameland Wantij B Gasunie, 1/3 leidingen
Schiermonnikoog Wantij C Gasunie, 1/3 leidingen
Zoutkamperlaag B Gasunie, 1/3 leidingen
Schiermonnikoog Wantij A1 Roodeschool Gasunie, 1/3 leidingen
Schiermonnikoog Wantij A1 Roodeschool TenneT, 1/7 kabels
Schiermonnikoog Wantij A Oostpolder Gasunie, 1/3 leidingen
Schiermonnikoog Wantij A Oostpolder TenneT, 1/7 kabels
Schiermonnikoog Wantij B Gasunie, 1/3 leidingen
Schiermonnikoog Wantij B1 Gasunie, 1/3 leidingen
Gasunie H2 station
Boschgat B1 TenneT, 1/2 kabels
Boschgat B TenneT, 1/2 kabels
Boschgat A TenneT, 1/2 kabels
Boschgat B TenneT, 1/2 kabels
Boschgat A1 TenneT, 1/2 kabels
Boschgat A TenneT, 1/2 kabels
Schiermonnikoog Wantij A Oostpolder Gasunie, 1/3 leidingen
Schiermonnikoog Wantij A Oostpolder TenneT, 1/7 kabels
Oude Westereems A Gasunie, 1/3 leidingen
Oude Westereems A TenneT, 1/7 kabels
TenneT hoogspanning station
Schiermonnikoog Wantij A1 Roodeschool TenneT, 1/7 kabels
Schiermonnikoog Wantij A1 Roodeschool Gasunie, 1/3 leidingen
Boschgat B1 TenneT, 1/2 kabels
Boschgat A1 TenneT, 1/2 kabels
Oude Westereems A1 TenneT, 1/7 kabels
Oude Westereems A1 Gasunie, 1/3 leidingen
Gasunie H2 station
Warffum
Middelstum
Winsum
Loppersum
Appingedam
Delfzijl
Bedum
Ten Boer
Groningen
Hoogkerk
Aduard
Zuidhorn
Grijpskerk
Kollum
Kollumerzwaag
Buitenpost
De Westereen
Damwâld
Dokkum
Harkstede
Slochteren
3,5 1,75 0 3,5 7 10,5 14
Kilometers
Legenda
Volledig Tracé centerlijnen
Ameland Wantij route A Gasunie
Ameland Wantij route B Gasunie
Ameland Wantij route B1 Gasunie
Boschgat landroute A TenneT
Boschgat landroute A1 TenneT
Boschgat landroute B TenneT
Boschgat landroute B1 TenneT
Oude Westereems landroute A Gasunie
Oude Westereems landroute A TenneT
Oude Westereems landroute A1 Gasunie
Oude Westereems landroute A1 TenneT
Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie
Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT
Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie
Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT
Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie
Schiermonnikoog Wantij route B Gasunie
Schiermonnikoog Wantij route B1 Gasunie
Zoutkamperlaag route B Gasunie
Grondsoort
Klei
Zavel

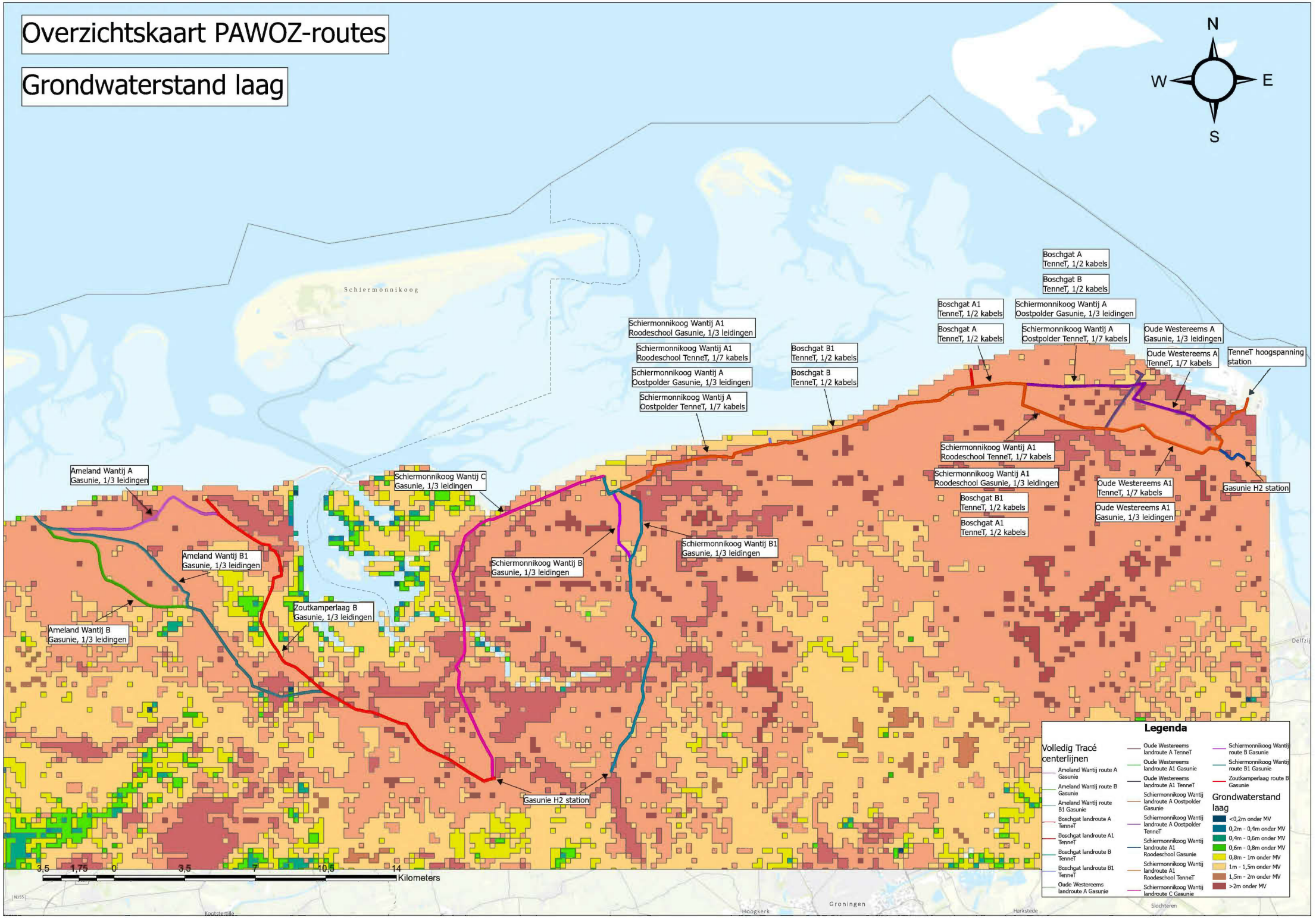
Overzichtskaart PAWOZ-routes

Grondwaterstand hoog



Overzichtskaart PAWOZ-routes

Grondwaterstand laag



Bijlage 3

Gevoeligheid grondsoorten voor structuurschade

PAWOZ
Analyse impact agrarische waarden
RE23088-R01-D
10-jun-24

Bron: Antea Group

Gevoeligheid bodemsoorten voor structuurschade

Bodemcode	Weging	Classificatie
|c OPHOOG	1	Ongevoelig
|f TERP	1	Ongevoelig
|g WATER	1	Ongevoelig
|h BEBOUW	1	Ongevoelig
|h DIJK	1	Ongevoelig
bgMn15C	1,5	Matig gevoelig
bgMn25C	1,5	Matig gevoelig
bMn15A	1,25	Relatief ongevoelig
bMn15C	1,25	Relatief ongevoelig
bMn25A	1,25	Relatief ongevoelig
bMn35A	1,25	Relatief ongevoelig
gMn15C	1,5	Matig gevoelig
gMn25C	1,5	Matig gevoelig
gMn53C	1,5	Matig gevoelig
gMn83C	1,5	Matig gevoelig
gMn85C	1,5	Matig gevoelig
gMn88C	1,5	Matig gevoelig
gMn88Cv	2	Zeer gevoelig
gMn88Cw	2	Zeer gevoelig
kMn63C	1,5	Matig gevoelig
kSn13A	1,5	Matig gevoelig
kZn10A	1,5	Matig gevoelig
Mn15A	1,25	Relatief ongevoelig
Mn15C	1,25	Relatief ongevoelig
Mn25A	1,25	Relatief ongevoelig
Mn25C	1,25	Relatief ongevoelig
Mn35A	1,25	Relatief ongevoelig
Mn35Ax	1,25	Relatief ongevoelig
Mn45A	1,25	Relatief ongevoelig
Mn85C	1,25	Relatief ongevoelig
Mo10A	1,75	Gevoelig
Mo20A	1,75	Gevoelig
Mo80A	1,75	Gevoelig
Mo80Cv	1,75	Gevoelig
Mo80Cw	1,75	Gevoelig
MOb12	1,5	Matig gevoelig
MOb72	1,5	Matig gevoelig
MOb75	1,5	Matig gevoelig
MOo02	1,5	Matig gevoelig
MOo05	1,5	Matig gevoelig
Mv41C	1,75	Gevoelig
nMo10Av	1,5	Matig gevoelig
nSn13A	1,25	Relatief ongevoelig
Sn13A	1,5	Matig gevoelig
Zn10A	1,5	Matig gevoelig
Zn40A	1,5	Matig gevoelig

Bureaustudie indeling bodemeenheden PAWOZ

Antea Group

Understanding today.
Improving tomorrow.

projectnummer 0489791.100
definitief revisie 01
12 maart 2024

www.anteagroup.nl

Bureaustudie indeling bodemeenheden PAWOZ

projectnummer 0489791.100
documentnummer 489791-BS-01
definitief revisie 01
12 maart 2024

Auteur(s)
P. Postma

Opdrachtgever
Re Rotterdam Engineering B.V.
Vasteland 78
3011 BN ROTTERDAM

Gecontroleerd
W. Bakker

datum	beschrijving	vrijgave
12 maart 2024	definitief	L. de Jong-van Twisk

Inhoudsopgave

1. Inleiding 4
1.1 Algemeen 4
1.2 Leeswijzer 4

2. Methodiek 5
2.1 Algemene toelichting 5

3. Cultuurtechnisch relevante aspecten 6
3.1 Stevigheid bovengrond 6
3.2 Knippig 6
3.3 Ongerijpte bovengrond 6
3.4 Ongerijpte ondergrond 6
3.5 Veen in ondergrond 6
3.6 Keileem in de ondergrond 6
3.7 Buitendijks 7

4. Classificatie en wegingsfactor 8
4.1 Classificatie 8
4.2 Wegingsfactor 8
4.3 Overzicht 8

Bijlage 1 Overzicht cultuurtechnische aspecten en classificatie PAWOZ 11

1. Inleiding

1.1 Algemeen

In opdracht van Rotterdam Enginering B.V. heeft Antea Group een bureaustudie uitgevoerd met betrekking tot het categoriseren van de bodemeenheden ter plaatse van de tracés van het PAWOZ project. De indelingscriteria zijn gebaseerd op de cultuurtechnische gevoeligheid van de bodem ten aanzien van de aanleg van leidingen in open ontgraving.

In onderstaande afbeelding zijn de PAWOZ tracés met blauwe lijnen weergegeven.



Afbeelding 1.1: Topografische ligging van de PAWOZ tracés (blauwe lijnen)

Deze bureaustudie is een uitbreiding van revisie 00 (d.d. 20 december 2023). Op verzoek van Rotterdam Enginering B.V. heeft Antea Group de studie uitgebreid met een bufferzone rondom de tracés zodat ook de nabijgelegen bodemsoorten in de beschouwing zijn meegenomen.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt in het kort de toegepaste methode en de gebruikte gegevens beschreven en in hoofdstuk 3 komen de cultuurtechnisch relevante aspecten met de bijbehorende waarderingen aan de orde. In hoofdstuk 4 wordt de classificatie en de cultuurtechnische wegingsfactor uitgewerkt.

2. Methodiek

Op basis van de (digitale) Bodemkaart van Nederland en de toelichting bij de betreffende kaartbladen is de bodemsoort (bodemcode) met de bijbehorende grondwatertrappen geïnventariseerd. Vervolgens zijn de bodemsoorten beoordeelt op de relevante cultuurtechnische aspecten waaraan een waardering is gekoppeld. Per bodemsoort zijn de cultuurtechnische waarderingen opgeteld en is de bodemsoort geclassificeerd. De resultaten zijn in bijlage 1 bijgevoegd. In de hier gehanteerde opzet is geen rekening gehouden met het actuele bodemgebruik of het eventueel toepassen van grondverbetering rondom de leidingen. Overige in de bodemkaart genoemde onderscheidingen zoals: Opgehoogd of opgespoten (↑), terpen/oude bewoningsplaatsen (T), water en moeras en bebouwde kommen zijn niet nader beschouwd en hebben in de classificering een 0 gekregen.

In afbeelding 2.1 zijn de PAWOZ tracés met blauwe lijnen weergegeven op de Bodemkaart van Nederland.



Afbeelding 2.1: De PAWOZ tracés (blauwe lijnen) geprojecteerd op de Bodemkaart van Nederland

2.1 Algemene toelichting

Voor de beschrijving van de tracés is gebruik gemaakt van de Bodemkaart van Nederland, Blad 3 West en Oost Uithuizen (1987), Blad 7 West Groningen (1973) en Blad 6 West en Oost Leeuwarden, Bladen 2 West en Oost Schiermonnikoog (vaste land) (1981).
Omdat de betreffende Bodemkaarten in de periode 1973-1987 zijn uitgegeven kan het zijn dat de huidige bodemopbouw en de grondwatertrappen afwijken van hetgeen in de Bodemkaart van Nederland wordt beschreven. De bodemkaart van Nederland geeft in het algemeen bodembeschrijvingen tot 1,20 m diepte zodat de diepere ondergrond (> 1,20 m -mv) niet in de beoordeling is meegenomen.

3. Cultuurtechnisch relevante aspecten

3.1 Stevigheid bovengrond

Deze is gebaseerd op aanhangsel 3 (of 4) van de betreffende Bodemkaart van Nederland. Wanneer de Bodemkaart van Nederland klasse 3 (of deels **klasse 3) aangeeft in de kolom "stevigheid bovengrond" dan** betekent dit dat het om een bovengrond gaat die sterk gevoelig is voor vertrapping bij beweiden en voor insporing bij berijden. Bodemsoorten die een slechte draagkracht hebben worden in bijlage 1 in de kolom **"S**tevigheid bovengrond**"** met een **1** gewaardeerd.
Voor de buitendijks gelegen gronden geeft de Bodemkaart van Nederland geen beoordeling van de grondwatertrap en van de stevigheid van de bovengrond. Naarmate deze gronden dichter bij de dijk liggen zijn ze hoger opgeslibt, neemt de mate van overspoeling af en neemt de begroeiing en de rijping toe. In deze studie wordt ervan uitgegaan dat de buitendijks gelegen gronden een slechte draagkracht hebben en worden deze gronden in de kolom **"Stevigheid bovengrond" met een 1** gewaardeerd.

3.2 Knippig

Kleigronden met knippige eigenschappen zijn zwel- en krimpgevoelig en zijn gevoelig voor verslemping. In blijvend grasland hebben deze gronden in het algemeen een dunne toplaag (zodelaag). Over het algemeen geldt voor knippige gronden dat ze moelijker te bewerken zijn en dat het lastiger is om de gronden in de oorspronkelijke staat te herstellen. Bodemsoorten met knippige eigenschappen worden in de betreffende kolom in bijlage 1 met een **1** gewaardeerd.

3.3 Ongerijpte bovengrond

Dit zijn de niet-gerijpte kleigronden die bestaan uit zeer recent door de zee afgezet materiaal. Hieronder vallen de slikvaaggronden en de gorsvaaggronden. Omdat deze gronden een zeer slechte draagkracht hebben worden **deze gronden in kolom "Ongerijpte bovengrond" in bijlage 1 met een 1** gewaardeerd.

3.4 Ongerijpte ondergrond

Hieronder worden gerekend de kleigronden die een niet gerijpte minerale ondergrond hebben die binnen 0,80 m diepte begint. Deze gronden hebben een slechtere sleufstabiliteit en naar verwachting een groter grondtekort welke zal moeten worden opgeheven tijdens het cultuurtechnisch herstellen van de percelen. Tijdens het ontgraven van de sleuf/werkput dient de gerijpte en ongerijpte grond gescheiden van elkaar te worden opgeslagen en bij het dichten weer in afzonderlijke lagen te worden teruggezet. Bodemsoorten met een ongerijpte ondergrond worden in de betreffende kolom in bijlage 1 met een **1** gewaardeerd.

3.5 Veen in ondergrond

Gronden met een (dikkere) laag veen in de ondergrond hebben een slechtere sleufstabiliteit en een groter grondtekort welke zal moeten worden opgeheven tijdens het cultuurtechnisch herstellen van de percelen. Tijdens het ontgraven van de sleuf/werkput dient het te ontgraven veen gescheiden te worden opgeslagen en bij het dichten weer in een afzonderlijke laag te worden teruggezet. Bodemsoorten met een dikkere laag veen in de ondergrond worden in bijlage 1 in **de kolom "Veen in ondergrond" met een 1** gewaardeerd.

3.6 Keileem in de ondergrond

Om te voorkomen dat keileem zich vermengd met teelaarde en omdat keileem niet hoger in het bodemprofiel teruggezet mag worden dan dat deze oorspronkelijk voorkomt moet keileem strikt gescheiden worden ontgraven en opgeslagen. Het aanvullen van de sleuf/werkput dient met zorg te worden uitgevoerd. Bodemsoorten met keileem **in de ondergrond worden in bijlage 1 in de kolom "**Keileem in ondergrond**" met een 1** gewaardeerd.

3.7 Buitendijks

Bij buitendijkse werkzaamheden kan het voorkomen dat het tracé onder water komt te staan bij storm en hogen waterstanden. Omdat dit het hele jaar, ook in de zomerperiode, kan optreden zijn buitendijks gelegen gronden in de betreffende kolom in bijlage 1 met een **1** gewaardeerd.

4. Classificatie en wegingsfactor

4.1 Classificatie

In de laatste kolom **"Classificatie"** van bijlage 1 "Overzicht cultuurtechnische aspecten en classificatie PAWOZ" zijn de hierboven beschreven waarderingen van de relevante cultuurtechnische aspecten opgeteld en met **1** verhoogd. De op deze wijze verkregen classificatie geeft een indicatie van de cultuurtechnische gevoeligheid. Hierbij geldt dat hoe hoger het cijfer is hoe hoger de cultuurtechnische gevoeligheid is.

De overige in de bodemkaart genoemde onderscheidingen zoals: Opgehoogd of opgespoten (↑), terpen/oude bewoningsplaatsen (T), water/moeras en bebouwde kommen zijn niet nader cultuurtechnische beschouwd en hebben in de classificering een **0** gekregen. Het is heel goed mogelijk dat deze tracédelen uit praktische overwegingen (bebouwing of water en moeras) of vanwege de regelgeving (archeologische beperkingen bij terpen/oude bewoningsplaatsen) niet in open ontgraving worden gekruist.

Op basis van bijlage 1 zijn er vijf classificaties te onderscheiden, namelijk als volgt:

- 0: Overige
- 1: Cultuurtechnisch relatief ongevoelig
- 2: Cultuurtechnisch matig gevoelig
- 3: Cultuurtechnisch gevoelig
- 4: Cultuurtechnisch zeer gevoelig
- 5: Cultuurtechnische uiterst gevoelig

4.2 Wegingsfactor

Door ook een cijfer in de vorm van een cultuurtechnische wegingsfactor toe te kennen aan de classificaties, wordt het onderling belang van de verschillende classificaties bepaald. Een hoger cijfer betekent een cultuurtechnisch gevoeligere bodem (oftewel negatiever vanuit cultuurtechnisch oogpunt) ten aanzien van de aanleg van leidingen in open ontgraving.

De cultuurtechnische wegingsfactoren zijn als volgt:

- Cultuurtechnisch relatief ongevoelig: 1,00
- Cultuurtechnisch matig gevoelig: 1,25
- Cultuurtechnisch gevoelig: 1,50
- Cultuurtechnisch zeer gevoelig: 1,75
- Cultuurtechnisch uiterst gevoelig: 2,00

4.3 Overzicht

De bovengenoemde classificaties en cultuurtechnische wegingsfactoren leiden tot het onderstaand overzicht voor de betreffende bodemeenheden voor het aanleggen van leidingen in open ontgraving voor de PAWOZ tracés:

bMn15A, bMn15C, bMn25A, bMn35A, Mn15A, Mn15C, Mn25A, Mn25C, Mn35A, Mn45A, Mn85C, nSn13A, Sn13A, Zn40A	Cultuurtechnisch relatief ongevoelig	1,00
bgMn15C, bgMn25C, gMn15C, gMn25C, gMn53C, gMn83C, gMn85C, gMn88C, kMn63C, Mn35Ax	Cultuurtechnisch matig gevoelig	1,25
gMn83C-III, gMn85C-III, gMn88Cw, kSn13A, kZn10A, Mo10A, Mo80A-II, Mo80Cw, Mv41C, nMo10Av, Zn10A	Cultuurtechnisch gevoelig	1,50
gMn88Cv, Mo20A, Mo80A**,Mo80Cv,	Cultuurtechnisch zeer gevoelig	1,75
MOb12, MOb72, MOb75, MOo02, MOo05	Cultuurtechnisch uiterst gevoelig	2,00

Heerenveen, maart 2024
Antea Group

Bijlage 1 Overzicht cultuurtechnische aspecten en classificatie PAWOZ

Bijlage 1 Overzicht cultuurtechnische aspecten en classificatie PAWOZ

Bijlage 1: Overzicht cultuurtechnische aspecten en classificatie PAWOZ

Projectnummer 489.791.100
betreft Bureaustudie indeling bodemeenheden PAWOZ

Bodemcode	Korte omschijving	Grondwater-trap	Stevigheid bovengrond	Knippig	Ongerijpte bovengrond	Ongerijpte ondergrond binnen 0,80 m	Veen in ondergrond	Keileem in ondergrond	Buitendijks	Classificatie
|c OPHOOG	Opgehoogd of opgespoten									0
|f TERP	Terpen/oude bewoningsplaatsen									0
|g WATER	Water en moeras									0
|h BEBOUW	Bebouwde kommen									0
|h DIJK	Dijken									0
bgMn15C	Knippige poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 5	V/VI		1						2
bgMn25C	Knippige poldervaaggronden; zware zavel, profielverloop 5	V*		1						2
bMn15A	Kalkrijke poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 5	VI								1
bMn15C	Kalkarme poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 5	VI, VII, V/VI								1
bMn25A	Kalkrijke poldervaaggronden; zware zavel, profielverloop 5	VI								1
bMn35A	Kalkrijke poldervaaggronden; lichte klei, profielverloop 5	VI								1
gMn15C	Knippige poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 5	V, V/VI		1						2
gMn25C	Knippige poldervaaggronden; zware zavel, profielverloop 5	V, V/VI		1						2
gMn53C	Knippige poldervaaggronden; zavel, profielverloop 3	V		1						2
gMn83C-III	Knippige poldervaaggronden; klei, profielverloop 3	III	1	1						3
gMn83C	Knippige poldervaaggronden; klei, profielverloop 3	V		1						2
gMn85C-III	Knippige poldervaaggronden; klei, profielverloop 5	III	1	1						3
gMn85C	Knippige poldervaaggronden; klei, profielverloop 5	V		1						2
gMn88C	Knippige poldervaaggronden; klei, profielverloop 4, of 4 en 3	V		1						2
gMn88Cv	Knippige poldervaaggronden; klei, profielverloop 4, of 4 en 3	III	1	1			1			4
gMn88Cw	Knippige poldervaaggronden; klei, profielverloop 4, of 4 en 3	III	1	1						3
kMn63C	Knippoldervaaggronden; zavel en lichte klei, profielverloop 3	V		1						2
kSn13A	Kalkhoudende vlakvaaggronden; zwak en sterk lemig, kleiig, uiterst fijn zand	**	1						1	3
kZn10A	Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand	**	1						1	3
Mn15A	Kalkrijke poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 5	III, IV, VI, VII								1
Mn15C	Kalkarme poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 5	V*, VI, VII, V/VI								1
Mn25A	Kalkrijke poldervaaggronden; zware zavel, profielverloop 5	III, IV, V*, VI, VII								1
Mn25C	Kalkarme poldervaaggronden; zware zavel, profielverloop 5	V, V*, VI, V/VI								1
Mn35A	Kalkrijke poldervaaggronden; lichte klei, profielverloop 5	III, III*, V*, VI, VII, V/VI								1
Mn35Ax	Kalkrijke poldervaaggronden; lichte klei, profielverloop 5	V						1		2
Mn45A	Kalkrijke poldervaaggronden; zware klei, profielverloop 5	V*, VI								1
Mn85C	Kalkarme poldervaaggronden; klei, profielverloop 5	III, V, V/VI								1
Mo10A	Kalkrijke nesvaaggronden; lichte zavel	II	1			1				3
Mo20A	Kalkrijke nesvaaggronden; zware zavel	**	1			1			1	4
Mo80A**	Kalkrijke nesvaaggronden; klei	**	1			1			1	4
Mo80A-II	Kalkrijke nesvaaggronden; klei	II	1			1				3
Mo80Cv	Kalkarme nesvaaggronden; klei	II	1			1	1			4
Mo80Cw	Kalkarme nesvaaggronden; klei	II	1			1				3
MOb12	Gorsvaaggronden; lichte zavel; zand beginnend ondieper dan 80 cm	**	1		1	1			1	5
MOb72	Gorsvaaggronden; zware zavel en klei; zand beginnend ondieper dan 80 cm	**	1		1	1			1	5
MOb75	Gorsvaaggronden; zware zavel en klei; geen zand beginnend ondieper dan 80 cm	**	1		1	1			1	5
MOo02	Slikvaaggronden; zand beginnend ondieper dan 80 cm	**	1		1	1			1	5
MOo05	Slikvaaggronden; geen zand beginnend ondieper dan 80 cm	**	1		1	1			1	5
Mv41C	Kalkarme drechtvaaggronden; zware klei, profielverloop 1	II	1				1			3
nMo10Av	Kalkrijke nesvaaggronden; lichte zavel	I	1			1				3
nSn13A	Kalkhoudende vlakvaaggronden; zwak en sterk lemig, kleiig, uiterst fijn zand	II, IV								1
Sn13A	Kalkhoudende vlakvaaggronden; zwak en sterk lemig, kleiig, uiterst fijn zand	VI, VII								1
Zn10A	Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand	**	1						1	3
Zn40A	Kalkhoudende vlakvaaggronden; zeer fijn zand	IV								1

Een * achter de betreffende grondwatertrap betekent "droger deel"
** Bij deze gronden is geen grondwatertrap onderscheiden omdat ze buitendijks liggen

Over Antea Group

Antea Group is het thuis van 1500 trotse ingenieurs en adviseurs. Samen bouwen wij elke dag aan een veilige, gezonde en toekomstbestendige leefomgeving. Je vindt bij ons de allerbeste vakspecialisten van Nederland, maar ook innovatieve oplossingen op het gebied van data, sensoring en IT. Hiermee dragen wij bij aan de ontwikkeling van infra, woonwijken of waterwerken. Maar ook aan vraagstukken rondom klimaatadaptatie, energietransitie en de vervangingsopgave. Van onderzoek tot ontwerp, van realisatie tot beheer: voor elke opgave brengen wij de juiste kennis aan tafel. Wij denken kritisch mee en altijd vanuit de mindset om samen voor het beste resultaat te gaan. Op deze manier anticiperen wij op de vragen van vandaag en de oplossingen voor morgen. Al 70 jaar.

Contactgegevens

Tolhuisweg 57
8443 DV Heerenveen
Postbus 24
8440 AA Heerenveen

Copyright © 2024
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.

De informatie die in dit rapport is opgenomen is uitsluitend bestemd voor geadresseerde(n) en kan persoonlijke of vertrouwelijke informatie bevatten. Gebruik van deze informatie, door anderen dan de geadresseerde(n) en gebruik door hen die niet gerechtigd zijn van deze informatie kennis te nemen, is niet toegestaan. De informatie is uitsluitend bestemd om te worden gebruikt door de geadresseerde, voor het doel waarvoor dit rapport is vervaardigd. Indien u niet de geadresseerde bent of niet gerechtigd bent tot kennisneming, is openbaarmaking, vermenigvuldiging, verspreiding en/of verstrekking van deze informatie aan derden niet toegestaan, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group en wordt u verzocht de gegevens te verwijderen en direct een melding te maken bij security@antegroup.nl. Derden, zij die niet geadresseerd zijn, kunnen geen rechten aan dit rapport ontlenen, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group.

www.anteagroup.nl

Bijlage 4

Gewaswaarde-indicatie

PAWOZ
Analyse impact agrarische waarden
RE23088-R01-D
10-jun-24

Bron: systematiek schadevergoedingen LTO en Gasunie, aangevuld met expert judgement Gasunie

Verhoudingsgetallen gewastarieven

Gewas					
Aardappelen, bestrijdingsmaatregel AM		0,63			0,63
Aardappelen, consumptie	0,93	0,97			0,97
Aardappelen, poot NAK	0,85	1,00-1,25			1,12
Aardappelen, zetmeel	0,63	0,63			0,63
Agrarisch natuurmengsel					0,00
Bieten, suiker-	0,60	0,68			0,68
Bieten, voeder-			0,50-0,60		0,55
Bladrammenas					0,00
Bloemkool, winter, productie				3,07	3,07
Bloemkool, zomer, productie				2,10	2,10
Bonen, tuin- (droog te oogsten) (geen consumptie)					0,70
Bonen, veld- (onder andere duiven-, paarden-, wierbonen)					0,70
Broccoli, productie				1,82	1,82
Engels raaigras				0,25	0,25
Erwten (droog te oogsten)				0,27	0,27
Erwten, groene/gele (groen te oogsten)				0,27	0,27
Facelia					0,03
Franse boekweit					
Gele mosterd		0,24			0,24
Gerst, winter-		0,26			0,26
Gerst, zomer-		0,26			0,26
Grasland, blijvend		0,36			0,36
Grasland, natuurlijk. Hoofdfunctie landbouw.		0,36			0,36
Grasland, natuurlijk. Hoofdfunctie natuur.		0,36			0,36
Grasland, tijdelijk		0,36			0,36
Graszaad				0,25	0,25
Haver	0,21			0,12	0,12
Hyacint, bloembollen en - knollen			1,50-2,5		2,00
Italiaans raaigras				0,25	0,25
Knolselderij, productie				1,08	1,08
Luzerne				0,12	0,12
Maïs, snij-	0,40	0,36			0,36
Natuurterreinen (incl. heide)					0,00
Overige akkerbouwgewassen					0,70
Overige granen					0,70
Overige groenbemesters, niet-vlinderbloemige-					0,03
Overige groenbemesters, vlinderbloemige-					0,03
Overige niet genoemde groenten, productie					0,70
Pastinaak, productie					0,70
Pioenroos, overige bloemkwekerijgewassen			1,50-2,50		2,00
Pompoen, productie					0,70
Radijs, zaden en opkweekmateriaal					0,70
Raketblad (aaltjesvanggewas)			-0,15		0,00
Rand, grenzend aan bouwland, hoofdzakelijk bestaand uit blijvend gras		0,36			0,36
Rand, grenzend aan bouwland, hoofdzakelijk bestaand uit een ander gewas dan gras. (EA: beheer)					0,00
Rand, grenzend aan bouwland, hoofdzakelijk bestaand uit een ander gewas dan gras. (EA: onbeheerd)					0,00
Rand, grenzend aan bouwland, hoofdzakelijk bestaand uit tijdelijk gras		0,36			0,36
Rietzwenkgras, anders dan voor industriegras				0,23	0,23
Rietzwenkgras, industriegras				0,23	0,23
Rodekool, productie				2,75	2,75
Sarepta mosterd/Caliente		0,24			0,24
Sjalotten		0,85			0,85
Sloot, grenzend aan beheerde akkerrand					0,00
Spelt			0,20-0,30		0,25
Spinazie, productie				0,55-0,90	0,75
Spinazie, zaden en opkweekmateriaal			1,00-2,00		1,50
Spitskool, productie				1,50-2,10	1,80
Spruitkool/spruitjes, productie				1,30-1,60	1,45
Stamsperziebonen (=stamslabonen), productie				0,35	0,35
Tarwe, winter-		0,30			0,30
Tarwe, zomer-		0,30			0,30
Tijdelijk onbeteelde grond, anders dan voor publieke werken					0,00
Tijdelijk onbeteelde grond, i.v.m. publieke werken					0,00
Triticale				0,12	0,12
Tulp, bloembollen en -knollen			1,50-2,50		2,00
Uien poot en plant eerstejaars				0,89	0,89
Uien, gele zaai-		0,85			0,85
Uien, rode zaai-		0,85			0,85
Uien, zaai-		0,85			0,85
Vlas, olie-. Lijnzaad niet van vezelvlas				0,44	0,44
Vlas, vezel-				0,44	0,44
Winterpeen, productie				1,07	1,07
Witte kool, productie				1,50-2,10	1,80
Zwarte mosterd					0,00

Bijlage 5

Rapportage modelberekening bodemopwarming

Rapportage

Thermische beïnvloeding kabel- & leidingcorridors

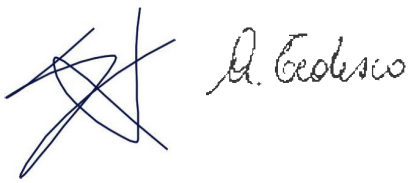
Inventarisatie kritische raakvlakken met de agrarische sector

Opdrachtgever:	Royal HaskoningDHV
Project:	PAWOZ
Kenmerk:	RE22146-R02
Revisie:	A
Auteur(s):	Sterre Kuipers | Barcelona Engineering
Datum:	9 mei 2024

Rotterdam Engineering B.V.
Vasteland 78
3011 BN Rotterdam
Telefoon: 010-226 4935

E info@rotterdamengineering.nl
I www.rotterdamengineering.nl
IBAN: NL08 INGB 0006 9391 59
Handelsregister nr. 24391533
BTW-identificatie nr. NL819092691.B01

Revisie	Datum	Beschrijving	Opsteller	Gecontroleerd
A	9 mei 2024	Ter controle opdrachtgever	ir. S. Kuipers/ ing. M. de Vries	Msc. A. Tedesco / ir. J. Sluis



Inhoudsopgave

1.	**Inleiding**	**4**
2.	**Uitgangspunten**	**5**
2.1.	Scope	5
2.2.	Algemene uitgangspunten	6
2.3.	Kabels	6
2.4.	H_2-leidingen	8
2.5.	Grondsoorten en – waterstanden	8
2.6.	Grond- en maaiveldtemperatuur	9
2.7.	Toelaatbare opwarming grond	9
2.8.	Software	10
2.9.	Rekenmodel	10
2.10.	Overzicht scenario's	11
3.	**Bodemtemperatuurberekeningen**	**15**
3.1.	Scenario 1 – Cross section 1	15
3.2.	Scenario 2 – Cross section 3	18
3.3.	Scenario 3 – Cross section 4	20
3.4.	Scenario 4 – Waterstofleiding(en)	23
3.5.	Samenvatting resultaten	24
4.	**Analyse resultaten**	**27**
4.1.	Analyse kabelconfiguraties	27
4.2.	Analyse leidingconfiguraties	28
5.	**Conclusie en aanbevelingen**	**29**

Bijlagen

Bijlage 1 Kabelcorridor configuraties

Bijlage 2 Datasheet 380kV AC-kabel

Bijlage 3 Datasheet 525kV DC-kabel

Bijlage 4 Mailcorrespondentie wijziging kabeltype 220kV AC

Bijlage 5 AC impedantie waarde AC kabels

Bijlage 6 Resultaten Scenario 1

Bijlage 7 Resultaten Scenario 2

Bijlage 8 Resultaten Scenario 3

Bijlage 9 Berekeningssheets warmteafgifte H_2-leidingen

Bijlage 10 Resultaten Scenario 4

1. Inleiding

Het Programma Aansluiting Wind Op Zee Eemshaven (PAWOZ) onderzoekt en prioriteert verschillende routes voor het transporteren van energie van windparken op zee naar aansluitpunten op land. In opdracht van Royal HaskoningDHV voert Rotterdam Engineering voor PAWOZ een agrarisch waardenonderzoek uit. Een van de criteria die in dit kader worden beschouwd is de opwarming van de bodem door energietransportsystemen en de daaruit volgende impact op de lokale gewasontwikkeling. Om de impact inzichtelijk te maken wordt de strookbreedte bepaald waarover de bodem te ver opwarmt door deze systemen. Dit wordt gedaan door het uitvoeren van een thermische analyse.

Het uitgangspunt voor de strookbreedte is dat er een onwenselijke beïnvloeding van de gewasontwikkeling ontstaat wanneer de wortelzone van de gewassen binnen de invloedszone van de kabels warmer is dan buiten deze zone. Hiervoor wordt een bodemtemperatuurstijging van +2 °C aangehouden op -0,4 meter onder maaiveld. Dit uitgangspunt is tot stand gekomen in afstemming met LTO-N. De strookbreedte is afhankelijk van de grondsoort, grondwaterstand en van de warmteafgifte van de in bedrijf zijnde kabels en leidingen in de ondergrond. De invloed van de grondsoort en grondwaterstand op het temperatuurprofiel wordt beschouwd voor drie verschillende kabel corridors en twee bijbehorende vermogensscenario's (4.7 GW en 10.7 GW) evenals voor twee configuraties met waterstofleidingen.

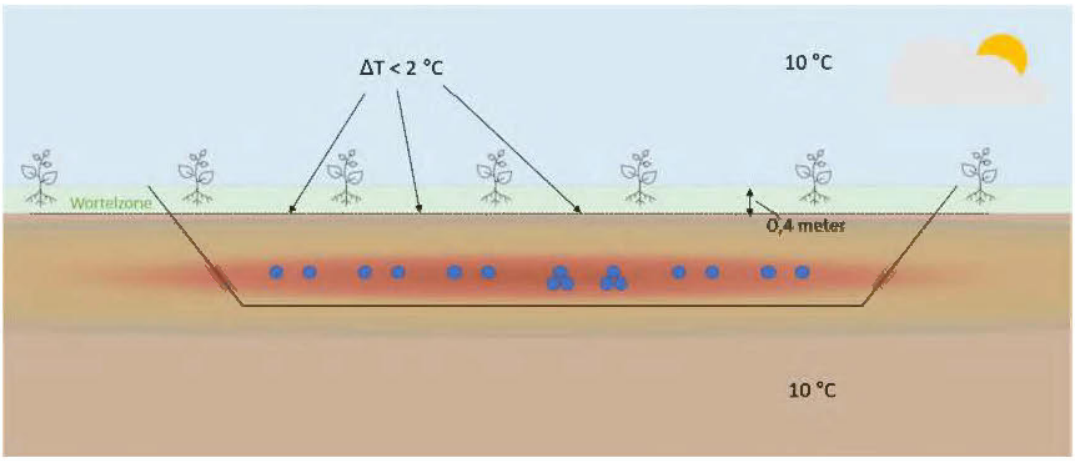
Het onderliggend rapport presenteert het resultaat van deze thermische analyse. Dit resultaat wordt verwerkt in de analyse van het agrarisch waardenonderzoek.

2. Uitgangspunten

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten en randvoorwaarden weergegeven voor het uitvoeren van de thermische analyse. Deze uitgangspunten dienen nauwkeurig geverifieerd te worden. Afwijkingen van de uitgangspunten kunnen leiden tot andere resultaten.

2.1. Scope

De locaties van de mogelijke kabel- en leidingen corridors bevinden zich in Groningen en Friesland. Om na te gaan wat de thermische beïnvloeding op de ondergrond is, zijn er een zestal kabelconfiguraties en twee leidingconfiguraties opgesteld. Het zestal door te rekenen kabelconfiguraties zijn representatief voor drie kabelcorridors bij twee verschillende vermogensscenario's. Elke configuratie betreft een dwarsdoorsnede van de corridor met een samenstelling van kabels of leidingen. Figuur 1 illustreert een configuratie met de gewenste toelaatbaar bodemopwarming.



Figuur 1. Illustratie van een dwarsdoorsnede en de bijbehorende wortelzone.

Om de thermische beïnvloeding te beoordelen wordt er gekeken naar het tweedimensionale temperatuurprofiel in de bodem voor twee verschillende grondsoorten in droge en natte toestand. Vervolgens wordt beschouwd of de bodemopwarming op 0,4 meter onder maaiveld onder de 2 graden blijft. Dit temperatuurprofiel wordt bepaald op basis van de stationaire opwarming van de bodem. Hierbij wordt de situatie beschouwd dat de kabels de langdurig, gemiddelde stroom voeren en de waterstofleidingen een constante mediumtemperatuur. Dynamische scenario's als kortsluitsituaties zijn calamiteit scenario's en vallen buiten de scope van de analyse.

De onverstoorde bodemtemperatuur wordt als constant beschouwd. Een representatief gemiddelde bodem- en maaiveldtemperatuur wordt gehanteerd voor de temperatuurfluctuaties over het jaar heen. Hierbij is rekening gehouden met het poot- en groeiseizoen van gewassen.

2.2. Algemene uitgangspunten

Voor de analyse worden de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden gehanteerd:

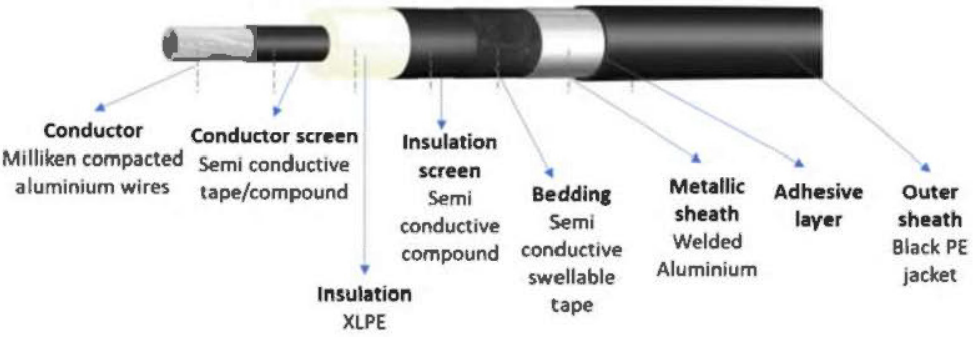
- De zes kabelconfiguraties zoals aangeleverd d.d. 22 december 2023 en weergegeven in Bijlage 1 zullen worden beschouwd. In dit document worden de volgende referenties aangehouden:
  - Cross section 1 – *'PAWOZ-ST-DRS-001-Cross-Section-1.pdf'*;
  - Cross section 3 – *'PAWOZ-ST-DRS-003-Cross-Section-3.pdf'*;
  - Cross section 4 – *'PAWOZ-ST-DRS-003-Cross-Section-4.pdf'*.
- De twee leidingconfiguraties die worden beschouwd zijn als volgt:
  - 1xDN1200 waterstofleiding op 3 meter diepte ten opzichte van bovenkant buis;
  - 3xDN1200 waterstofleiding op 3 meter diepte ten opzichte van bovenkant buis en 7 meter dagmaat.
- De temperatuur op maaiveld en van de onverstoorde bodem is 10°C. Deze temperatuur is gebaseerd op data van het KNMI. Een nadere toelichting is gegeven in Paragraaf 2.4.
- Er worden per configuratie twee grondsoorten beschouwd. Deze grondsoorten worden gerepresenteerd door de bij te grondslag behorende thermische weerstand. Voor nadere toelichting omtrent de grondsoorten en modellering wordt verwezen naar Paragraaf 2.4.
- De bodemgesteldheid is uniform gemodelleerd om het effect van de verschillende grondslagen op de thermische beïnvloeding juist te kunt beschouwen.
- Per configuratie en grondslag wordt het effect beschouwd van ligging onder of boven de grondwaterstand.
- Het uitdrogen van de grond wordt meegenomen in de beschouwing van de resultaten. De temperatuur waarbij uitdroging optreedt is de kritische isotherm. Om risico op uitdroging in de analyse mee te nemen wordt er getoetst aan een kritische manteltemperatuur van 30 en 45°C voor droge en natte grond, respectievelijk. Deze waarden worden verder toegelicht in Paragraaf 2.7.

2.3. Kabels

De uitgangspunten in deze Paragraaf zijn gebaseerd op de inhoud van de mail d.d. 22 december 2023, tenzij anders aangegeven. Voor het modelleren van de kabels worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De bodemopwarming wordt berekend ervan uitgaande dat de kabels de langdurig, gemiddelde stroom voeren.
- De kabelcorridors bestaan uit vier kabeltypen:
  - 220 kV AC kabels met een nominale transportcapaciteit van 350 MW;
  - 380 kV AC kabels met een nominale transportcapaciteit van zowel 350 als 1000 MW;
  - 525 kV DC kabels met een nominale transportcapaciteit van 1000 MW.
- Voor de 220 en 380 kV AC-kabels wordt er uitgegaan van de aangeleverde specificaties zoals weergegeven in Bijlage 2.

- Voor de 525 kV DC-kabels wordt er uitgegaan van de aangeleverde specificaties zoals weergegeven in Bijlage 3.
- De langdurig, gemiddelde stroom van bovenstaande kabels zijn weergegeven in Tabel 1.
- Er wordt uitgegaan van de kabelspecificaties zoals aangeleverd d.d. 22 december 2023. Aanvullend wordt uitgegaan van het volgende:
  - Er wordt uitgegaan van de kabelopbouw en -materialen van de AC kabels zoals weergegeven in Figuur 2. Er wordt aangenomen dat de insulatie XLPE betreft.
  - Conform het mailcontact d.d. 22 december 2023 (zie Bijlage 4) is voor de 220 kV AC kabel de specificatie van de 380 kV landkabel aangenomen met uitzondering van de isolatiedikte. Deze is verkleind van 25.8 cm naar 22.0 cm.
  - In samenspraak met TenneT (zie Bijlage 5) is bepaald dat de aangeleverde nominale AC-kabelimpedantie ordegrootte 10 kleiner dient te zijn. De nominale AC-kabelimpedantie voor zowel de 220 als 380kV kabels wordt 10x kleiner aangenomen dan weergegeven in de specificaties en betreft daarmee 0,0112 Ω/km.
- Er wordt uitgegaan van cross-bonding voor de AC kabels gelegen in plat vlak.



Figuur 2. Kabelopbouw AC kabel EYAKrvlwd.

Tabel 1 – Overzicht kabel specificaties

Kabel connectie	Configuratie	Nominale transportcapaciteit per kabelsysteem	Langdurig gemiddelde stroom
220kV AC	Driehoek ligging	350 MW	554 A (per circuit)
380kV AC	Driehoek ligging	350 MW	321 A (per circuit)
380kV AC	Plat vlak ligging, 50 cm hart-op-hart	1000 MW	844 A (per circuit)
525kV DC	Plat vlak ligging, 2 poles, 1 metallic return 40 cm hart-op-hart	2000 MW	975 A (per pole)

2.4. H_2-leidingen

Voor het modelleren van de leidingen worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De bodemopwarming wordt berekend ervan uitgaande dat de leidingen een mediumtemperatuur hebben van 30°C.
- De leidingen zijn DN1200 en hebben een wanddikte van 15,9 mm staal. Een wanddikte van PP van 3,1 mm wordt aangenomen.
- Er wordt uitgegaan van de volgende warmtegeleidingscoefficiënten:
  - Staal 50 W/mK
  - PP 0,17 W/mK
- De isolatiecoëfficiënt van de grond wordt, conform de EN13941-1, aangenomen op 0,0685 m^2K/W.

2.5. Grondsoorten en – waterstanden

Op basis van de bodemkaart blijkt de grond boven de kabels en leidingen voornamelijk te bestaan uit klei en zavel. Veen en zand komen amper voor. De grondwaterstand kan verschillende hoogten aannemen. Om deze reden zal de thermische analyse worden uitgevoerd voor klei en zavel bij zowel hoge als lage grondwaterstand.

In totaal betreffen dat vier scenario's. Deze scenario's worden beschouwd door het modelleren van de bijbehorende warmtegeleidingscoëfficiënt. De gehanteerde coëfficiënten zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2. Thermische grondweerstanden voor twee grondsoorten in combinatie met grondwaterstanden.

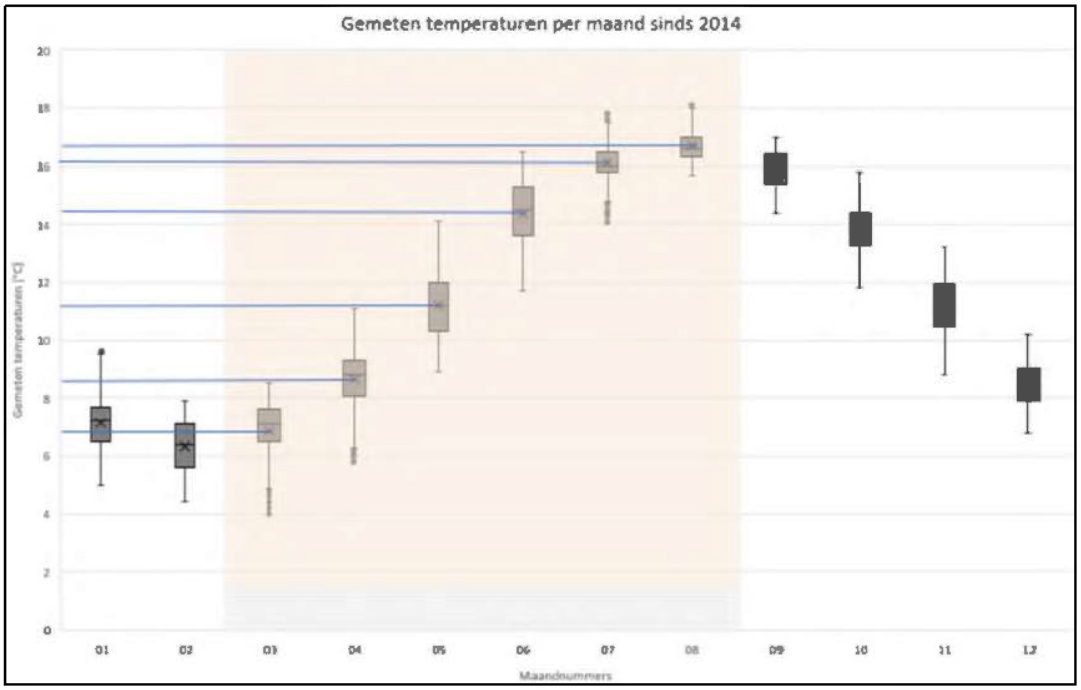
Grondsoort	K-waarde [W/m·K]	
	Onder GWS	Boven GWS
Klei	2,5	1,8
Zavel	2,0	1,5

De thermische weerstanden worden als constant beschouwd. Indien de buitenmanteltemperaturen van de kabels warmer worden dan de kritische isotherm van de grond, bestaat de kans op uitdroging van de grond. Hierdoor kan een schil om de kabel ontstaan waarvan de thermische weerstand hoger is en de kabels nog warmer worden. Er wordt aangenomen dat deze schil enkel ontstaat bij buitenmanteltemperaturen hoger dan 45 °C bij ligging onder grondwaterstand en hoger dan 30 °C boven grondwaterstand. In de analyse van dit rapport wordt beschouwd of er mogelijk sprake is van een dergelijke situatie.

2.6. Grond- en maaiveldtemperatuur

Om de opwarming van de bodem te kunnen berekenen dient een uitgangspunt te worden aangenomen voor de onverstoorde bodemtemperatuur en de temperatuur op maaiveld. Op de locaties van de kabelcorridors zijn geen bodemtemperatuur metingen over het jaar heen beschikbaar. Om een representatief gemiddelde bodem- en maaiveldtemperatuur aan te nemen is data van het KNMI beschouwd te Nieuw Beerta, Groningen. Dit is weergegeven in Figuur 3.

Uit de data blijkt dat in het voorjaar en zomer de temperatuur op 1 meter onder maaiveld oploopt van ca. 9 °C naar ca. 17 °C. Als representatieve omgevingstemperatuur is daarom gekozen voor 10°C, deze bodemtemperatuur wordt in noord Nederland bereikt aan het einde van het voorjaar.



Figuur 3. Bodemtemperaturen op 0,5 meter diepte gemeten in Nieuw Beerta, Groningen sinds 2014.

2.7. Toelaatbare opwarming grond

De toelaatbare opwarming van de ondergrond is +2 °C op -0,4 meter onder maaiveld. Dit uitgangspunt is tot stand gekomen in afstemming met LTO-N.

De berekening houdt geen rekening met het uitdrogen van de ondergrond. In dat geval kunnen de bodemtemperaturen hoger uitvallen dan berekend. De NPR3626 gaat uit van een kritische waarde van 30 °C bij een grondwaterstand 4 meter onder maaiveld en bij een bodemweerstand van 1,33 W/mK. Deze waarde is in de berekening aangehouden voor lage grondwaterstand. De

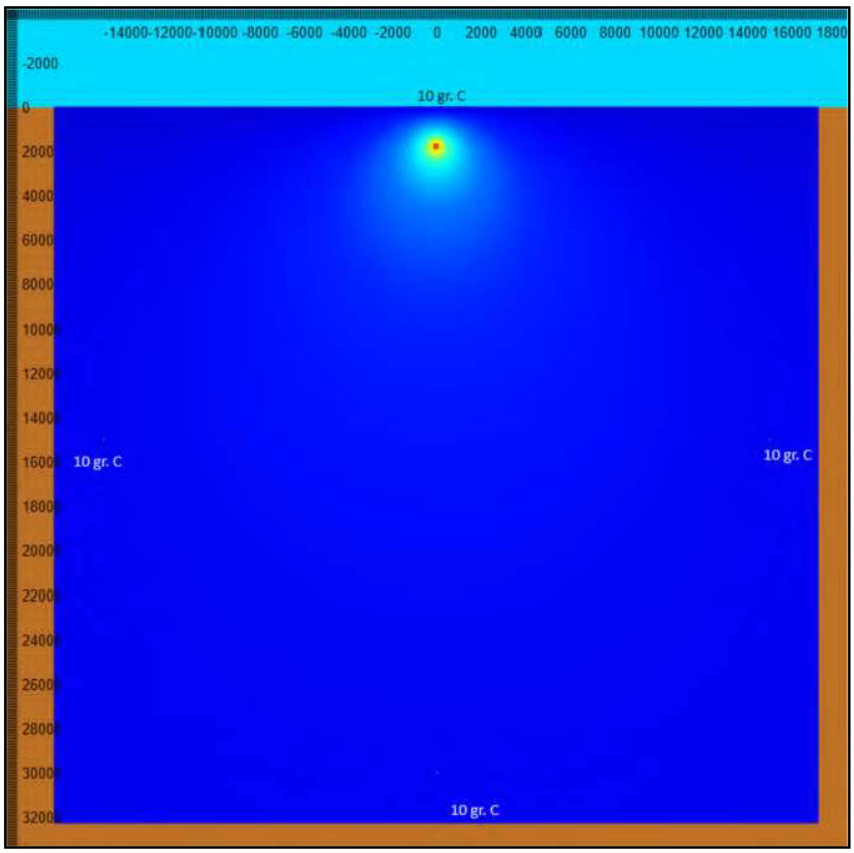
kritische isotherm verschilt per grondslag en waterstand tussen de 25 en 50 °C. Voor de hoge grondwaterstand is daarom voor 45 °C gekozen als toetswaarde.

2.8. Software

De berekening is uitgevoerd in 'Vision Cable Analysis' versie 2.7. De software voert de stationaire berekeningen uit conform de IEC 60287. Dit software pakket maakt het mogelijk om kabels te modelleren en het grondtemperatuurverloop van kabelconfiguratie tweedimensionaal te analyseren.

2.9. Rekenmodel

Het rekenmodel en de bijbehorende randvoorwaarden is illustratief weergegeven in Figuur 4. De randvoorwaarde van het rekenmodel is de bodem- en maaiveldtemperatuur van 10 °C.



Figuur 4 – Schematische weergave van een kabel in Vision Cable Analysis.

2.10. Overzicht scenario's

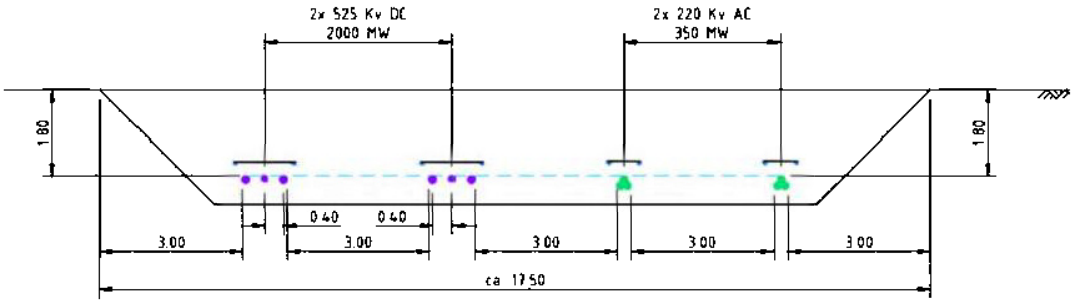
De strookbreedte wordt inzichtelijk gemaakt voor acht configuraties. De zes kabelconfiguraties zijn verdeeld over drie kabelroutes en voor elke route zijn twee vermogensscenario's gemodelleerd, zijnde 4,7 GW en 10,7 GW. Deze paragraaf geeft elke configuratie weer en Tabel 3 geeft een overzicht van de scenario's weer.

Tabel 3. Kabelsamenstellingen scenario's.

Scenario ID.	Cross section nr.	Vermogens-scenario [GW]	AC 220 kV 350 MW	AC 380 kV 350 MW	AC 380 kV 1000 MW	DC 525 kV 1000 MW	H_2 leidingen
1.A	1	4.7	2	-	-	2	-
1.B	1	10.7	2	-	-	5	-
2.A	3	4.7	-	2	-	2	-
2.B	3	10.7	-	2	-	5	-
3.A	4	4.7	-	2	2	2	-
3.B	4	10.7	-	2	5	8	-
4.A	n.v.t.	-	-	-	-	-	1
4.B	n.v.t.	-	-	-	-	-	3

2.10.1. Scenario 1.A – Cross section 1 bij 4,7 GW

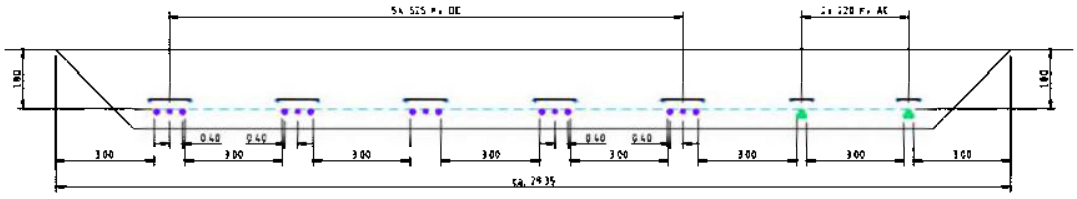
Figuur 5 geeft de configuratie weer voor cross sectie 1 in het 4,7GW vermogensscenario. Aan de linkerkant bevinden zich twee 525 kV DC kabel circuits (paars). Parallel hieraan bevinden zich aan de rechterkant nog twee 220 kV AC trefoil kabelcircuits. De totale kabelstrook gemeten tussen de uiterste kabels is ca. 12 meter breed.



Figuur 5 - Kabelcorridor cross section 1 voor 4,7 GW scenario.

2.10.2. Scenario 1.B – Cross section 1 bij 10,7 GW

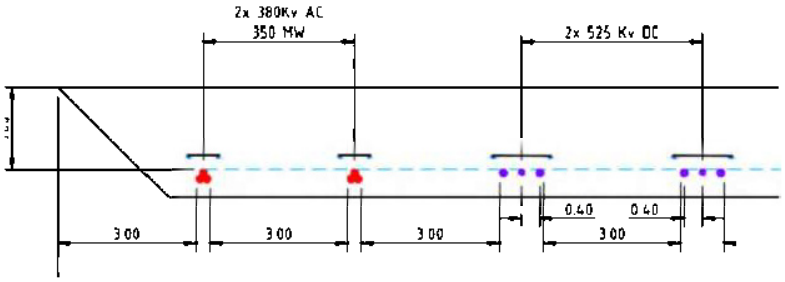
Figuur 6 geeft de configuratie weer voor cross sectie 1 in het 10,7GW vermogensscenario. Aan de linkerkant bevinden zich vijf 525 kV DC kabel circuits (paars). Parallel hieraan bevinden zich aan de rechterkant nog twee 220 kV AC trefoil kabelcircuits. De totale kabelstrook gemeten tussen de uiterste is ca. 23 meter breed.



Figuur 6 - Kabelcorridor cross section 1 voor 10,7 GW scenario.

2.10.3. Scenario 2.A – Cross section 3 bij 4,7 GW

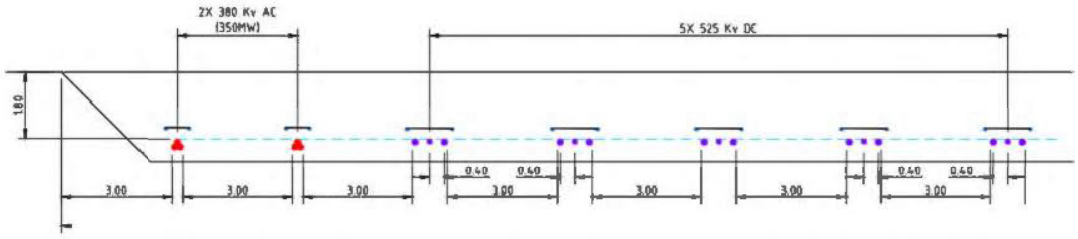
Figuur 7 geeft de configuratie weer voor cross sectie 3 in het 4,7GW vermogensscenario. Aan de linkerkant bevinden zich twee 380 kV AC trefoil kabel circuits (rood). Parallel hieraan bevinden zich aan de rechterkant nog twee 525 kV DC kabelcircuits. De totale kabelstrook is ca. 10 meter breed.



Figuur 7 - Kabelcorridor cross section 3 voor 4,7 GW scenario.

2.10.4. Scenario 2.B – Cross section 3 bij 10,7 GW

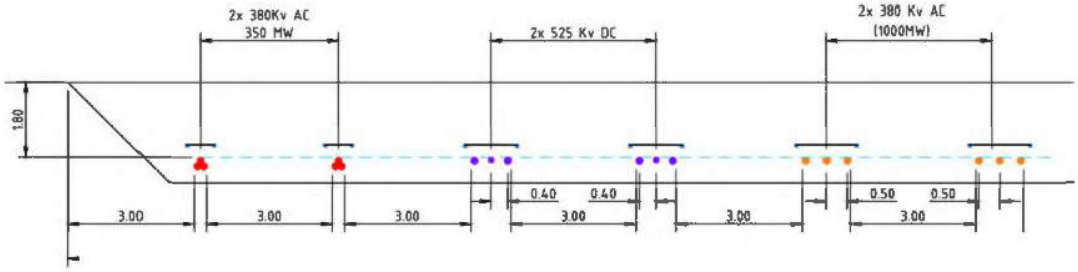
Figuur 8 geeft de configuratie weer voor cross sectie 3 in het 10,7GW vermogensscenario. Aan de linkerkant bevinden zich twee 380 kV AC trefoil kabel circuits (rood). Parallel hieraan bevinden zich aan de rechterkant nog vijf 525 kV DC kabelcircuits. De totale kabelstrook is ca. 25 meter breed.



Figuur 8 - Kabelcorridor cross section 3 voor 10,7 GW scenario.

2.10.5. Scenario 3.A – Cross section 4 bij 4,7 GW

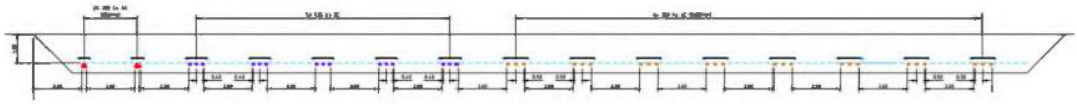
Figuur 9 geeft de configuratie weer voor cross sectie 4 in het 4,7GW vermogensscenario. Aan de linkerkant bevinden zich twee 380 kV AC trefoil kabel circuits (rood). Parallel hieraan bevinden zich aan de rechterkant nog twee 525 kV DC kabelcircuits en parallel daaraan aan de rechterzijde bevinden zich twee 220 kV AC trefoil kabelcircuits. De totale kabelstrook gemeten tussen de uiterste is ca. 19 meter breed.



Figuur 9 – Kabelcorridor cross section 4 voor 4,7 GW scenario.

2.10.6. Scenario 3.B – Cross section 4 bij 10,7 GW

Figuur 10 geeft de configuratie weer voor cross sectie 4 in het 10,7 GW vermogensscenario. Aan de linkerkant bevinden zich twee 380 kV AC trefoil kabel circuits (rood). Parallel hieraan bevinden zich aan de rechterkant vijf 525 kV DC kabelcircuits en parallel daaraan aan de rechterzijde bevinden zich acht 220 kV AC trefoil kabelcircuits. De totale kabelstrook gemeten tussen de uiterste is ca. 55 meter breed.



Figuur 10 – Kabelcorridor Cross section 4 voor 10,7 GW scenario.

2.10.7. Scenario 4.A – Enkele waterstofleiding

In dit scenario bevindt een enkele waterstofleiding zich in de bodem op 3 meter diepte ten opzichte van de bovenkant buis. De buitenmantel van de buis heeft een constante temperatuur van 30 °C.

2.10.8. Scenario 4.B – Drie waterstofleidingen

In dit scenario bevinden drie waterstofleidingen zich in de bodem op 3 meter diepte ten opzichte van de bovenkant buis. De onderlinge dagmaat tussen de leidingen betreft 7 meter. De mediumtemperatuur van de buizen is constant aangenomen op 30 °C.

3. Bodemtemperatuurberekeningen

Dit hoofdstuk geeft het effect van de bodemtemperatuur op de resultaten weer evenals de resultaten van de thermische analyse voor elk scenario. De resultaten van de kabelscenario's zijn opgedeeld per locatie en voor elke locatie zijn de resultaten weergegeven per vermogensscenario. Tot slot zijn de resultaten van de leidingscenario's weergegeven.

Het resultaat per scenario betreft de strookbreedte. De strookbreedte is gedefinieerd als de breedte van de opgewarmde zone, waarbij op een diepte van 0,4 meter onder maaiveld sprake is van opwarming van de bodem van meer dan 2 graden. Het kan voorkomen dat er sprake is van meerdere overschrijdingen binnen één scenario. In dat geval is de strook beschouwd die alle overschrijdingen omvat. Strookbreedtes worden afgerond op 0,5 meter.

Voor elke combinatie van grondsoort en grondwaterstand is de strookbreedte per scenario in een tabel weergegeven. Het temperatuurprofiel in de grond is enkel weergegeven voor het scenario met de grootste strookbreedte. Dit is het scenario waarbij de grond bestaat uit zavel met een lage grondwaterstand. Overige berekende temperatuurprofielen zijn weergegeven in Bijlage 6 tot en met Bijlage 8. Temperaturen zijn afgerond op 0,1 °C.

3.1. Scenario 1 – Cross section 1

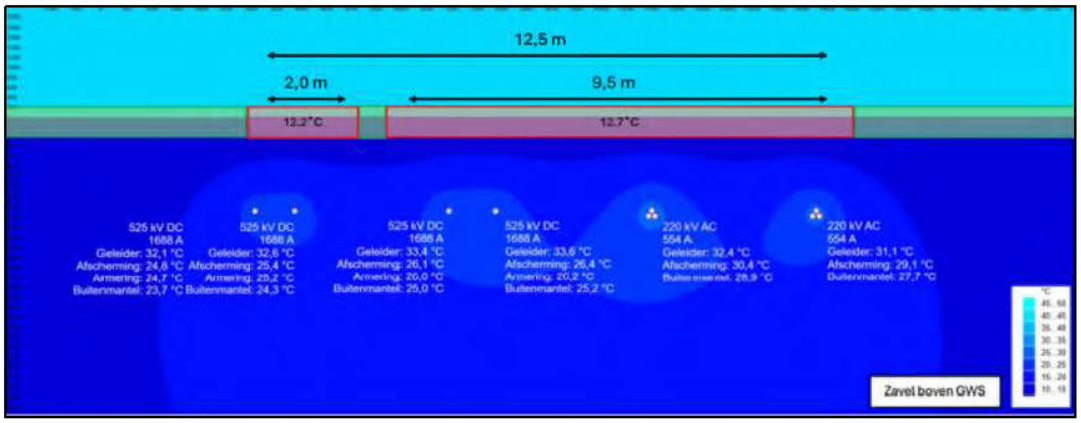
Deze paragraaf geeft de resultaten weer voor de configuraties van Cross section 1.

3.1.1. Scenario 1.A – Cross section 1 bij 4,7 GW

De totale breedte waarover de kabels zich in de configuratie bevinden, gemeten tussen de uiterste kabels, is ca. 10 meter. Dit betreffen de volgende kabels:

- twee 525 kV DC kabel circuits waar elke pole 975A voert (links),
- twee 220 kV AC trefoil kabelcircuits waar elk circuit 554 A voert (rechts).

Figuur 11 geeft het grondtemperatuurverloop weer bij lage grondwaterstand voor de grondsoort zavel. Per circuit/pole is de langdurige, gemiddelde stoom weergegeven. Zoals toegelicht in Paragraaf 2.9 is de weergegeven stroom voor de DC-kabels de stroom voor een driefase kabel en komt dit overeen met de te voeren stroom per pole van 975 A. Van de DC-circuits zijn tevens enkel de stroomvoerende kabels zichtbaar. De groene balk in de figuren geven aan waar een temperatuurstijging van 2°C kan worden uitgesloten. De rode balk geeft aan waar de temperatuurstijging in de wortelzone hoger is dan 2°C. De maximale bodemtemperatuur per overschrijding is weergegeven in de rode balk.



Figuur 11 - Grondtemperatuurontwikkeling kabelcorridor DRS0001 voor 4,7 GW scenario. Het rekenmodel voor de DC kabels is aangepast zodanig dat de juiste stroom door de polen gaat. Hierdoor geeft het figuur een waarde van 1688A neer, wat overeenkomt met de 975A zoals gegeven als uitgangspunt.

Het temperatuurprofiel in de grond is berekend voor de 4 combinaties van grondsoort en –waterstand. De strookbreedtes en maximale temperatuuroverschrijdingen zijn weergegeven in Tabel 4. De temperatuurverdeling in de grond is voor elk scenario weergegeven in Bijlage 6.

Tabel 4. Overschrijdingen cross section 1 in het 4,7 GW vermogensscenario.

Grondsoort	Waterstand	Aantal Overschrijdingen	Strookbreedte [m]	Max. overschrijding [°C]	Risico op Uitdroging
Klei	Hoog	-	-	-	Nee
Klei	Laag	2	6,0	0,2	Ja
Zavel	Hoog	-	-	-	Nee
Zavel	Laag	2	12,5	0,7	Ja

Zoals in de tabel zichtbaar is, is er enkel sprake van overschrijdingen indien de grondwaterstand laag is. Indien de grondslag klei is, is de overschrijding met 0,2 °C beperkt. Bij zavel en een lage grondwaterstand neemt de overschrijding flink toe evenals de strookbreedte.

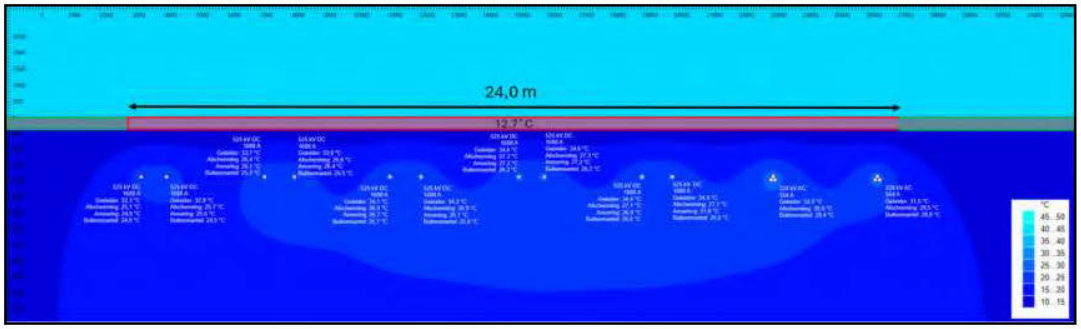
De maximale buitenmanteltemperatuur van de 525 kV DC-kabels bij lage grondwaterstand overschrijdt de toetswaarde van 30 °C. In deze gevallen is er risico op uitdroging van de grond.

3.1.2. Scenario 1.B – Cross section 1 bij 10,7 GW

De totale breedte waarover de kabels zich in de configuratie bevinden, gemeten tussen de uiterste kabels, is ca. 20 meter. Dit betreffen de volgende kabels:

- twee 525 kV DC kabel circuits waar elke pole 975A voert (links),
- vijf 220 kV AC trefoil kabelcircuits waar elk circuit 554 A voert (rechts).

Figuur 12 geeft het grondtemperatuurverloop weer bij lage grondwaterstand voor de grondsoort zavel. Per circuit/pole is de langdurige, gemiddelde stoom weergegeven. Zoals toegelicht in Paragraaf 2.9 is de weergegeven stroom voor de DC-kabels de stroom voor een driefase kabel en komt dit overeen met de te voeren stroom per pole van 975 A. Van de DC-circuits zijn tevens enkel de stroomvoerende kabels zichtbaar. De groene balk in de figuren geven aan waar een temperatuurstijging van 2°C kan worden uitgesloten. De rode balk geeft aan waar de temperatuurstijging in de wortelzone hoger is dan 2°C. De maximale bodemtemperatuur per overschrijding is weergegeven in de rode balk.



Figuur 12 - Grondtemperatuurontwikkeling kabelcorridor DRS0001 voor 10,7 GW scenario. Het rekenmodel voor de DC kabels is aangepast zodanig dat de juiste stroom door de polen gaat. Hierdoor geeft het figuur een waarde van 1688A neer, wat overeenkomt met de 975A zoals gegeven als uitgangspunt.

Het temperatuurprofiel in de grond is berekend voor de 4 combinaties van grondsoort en –waterstand. De strookbreedtes en maximale temperatuuroverschrijdingen zijn weergegeven in Tabel 5. De temperatuurverdeling in de grond is voor elk scenario weergegeven in Bijlage 6.

Tabel 5. Overschrijdingen cross section 1 in het 10,7 GW vermogensscenario.

Grondsoort	Waterstand	Aantal Overschrijdingen	Strookbreedte [m]	Max. overschrijding [°C]	Risico op itdroging
Klei	Hoog	-	-	-	Nee
Klei	Laag	5	17,5	0,3	Ja
Zavel	Hoog	-	-	-	Nee
Zavel	Laag	1	24,0	0,7	Ja

Zoals in de tabel zichtbaar is, is er enkel sprake van overschrijdingen indien de grondwaterstand laag is. Indien de grondslag klei is, is de overschrijding met 0,3 °C beperkt. Bij zavel en een lage grondwaterstand neemt de overschrijding flink toe evenals de strookbreedte.

De maximale buitenmanteltemperatuur van alle kabels bij lage grondwaterstand en zavel overschrijdt de toetswaarde van 30 °C. Voor klei bij lage grondwaterstand overschrijden enkel de DC-kabels deze waarde. In deze gevallen is er risico op uitdroging van de grond.

3.2. Scenario 2 – Cross section 3

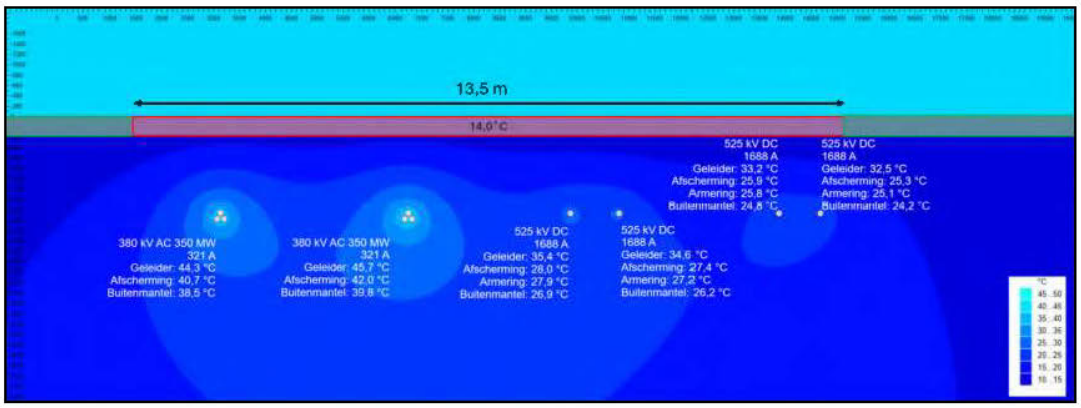
Deze paragraaf geeft de resultaten weer voor de configuraties van Cross section 3.

3.2.1. Scenario 2.A – Cross section 3 bij 4,7 GW

De totale breedte waarover de kabels zich in de configuratie bevinden, gemeten tussen de uiterste kabels, is ca. 10 meter. Dit betreffen de volgende kabels:

- twee 380 kV AC kabelcircuits waar elk circuit 321 A voert (links),
- twee 525 kV DC kabelcircuits in plat vlak waar elke pole 975A voert (rechts).

Figuur 13 geeft het grondtemperatuurverloop weer bij lage grondwaterstand voor de grondsoort zavel. Per circuit/pole is de langdurige, gemiddelde stoom weergegeven. Zoals toegelicht in Paragraaf 2.9 is de weergegeven stroom voor de DC-kabels de stroom voor een driefase kabel en komt dit overeen met de te voeren stroom per pole van 975 A. Van de DC-circuits zijn tevens enkel de stroomvoerende kabels zichtbaar. De groene balk in de figuren geven aan waar een temperatuurstijging van 2°C kan worden uitgesloten. De rode balk geeft aan waar de temperatuurstijging in de wortelzone hoger is dan 2°C. De maximale bodemtemperatuur per overschrijding is weergegeven in de rode balk.



Figuur 13 - Grondtemperatuurontwikkeling kabelcorridor DRS0003 voor 4,7 GW scenario. Het rekenmodel voor de DC kabels is aangepast zodanig dat de juiste stroom door de polen gaat. Hierdoor geeft het figuur een waarde van 1688A neer, wat overeenkomt met de 975A zoals gegeven als uitgangspunt.

Het temperatuurprofiel in de grond is berekend voor de 4 combinaties van grondsoort en –waterstand. De strookbreedtes en maximale temperatuuroverschrijdingen zijn weergegeven in Tabel 4. De temperatuurverdeling in de grond is voor elk scenario weergegeven in Bijlage 6.

Tabel 6. Overschrijdingen cross section 3 in het 4,7 GW vermogensscenario.

Grondsoort	Waterstand	Aantal Overschrijdingen	Strookbreedte [m]	Max. overschrijding [°C]	Risico op itdroging

Klei	Hoog	2	5,5	0,2	**Nee**
Klei	Laag	1	10,0	1,3	**Ja**
Zavel	Hoog	1	9,0	1,0	**Nee**
Zavel	Laag	1	13,5	2,0	**Ja**

Zoals in de tabel zichtbaar is, is er enkel sprake van overschrijdingen indien de grondwaterstand laag is. Indien de grondslag klei is, is de overschrijding met 0,2 °C beperkt. Bij zavel en een lage grondwaterstand neemt de overschrijding flink toe evenals de strookbreedte.

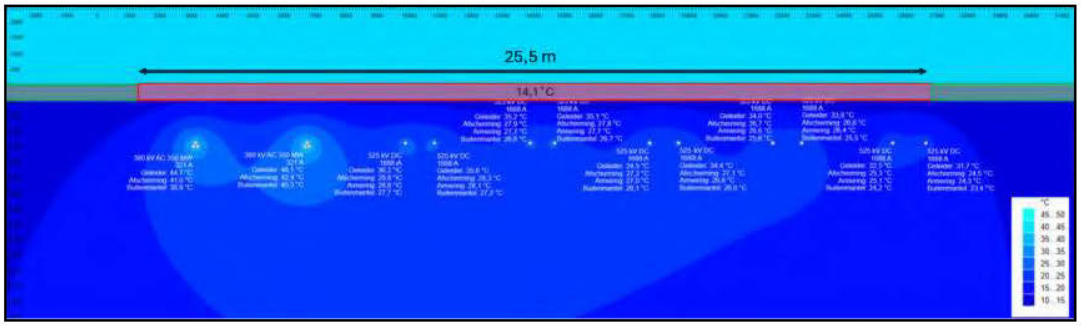
De maximale buitenmanteltemperatuur van alle kabels bij lage grondwaterstand en zavel overschrijdt de toetswaarde van 30 °C. In het geval van klei en lage grondwaterstand overschrijden alle kabels behalve een enkel circuit deze waarde. In deze gevallen is er risico op uitdroging van de grond.

3.2.2. Scenario 2.B – Cross section 3 bij 10,7 GW

De totale breedte waarover de kabels zich in de configuratie bevinden, gemeten tussen de uiterste kabels, is ca. 25 meter. Dit betreffen de volgende kabels:

- twee 380 kV AC kabelcircuits waar elk circuit 321 A voert (links),
- vijf 525 kV DC kabelcircuits in plat vlak waar elke pole 975A voert (rechts).

Figuur 14 geeft het grondtemperatuurverloop weer bij lage grondwaterstand voor de grondsoort zavel. Per circuit/pole is de langdurige, gemiddelde stoom weergegeven. Zoals toegelicht in Paragraaf 2.9 is de weergegeven stroom voor de DC-kabels de stroom voor een driefase kabel en komt dit overeen met de te voeren stroom per pole van 975 A. Van de DC-circuits zijn tevens enkel de stroomvoerende kabels zichtbaar. De groene balk in de figuren geven aan waar een temperatuurstijging van 2°C kan worden uitgesloten. De rode balk geeft aan waar de temperatuurstijging in de wortelzone hoger is dan 2°C. De maximale bodemtemperatuur per overschrijding is weergegeven in de rode balk.



Figuur 14 - Grondtemperatuurontwikkeling kabelcorridor DRS0003 voor 10,7 GW scenario. Het rekenmodel voor de DC kabels is aangepast zodanig dat de juiste stroom door de polen gaat. Hierdoor geeft het figuur een waarde van 1688A neer, wat overeenkomt met de 975A zoals gegeven als uitgangspunt.

Het temperatuurprofiel in de grond is berekend voor de 4 combinaties van grondsoort en –waterstand. De strookbreedtes en maximale temperatuuroverschrijdingen zijn weergegeven in Tabel 4. De temperatuurverdeling in de grond is voor elk scenario weergegeven in Bijlage 6.

Tabel 7. Overschrijdingen cross section 3 in het 10,7 GW vermogensscenario.

Grondsoort	Waterstand	Aantal Overschrijdingen	Strookbreedte [m]	Max. overschrijding [°C]	Risico op itdroging
Klei	Hoog	1	5,5	0,4	Nee
Klei	Laag	2	21,5	1,4	Ja
Zavel	Hoog	2	12,5	1,0	Nee
Zavel	Laag	1	25,5	2,1	Ja

Zoals in de tabel zichtbaar is, is er sprake van overschrijdingen in elk scenario en zijn de overschrijdingen in alle gevallen meer dan 20% van de toelaatbare stijging. De overschrijdingen bevinden zich in elk scenario ten minste boven de 380kV AC-kabels.

De maximale buitenmanteltemperatuur van alle kabels bij lage grondwaterstand en zowel klei als zavel overschrijdt de toetswaarde van 30 °C. In deze gevallen is er risico op uitdroging van de grond.

3.3. Scenario 3 – Cross section 4

Deze paragraaf geeft de resultaten weer voor de configuraties van Cross section 4.

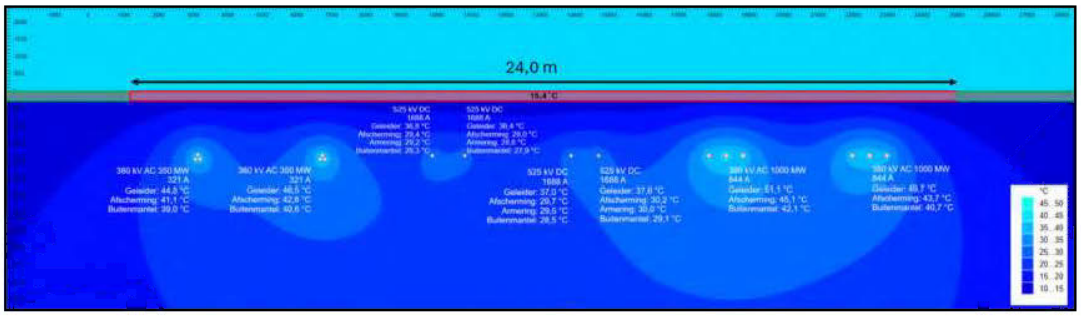
3.3.1. Scenario 3.A – Cross section 4 bij 4,7 GW

De totale breedte waarover de kabels zich in de configuratie bevinden, gemeten tussen de uiterste kabels, is ca. 20 meter. Dit betreffen de volgende kabels:

- twee 380 kV AC kabelcircuits waar elk circuit 321 A voert (links),
- twee 525 kV DC kabelcircuits in plat vlak waar elke pole 975A voert (midden),
- twee 380 kV AC kabelcircuits in plat vlak waar elk circuit 844 A voert (rechts).

Figuur 13 geeft het grondtemperatuurverloop weer bij lage grondwaterstand voor de grondsoort zavel. Per circuit/pole is de langdurige, gemiddelde stoom weergegeven. Zoals toegelicht in Paragraaf 2.9 is de weergegeven stroom voor de DC-kabels de stroom voor een driefase kabel en komt dit overeen met de te voeren stroom per pole van 975 A. Van de DC-circuits zijn tevens enkel de stroomvoerende kabels zichtbaar. De groene balk in de figuren geven aan waar een temperatuurstijging van 2°C kan worden uitgesloten. De rode balk geeft aan waar de

temperatuurstijging in de wortelzone hoger is dan 2°C. De maximale bodemtemperatuur per overschrijding is weergegeven in de rode balk.



Figuur 15 - Grondtemperatuurontwikkeling kabelcorridor DRS0004 voor 4,7 GW scenario. Het rekenmodel voor de DC kabels is aangepast zodanig dat de juiste stroom door de polen gaat. Hierdoor geeft het figuur een waarde van 1688A neer, wat overeenkomt met de 975A zoals gegeven als uitgangspunt.

Het temperatuurprofiel in de grond is berekend voor de 4 combinaties van grondsoort en –waterstand. De strookbreedtes en maximale temperatuuroverschrijdingen zijn weergegeven in Tabel 4. De temperatuurverdeling in de grond is voor elk scenario weergegeven in Bijlage 6.

Tabel 8. Overschrijdingen cross section 4 in het 4,7 GW vermogensscenario.

Grondsoort	Waterstand	Aantal Overschrijdingen	Strookbreedte [m]	Max. overschrijding [°C]	Risico op uitdroging
Klei	Hoog	2	21,5	1,3	Nee
Klei	Laag	1	23,0	2,5	Ja
Zavel	Hoog	2	23,0	2,0	Nee
Zavel	Laag	1	24,0	3,4	Ja

Zoals in de tabel zichtbaar is, is er enkel sprake van overschrijdingen indien de grondwaterstand laag is. Indien de grondslag klei is, is de overschrijding met 0,2 °C beperkt. Bij zavel en een lage grondwaterstand neemt de overschrijding flink toe evenals de strookbreedte.

De maximale buitenmanteltemperatuur van alle kabels bij lage grondwaterstand en zowel klei als zavel overschrijdt de toetswaarde van 30 °C. In deze gevallen is er risico op uitdroging van de grond.

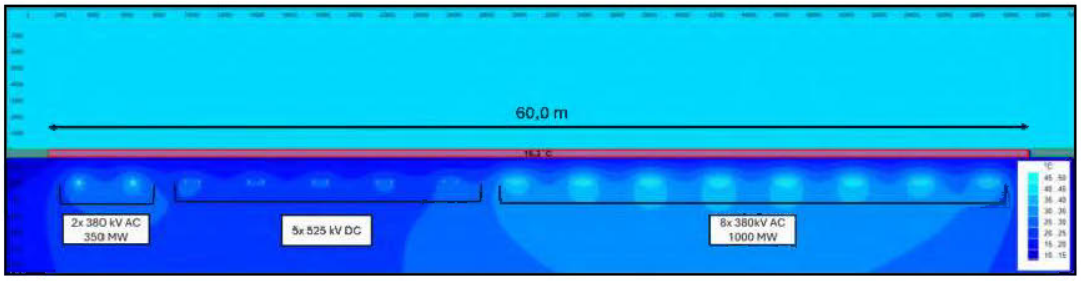
3.3.2. Scenario 3.B – Cross section 4 bij 10,7 GW

De totale breedte waarover de kabels zich in de configuratie bevinden, gemeten tussen de uiterste kabels, is ca. 55 meter. Dit betreffen de volgende kabels:

- twee 380 kV AC kabelcircuits waar elk circuit 321 A voert (links),
- vijf 525 kV DC kabelcircuits in plat vlak waar elke pole 975A voert (midden),

- acht 380 kV AC kabelcircuits in plat vlak waar elk circuit 844 A voert (rechts).

Figuur 13 geeft het grondtemperatuurverloop weer bij lage grondwaterstand voor de grondsoort zavel. Per circuit/pole is de langdurige, gemiddelde stoom weergegeven. Zoals toegelicht in Paragraaf 2.9 is de weergegeven stroom voor de DC-kabels de stroom voor een driefase kabel en komt dit overeen met de te voeren stroom per pole van 975 A. Van de DC-circuits zijn tevens enkel de stroomvoerende kabels zichtbaar. De groene balk in de figuren geven aan waar een temperatuurstijging van 2°C kan worden uitgesloten. De rode balk geeft aan waar de temperatuurstijging in de wortelzone hoger is dan 2°C. De maximale bodemtemperatuur per overschrijding is weergegeven in de rode balk.



Figuur 16 – Grondtemperatuurontwikkeling kabelcorridor DRS0004 voor 10,7 GW scenario. Het rekenmodel voor de DC kabels is aangepast zodanig dat de juiste stroom door de polen gaat. Hierdoor geeft het figuur een waarde van 1688A neer, wat overeenkomt met de 975A zoals gegeven als uitgangspunt.

Het temperatuurprofiel in de grond is berekend voor de 4 combinaties van grondsoort en –waterstand. De strookbreedtes en maximale temperatuuroverschrijdingen zijn weergegeven in Tabel 4. De temperatuurverdeling in de grond is voor elk scenario weergegeven in Bijlage 6.

Tabel 9. Overschrijdingen cross section 4 in het 10.7 GW vermogensscenario.

Grondsoort	Waterstand	Aantal Overschrijdingen	Strookbreedte [m]	Max. overschrijding [°C]	Risico op uitdroging
Klei	Hoog	2	59,0	1,6	Nee
Klei	Laag	1	59,5	3,1	Ja
Zavel	Hoog	4	59,0	2,6	Nee
Zavel	Laag	1	60,0	4,2	Ja

Zoals in de tabel zichtbaar is, is er enkel sprake van overschrijdingen indien de grondwaterstand laag is. Indien de grondslag klei is, is de overschrijding met 0,2 °C beperkt. Bij zavel en een lage grondwaterstand neemt de overschrijding flink toe evenals de strookbreedte.

De maximale buitenmanteltemperatuur van alle kabels bij lage grondwaterstand en zowel klei als zavel overschrijdt de toetswaarde van 30 °C. In deze gevallen is er risico op uitdroging van de grond.

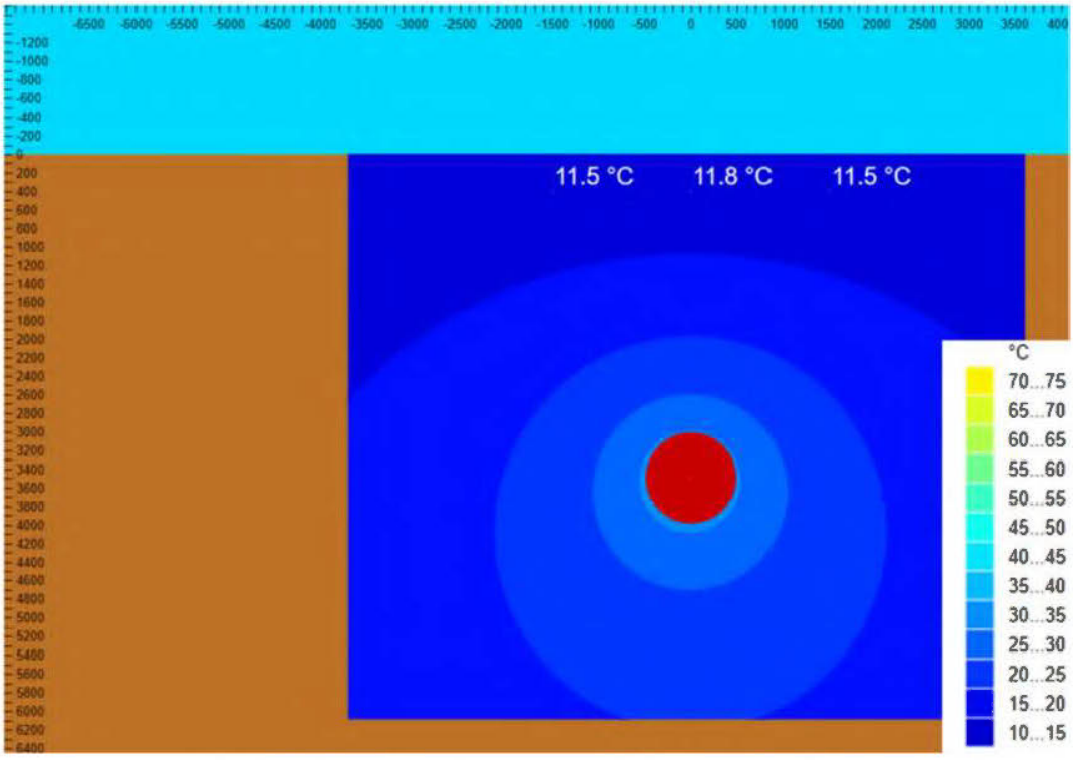
3.4. Scenario 4 – Waterstofleiding(en)

Deze paragraaf geeft de resultaten weer voor de scenario's met de waterstofleidingen. Per scenario is de warmteafgifte van de leiding in de grond bepaald voor de vier combinaties van grondsoorten en waterstanden. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Bijlage 9.

De software Vision Cable Analysis is beperkt tot het modelleren van warmtebronnen met een maximale warmteafgifte van 100 W/m. Voor de scenario's waarbij een hogere warmteafgifte is berekend, is er een correctiefactor toegepast op de berekende temperatuurverhoging ter grootte van het ratio van de berekende warmteafgifte over 100. Dit verklaard eventueel afwijkingen tussen de in de figuren weergegeven temperaturen en de temperaturen in de tekst.

3.4.1. Scenario 4.A – Enkele waterstofleiding

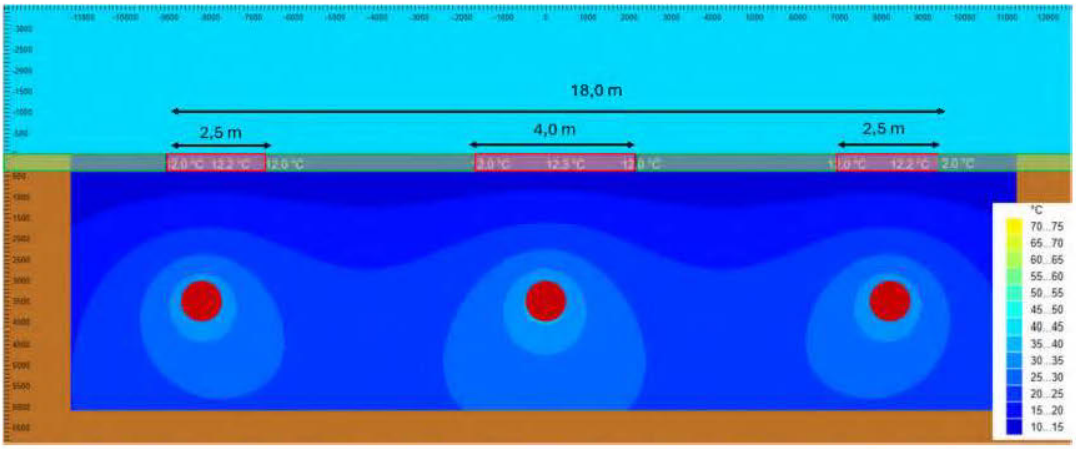
Figuur 17 geeft de bodemtemperatuur weer voor één DN1200 waterstofleiding op 3 meter diepte met een buitenmanteltemperatuur van 30 °C. De maximale temperatuur onderin de wortelzone betreft 11,8 °C en daarmee blijft de bodemtemperatuur binnen toelaatbare waarden. Voor de andere combinaties van grondsoorten en waterstanden zijn de berekende temperaturen nagenoeg gelijk.



Figuur 17. Bodemtemperatuurprofiel voor één DN1200 waterstofleiding.

3.4.2. Scenario 4.B – Drie waterstofleidingen

Figuur 18 geeft de bodemtemperatuur weer voor drie DN1200 waterstofleiding op 3 meter diepte en 7 meter dagmaat. De maximale temperatuur onderin de wortelzone betreft 12,3 °C en de totale strookbreedte 18 meter. Binnen die 18 meter zijn drie overschrijdingen berekend. Voor de andere combinaties van grondsoorten en waterstanden zijn de berekende temperaturen nagenoeg gelijk.

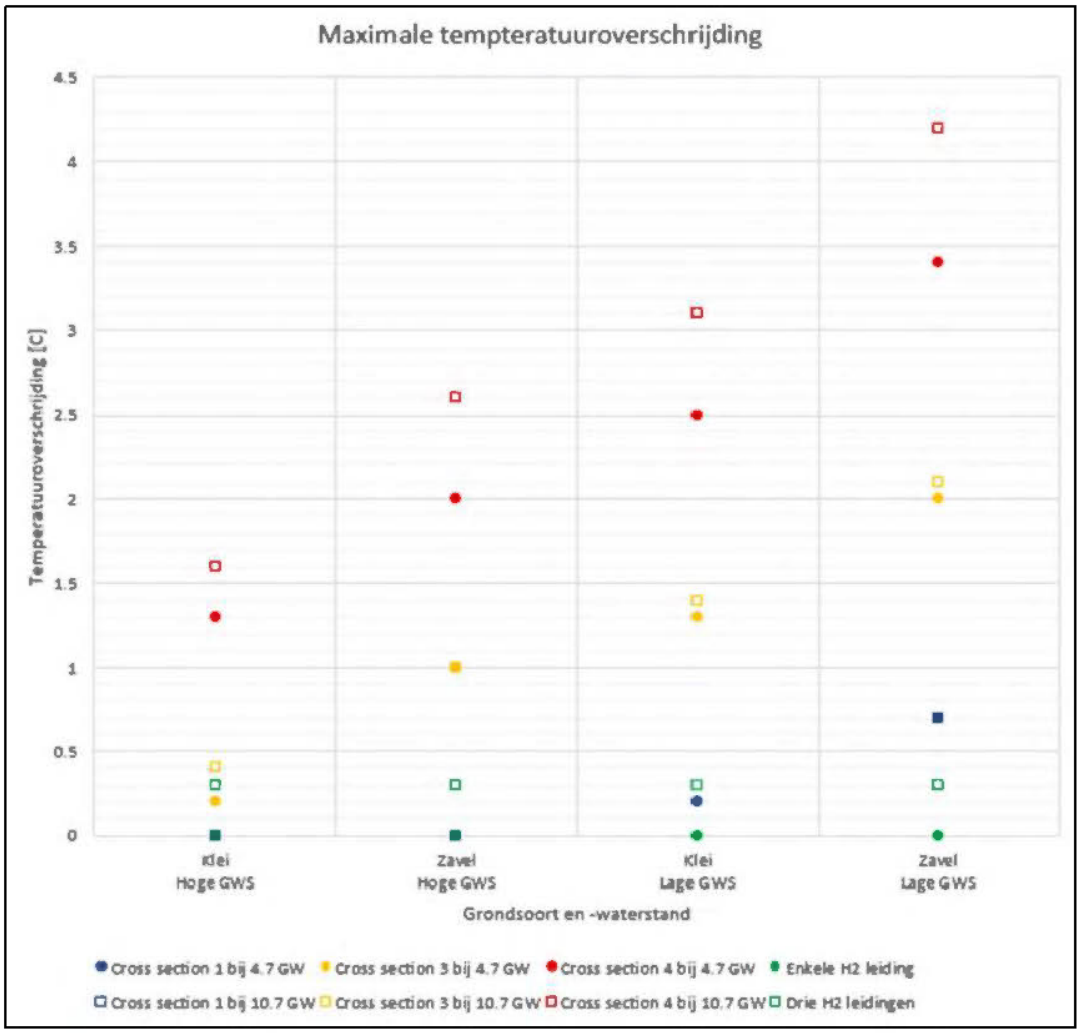


Figuur 18. Bodemtemperatuurprofiel voor een DN1200 waterstofleiding.

De bodemopwarming door de waterstofleidingen is nauwelijks afhankelijk van grondsoort en -waterstand. Zodra de thermische weerstand van de bodem hoger wordt, leidt dit tot een lagere warmteafgifte van leidingen en koelt het medium over leidinglengte trager af.

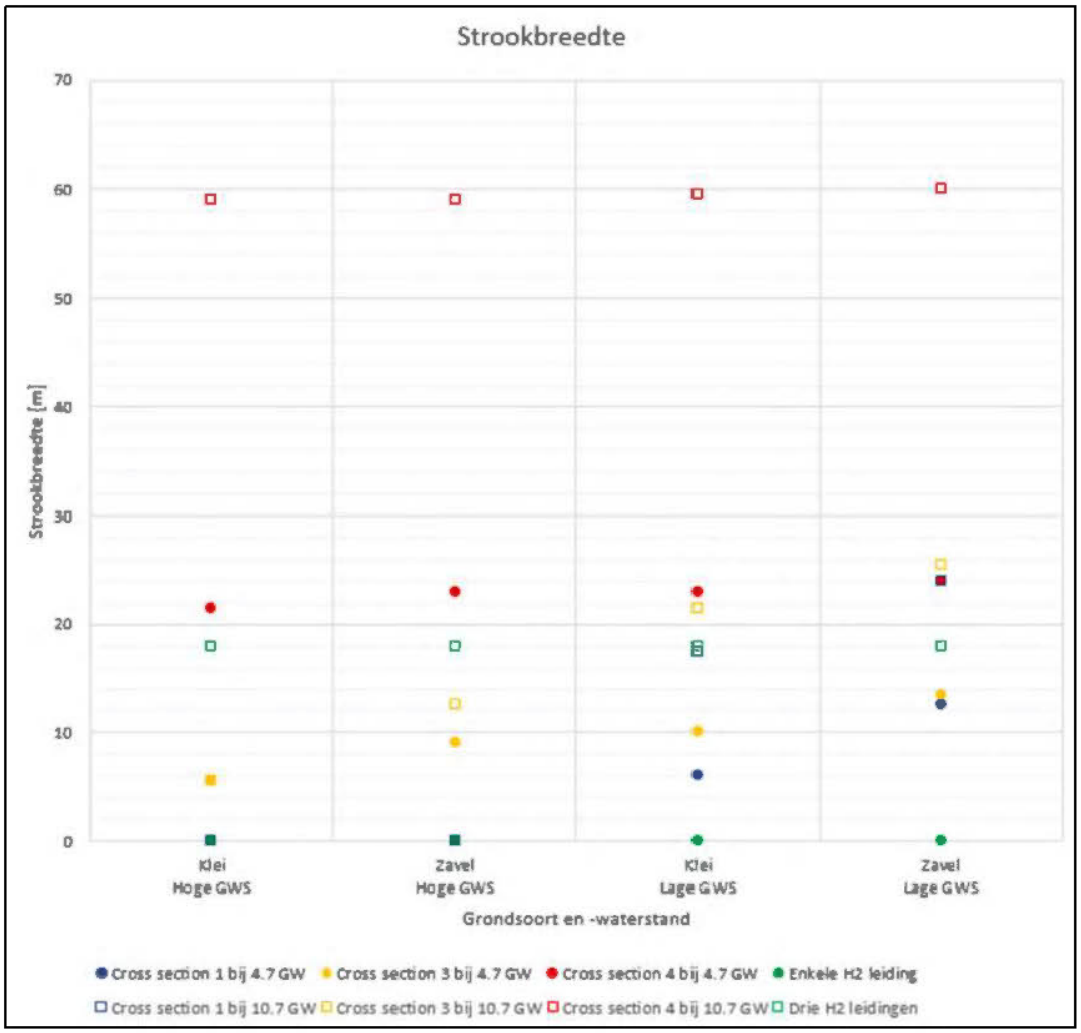
3.5. Samenvatting resultaten

De resultaten van alle scenario's in combinatie met alle grondslagen en – waterstanden zijn in een tabel samengevat in Figuur 19. Deze resultaten zijn visueel weergegeven in Figuur 19 en Figuur 20. De combinaties van grondslag en -waterstand zijn van links naar rechts weergegeven waarbij de combinatie links de kleinste thermische weerstand heeft en rechts de grootste.



Figuur 19. Maximale temperatuuroverschrijdingen t.o.v. grondslagen en - waterstanden voor de verschillende configuraties.

De temperatuurstijging is het ongevoelig voor de grondslag en -waterstand bij het scenario met de waterstofleiding. De temperatuurstijging is, voor de kabelconfiguraties, het minst gevoelig voor de grondslag en -waterstand bij scenario 1 en het meest bij scenario 3. De gevoeligheid loopt ook op met het vermogensscenario, de kabelconfiguraties maken echter meer uit ten opzichte van de temperatuuroverschrijdingen.



Figuur 20. Maximale strookbreedtes t.o.v. grondslagen en - waterstanden voor de verschillende configuraties.

De strookbreedte varieert nauwelijks met de grondslag en – waterstand. Dit komt doordat de strookbreedte gedefinieerd is als afstand tussen de meest uiterste overschrijdingen. Deze afstand is doorgaans afhankelijk van de breedte waarover de kabels gelegen zijn.

4. Analyse resultaten

Dit hoofdstuk geeft de beschouwing weer van de resultaten zoals gepresenteerd in Hoofdstuk 3. De analyse kan worden opgedeelde in twee delen, zijnde de analyse van de kabelconfiguraties en van de leidingconfiguraties.

4.1. Analyse kabelconfiguraties

Op basis van de resultaten is zichtbaar dat de bodemtemperatuurstijging het meest significant is voor de grondslagen en waterstanden waarbij de bodemweerstand het hoogst is. In deze situatie kunnen de kabels hun warmte moeilijker kwijt, wat leidt tot een hogere geleidingsweerstand in de kabels. Hierdoor ontwikkelt de kabel meer warmte en stijgt de geleiderstemperatuur met als gevolg dat de bodem meer opwarmt.

Voor de kabelconfiguraties kunnen de volgende observaties worden gedaan:

- Voor de configuraties van cross section 3 en 4 (scenario 1 en 2) is in beide vermogensscenario's sprake van een te hoge temperatuur in de wortelzone voor alle grondslagen.
- Bij cross section 1 is er enkel sprake van een te hoge temperatuur indien de grondwaterstand laag is.
- In alle gevallen dat het een droog scenario betreft, wordt de toetswaarde op uitdroging overschreden. Voor deze situaties is er mogelijk een risico op uitdroging van de grond.

Er wordt aangenomen dat in situaties waarbij er risico is op uitdroging, backfill wordt toegepast. Ervan uitgaande dat de backfill een thermische weerstand van ca. 0,5 mK/W heeft, zullen de temperaturen ongeveer dezelfde ordegrootte hebben als berekend bij zavel onder grondwaterstand. Op basis van deze vergelijking kan gesteld worden dat er in het ergste geval:

- Voor cross section 1 geen sprake zal zijn van een overschrijding bij beide vermogensscenarios's
- Voor cross section 3 bij 4,7 GW maximaal over ca. 9 meter een overschrijding is met als hoogste overschrijding ca. 1,0 °C.
- Voor cross section 3 bij 10,7 GW maximaal over ca. 13 meter een overschrijding is met als hoogste overschrijding ca. 1,0 °C.
- Voor cross section 4 bij 4,7 GW maximaal over ca. 23 meter een overschrijding is met als hoogste overschrijding ca. 2,0 °C.
- Voor cross section 4 bij 4,7 GW maximaal over ca. 59 meter een overschrijding is met als hoogste overschrijding ca. 2,6 °C.

4.2. Analyse leidingconfiguraties

Voor de waterstofleidingen leidt een enkele leiding niet tot een overschrijding. Drie leidingen parallel leidt tot een overschrijding van ca. 0,3 °C waarbij de strookbreedte door de grote dagmaat van 7 meter onderling ca. 18 meter wordt. De grondsoort en -waterstand heeft bij leidingen nauwelijsk invloed op de berekende grondopwarming. Dit is te verklaren doordat de mediumtemperatuur constant is in tegenstellig tot de kabels waarbij warmte wordt opgewekt door verliezen in de kabel en de temperatuur verder oploopt als de kabel zijn warmte niet kwijt kan.

5. Conclusie en aanbevelingen

Rotterdam Engineering heeft in opdracht van Royal Haskoning DHV voor het project PAWOZ een thermische studie uitgevoerd om voor een selectie kabel- en leidingconfiguraties de opwarming van de bodem in kaart te brengen. Het doel van deze studie is om de impact na te gaan op de gewasontwikkeling. Deze impact is beschouwd door de bodemopwarming te toetsen aan een maximaal toelaatbare temperatuurstijging van +2 °C in de wortelzone. De wortelzone bevindt zich tussen het maaiveld en 0,4 meter onder maaiveld. Op basis van deze studie kan het volgende geconcludeerd worden:

- De bodemtemperatuur stijgt het sterkst in de situaties dat de bodemweerstand het hoogst is en de warmtebronnen kabels zijn. Dit komt doordat kabels hun warmte niet kwijt kunnen in grond met slechte warmtegeleiding. De combinaties bodemsoorten en grondwaterstanden van meest gunstig naar meest ongunstig zijn daarmee als volgt:
  - Klei onder grondwaterstand
  - Zavel onder grondwaterstand
  - Klei boven grondwaterstand
  - Zavel onder grondwaterstand

- De bodemtemperatuurstijging door de waterstofleidingen is gelijk voor de verschillende grondsoorten. Dit komt doordat de leidingen minder warmte afgeven in grond met slechte warmtegeleiding.

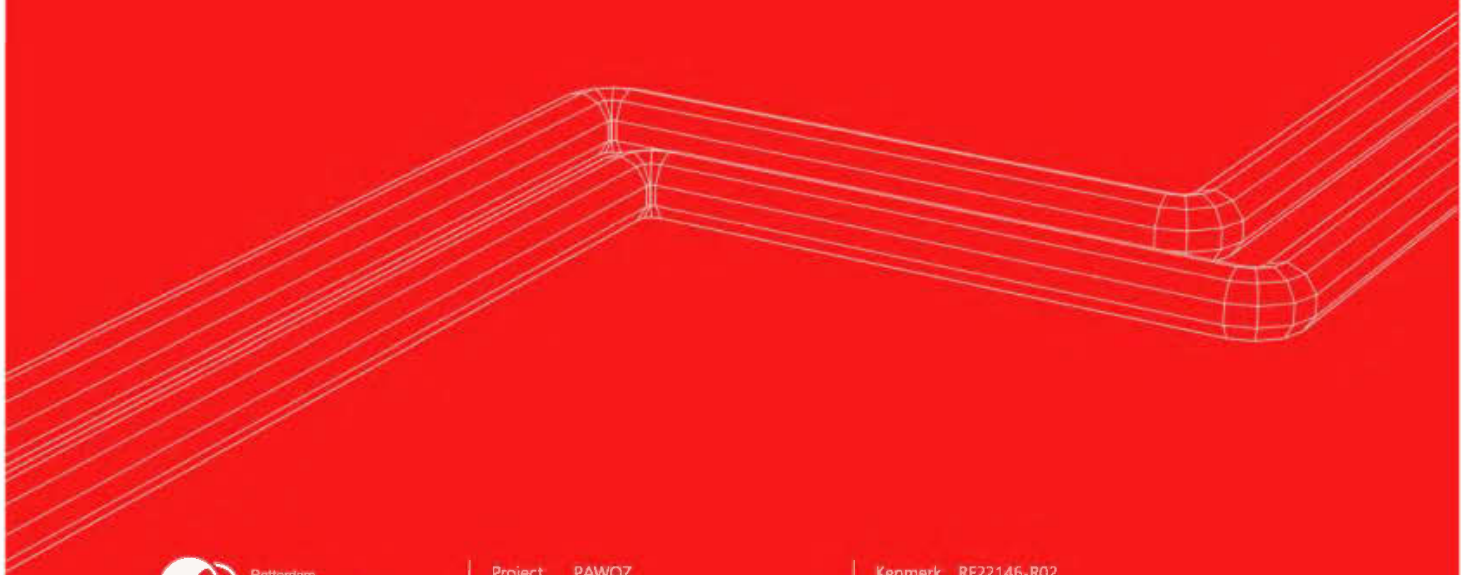
- In alle scenario's worden temperatuurstijgingen van meer dan +2 °C berekend, met uitzondering van het scenario waarbij er een enkele waterstofleiding in de grond ligt. Dat betreft het enige scenario waarbij de maximaal toelaatbare bodemopwarming niet overschreden wordt in de wortelzone.

- De 10,7 GW scenario's leiden tot even hoge of hogere temperatuurstijgingen dan de 4,7 GW scenario's. Echter speelt de samenstelling van de dwarsdoorsnede een grotere rol in de hoogte van de temperatuurstijgingen. De temperatuurstijgingen van groot naar klein heeft voor elke grondslag de volgende volgorde:
  - Cross section 4 – 10.7 GW
  - Cross section 4 – 4.7 GW
  - Cross section 3 – 10.7 GW
  - Cross section 3 – 4.7 GW
  - Cross section 1 – 10.7 GW
  - Cross section 1 – 4.7 GW

- De strookbreedte van de overschrijdingen is afhankelijk van de breedte waarover de kabels gelegd zijn. Dit komt doordat de overschrijdingen zich voornamelijk recht boven de kabels bevinden en bijna elk scenario tot overschrijdingen lijdt boven de meeste kabels.

Bijlagen

Bijlage 1 Kabelcorridor configuraties
Bijlage 2 Uitgangspunten mail
Bijlage 3 Datasheet 380kV AC-kabel
Bijlage 4 Datasheet 520kV DC-kabel
Bijlage 5 AC impedantie waarde AC kabels
Bijlage 6 Resultaten Scenario 1
Bijlage 7 Resultaten Scenario 2
Bijlage 8 Resultaten Scenario 3
Bijlage 9 Berekeningssheets warmteafgifte H_2-leidingen
Bijlage 10 Resultaten Scenario 4



Rotterdam Engineering

Project: PAWOZ

Kenmerk: RE22146-R02
Revisie: A
Datum: 9 mei 2024

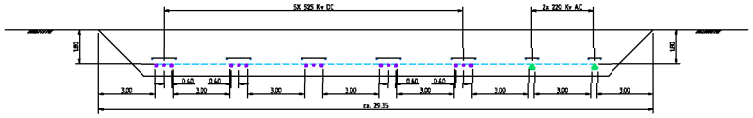
Bijlage 1

Kabelcorridor configuraties

Assumptions:
- Distance between cable systems, 3.00m.
- 220 Kv AC: trefoil
- 380 Kv AC: trefoil
- 525 Kv DC: flat formation
- 380 Kv AC (1000MW): flat formation

From left to right: 5x 525 Kv DC, 2x 220 Kv AC

Disclaimer:
This figure is preliminary.
Dimensions and spacing to be validated and optimized.
The order of the cable systems is indicative and will likely change.

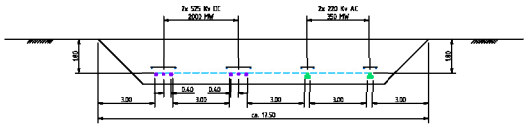


CROSS SECTION 1 - 10.7 GW; OPEN EXCAVATION
SCHAAL 1 : 100

Assumptions:
- Distance between cable systems, 3.00m.
- 220 Kv AC: trefoil
- 380 Kv AC: trefoil
- 525 Kv DC: flat formation
- 380 Kv AC (1000MW): flat formation

From left to right: 2x 525 Kv DC, 2x 220 Kv AC

Disclaimer:
This figure is preliminary.
Dimensions and spacing to be validated and optimized.
The order of the cable systems is indicative and will likely change.



CROSS SECTION 1 - 4.7 GW; OPEN EXCAVATION
SCHAAL 1 : 100

EXPLANATION/REMARKS:
- All dimensions in metres, unless noted otherwise.
- Elevations in metres relative to N.A.P.

DRAWING UNDER CONSTRUCTION
STATUS ON : 04-12-2023

LP	04-12-2023	EGESTA ARTIDAKIS	JRO
rv	Datum	Omschrijving	Goedgekeurd

PAWOZ
FEASIBILITY STUDY KABEL TRACE EEMSHAVEN
ROUTE SECTION 1
CROSS SECTIONS HDD'S AND OPEN EXCAVATION

Projectnr.	PAWOZ	Ontwikkeld	JRO
Fase	-	Gecontroleerd	SBA
Status	-	Vrijgegeven	SBA

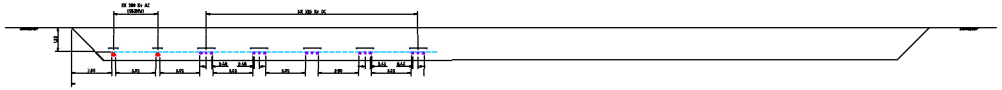
Schaal: 1 : 100 Formaats: A0
Blad nr.: 1 van 1 Datum: 16-11-2023
Tekeningnr.: PAWOZ-ST-DRS-001 Versie: 1.0

TEMPLATE MADE - PLEASE MAKE IT

Assumptions:
- Distance between cable systems: 2.0m.
- 220 kV AC trefoil
- 380 kV AC trefoil
- 525 kV DC Flat formation
- 380 kV AC (1600MW) Flat formation

From left to right: 3x 380kV (2GW+1), 2x 525 kV DC

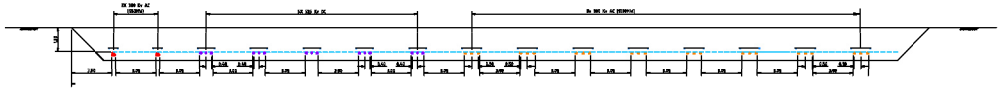
Disclaimer:
This figure is preliminary.
Dimensions and spacing to be validated and optimized.
The order of the cable systems is indicative and will likely change.


3X 380 kV AC
(2GW+1)
2X 525 kV DC
1.00
4.25
4.25
4.25
2.00
4.25
4.25
0.50
2.00
0.50
2.00
0.50
2.00

Assumptions:
- Distance between cable systems: 2.0m.
- 220 kV AC trefoil
- 150 kV AC trefoil
- 525 kV DC flat formation
- 380 kV AC (1600mm²) flat formation

From left to right: 2x 380kV (2500mm²), 2x 525 kV DC, 2x 380 kV AC (1600mm²)

Disclaimer:
This figure is preliminary.
Dimensions and spacing to be validated and optimized.
The order of the cable systems is indicative and will likely change.


2X 380 kV AC (1600mm²)
4X 220 kV AC
2x 380 kV AC (2500mm²)
3.0
2.00
0.75
0.75
0.75
0.75
2.00
0.75
0.75
0.75
0.75

Bijlage 2

Uitgangspunten mail

FW: PAWOZ - Bevestiging specificaties hoogspanningskabels t.b.v. agrarische analyses

Antonio Tedesco | Barcelona Engineering <a.tedesco@barcelonaengineering.es>

Thu 22/02/2024 15:48

To:Sterre Kuipers | Barcelona Engineering <s.kuipers@barcelonaengineering.es>

5 attachments (879 KB)

PAWOZ-ONC-0603030101-ENG-DAT-TTB-0002-00.pdf; PAWOZ-ST-DRS-001 v1.0_lange landroute.pdf; PAWOZ-ST-DRS-003 v1.0_zuidkant Oostpolder.pdf; PAWOZ-ONC-0603030101-ENG-DAT-TTB-0001-00.pdf; PAWOZ-ST-DRS-004 v1.0_noord-zuid kruising Oostpolder.pdf;

Van: Timmer, Frank <Frank.Timmer@tennet.eu>
Verzonden: vrijdag 22 december 2023 13:54
Aan: Jelle Sluis | Rotterdam Engineering <j.sluis@rotterdamengineering.nl>
CC: Teun van Breukelen <teun.van.breukelen@witteveenbos.com>; Antonio Tedesco | Barcelona Engineering <a.tedesco@barcelonaengineering.es>; Nathalie Flikweert | Rotterdam Engineering <n.flikweert@rotterdamengineering.nl>
Onderwerp: RE: PAWOZ - Bevestiging specificaties hoogspanningskabels t.b.v. agrarische analyses

Dag Jelle,

We zijn op zoek gegaan en hebben het volgende gevonden.
Hierbij is het goed om te beseffen dat voor ons de lange landroute (de ca 37km) in een aantal delen is op te knippen.

- Het langste deel is vanaf de aanlanding tot aan de westkant van de Oostpolder, dit betreft de kabels vanaf het windpark, nog voor de omzetting. Zie hieronder "lange landroute".
- Vervolgens zal de windpark TNW-aansluiting aan de westzijde getransformeerd worden van 220kV naar 380kV (richting landelijke netwerk, door de oostpolder heen). (De DC verbinding van windpark Doordewind is dan nog niet geconverteerd naar AC). Zie hieronder"zuidkant oostpolder"
- Tot slot worden ook de 2GW DC verbindingen omgezet naar 380kV AC, dat is de onderste regel van tabel 1 ("noord-zuid kruising Oostpolder").

Er zijn dus 3 route secties waar open ontgravingen toegepast worden. De samenstelling van de kabelcorridors hangt af van het scenario waarnaar wordt gekeken (aansluiten van 4.7 GW of 10.7 GW wind).

Tabel 1 geeft een overzicht van de samenstelling van de kabelcorridor per route sectie en scenario.

Route sectie	Kabelcorridor 4.7 GW scenario	Kabelcorridor 10.7 GW scenario	Plaatje kabelconfiguratie
Lange landroute	2x 220 kV AC (350 MW) 2x 525 kV DC (2000 MW)	2x 220 kV AC (350 MW) 5x 525 kV DC (2000 MW)	Zie bijlage "PAWOZ-ST-DRS-001 v1.0_lange landroute"

Zuidkant Oostpolder	2x 380 kV AC (350 MW) 2x 525 kV DC (2000 MW)	2x 380 kV AC (350 MW) 5x 525 kV DC (2000 MW)	Zie bijlage “PAWOZ-ST-DRS-003 v1.0_zuidkant Oostpolder”
Noord-zuid kruising Oostpolder	2x 380 kV AC (350 MW) 2x 525 kV DC (2000 MW) 2x 380 kV AC (1000 MW)	2x 380 kV AC (350 MW) 5x 525 kV DC (2000 MW) 8x 380 kV AC (1000 MW)	Zie bijlage “PAWOZ-ST-DRS-004 v1.0_noord-zuid kruising Oostpolder”

Tabel 1

Tabel 2 geeft een overzicht van de karakteristieken van elk kabelsysteem dat in de te beschouwen corridors voorkomt.

	Configuratie in geval van open ontgraving	**Nominale transportcapaciteit per kabelsysteem**	**Kabel specificatie**	**Langdurige gemiddelde stroom**
AC Offshore grid connection				
220kV AC ondergrondse kabels naar transformatorstation	Driehoek ligging, 3 fasen	350 MW	2500mm2 Al, zie bijlage “PAWOZ-ONC-0603030101-ENG-DAT-TTB-0001-00” **	554 A (per circuit)
380kV AC ondergrondse kabels van transformatorstation naar hoogspanningstation	Driehoek ligging, 3 fasen	350 MW	2500mm2 Al, zie bijlage “PAWOZ-ONC-0603030101-ENG-DAT-TTB-0001-00”	321 A (per circuit)
DC Offshore grid connection				
525kV DC ondergrondse kabels naar converter stations	Plat vlak ligging, 2 poles, 1 metallic return 40 cm hart-op-hart	2000 MW	2700mm2 Cu, zie bijlage “PAWOZ-ONC-0603030101-ENG-DAT-TTB-0002-00”	975 A (per pole)
380kV AC ondergrondse kabels van converter station naar hoogspanningstation	Plat vlak ligging, 3 fasen 50 cm hart-op-hart	1000 MW	3500mm2 Al, zie bijlage “PAWOZ-ONC-0603030101-ENG-DAT-TTB-0001-00”	844 A (per circuit)

Tabel 2

** Let op: De verstrekte specs bevatten gegevens voor een 380 kV AC landkabel. Hier gaat het echter om een 220 kV landkabel. Voor berekeningen dus het juiste spanningsniveau hanteren (220 kV ipv 380 kV). De opbouw van de 220 kV AC kabel is hetzelfde behalve de dikte van de isolatielaag. Hier graag uitgaan van ca. 22 cm dikte (ipv de 25.8 cm in de sheet).

Ik ga ervanuit dat hiermee de benodigde info verstrekt is aan jullie, maar mocht je nog wat missen hoor ik dat graag.

Met vriendelijke groeten / Kind regards / Mit freundlichen Grüßen,

Bijlage 3

Datasheet 380kV AC-kabel

Extruded cable type: **EYAKrvlwd(gv) 220/380kV 1x2500AlMil Al1.1 (1.3) + semicon**	**Value**	**Unit**
Rated voltage:		
- U	380	kV
- Uo	220	kV
- Um	420	kV
Conductor material	Aluminium	-
Conductor cross-section	2500	mm^2
Conductor construction	Milliken	-
Diameter over conductor	61.5	mm
Diameter over conductor screen	64.3	mm
Diameter over insulation	115.9	mm
Insulation thickness	25.8	mm
Diameter over insulation screen	118.7	mm
Outer diameter	135 (140)	mm
Construction and material earthing screen	Welded Aluminium sheath	-
Construction cable (drawing)	Refer to datasheet	-
Rated minimum electrical field strength	6.4	kV/mm
Rated maximum electrical field strength	11.6	kV/mm
Rated capacity	0.22	µF/km
Rated AC cable impedance at 90°C	0.112 (direct buried) 0.148 (ducted)	Ω/km
Rated operating induction at 50 Hz	0.353 (direct buried) 0.469 (ducted)	mH/km
Permissible cable temperature during operation	90	°C
Permissible short-circuit current during 1 second (conductor)	> 100 kA	kA symm
Permissible short-circuit current through metal jacket during 1s	66.6 (80.5) kA / 0.5 s	kA symm
Insulation level:		
- BIL	1425	kV
- LI	1425	kV
- AC	460	kV
Rated weight	18.1 (18.7)	kg/m
Maximum permissible pulling force	75	kN
Maximum permissible sidewall pressure	ref CIGRE 446	kN
Minimum permissible bend radius during laying	3.4 (3.5)	m
Minimum permissible ambient temperature during cable laying	-10	°C
Minimum bend radius during operation	2.7 (2.8)	m
	Example: DS44277	
Weight of empty reel	4500	Kg
Maximum cable length on reel	1380	m
Mass of reel with cable	30300	Kg
Diameter bore hole cable reel	to be confirmed	m
Reel dimensions (flange diameter x drum diameter x total width)	4.2 x 2.9 x 5.1	m

Extruded cable type: **EYAKrvlwd(gv) 220/380kV 1x3500AlMil Al1.3 (1.3) + semicon**	**Value**	**Unit**
Rated voltage:		
- U	380	kV
- Uo	220	kV
- Um	420	kV
Conductor material	Aluminium	-
Conductor cross-section	3500	mm^2
Conductor construction	Milliken	-
Diameter over conductor	72.4	mm
Diameter over conductor screen	75.9	mm
Diameter over insulation	130.3	mm
Insulation thickness	27.1	mm
Diameter over insulation screen	133.1	mm
Outer diameter	150 (154)	mm
Construction and material earthing screen	Welded Aluminium sheath	-
Construction cable (drawing)	Refer to datasheet	-
Rated minimum electrical field strength	6.3	kV/mm
Rated maximum electrical field strength	10.8	kV/mm
Rated capacity	0.24	µF/km
Rated AC cable impedance at 90°C	0.107 (direct buried) 0.138 (ducted)	Ω/km
Rated operating induction at 50 Hz	0.340 (direct buried) 0.437 (ducted)	mH/km
Permissible cable temperature during operation	90	°C
Permissible short-circuit current during 1 second (conductor)	> 100 kA	kA symm
Permissible short-circuit current through metal jacket during 1s	86.9 (89.7) / 0.5 s	kA symm
Insulation level:		
- BIL	1425	kV
- LI	1425	kV
- AC	460	kV
Rated weight	23.1 (23.5)	kg/m
Maximum permissible pulling force	100	kN
Maximum permissible sidewall pressure	ref CIGRE 446	kN
Minimum permissible bend radius during laying	3.7 (3.9)	m
Minimum permissible ambient temperature during cable laying	-10	°C
Minimum bend radius during operation	3.0 (3.1)	m
	Example: to be designed	
Weight of empty reel	5500	Kg
Maximum cable length on reel	1000	m
Mass of reel with cable	30000	Kg
Diameter bore hole cable reel	to be confirmed	m
Reel dimensions (flange diameter x drum diameter x total width)	4.2 x 2.9 x 5.3	m

Bijlage 4

Datasheet 520kV DC-kabel

2.2.8 Design sheet – 525 kV HVDC land cable 1x2700 mm² Cu



Cable Construction	
Conductor	
Type / material	Profiled wire / copper
Cross-section	2700 mm²
Water blocking	compound
Conductor screen	
Material	semi-conductive polymer
Thickness	1.5 mm
Insulation	
Material	cross-linked DC polymer
Thickness	26.0 mm
Insulation screen	
Material	semi-conductive polymer
Thickness	1.5 mm
Longitudinal water barrier	
Material	water swellable tape
Thickness	0.66 mm
Metal sheath	
Type / material	extruded / lead alloy
Thickness	3.1 mm
Outer sheath	
Type / material	extruded / HDPE
Thickness	5.5 mm
Conductive layer	extruded PE
Complete cable	
Diameter	~ 137 mm
Weight	~ 47.8 kg/m
	All values are nominal

©Copyright 2022 NKT HV Cables AB. All rights reserved.

3.5 DC underground cable

This clause contains the technical data requested in the appendix of specification SPE.06.031-2GW-A01.

Technical data

Designation		
Outer diameter	137	mm
Cross section of conductor	2700	mm²
Material of conductor	Copper	
Electrical design data		
Rated voltage of cable system U0	525	kV_{DC}
Maximum voltage of cable system Umax	533	kV_{DC}
Maximum voltage of metallic screen and sheath to ground	N.A.	kV_{DC}
Laplace Electrical field strength on conductor screen @ rated voltage Uo	27.6	kV/mm
Laplace Electrical field strength on insulation screen @ rated voltage Uo	15.2	kV/mm
Calculated average nominal stress, (U_0 divided by the nominal insulation thickness t_n.)	20.2	kV/mm
The rated current calculation shall be conducted based on: Burial depth: 1.5 m, Sheath/screen solid bonding at both ends, Max. thermal resistivity of soil: 1.0 K*m/W, Max. soil temperature: 15 °C Plus and minus cores touching		
Rated current I_{max}	1950	A
Rated transmission power	1000	MVA
DC resistance at 20°C	0.0067	Ω/km
DC resistance at max. normal operation conductor temperature	0.0080	Ω/km
Capacitance per phase (nominal)	0.23	µF/km
Inductance per phase	0.14	mH/km
Thermal resistance per core between conductor and sheath T1	0.3993	K·m/W

©Copyright 2022 NKT HV Cables AB. All rights reserved.

Thermal resistance between sheath and armour T2	N.A.	K·m/W
Thermal resistance of external serving T3	0.0458	K·m/W
Losses per system at I_{max} and Uo under stationary thermal conditions at max. normal operation conductor temperature	See current rating calculation reports	W/m
Max. allowed short circuit current I_k on the cable preloaded with I_{max} (pole-to-ground, non- adiabatic) **conductor and sheath initial temperature as per maximum normal operation** **conductor and sheath final temperature as allowed by layers materials**		
0.1 s / 0.2 s	95/68	kA
0.5 s / 1.0 s	44/32	kA
2.0 s / 5.0 s	23/15	kA
Temperature conditions		
Max. temperature of conductor at rated conditions (initial temperature)	70	°C
Max. temperature of conductor at short circuit condition (final temperature - 30 kA, 0.3s)	70.5	°C
Max. temperature of metal sheath at rated conditions (initial temperature)	57.8	°C
Max. temperature of metal sheath at short circuit condition (final temperature - 30 kA, 0.3s)	89	°C
Max. $\Delta\theta$ over insulation, at rated conditions	10.1	K
Max. $\Delta\theta$ over insulation, at short circuit condition (30 kA, 0.3s)	10.1	K
Theoretic zero sequence impedance at 20°C		
Resistance	0.18	Ω/km
Reactance	0	Ω/km

©Copyright 2022 NKT HV Cables AB. All rights reserved.

Mechanical data

Minimum bending radius		
On Drum	1400	mm
During loading/transport	1400	mm
Permissible bending radius		
During installation e.g. cable laying	2550	mm
Bending one-time (with former), e.g. for connection to fittings	1700	mm
Max. pulling force		
During laying	189	kN
For repairing or de-installation	189	kN
Cable weight		
In air	47.8	kg/m
Total mass of copper (in air)	24.2	kg/m
Total mass of aluminium (in air) (if applicable)	N.A.	kg/m
Total mass of lead (in air) (if applicable)	13.5	kg/m
Misc.		
Minimum handling temperature	-10	°C
Target for lifetime of cable and joint system (design value)	40	Years

©Copyright 2022 NKT HV Cables AB. All rights reserved.

2.2.9 Design sheet – Metallic Return land cable 1x2500 mm² Cu



Cable Construction	
Conductor	
Type / material	Profiled wire / copper
Cross-section	2500 mm²
Water blocking	compound
Conductor screen	
Material	semi-conductive polymer
Thickness	1.5 mm
Insulation	
Material	cross-linked DC polymer
Thickness	8.0 mm
Insulation screen	
Material	semi-conductive polymer
Thickness	1.5 mm
Longitudinal water barrier	
Material	water swellable tape
Thickness	0.6 mm
Metal sheath	
Type / material	extruded / lead alloy
Thickness	2.4 mm
Outer sheath	
Type / material	extruded / HDPE
Thickness	4.1 mm
Conductive layer	extruded PE
Complete cable	
Diameter	~ 95 mm
Weight	~ 33.4 kg/m
	All values are nominal

©Copyright 2022 NKT HV Cables AB. All rights reserved.

3.6 Metallic Return underground cable

This clause contains the technical data requested in the appendix of specification SPE.06.031-2GW-A01.

Technical data

Designation		
Outer diameter	95	mm
Cross section of conductor	2500	mm²
Material of conductor	Copper	
Electrical design data		
Rated voltage of cable system U0	0 (neutral cable)	kV_{DC}
Maximum voltage of cable system Umax	0 (neutral cable)	kV_{DC}
Maximum voltage of metallic screen and sheath to ground	0 (neutral cable)	kV_{DC}
Laplace Electrical field strength on conductor screen @ rated voltage Uo	0 (neutral cable)	kV/mm
Laplace Electrical field strength on insulation screen @ rated voltage Uo	0 (neutral cable)	kV/mm
Calculated average nominal stress, (U_0 divided by the nominal insulation thickness t_n.)	0 (neutral cable)	kV/mm
The rated current calculation shall be conducted based on: Burial depth: 1.5 m, Sheath/screen solid bonding at both ends, Max. thermal resistivity of soil: 1.0 K*m/W, Max. soil temperature: 15 °C Plus and minus cores touching		
Rated current I_{max}	1950	A
Rated transmission power	N.A.	MVA
DC resistance at 20°C	0.0072	Ω/km
DC resistance at max. normal operation conductor temperature	0.0086	Ω/km
Capacitance per phase (nominal)	0.60	µF/km
Inductance per phase	0.08	mH/km
Thermal resistance per core between conductor and sheath T1	0.2094	K·m/W
Thermal resistance between sheath and armour T2	N.A.	K·m/W
Thermal resistance of external serving T3	0.0502	K·m/W

©Copyright 2022 NKT HV Cables AB. All rights reserved.

Losses per system at I_{max} and Uo under stationary thermal conditions at max. normal operation conductor temperature	See current rating calculation reports	W/m
Max. allowed short circuit current I_k on the cable preloaded with I_{max} (pole-to-ground, non- adiabatic) **conductor and sheath initial temperature as per maximum normal operation** **conductor and sheath final temperature as allowed by layers materials**		
0.1 s / 0.2 s	50/36	kA
0.5 s / 1.0 s	23/17	kA
2.0 s / 5.0 s	12/8	kA
Temperature conditions		
Max. temperature of conductor at rated conditions (initial temperature)	70	°C
Max. temperature of conductor at short circuit condition (final temperature - 5 kA, 0.3s)	70.1	°C
Max. temperature of metal sheath at rated conditions (initial temperature)	63.1	°C
Max. temperature of metal sheath at short circuit condition (final temperature - 5 kA, 0.3s)	66	°C
Max. $\Delta\theta$ over insulation, at rated conditions	N.A.	K
Max. $\Delta\theta$ over insulation, at short circuit condition (30 kA, 0.3s)	N.A.	K
Theoretic zero sequence impedance at 20°C		
Resistance	N.A.	Ω/km
Reactance	N.A.	Ω/km

©Copyright 2022 NKT HV Cables AB. All rights reserved.

Mechanical data

Minimum bending radius		
On Drum	1000	mm
During loading/transport	1000	mm
Permissible bending radius		
During installation e.g. cable laying	1800	mm
Bending one-time (with former), e.g. for connection to fittings	1200	mm
Max. pulling force		
During laying	175	kN
For repairing or de-installation	175	kN
Cable weight		
In air	33.4	kg/m
Total mass of copper (in air)	22.5	kg/m
Total mass of aluminium (in air) (if applicable)	N.A.	kg/m
Total mass of lead (in air) (if applicable)	7.2	kg/m
Misc.		
Minimum handling temperature	-10	°C
Target for lifetime of cable and joint system (design value)	40	Years

©Copyright 2022 NKT HV Cables AB. All rights reserved.

Bijlage 5

AC impedantie waarde AC kabels

Van: Timmer, Frank <Frank.Timmer@tennet.eu>
Verzonden: 21 maart 2024 12:58
Aan: Jelle Sluis | Rotterdam Engineering <j.sluis@rotterdamengineering.nl>
CC: Teun van Breukelen <teun.van.breukelen@witteveenbos.com>; Antonio Tedesco | Barcelona Engineering <a.tedesco@barcelonaengineering.es>; Nathalie Flikweert | Rotterdam Engineering <n.flikweert@rotterdamengineering.nl>; Lapp, Valerie <Valerie.Lapp@tennet.eu>; Kappers, Gerrit-Jan <Gerrit-Jan.Kappers@tennet.eu>; Leonie Janssen-Engberink | Den Bosch Engineering <l.janssen@denboschengineering.nl>; Sterre Kuipers | Barcelona Engineering <s.kuipers@barcelonaengineering.es>; Marten de Vries | Rotterdam Engineering <m.devries@rotterdamengineering.nl>
Onderwerp: RE: PAWOZ - juiste waarde "Rated AC cable impedance at 90C"

Dag Jelle,

We hebben een en ander uitgezocht. Het lijkt erop dat de kabelleverancier van wie de datasheet vandaan komt mogelijk een fout heeft gemaakt in de datasheet of in de onderliggende metingen.
Wij hebben een crosscheck uitgevoerd met andere projecten, en daaruit blijkt dat die laten zien dat jullie resultaten de goede orde van grootte hebben.
Jullie kunnen dus met de eigen waarden/uitkomsten verder gaan.

Mocht je nog meer vragen hebben hoor ik dat graag.

Met vriendelijke groeten / Kind regards / Mit freundlichen Grüßen,

Frank Timmer
Project Lead Spatial Planning and Licensing
LPO – Programma Aansluiting Wind Op Zee (PAWOZ) - Eemshaven

Aanwezig: ma/di/wo/do/vrij-ochtend

M +31 (0)6 22 86 80 39
E Frank.Timmer@tennet.eu
I www.tennet.eu

TenneT TSO B.V.
Utrechtseweg 310
Arnhem
Postbus 718
6800 AS Arnhem
Nederland

Handelsregister: Arnhem 09155985

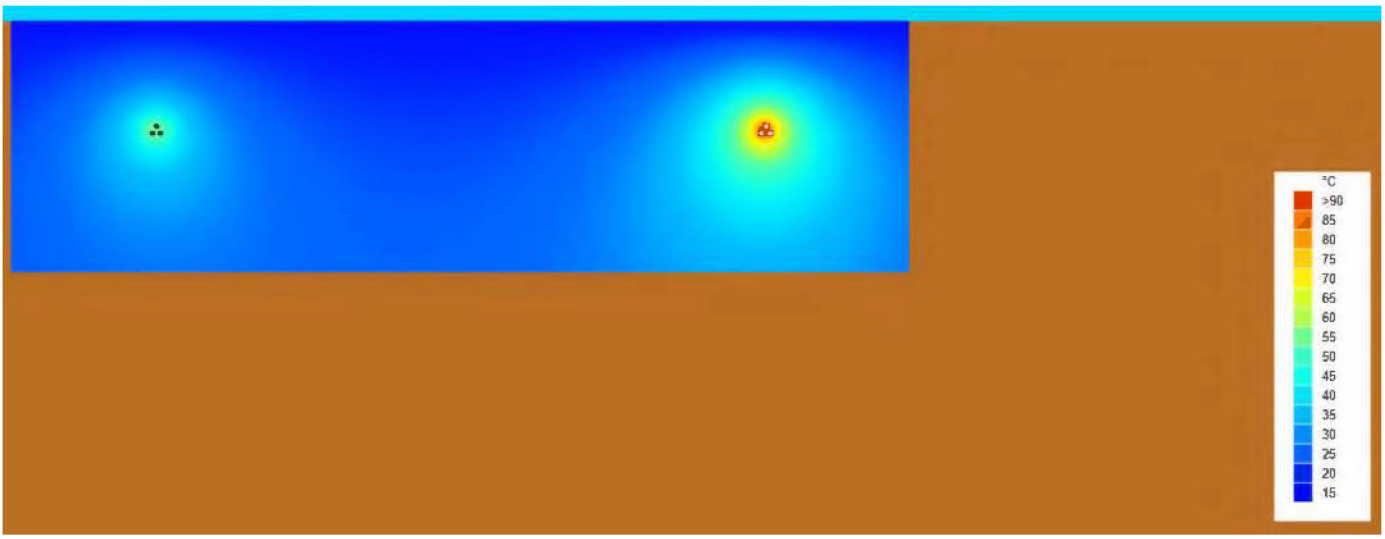
Denk aan het milieu. Print dit bericht alleen als het noodzakelijk is.

Van: Jelle Sluis | Rotterdam Engineering <j.sluis@rotterdamengineering.nl>
Verzonden: vrijdag 15 maart 2024 13:48
Aan: Timmer, Frank <Frank.Timmer@tennet.eu>
CC: Teun van Breukelen <teun.van.breukelen@witteveenbos.com>; Antonio Tedesco | Barcelona Engineering <a.tedesco@barcelonaengineering.es>; Nathalie Flikweert | Rotterdam Engineering <n.flikweert@rotterdamengineering.nl>; Lapp, Valerie <Valerie.Lapp@tennet.eu>; Kappers, Gerrit-Jan <Gerrit-Jan.Kappers@tennet.eu>; Leonie Janssen-Engberink | Den Bosch Engineering <l.janssen@denboschengineering.nl>; Sterre Kuipers | Barcelona Engineering <s.kuipers@barcelonaengineering.es>; Marten de Vries | Rotterdam Engineering <m.devries@rotterdamengineering.nl>
Onderwerp: RE: PAWOZ - juiste waarde "Rated AC cable impedance at 90C"

Beste Frank,

Werkend naar afronding van de opwarmingsanalyse lopen we tegen resultaten aan die o.i. niet kunnen kloppen. Dus ergens gaat iets mis in de uitgangspunten, of natuurlijk in onze interpretatie van de uitgangspunten. Concreet hebben onze engineers de volgende vraag:

We lopen bij de AC kabels aan tegen de kabelimpedantie bij 90C (Rac) uit de datasheet van Tennet. Wij hebben deze met zowel handberekeningen als simulaties doorgerekend (VCA berekent deze waarde automatisch), en dan komen we factor 10 lager uit. Ook in datasheets van andere kabels vinden we waarden die een ordegrootte 10 kleiner zijn. Dit heeft enorme impact op de berekening. Ter illustratie:



Links is met de waarde die VCA zelf berekent (Ordegrootte 10^-2) en rechts die uit de datasheet (0.112 Ohm/km). Links resulteert in temperaturen die conform verwachting zijn. Rechts zijn de temperaturen vele malen hoger (>100 gr. C).

Onze vraag is: klopt de opgegeven "*Rated AC cable impedance at 90C*"? Zo ja, kun je daar enige toelichting op geven?

De waarde conform opgave Tennet (rood omcirkeld):

Construction cable (drawing)	Refer to datasheet	-
Rated minimum electrical field strength	6.4	kV/mm
Rated maximum electrical field strength	11.6	kV/mm
Rated capacity	0.22	µF/km
Rated AC cable impedance at 90°C	0.112 (direct buried) 0.148 (ducted)	Ω/km
Rated operating induction at 50 Hz	0.353 (direct buried) 0.469 (ducted)	mH/km
Permissible cable temperature during operation	90	°C
Permissible short-circuit current during 1 second (conductor)	> 100 kA	kA symm
Permissible short-circuit current through metal jacket during 1s	66.6 (80.5) kA / 0.5 s	kA symm

Ter referentie een tabel van andere kabels die illustreert dat de A.C. resistance bij 90gr sterk afneemt met geleideroppervlakte en de ordegroottes waarden die wij zouden verwachten.

CONDUCTOR RESISTANCE (Table 2)

Cross-sectional area of conductor	Max D.C. Resistance of conductor at 20°C		App. A. C. resistance of conductor at 90°C	
	Aluminium conductor	Copper conductor	Aluminium conductor	Copper conductor
sq.mm.	ohm/ km	ohm/ km	ohm/ km	ohm/ km
240	0.1250	0.0754	0.1610	0.0972
300	0.1000	0.0601	0.1290	0.0780
400	0.0778	0.0470	0.1010	0.0618
500	0.0605	0.0366	0.0791	0.0491
630	0.0469	0.0283	0.0622	0.0393
800	0.0367	0.0221	0.0497	0.0322
1000	0.0291	0.0176	0.0380	0.0236
1200	0.0247	0.0151	0.0326	0.0207
1600	0.0186	0.0113	0.0251	0.0163

Zou je dit na willen vragen? Dankjewel!

Hartelijke groet,
Jelle Sluis

M: 06-4247 6069
E: j.sluis@rotterdamengineering.nl
In: /

Rotterdam Engineering
Vasteland 78
3011 BN Rotterdam

Rotterdam Engineering

T: 010 226 49 35
E: [info@rotterdamengineering.nl]info@rotterdamengineering.nl
I: www.rotterdamengineering.nl

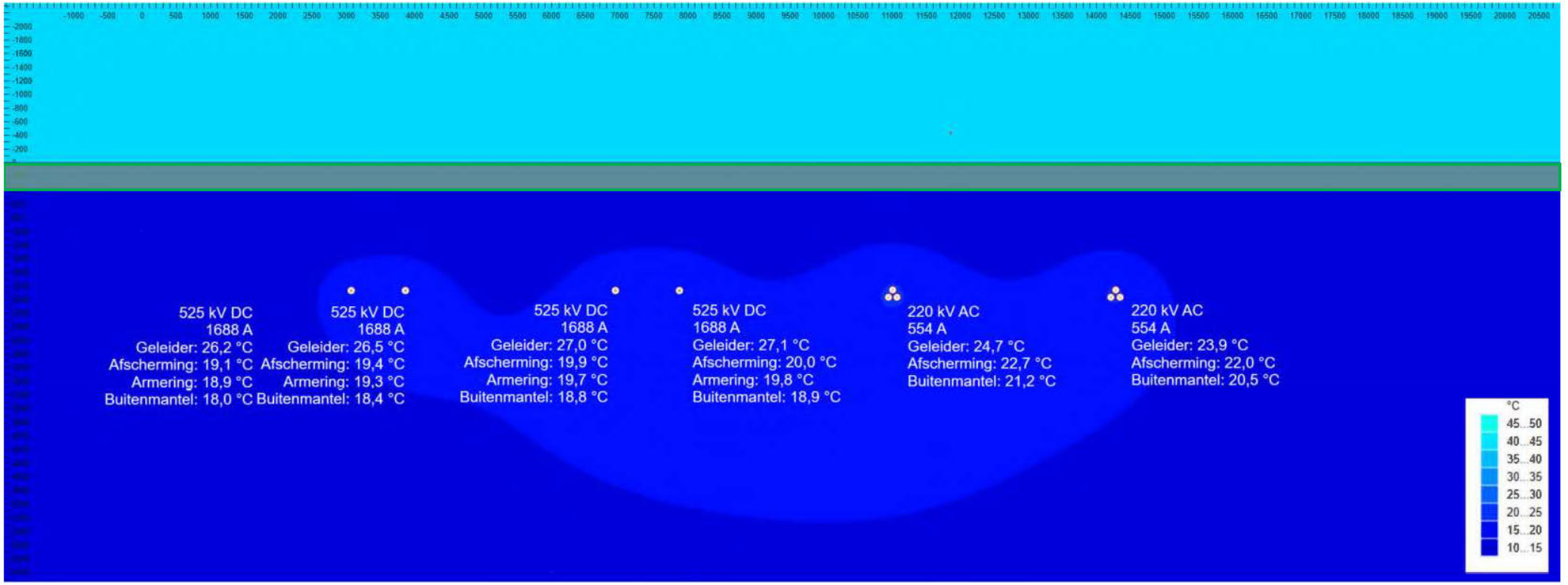
Bijlage 6

Resultaten Scenario 1

Cross section 1

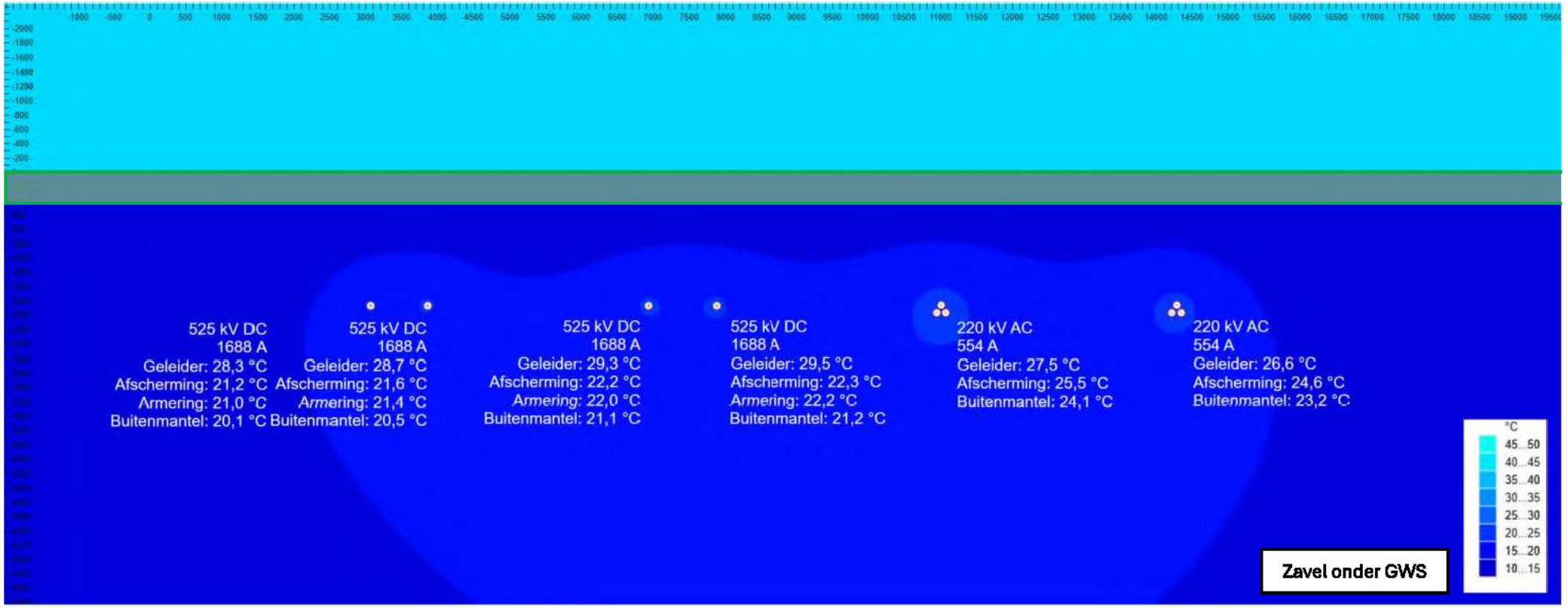
Cross Section 001 4.7 GW

Klei onder GWS (k =2,5 W/mK)



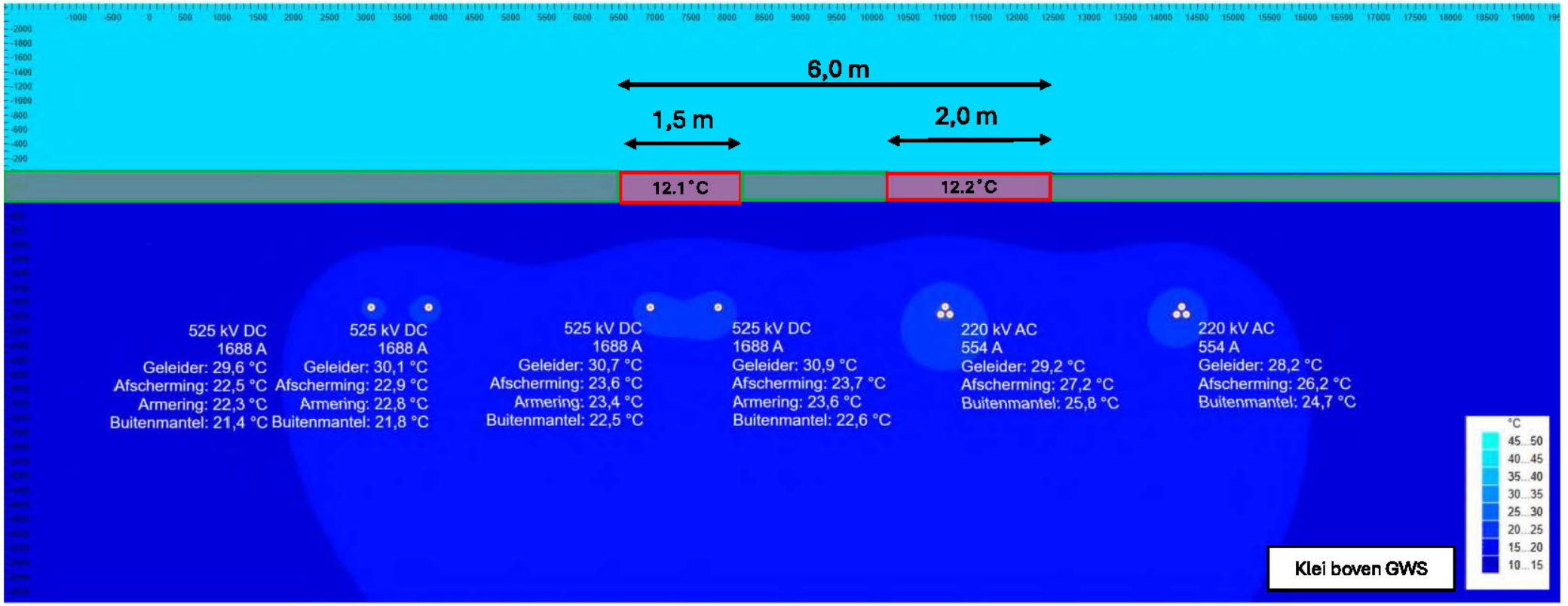
Cross Section 001 4.7 GW

Klei boven GWS (k =2,0 W/mK)



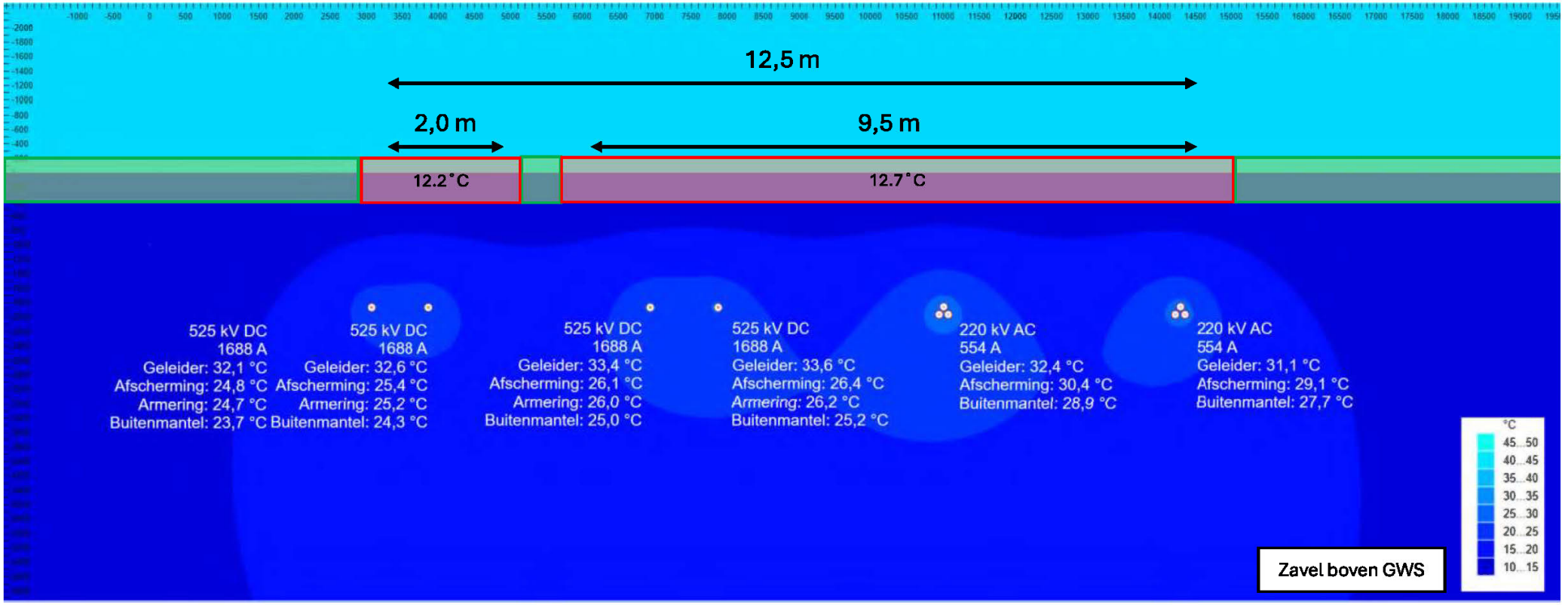
Cross Section 001 4.7 GW

Zavel onder GWS (k =1,8 W/mK)



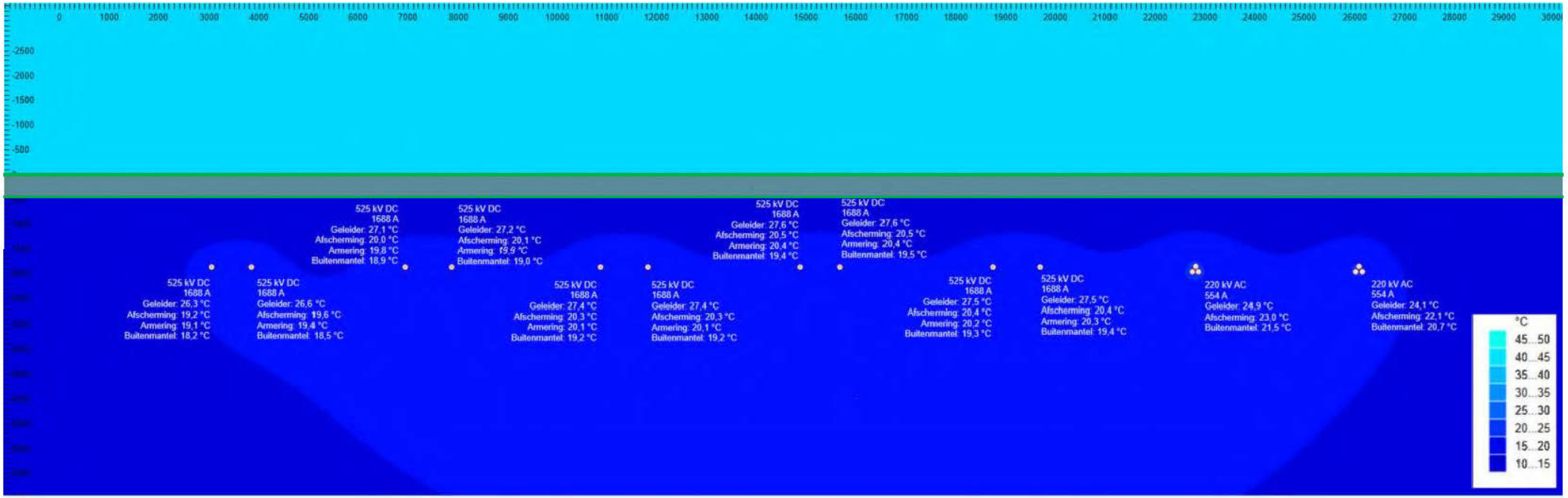
Cross Section 001 4.7 GW

Zavel boven GWS (k =1,5 W/mK)



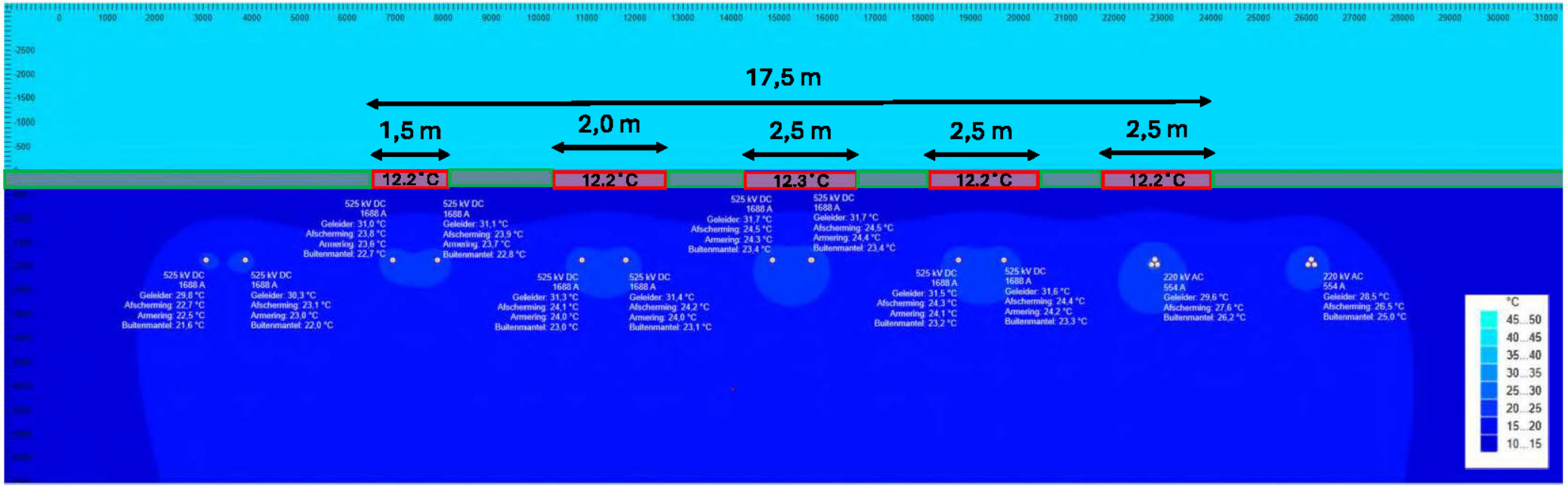
Cross Section 001 10.7 GW

Klei onder GWS (k =2,5 W/mK)



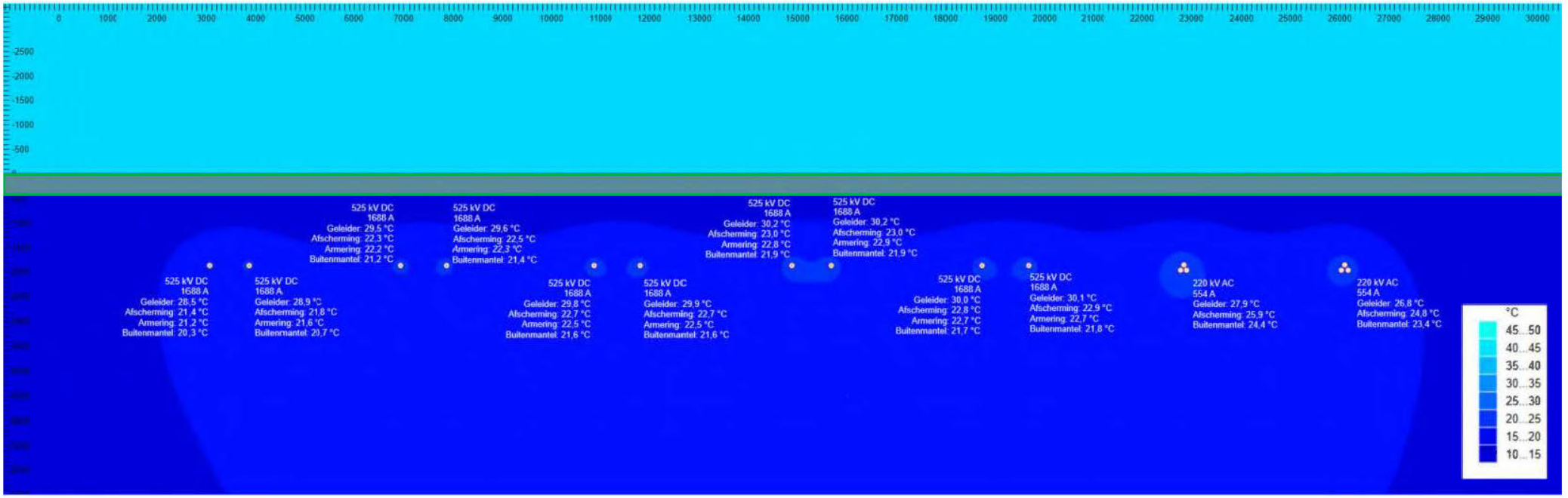
Cross Section 001 10.7 GW

Klei boven GWS (k =1,8 W/mK)



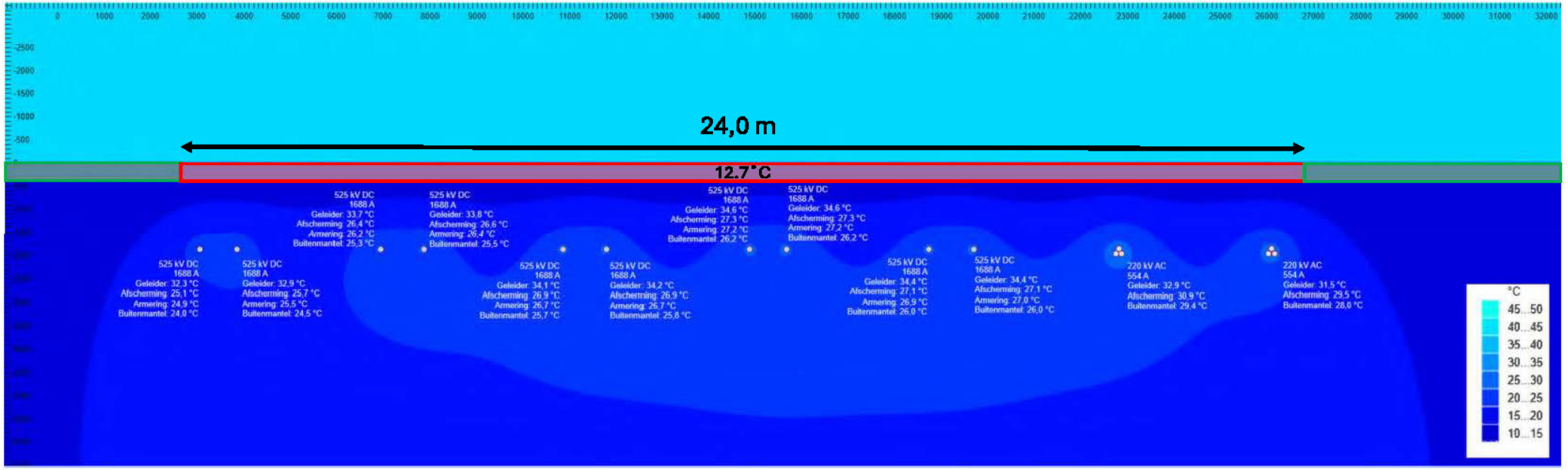
Cross Section 001 10.7 GW

Zavel onder GWS (k =2,0 W/mK)



Cross Section 001 10.7 GW

Zavel boven GWS (k =1,5 W/mK)



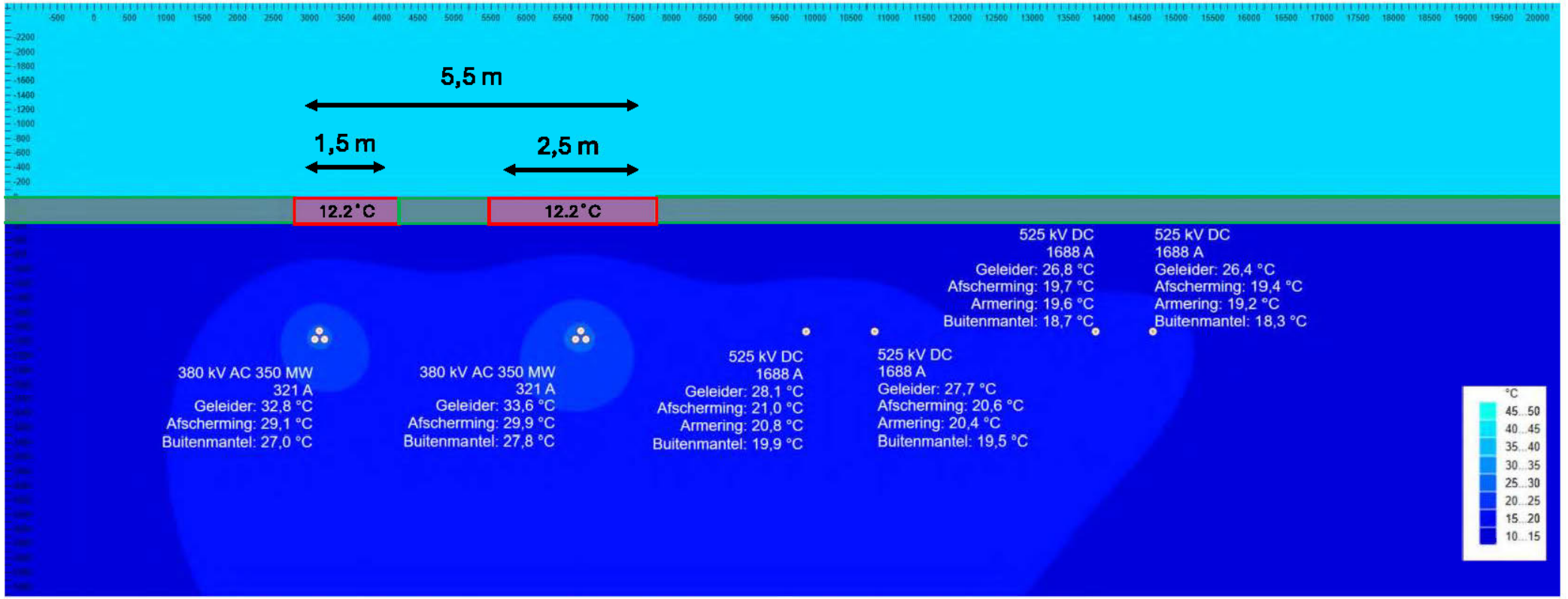
Bijlage 7

Resultaten Scenario 2

Cross section 3

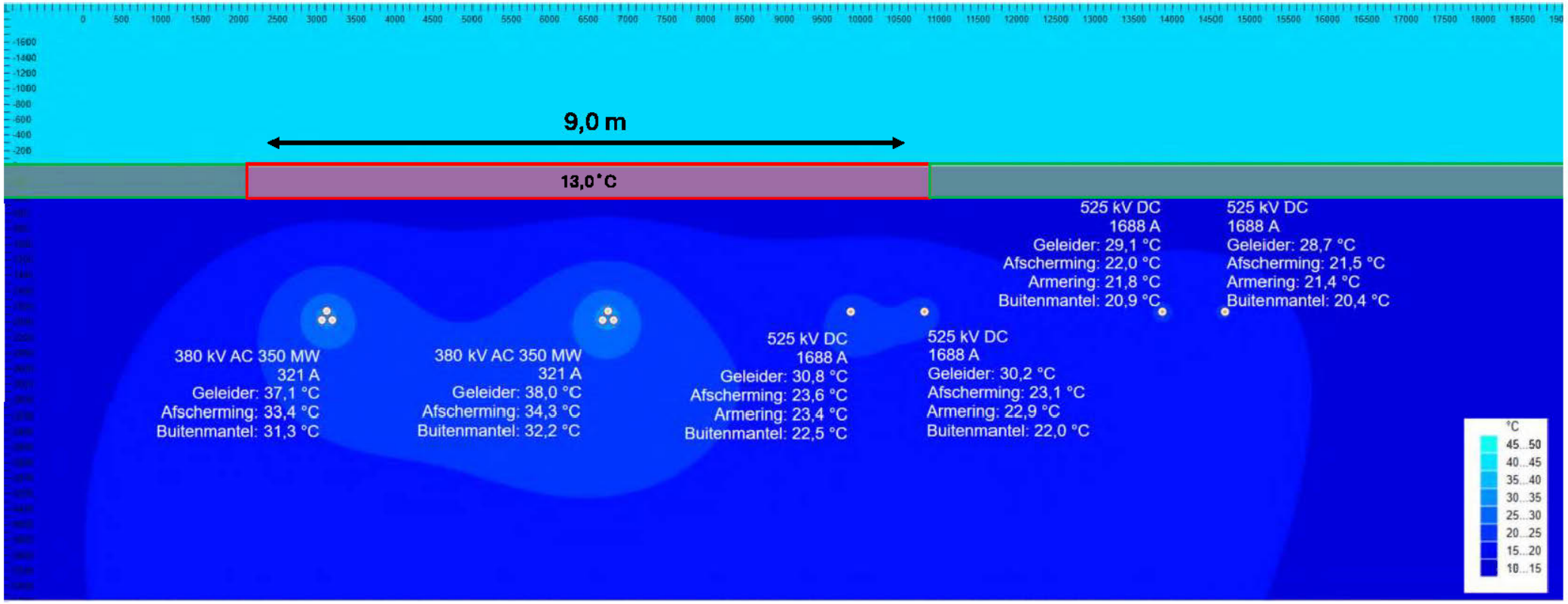
Cross Section 003 4.7 GW

Klei onder GWS (k =2,5 W/mK)



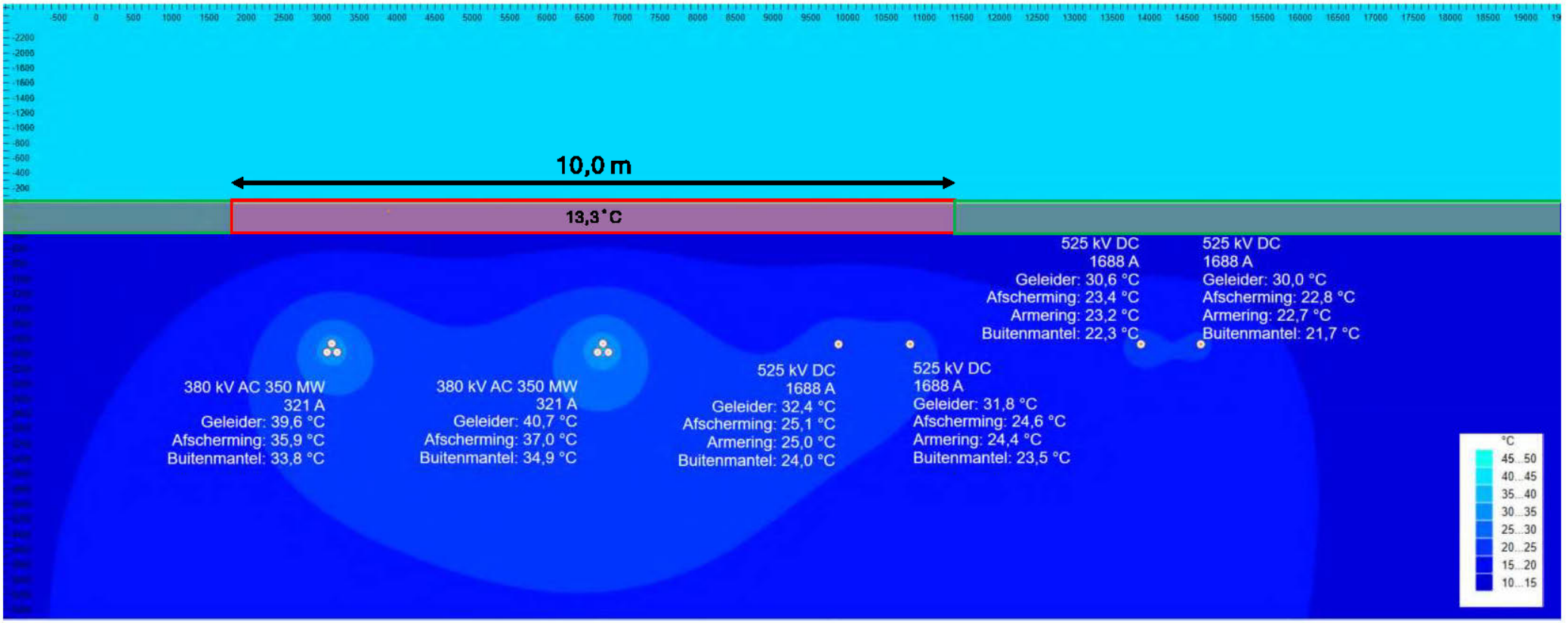
Cross Section 003 4.7 GW

Zavel onder GWS (k =2,0 W/mK)



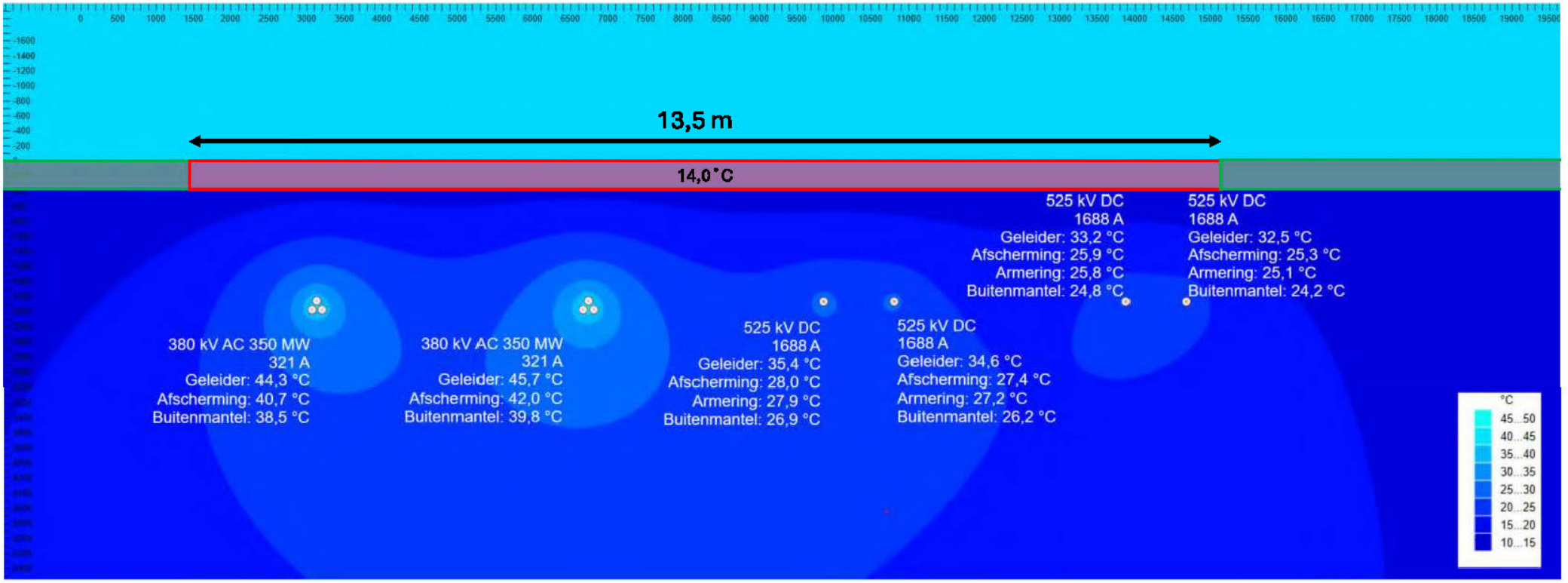
Cross Section 003 4.7 GW

Klei boven GWS (k =1,8 W/mK)



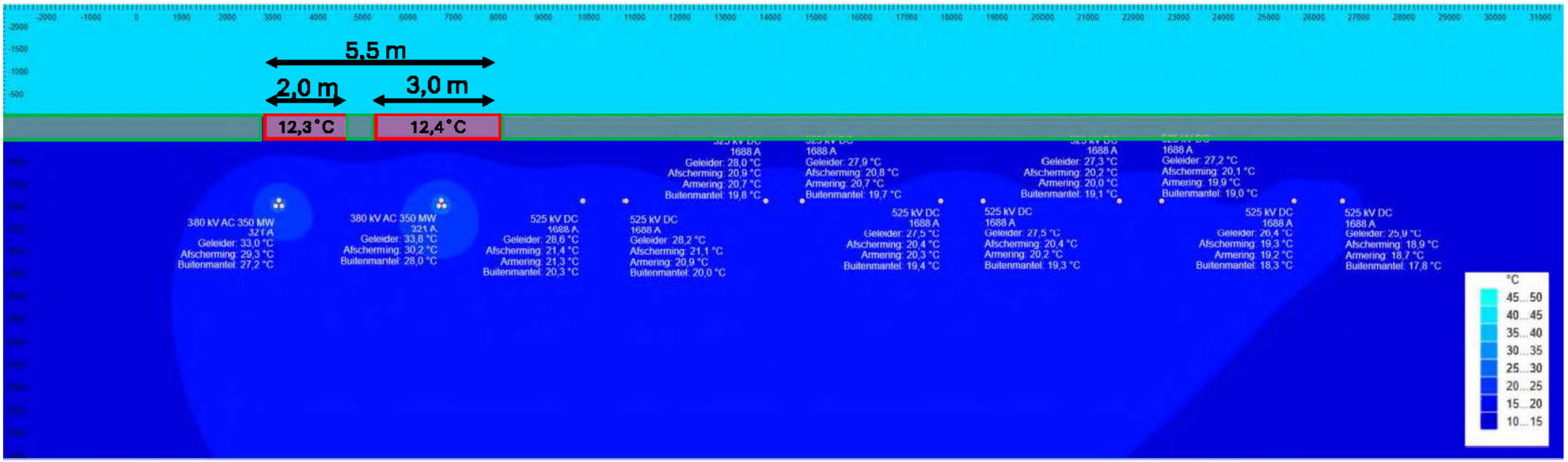
Cross Section 003 4.7 GW

Zavel boven GWS (k =1,5 W/mK)



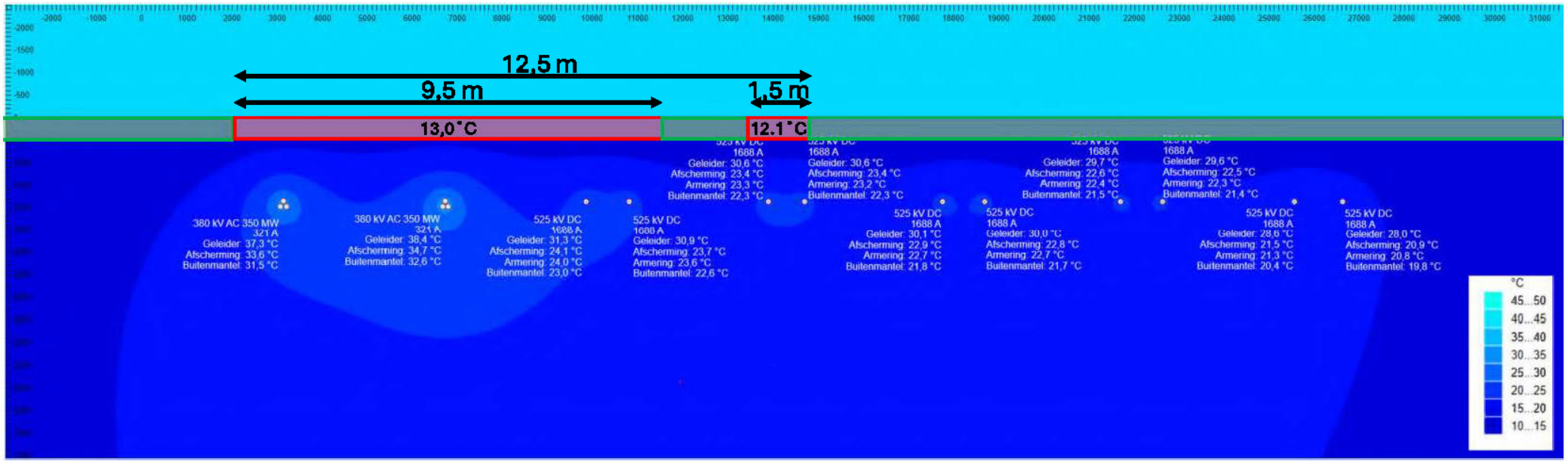
Cross Section 003 10.7 GW

Klei onder GWS (k =2,5 W/mK)



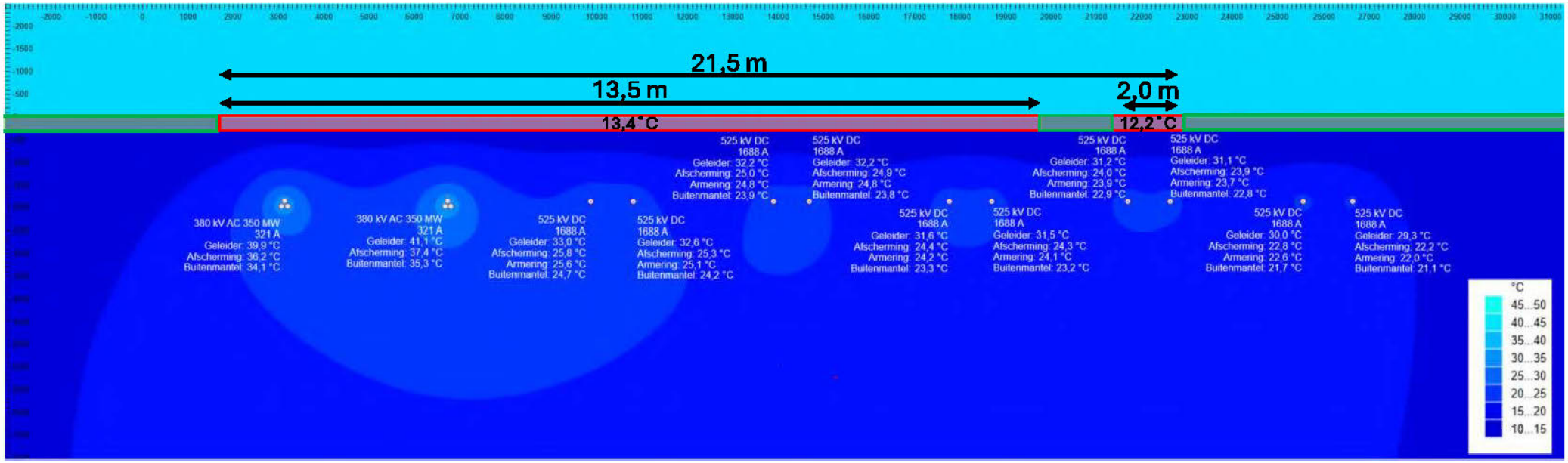
Cross Section 003 10.7 GW

Zavel onder GWS (k =2,0 W/mK)



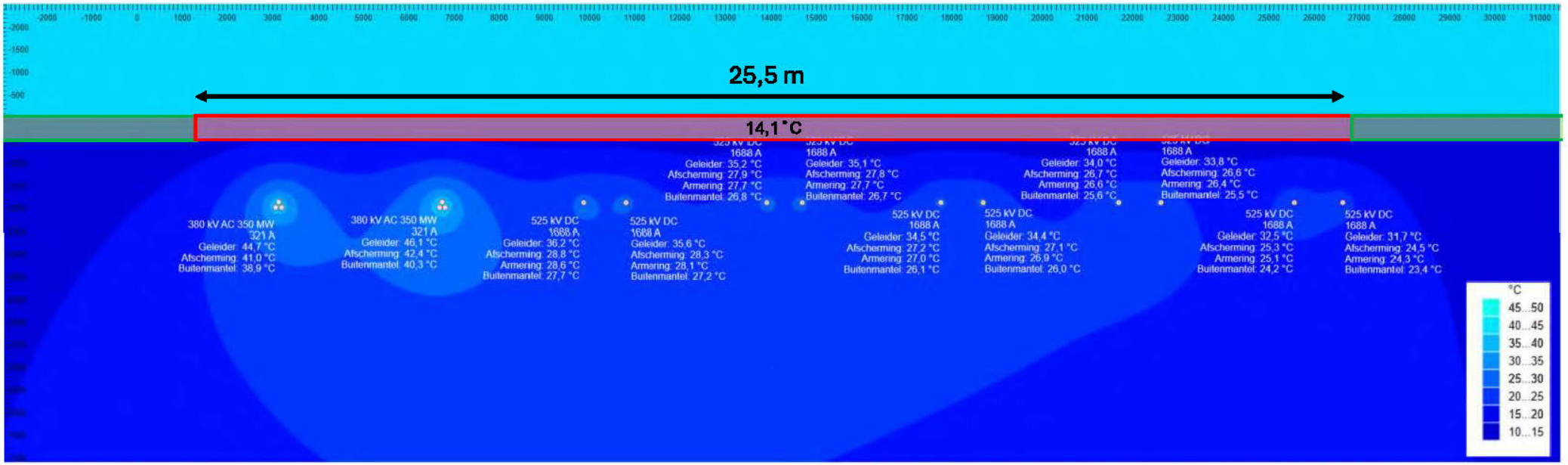
Cross Section 003 10.7 GW

Klei boven GWS (k =1,8 W/mK)



Cross Section 003 10.7 GW

Zavel boven GWS (k =1,5 W/mK)



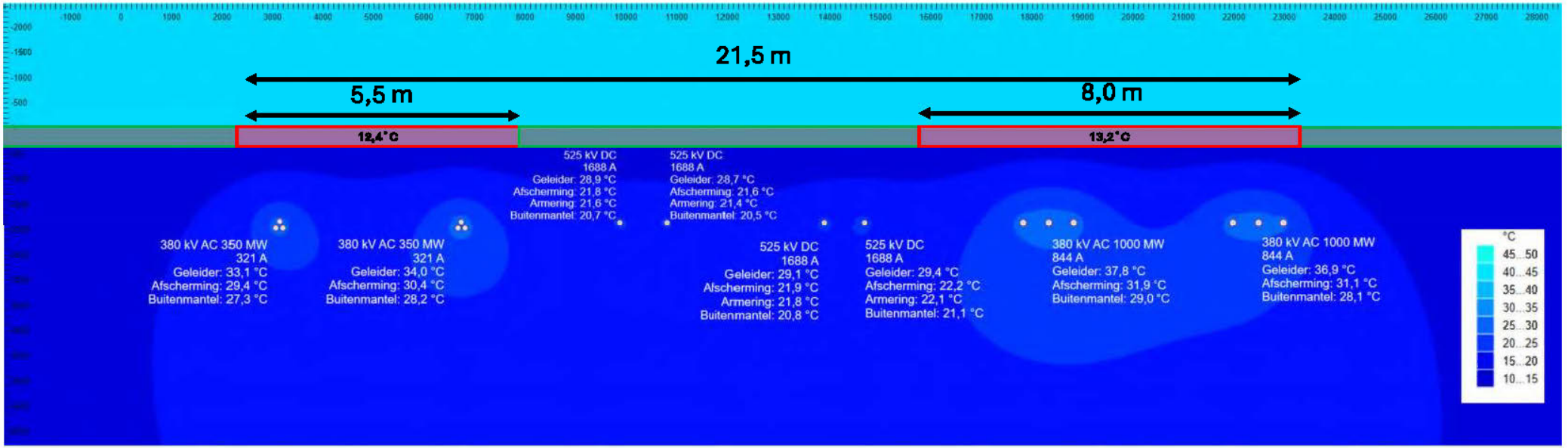
Bijlage 8

Resultaten Scenario 3

Cross section 4

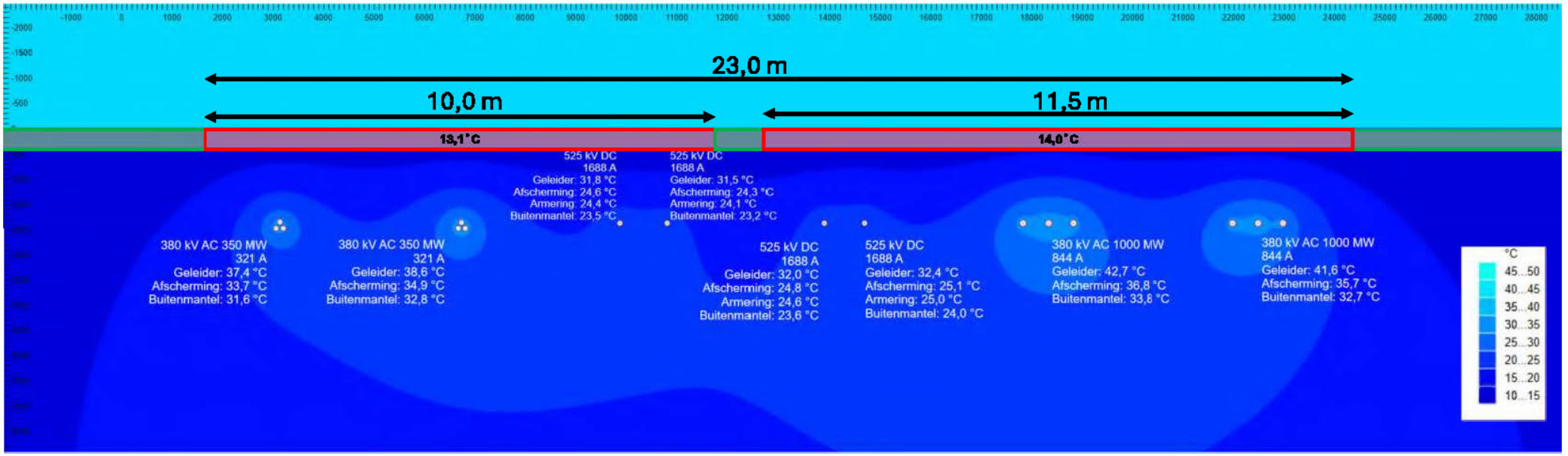
Cross Section 004 4.7 GW

Klein onder GWS (k =2,5 W/mK)



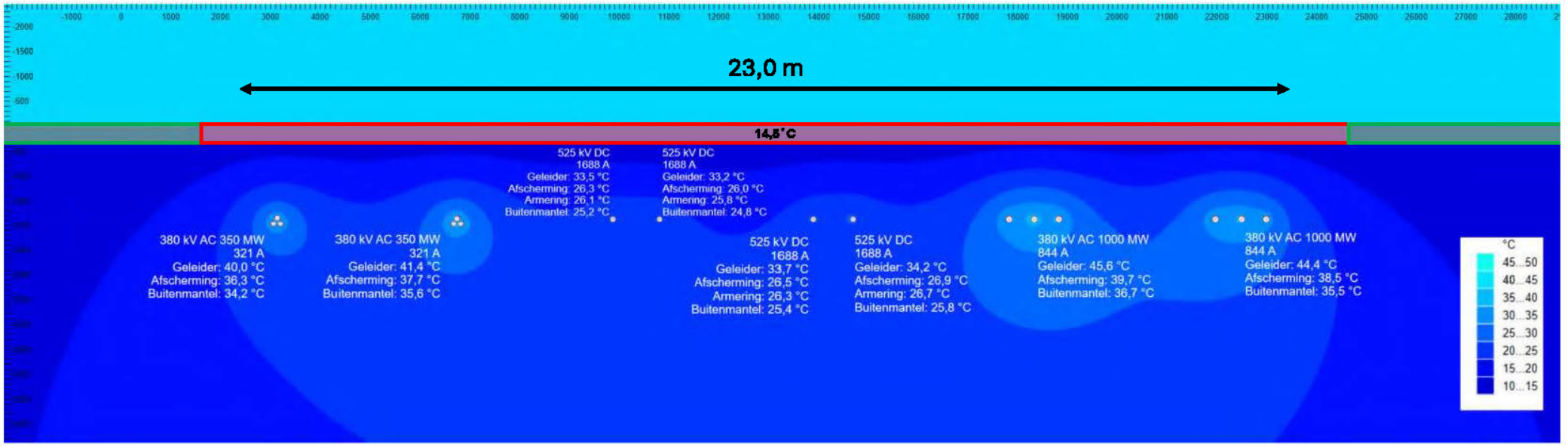
Cross Section 004 4.7 GW

Zavel onder GWS (k =2,0 W/mK)



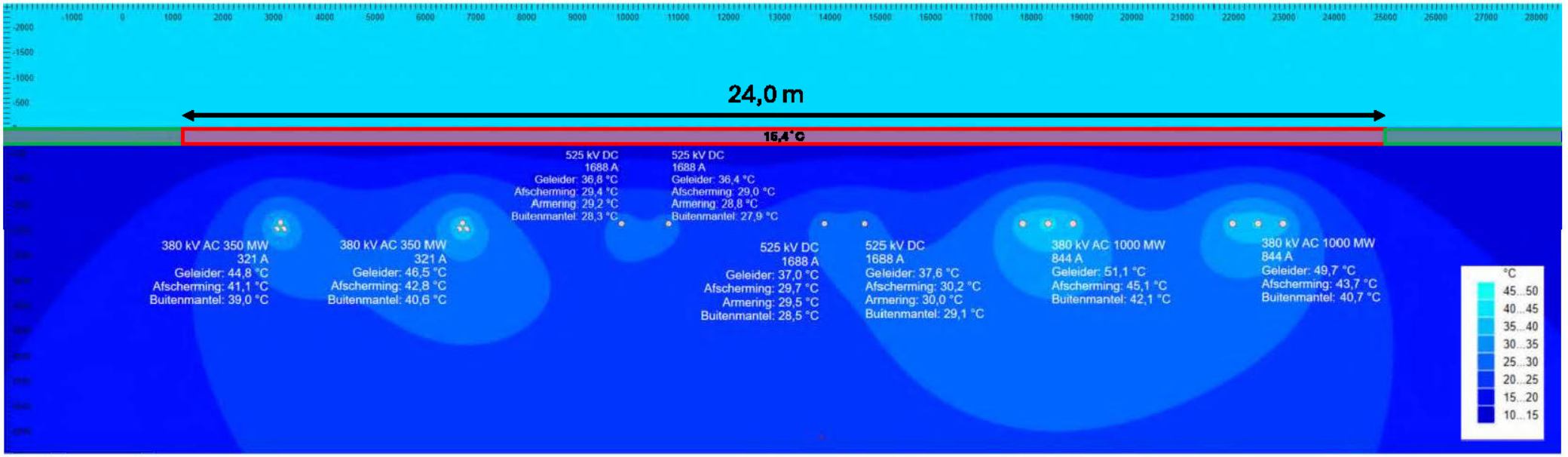
Cross Section 004 4.7 GW

Klein boven GWS (k =1,8 W/mK)



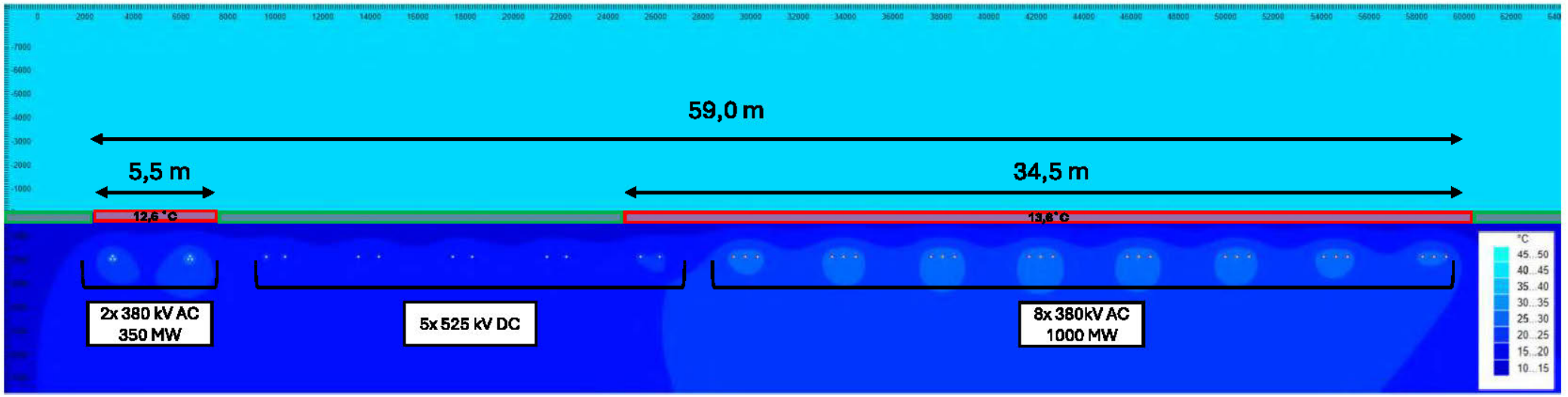
Cross Section 004 4.7 GW

Klein boven GWS (k =1,5 W/mK)



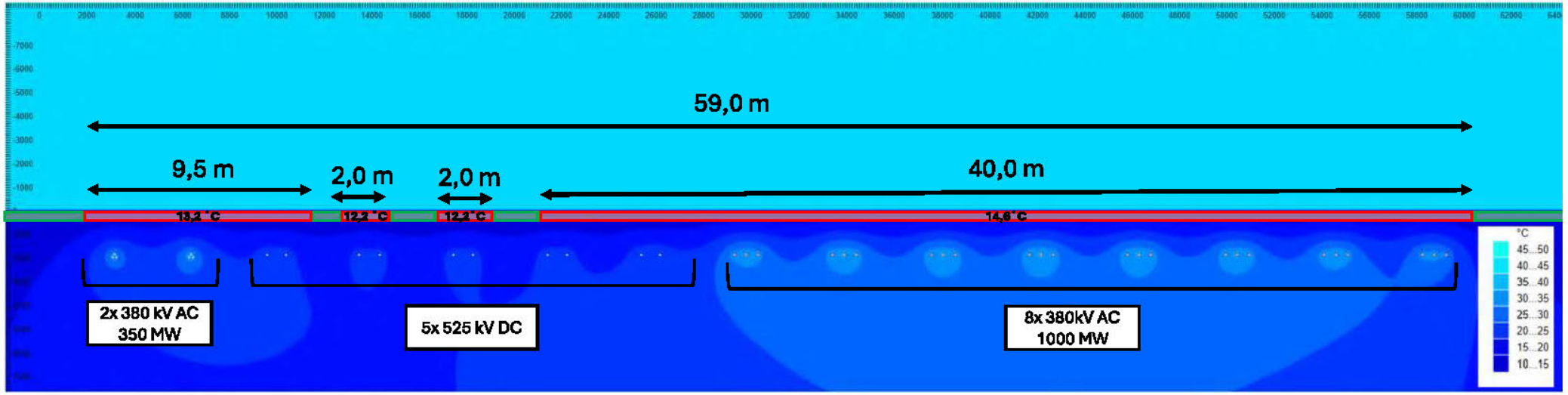
Cross Section 004 10.7 GW

Klein onder GWS (k =2,5 W/mK)



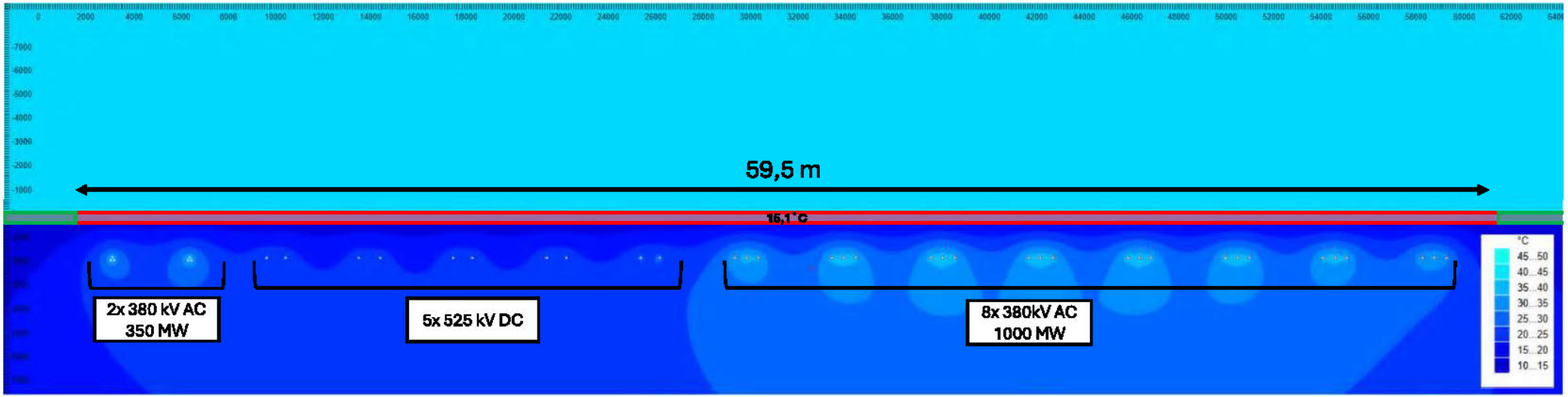
Cross Section 004 10.7 GW

Zavel onder GWS (k =2,0 W/mK)



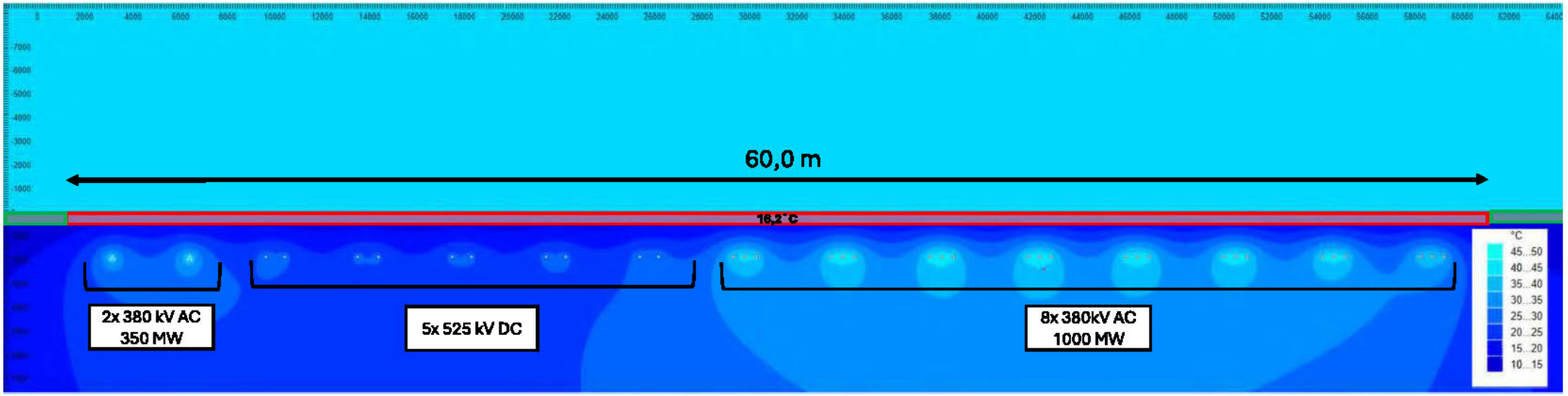
Cross Section 004 10.7 GW

Klei boven GWS (k =1,8 W/mK)



Cross Section 004 10.7 GW

Zavel boven GWS (k =1,5 W/mK)



Bijlage 9

Berekeningssheets warmteafgifte H_2-leidingen

Rotterdam ENGINEERING

Input waardes

Uitwendige diameter staal	D_o	1200	mm
Uitwendige diameter PE	D_e	1206.2	mm
wanddikte staal	t_{staal}	15.9	mm
wanddikte mantelbuis	t_{PE}	3.1	mm
Leiding dek [waarde > 0 invoeren]	H	3	m
Temperatuur maaiveld	T_{MV}	10	°C
Temperatuur op 15m -MV	T_{diepte}	10	°C
Temperatuur aanvoerleiding	$T_{Aanvoer}$	30	°C
Warmtegeleidingscoëfficiënt staal	λ_{staal}	50	W /m K
Warmtegeleidingscoëfficiënt PUR	λ_{PUR}	1E-22	W /m K
Warmtegeleidingscoëfficiënt PE	λ_{PE}	0.17	W /m K
Warmtegeleidingscoëfficiënt grond	λ_{grond}	1.5	W /m K
Isolatiecoefficient grond (EN13941-1)	R_o	0.0685	m^2K/W

Rekenwaardes

gecorrigeerde diepte voor berekening	Z	3705.85	mm
Uitwendige diameter PE	D_e	1206.2	mm
Inwendige diameter mantel	D_{ei}	1200	mm
Uitwendige diameter staal	D_o	1200	mm
Inwendige diameter staal	D_i	1168.2	mm
isolatiecoëfficiënt staal	R_{staal}	8.55E-05	m K /W
isolatiecoëfficiënt PUR	R_{PUR}	0.00E+00	m K /W
isolatiecoëfficiënt PE	R_{PE}	0.00	m K /W
isolatiecoëfficiënt grond	R_{grond}	2.66E-01	m K /W
totale isolatiecoëfficiënt	R_{TOT}	0.27	mK/W
heat loss coefficient	U_{TOT}	3.69	W/mK

Output

totale warmteverlies	Φ	73.8	W/m
Temperatuur binnenkant mediumbuis	$T_{staal.in}$	29.99	°C
Temperatuur buitenkant mediumbuis	$T_{staal.uit}$	29.99	°C
Temperatuur buitenkant PUR	$T_{PUR.uit}$	29.99	°C
Temperatuur buitenkant PE mantelbuis	$T_{PE.uit}$	29.63	°C

Rotterdam ENGINEERING

Input waardes

Uitwendige diameter staal	D_o	1200	mm
Uitwendige diameter PE	D_e	1206.2	mm
wanddikte staal	t_{staal}	15.9	mm
wanddikte mantelbuis	t_{PE}	3.1	mm
Leiding dek [waarde > 0 invoeren]	H	3	m
Temperatuur maaiveld	T_{MV}	10	°C
Temperatuur op 15m -MV	T_{diepte}	10	°C
Temperatuur aanvoerleiding	$T_{Aanvoer}$	30	°C
Warmtegeleidingscoëfficiënt staal	λ_{staal}	50	W /m K
Warmtegeleidingscoëfficiënt PUR	λ_{PUR}	1E-22	W /m K
Warmtegeleidingscoëfficiënt PE	λ_{PE}	0.17	W /m K
Warmtegeleidingscoëfficiënt grond	λ_{grond}	1.8	W /m K
Isolatiecoefficient grond (EN13941-1)	R_o	0.0685	m^2K/W

Rekenwaardes

gecorrigeerde diepte voor berekening	Z	3726.4	mm
Uitwendige diameter PE	D_e	1206.2	mm
Inwendige diameter mantel	D_{ei}	1200	mm
Uitwendige diameter staal	D_o	1200	mm
Inwendige diameter staal	D_i	1168.2	mm
isolatiecoëfficiënt staal	R_{staal}	8.55E-05	m K /W
isolatiecoëfficiënt PUR	R_{PUR}	0.00E+00	m K /W
isolatiecoëfficiënt PE	R_{PE}	0.00	m K /W
isolatiecoëfficiënt grond	R_{grond}	2.22E-01	m K /W
totale isolatiecoëfficiënt	R_{TOT}	0.23	mK/W
heat loss coefficient	U_{TOT}	4.40	W/mK

Output

totale warmteverlies	Φ	88.0	W/m
Temperatuur binnenkant mediumbuis	$T_{staal.in}$	29.99	°C
Temperatuur buitenkant mediumbuis	$T_{staal.uit}$	29.98	°C
Temperatuur buitenkant PUR	$T_{PUR.uit}$	29.98	°C
Temperatuur buitenkant PE mantelbuis	$T_{PE.uit}$	29.56	°C

Rotterdam ENGINEERING

Input waardes

Uitwendige diameter staal	D_o	1200	mm
Uitwendige diameter PE	D_e	1206.2	mm
wanddikte staal	t_{staal}	15.9	mm
wanddikte mantelbuis	t_{PE}	3.1	mm
Leiding dek [waarde > 0 invoeren]	H	3	m
Temperatuur maaiveld	T_{MV}	10	°C
Temperatuur op 15m -MV	T_{diepte}	10	°C
Temperatuur aanvoerleiding	$T_{Aanvoer}$	30	°C
Warmtegeleidingscoëfficiënt staal	λ_{staal}	50	W /m K
Warmtegeleidingscoëfficiënt PUR	λ_{PUR}	1E-22	W /m K
Warmtegeleidingscoëfficiënt PE	λ_{PE}	0.17	W /m K
Warmtegeleidingscoëfficiënt grond	λ_{grond}	2	W /m K
Isolatiecoefficient grond (EN13941-1)	R_o	0.0685	m^2K/W

Rekenwaardes

gecorrigeerde diepte voor berekening	Z	3740.1	mm
Uitwendige diameter PE	D_e	1206.2	mm
Inwendige diameter mantel	D_{ei}	1200	mm
Uitwendige diameter staal	D_o	1200	mm
Inwendige diameter staal	D_i	1168.2	mm
isolatiecoëfficiënt staal	R_{staal}	8.55E-05	m K /W
isolatiecoëfficiënt PUR	R_{PUR}	0.00E+00	m K /W
isolatiecoëfficiënt PE	R_{PE}	0.00	m K /W
isolatiecoëfficiënt grond	R_{grond}	2.00E-01	m K /W
totale isolatiecoëfficiënt	R_{TOT}	0.21	mK/W
heat loss coefficient	U_{TOT}	4.87	W/mK

Output

totale warmteverlies	Φ	97.4	W/m
Temperatuur binnenkant mediumbuis	$T_{staal.in}$	29.99	°C
Temperatuur buitenkant mediumbuis	$T_{staal.uit}$	29.98	°C
Temperatuur buitenkant PUR	$T_{PUR.uit}$	29.98	°C
Temperatuur buitenkant PE mantelbuis	$T_{PE.uit}$	29.51	°C

Rotterdam ENGINEERING

Input waardes

Uitwendige diameter staal	D_o	1200	mm
Uitwendige diameter PE	D_e	1206.2	mm
wanddikte staal	t_{staal}	15.9	mm
wanddikte mantelbuis	t_{PE}	3.1	mm
Leiding dek [waarde > 0 invoeren]	H	3	m
Temperatuur maaiveld	T_{MV}	10	°C
Temperatuur op 15m -MV	T_{diepte}	10	°C
Temperatuur aanvoerleiding	$T_{Aanvoer}$	30	°C
Warmtegeleidingscoëfficiënt staal	λ_{staal}	50	W /m K
Warmtegeleidingscoëfficiënt PUR	λ_{PUR}	1E-22	W /m K
Warmtegeleidingscoëfficiënt PE	λ_{PE}	0.17	W /m K
Warmtegeleidingscoëfficiënt grond	λ_{grond}	2.5	W /m K
Isolatiecoefficient grond (EN13941-1)	R_o	0.0685	m^2K/W

Rekenwaardes

gecorrigeerde diepte voor berekening	Z	3774.35	mm
Uitwendige diameter PE	D_e	1206.2	mm
Inwendige diameter mantel	D_{ei}	1200	mm
Uitwendige diameter staal	D_o	1200	mm
Inwendige diameter staal	D_i	1168.2	mm
isolatiecoëfficiënt staal	R_{staal}	8.55E-05	m K /W
isolatiecoëfficiënt PUR	R_{PUR}	0.00E+00	m K /W
isolatiecoëfficiënt PE	R_{PE}	0.00	m K /W
isolatiecoëfficiënt grond	R_{grond}	1.61E-01	m K /W
totale isolatiecoëfficiënt	R_{TOT}	0.17	mK/W
heat loss coefficient	U_{TOT}	6.03	W/mK

Output

totale warmteverlies	Φ	120.6	W/m
Temperatuur binnenkant mediumbuis	$T_{staal.in}$	29.99	°C
Temperatuur buitenkant mediumbuis	$T_{staal.uit}$	29.98	°C
Temperatuur buitenkant PUR	$T_{PUR.uit}$	29.98	°C
Temperatuur buitenkant PE mantelbuis	$T_{PE.uit}$	29.40	°C

Bijlage 10

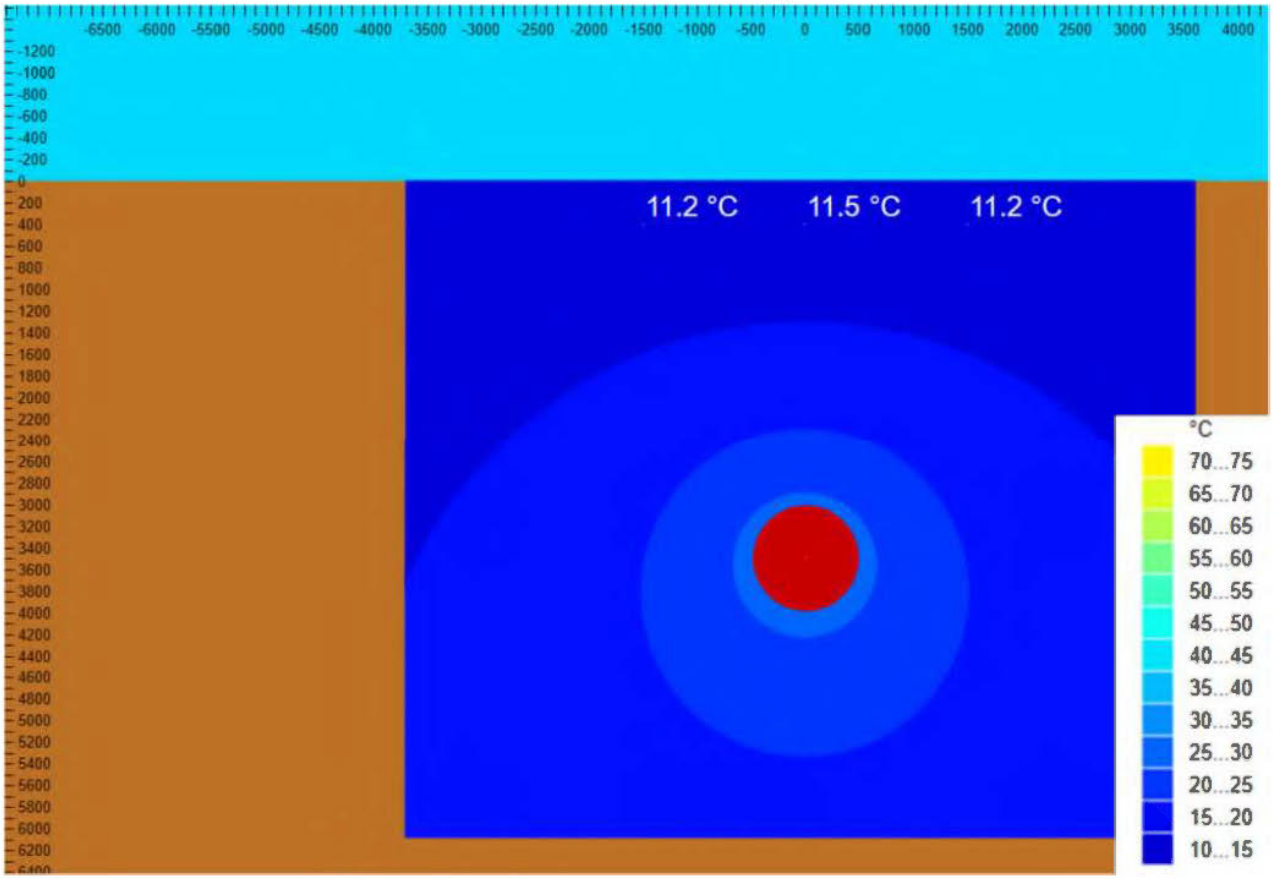
Resultaten Scenario 4

Waterstofleidingen

1x H2 leiding

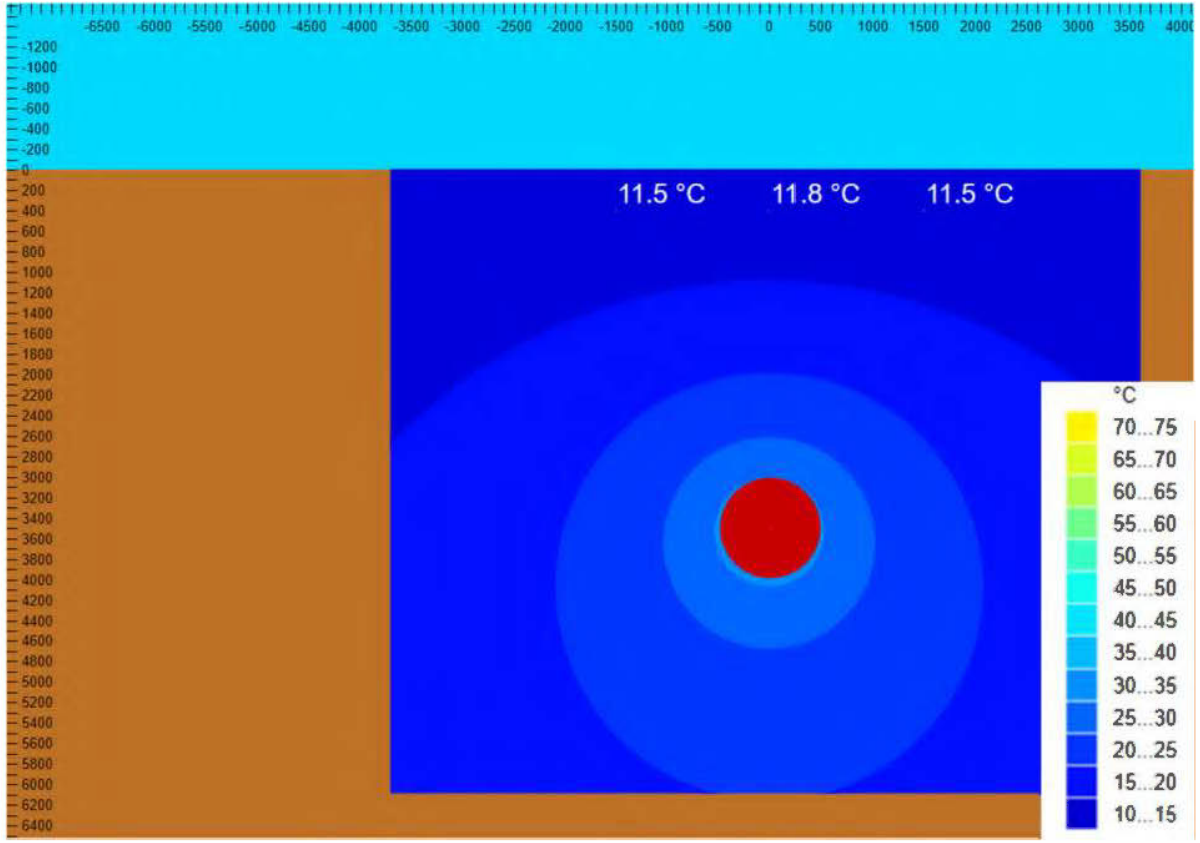
Klei onder GWS (k =2,5 W/mK)
Q = 120,6 W/m

Opmerking: In dit scenario wordt getoetst aan 11,6 C i.v.m. een correctiefactor van 1,2



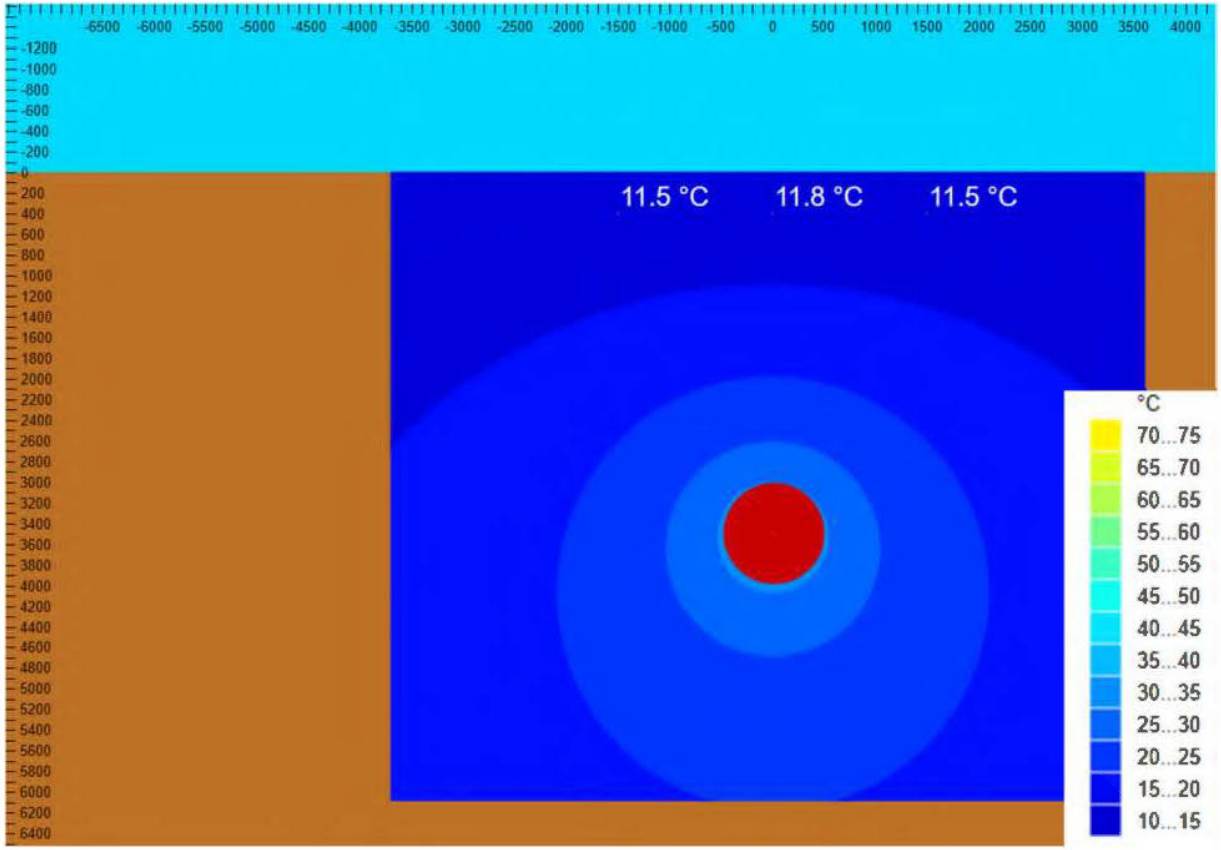
1x H2 leiding

Zavel onder GWS (k =2,0 W/mK)
Q = 97.4 W/m



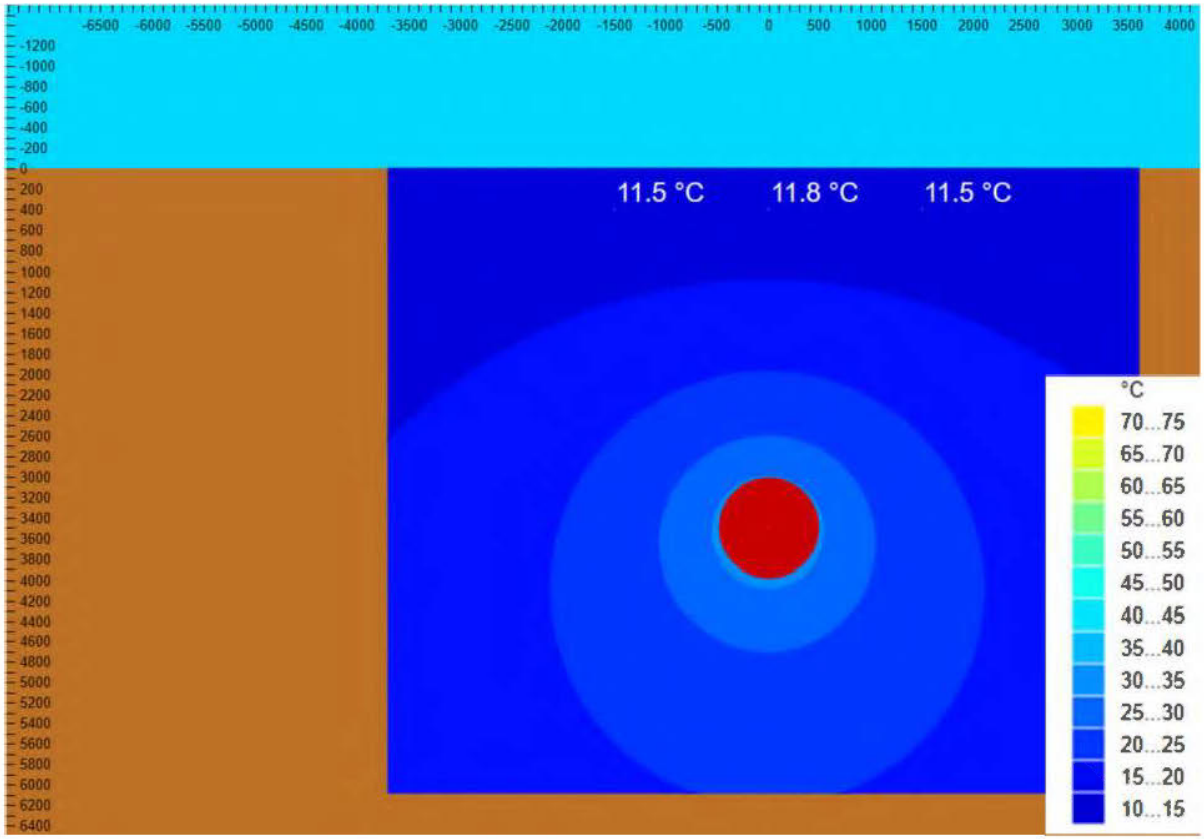
1x H2 leiding

Klei boven GWS (k =1,8 W/mK)
Q = 88.0 W/m



1x H2 leiding

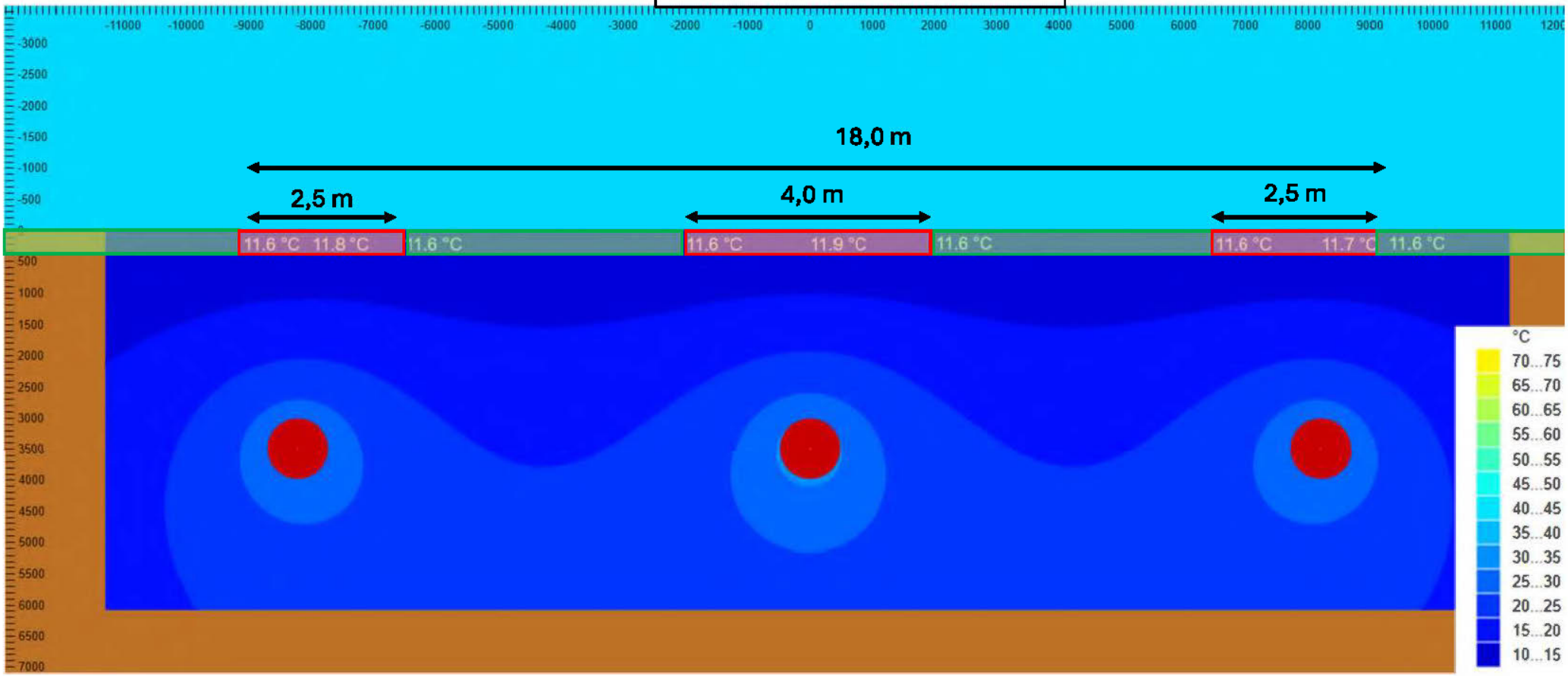
Zavel boven GWS (k =1,5 W/mK)
W = 73.8 W/m



3x H2 leiding

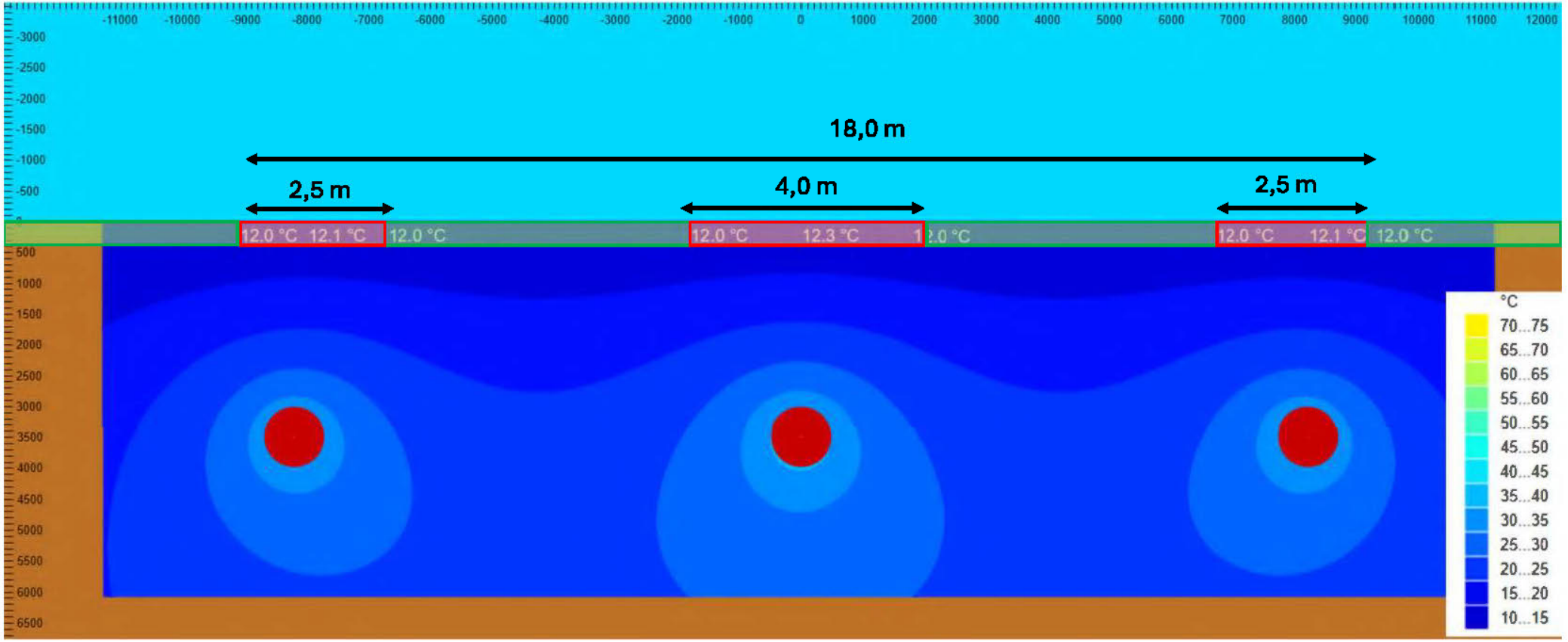
Klei onder GWS (k =2,5 W/mK)
Q = 120.6 W/m

Opmerking: In dit scenario wordt getoetst aan 11.7 C i.v.m. correctiefactor



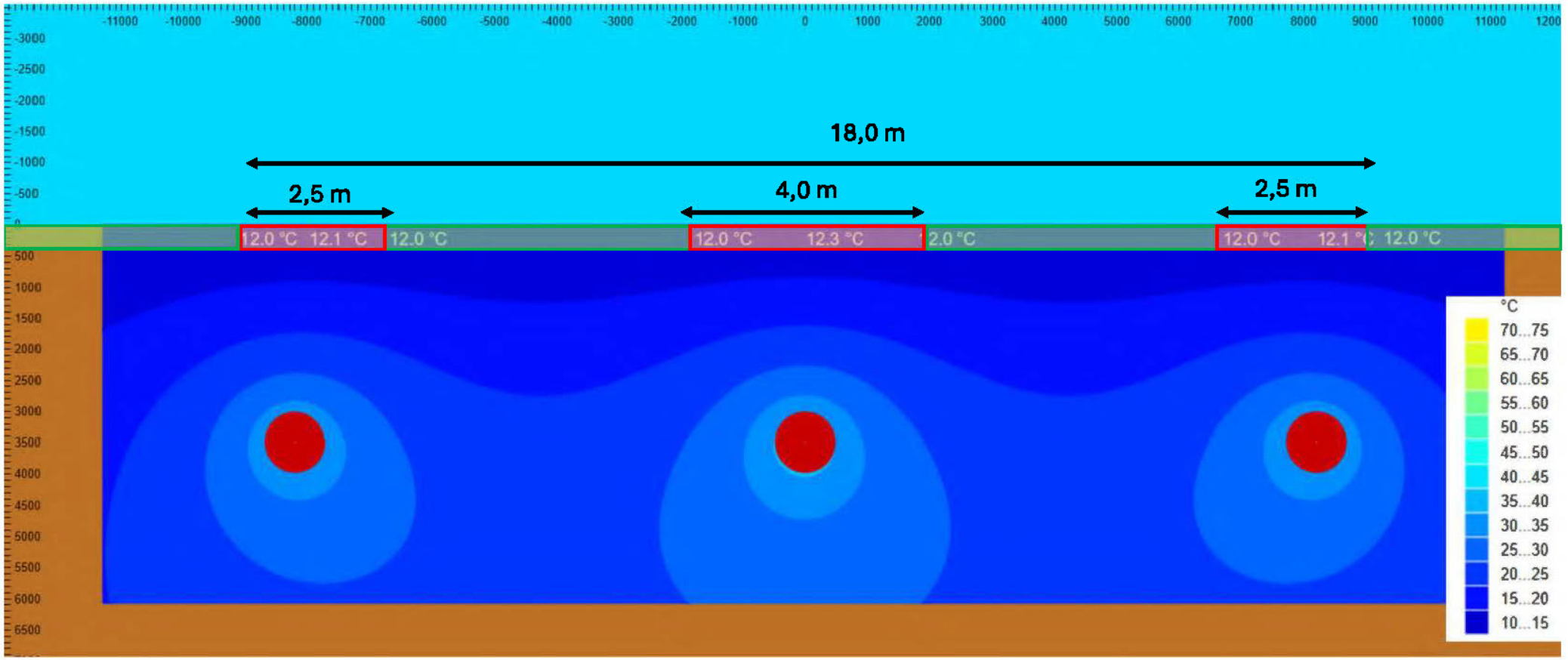
3x H2 leiding

Zavel onder GWS (k =2,0 W/mK)
Q = 97,4 W/m



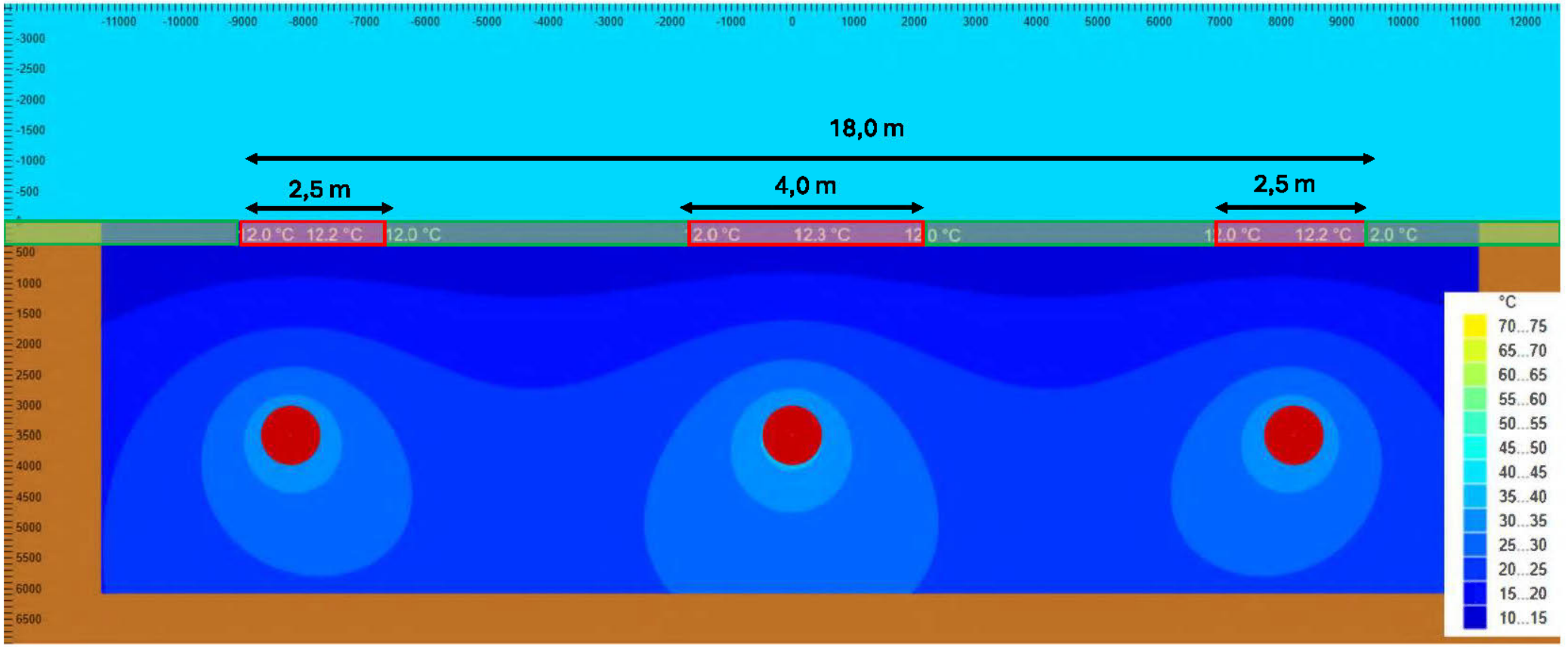
3x H2 leiding

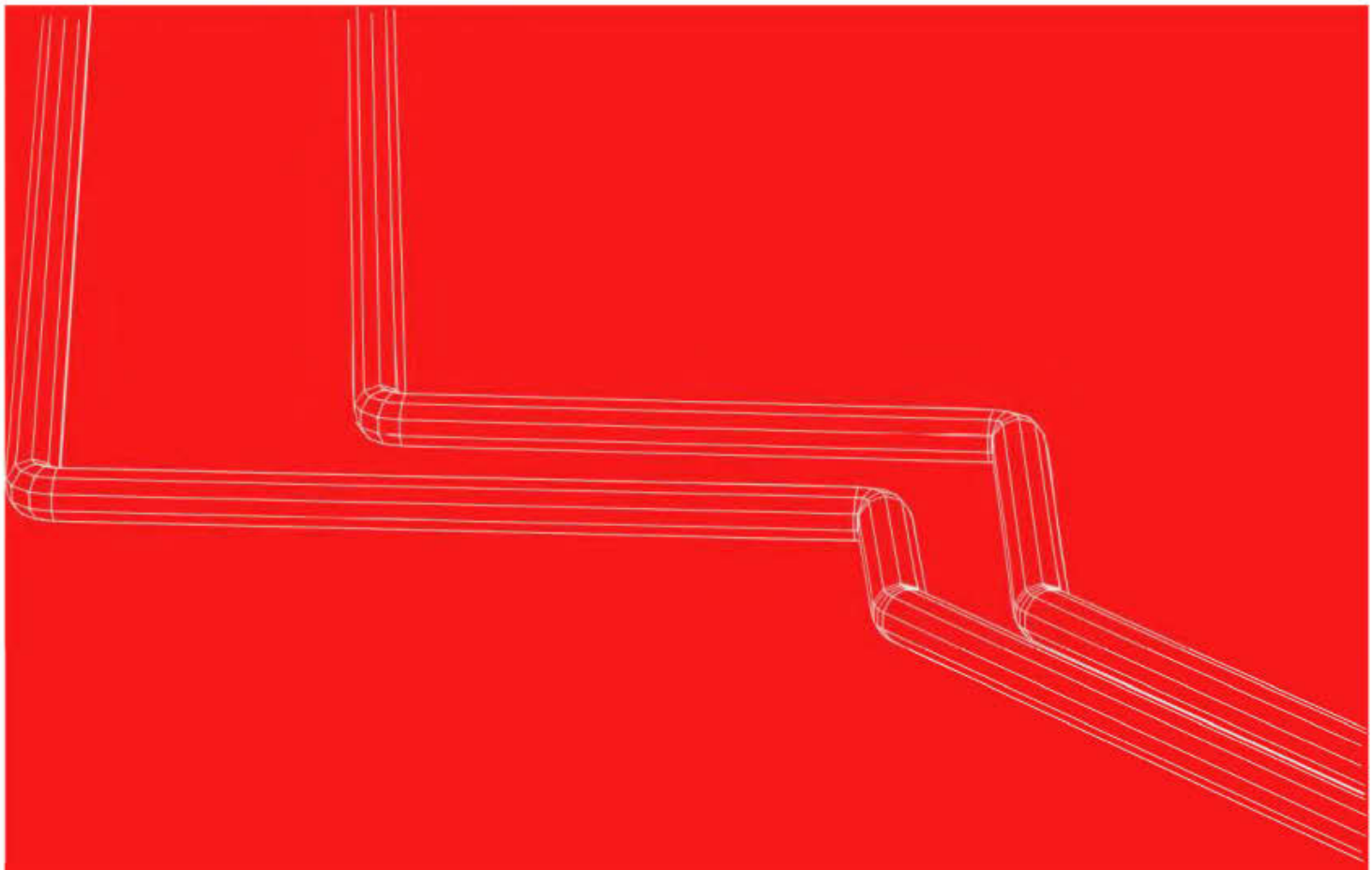
Klei boven GWS (k = 1,8 W/mK)
Q = 88,0 W/m



3x H2 leiding

Zavel boven GWS (k =1,5 W/mK)
Q = 73,8 W/m





Rotterdam
Engineering

Rotterdam Engineering B.V.
Vasteland 78
3011 BN Rotterdam
Telefoon: 010-226 4935

Copyright © 2024
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.

Rotterdam Engineering is onderdeel van

UPA
Universal Pipeline Association

Bijlage 6

Analyseresultaten agrarische analyses

a. Resultaten criterium 1 – tracélengte in agrarische percelen
b. Resultaten criterium 2 – bodemopbouw
c. Resultaten criterium 3 – plantenziekten
d. Resultaten criterium 4 – bodemopwarming
e. Overzicht resultaten alle criteria

PAWOZ
Analyse impact agrarische waarden
RE23088-R01-G
24-jan-25

legende kleurenschaal:
= hoogst verwachting (meest negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering
= gemiddelde verwachting (gemiddelde negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering
= laagste verwachting (minste negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering

Analyseresultaten criterium 1 - tracélengte in landbouwgrond

route	ligging in contour	resultaat 1a - tracélengte in agrarische percelen	index 1a - tracélengte in agrarische percelen	tracéonzekerheid	resultaat 1b - aantal betrokken perceeleigenaren	index 1b - aantal betrokken perceeleigenaren	tracéonzekerheid	resultaat 1c - tracélengte in huiskavels	index 1c - tracélengte in huiskavels	tracéonzekerheid	resultaat criterium 1 (gemiddelde index 1abc)	tracéonzekerheid
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	PAWOZ-route	10.182	26		31	29		1.580	12		22	
	Noord	7.230	18	-8	25	24	-6	1.492	11	-1	18	-5
	Zuid	12.161	31	5	32	30	1	6.540	49	37	37	14
II: Oude Westereems landroute A TenneT	PAWOZ-route	8.212	21		26	25		608	5		17	
	Noord	5.390	14	-7	23	22	-3	410	3	-1	13	-4
	Zuid	9.464	24	3	27	25	1	5.527	41	37	30	14
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	PAWOZ-route	13.674	35		28	26		4.107	31		31	
	Noord	9.752	25	-10	33	31	5	3.830	29	-2	28	-2
	Zuid	14.419	37	2	43	41	14	6.113	46	15	41	10
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	PAWOZ-route	12.872	33		26	25		3.938	29		29	
	Noord	7.399	19	-14	27	25	1	2.538	19	-10	21	-8
	Zuid	13.425	34	1	42	40	15	5.830	44	14	39	10
V: Boschgat landroute A TenneT	PAWOZ-route	16.547	42		47	44		608	5		30	
	Noord	14.630	37	-5	45	42	-2	1.668	12	8	31	0
	Zuid	16.106	41	-1	62	58	14	6.906	52	47	50	20
V: Boschgat landroute A1 TenneT	PAWOZ-route	18.115	46		51	48		3.687	28		41	
	Noord	16.757	43	-3	52	49	1	6.174	46	19	46	5
	Zuid	17.631	45	-1	61	58	9	6.072	45	18	49	9
V: Boschgat landroute B TenneT	PAWOZ-route	26.637	68		76	72		5.431	41		60	
	Noord	24.763	63	-5	76	72	0	6.244	47	6	61	0
	Zuid	26.410	67	-1	94	89	17	12.072	90	50	82	22
V: Boschgat landroute B1 TenneT	PAWOZ-route	28.205	72		81	76		8.509	64		71	
	Noord	27.160	69	-3	82	77	1	10.750	80	17	76	5
	Zuid	27.936	71	-1	93	88	11	11.239	84	20	81	10
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	PAWOZ-route	38.349	98		105	99		6.885	51		83	
	Noord	36.225	93	-5	98	92	-7	7.188	54	2	80	-3
	Zuid	36.303	93	-5	111	105	6	19.424	145	94	114	31
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	PAWOZ-route	36.058	92		100	94		5.914	44		77	
	Noord	34.045	87	-5	96	91	-4	6.043	45	1	74	-3
	Zuid	35.599	91	-1	111	105	10	19.276	144	100	113	36
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	PAWOZ-route	39.139	100		106	100		9.160	69		90	
	Noord	38.067	97	-3	109	103	3	10.840	81	13	94	4
	Zuid	38.753	99	-1	125	118	18	18.699	140	71	118	29
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	PAWOZ-route	37.619	96		104	98		8.993	67		87	
	Noord	35.714	91	-5	103	97	-1	9.551	71	4	87	-1
	Zuid	37.053	95	-1	124	117	19	18.265	137	69	116	29
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	PAWOZ-route	16.068	41		37	35		8.411	63		46	
	Noord	15.927	41	0	46	43	8	8.911	67	4	50	4
	Zuid	15.356	39	-2	43	41	6	7.019	52	-10	44	-2
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	PAWOZ-route	16.881	43		41	39		9.633	72		51	
	Noord	16.913	43	0	47	44	6	9.198	69	-3	52	1
	Zuid	16.528	42	-1	48	45	7	8.357	63	-10	50	-1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	PAWOZ-route	19.466	50		46	43		8.997	67		53	
	Noord	20.110	51	2	49	46	3	9.181	69	1	55	2
	Zuid	18.610	48	-2	49	46	3	8.621	64	-3	53	-1
VIII: Amaland Wantij route A Gasunie	PAWOZ-route	31.375	80		81	76		10.224	76		78	
	Noord	30.718	78	-2	91	86	9	11.877	89	12	84	7
	Zuid	29.768	76	-4	116	109	33	7.558	57	-20	81	3
VIII: Amaland Wantij route B Gasunie	PAWOZ-route	28.153	72		80	75		13.371	100		82	
	Noord	27.861	71	-1	92	87	11	15.441	115	15	91	9
	Zuid	28.114	72	0	87	82	7	11.740	88	-12	81	-2
VIII: Amaland Wantij route B1 Gasunie	PAWOZ-route	27.588	70		76	72		11.341	85		76	
	Noord	28.051	72	1	88	83	11	11.593	87	2	80	5
	Zuid	27.102	69	-1	96	91	19	10.271	77	-8	79	3
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	PAWOZ-route	22.283	57		60	57		7.704	58		57	
	Noord	21.899	56	-1	68	64	8	10.069	75	18	65	8
	Zuid	20.704	53	-4	84	79	23	5.065	38	-20	57	0

PAWOZ
Analyse impact agrarische waarden
RE23088-R01-G
24-jan-25

legenda kleurenschaal:
= hoogst verwachting (meest negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering
= gemiddelde verwachting (gemiddelde negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering
= laagste verwachting (minste negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering

Analyseresultaten criterium 2 - bodemopbouw

Route	ligging in contour	Lengte in agrarische percelen	gewaswaarde-indicatie agrarische percelen	gemiddelde gewaswaarde-indicatie, per m1	index gewaswaarde-indicatie	gemiddelde gevoeligheid voor structuurschade, per m1	gevoeligheid agrarische percelen voor structuurschade	index gevoeligheid voor structuurschade	index criterium 2 - impact bodemopbouw	tracéonzekerheid
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	**PAWOZ-route**	**10.182**	**4976**	0,49	**24**	**1,26**	**12829**	**26**	**25**	
	Noord	7.230	3632	0,50	17	1,31	9471	19	18	-7
	Zuid	12.161	6132	0,50	29	1,25	15201	31	30	5
II: Oude Westereems landroute A TenneT	**PAWOZ-route**	**8.212**	**4145**	0,50	**20**	**1,26**	**10347**	**21**	**20**	
	Noord	5.390	2758	0,51	13	1,34	7223	15	14	-6
	Zuid	9.464	4945	0,52	24	1,26	11925	24	24	4
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	**PAWOZ-route**	**13.674**	**7557**	0,55	**36**	**1,25**	**17093**	**35**	**35**	
	Noord	9.752	5381	0,55	26	1,27	12385	25	25	-10
	Zuid	14.419	6838	0,47	33	1,25	18024	37	35	-1
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	**PAWOZ-route**	**12.872**	**7104**	0,55	**34**	**1,26**	**16219**	**33**	**33**	
	Noord	7.399	4100	0,55	20	1,27	9397	19	19	-14
	Zuid	13.425	6358	0,47	30	1,25	16781	34	32	-1
V: Boschgat landroute A TenneT	**PAWOZ-route**	**16.547**	**8133**	0,49	**39**	**1,26**	**20849**	**42**	**41**	
	Noord	14.630	7477	0,51	36	1,26	18434	37	37	-4
	Zuid	16.106	8427	0,52	40	1,26	20294	41	41	0
V: Boschgat landroute A1 TenneT	**PAWOZ-route**	**18.115**	**10027**	0,55	**48**	**1,25**	**22644**	**46**	**47**	
	Noord	16.757	9562	0,57	46	1,25	20946	42	44	-3
	Zuid	17.631	9567	0,54	46	1,25	22039	45	45	-2
V: Boschgat landroute B TenneT	**PAWOZ-route**	**26.637**	**13228**	0,50	**63**	**1,27**	**33829**	**69**	**66**	
	Noord	24.763	12732	0,51	61	1,29	31944	65	63	-3
	Zuid	26.410	13860	0,52	66	1,26	33277	67	67	1
V: Boschgat landroute B1 TenneT	**PAWOZ-route**	**28.205**	**15122**	0,54	**72**	**1,27**	**35820**	**73**	**72**	
	Noord	27.160	14818	0,55	71	1,29	35036	71	71	-2
	Zuid	27.936	14998	0,54	72	1,26	35199	71	72	-1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	**PAWOZ-route**	**38.349**	**19352**	0,50	**93**	**1,26**	**48320**	**98**	**95**	
	Noord	36.225	18463	0,51	88	1,29	46730	95	92	-4
	Zuid	36.303	19739	0,54	94	1,25	45379	92	93	-2
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	**PAWOZ-route**	**36.058**	**18316**	0,51	**88**	**1,26**	**45433**	**92**	**90**	
	Noord	34.045	18117	0,53	87	1,29	43918	89	88	-2
	Zuid	35.599	19449	0,55	93	1,25	44499	90	92	2
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	**PAWOZ-route**	**38.139**	**20621**	0,53	**100**	**1,26**	**48315**	**100**	**100**	
	Noord	38.067	20491	0,54	98	1,28	48726	99	98	-2
	Zuid	38.753	19959	0,52	95	1,25	48441	98	97	-3
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	**PAWOZ-route**	**37.619**	**20206**	0,54	**97**	**1,26**	**47400**	**96**	**96**	
	Noord	35.714	19211	0,54	92	1,28	45714	93	92	-4
	Zuid	37.053	19190	0,52	92	1,25	46316	94	93	-4
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	**PAWOZ-route**	**16.068**	**7461**	0,46	**36**	**1,36**	**21852**	**44**	**40**	
	Noord	15.927	7655	0,48	37	1,36	21661	44	40	0
	Zuid	15.356	7103	0,46	34	1,35	20731	42	38	-2
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	**PAWOZ-route**	**16.881**	**8060**	0,48	**39**	**1,36**	**22958**	**47**	**43**	
	Noord	16.913	8059	0,48	39	1,36	23002	47	43	0
	Zuid	16.528	7854	0,48	38	1,35	22313	45	41	-1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	**PAWOZ-route**	**19.466**	**10271**	0,53	**49**	**1,26**	**24527**	**50**	**49**	
	Noord	20.110	11024	0,55	53	1,26	25339	51	52	3
	Zuid	18.610	9802	0,53	47	1,27	23635	48	47	-2
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	**PAWOZ-route**	**31.375**	**18988**	0,61	**91**	**1,31**	**41101**	**83**	**87**	
	Noord	30.718	17570	0,57	84	1,30	39933	81	82	-5
	Zuid	29.768	17047	0,57	81	1,32	39294	80	81	-6
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	**PAWOZ-route**	**28.153**	**13185**	0,47	**63**	**1,32**	**37162**	**75**	**69**	
	Noord	27.861	12782	0,46	61	1,31	36498	74	68	-2
	Zuid	28.114	13518	0,48	65	1,31	36829	75	70	0
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	**PAWOZ-route**	**27.588**	**14458**	0,52	**69**	**1,28**	**35313**	**72**	**70**	
	Noord	28.051	14525	0,52	69	1,28	35905	73	71	1
	Zuid	27.102	14234	0,53	68	1,28	34691	70	69	-1
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	**PAWOZ-route**	**22.283**	**10756**	0,48	**51**	**1,33**	**29636**	**60**	**56**	
	Noord	21.899	10916	0,50	52	1,32	28907	59	55	0
	Zuid	20.704	9884	0,48	47	1,35	27950	57	52	-4

PAWOZ
Analyse impact agrarische waarden
RE2.3088-R01-G
24-jan-25

legenda kleurenschaal:
= hoogst verwachting (meest negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering
= gemiddelde verwachting (gemiddelde negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering
= laagste verwachting (minste negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering

Analyseresultaten criterium 3 - plantenziekten

Route	ligging in contour	Lengte in akkerbouw percelen	gewaswaarde-indicatie akkerbouwpercelen	gemiddelde gewaswaarde-indicatie, per m1	index criterium 3 - plantenziekten	tracéonzekerheid
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	**PAWOZ-route**	**8.979**	**4361**	**0,49**	**24**	
	Noord	5.854	3159	0,54	17	-7
	Zuid	10.178	5466	0,54	30	6
II: Oude Westereems landroute A TenneT	**PAWOZ-route**	**6.329**	**3392**	**0,54**	**19**	
	Noord	3.486	2239	0,64	12	-6
	Zuid	6.880	4133	0,60	23	4
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	**PAWOZ-route**	**10.756**	**7034**	**0,65**	**38**	
	Noord	8.036	4871	0,61	27	-12
	Zuid	12.958	5961	0,46	33	-6
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	**PAWOZ-route**	**9.273**	**6352**	**0,68**	**35**	
	Noord	5.456	3452	0,63	19	-16
	Zuid	11.284	5240	0,46	29	-6
V: Boschgat landroute A TenneT	**PAWOZ-route**	**10.227**	**5731**	**0,56**	**31**	
	Noord	9.488	5587	0,59	30	-1
	Zuid	9.996	6268	0,63	34	3
V: Boschgat landroute A1 TenneT	**PAWOZ-route**	**14.632**	**8438**	**0,58**	**46**	
	Noord	14.038	8248	0,59	45	-1
	Zuid	13.491	7902	0,59	43	-3
V: Boschgat landroute B TenneT	**PAWOZ-route**	**17.739**	**10372**	**0,58**	**57**	
	Noord	16.494	10175	0,62	56	-1
	Zuid	18.932	11567	0,61	63	7
V: Boschgat landroute B1 TenneT	**PAWOZ-route**	**22.144**	**13060**	**0,59**	**71**	
	Noord	21.043	12835	0,61	70	-1
	Zuid	22.409	13196	0,59	72	1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	**PAWOZ-route**	**27.818**	**15992**	**0,57**	**87**	
	Noord	26.621	15584	0,59	85	-2
	Zuid	29.234	17738	0,61	97	10
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	**PAWOZ-route**	**24.840**	**14820**	**0,60**	**81**	
	Noord	24.079	14585	0,61	80	-1
	Zuid	28.530	16429	0,58	90	9
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	**PAWOZ-route**	**31.211**	**18332**	**0,59**	**100**	
	Noord	29.694	18044	0,61	98	-2
	Zuid	33.396	18204	0,55	99	-1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	**PAWOZ-route**	**29.239**	**17505**	**0,60**	**95**	
	Noord	27.111	16624	0,61	91	-5
	Zuid	31.017	17198	0,55	94	-2
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	**PAWOZ-route**	**8.486**	**4810**	**0,57**	**26**	
	Noord	8.833	5760	0,65	31	5
	Zuid	8.531	4885	0,57	27	0
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	**PAWOZ-route**	**9.574**	**5397**	**0,56**	**29**	
	Noord	9.800	5197	0,53	28	-1
	Zuid	9.734	5546	0,57	30	1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	**PAWOZ-route**	**12.791**	**7605**	**0,59**	**41**	
	Noord	14.682	9038	0,62	49	8
	Zuid	14.637	8206	0,56	45	3
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	**PAWOZ-route**	**16.929**	**13923**	**0,82**	**76**	
	Noord	15.821	12438	0,79	68	-8
	Zuid	16.362	12302	0,75	67	-9
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	**PAWOZ-route**	**9.953**	**7276**	**0,73**	**40**	
	Noord	10.156	6717	0,66	37	-3
	Zuid	11.412	7802	0,68	43	3
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	**PAWOZ-route**	**14.530**	**10353**	**0,71**	**56**	
	Noord	15.894	10092	0,63	55	-1
	Zuid	12.743	9319	0,73	51	-6
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	**PAWOZ-route**	**9.763**	**7737**	**0,79**	**42**	
	Noord	9.846	6460	0,66	35	-7
	Zuid	10.158	5939	0,58	32	-10

PAWOZ
Analyse impact agrarische waarden
RE23088-R01-G
24-jan-25

legenda kleurenschaal:
= hoogst verwachting (meest negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering
= gemiddelde verwachting (gemiddelde negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering
= laagste verwachting (minste negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering

Analyseresultaten criterium 4 - bodemopwarming

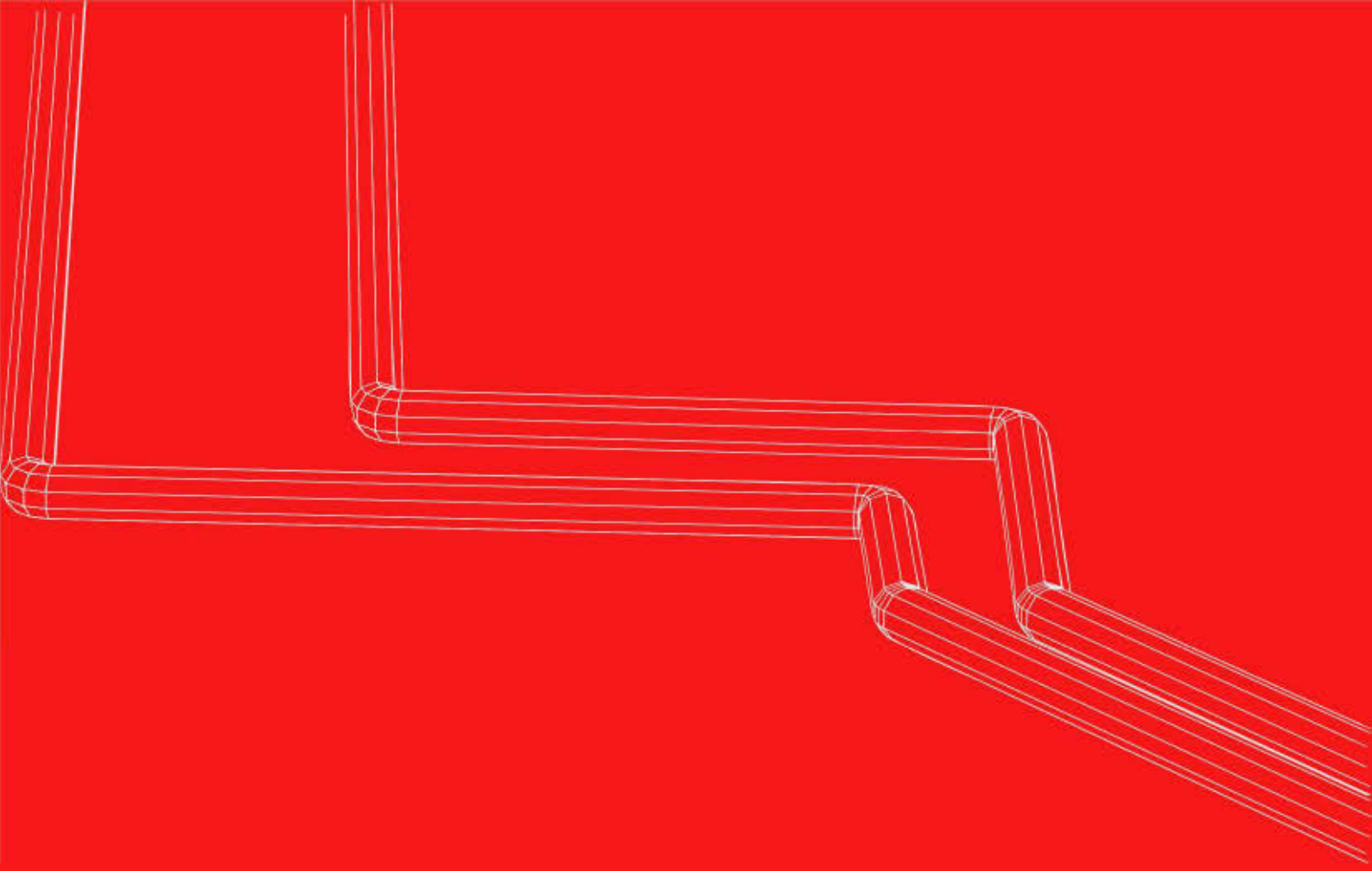
Route	ligging in contour	lengte in akkerbouwpercelen kiel + zavel	lengte in kiel	lengte in zavel	gewaswaarde-indicatie akkerbouwper-celen	gem. aandeel boven GWS (%)	lengte in kiel boven GWS	lengte in kiel onder GWS	lengte in zavel boven GWS	lengte in zavel onder GWS	oppervlakte minimale scope	gewaswaarde-indicatie minimale scope	index 4 - bodem-opwarming minimale scope	tracéonze-kerheid mini-male scope	Oppervlakte maximale scope	gewaswaarde-indicatie maximale scope	index 4 - bodem-opwarming maximale scope	tracéonze-kerheid maxi-male scope
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	**PAWOZ-route**	**8980**	**2.304**	**6.676**	**0,49**	**0,86**	**1.987**	**317**	**5.758**	**918**	**0**	**0**	**0**		**161.640**	**78.507**	**24**	
	Noord	5855	1.400	4.455	0,54	0,77	1.082	318	3.442	1.013	0	0	0	0	105.390	56.872	17	-7
	Zuid	10178	410	9.768	0,54	0,82	335	75	7.985	1.783	0	0	0	0	183.204	98.388	30	6
II: Oude Westereems landroute A TenneT	**PAWOZ-route**	**6328**	**2.350**	**3.978**	**0,54**	**0,81**	**1.901**	**449**	**3.219**	**759**	**4.169**	**2.235**	**20**		**110.522**	**59.234**	**18**	
	Noord	3486	1.400	2.086	0,64	0,70	975	425	1.452	634	1.939	1.246	11	-9	51.904	33.337	10	-8
	Zuid	6880	410	6.470	0,60	0,81	333	77	5.262	1.208	5.428	3.261	30	9	132.118	79.367	24	6
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	**PAWOZ-route**	**10756**	**1.086**	**9.670**	**0,65**	**0,84**	**911**	**175**	**8.111**	**1.559**	**0**	**0**	**0**		**193.608**	**126.612**	**38**	
	Noord	8036	232	7.804	0,61	0,71	164	68	5.520	2.284	0	0	0	0	144.648	87.678	27	-12
	Zuid	12964	1.754	11.210	0,46	0,83	1.459	295	9.322	1.888	0	0	0	0	233.352	107.348	33	-6
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	**PAWOZ-route**	**9273**	**1.121**	**8.152**	**0,68**	**0,81**	**913**	**208**	**6.636**	**1.516**	**7.092**	**4.858**	**44**		**175.231**	**120.033**	**36**	
	Noord	5457	232	5.225	0,63	0,65	151	81	3.399	1.826	3.475	2.198	20	-24	84.223	53.288	16	-20
	Zuid	11290	1.754	9.536	0,46	0,82	1.430	324	7.776	1.760	8.491	5.943	36	-8	211.643	98.282	30	-7
V: Boschgat landroute A TenneT	**PAWOZ-route**	**10227**	**6.635**	**3.592**	**0,56**	**0,81**	**5.363**	**1.272**	**2.903**	**689**	**5.585**	**3.130**	**29**		**5.585**	**3.130**	**1**	
	Noord	9489	4.376	5.113	0,59	0,60	2.646	1.730	3.092	2.021	4.415	2.600	24	-5	4.415	2.600	1	0
	Zuid	9996	1.936	8.060	0,63	0,88	1.696	240	7.059	1.001	7.907	4.958	45	17	7.907	4.958	2	1
V: Boschgat landroute A1 TenneT	**PAWOZ-route**	**14631**	**3.964**	**10.667**	**0,58**	**0,85**	**3.370**	**594**	**9.069**	**1.598**	**10.755**	**6.202**	**57**		**10.755**	**6.202**	**2**	
	Noord	14038	3.856	10.182	0,59	0,74	2.869	987	7.575	2.607	9.009	5.293	48	-8	9.009	5.293	2	0
	Zuid	13489	2.712	10.777	0,59	0,88	2.399	313	9.533	1.244	10.732	6.286	58	1	10.732	6.286	2	0
V: Boschgat landroute B TenneT	**PAWOZ-route**	**17736**	**10.354**	**7.382**	**0,58**	**0,76**	**7.910**	**2.444**	**5.639**	**1.743**	**9.594**	**5.610**	**51**		**9.594**	**5.610**	**2**	
	Noord	16493	7.910	8.583	0,62	0,66	5.199	2.711	5.641	2.942	8.240	5.083	47	-5	8.240	5.083	2	0
	Zuid	18932	2.578	16.354	0,61	0,85	2.180	398	13.829	2.525	14.919	9.115	83	32	14.919	9.115	3	1
V: Boschgat landroute B1 TenneT	**PAWOZ-route**	**22140**	**7.683**	**14.457**	**0,59**	**0,79**	**6.098**	**1.585**	**11.475**	**2.982**	**14.525**	**8.566**	**78**		**14.525**	**8.566**	**3**	
	Noord	21043	7.390	13.653	0,61	0,74	5.478	1.912	10.121	3.532	12.860	7.844	72	-7	12.860	7.844	2	0
	Zuid	22408	3.354	19.054	0,59	0,85	2.861	493	16.253	2.801	17.683	10.413	95	17	17.683	10.413	3	1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	**PAWOZ-route**	**27814**	**14.588**	**13.226**	**0,57**	**0,78**	**11.430**	**3.158**	**10.353**	**2.873**	**0**	**0**	**0**		**500.652**	**287.815**	**87**	
	Noord	26621	5.766	20.855	0,59	0,62	3.587	2.179	12.974	7.881	0	0	0	0	479.178	280.512	85	-2
	Zuid	29202	2.891	26.311	0,61	0,77	2.220	671	20.204	6.107	0	0	0	0	525.636	518.945	97	9
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	**PAWOZ-route**	**24836**	**14.623**	**10.213**	**0,60**	**0,76**	**11.153**	**3.470**	**7.789**	**2.424**	**13.365**	**7.974**	**73**		**382.109**	**227.973**	**69**	
	Noord	24079	5.695	18.384	0,61	0,59	3.370	2.325	10.877	7.507	12.562	7.609	70	-3	520.026	193.845	59	-10
	Zuid	28498	2.891	25.607	0,58	0,77	2.221	670	19.670	5.937	20.781	11.967	109	37	510.954	294.233	89	20
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	**PAWOZ-route**	**31206**	**12.399**	**18.807**	**0,59**	**0,80**	**9.905**	**2.494**	**15.024**	**3.783**	**0**	**0**	**0**		**561.708**	**329.928**	**100**	
	Noord	29694	4.850	24.844	0,61	0,68	3.285	1.565	16.826	8.018	0	0	0	0	534.492	324.741	98	-2
	Zuid	33572	2.685	30.687	0,55	0,78	2.084	601	23.871	6.866	0	0	0	0	600.894	327.457	99	-1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	**PAWOZ-route**	**29235**	**11.953**	**17.282**	**0,60**	**0,79**	**9.383**	**2.570**	**13.567**	**3.715**	**18.259**	**10.931**	**100**		**489.817**	**293.247**	**89**	
	Noord	27111	4.853	22.258	0,61	0,66	3.208	1.645	14.712	7.546	16.316	10.005	92	-8	409.235	250.936	76	-13
	Zuid	30992	2.685	28.307	0,55	0,77	2.068	617	21.802	6.505	33.896	12.662	116	16	559.436	310.190	94	5
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	**PAWOZ-route**	**8486**	**1.552**	**6.934**	**0,57**	**0,59**	**917**	**635**	**4.096**	**2.838**	**0**	**0**	**0**		**152.748**	**86.580**	**26**	
	Noord	8822	1.529	7.293	0,65	0,63	965	564	4.601	2.692	0	0	0	0	158.796	103.551	31	5
	Zuid	8392	930	7.462	0,57	0,61	569	361	4.567	2.895	0	0	0	0	151.056	86.497	26	0
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	**PAWOZ-route**	**9496**	**1.691**	**7.745**	**0,56**	**0,60**	**1.016**	**675**	**4.652**	**3.093**	**0**	**0**	**0**		**169.848**	**95.746**	**29**	
	Noord	9789	1.529	8.260	0,53	0,66	1.005	524	5.429	2.831	0	0	0	0	176.202	93.441	28	-1
	Zuid	9594	805	8.789	0,57	0,62	502	303	5.483	3.306	0	0	0	0	172.692	98.392	30	1
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	**PAWOZ-route**	**12667**	**2.709**	**9.958**	**0,59**	**0,67**	**1.803**	**906**	**6.629**	**3.329**	**0**	**0**	**0**		**228.006**	**135.563**	**41**	
	Noord	13175	4.036	9.139	0,62	0,65	2.606	1.430	5.902	3.237	0	0	0	0	237.150	145.986	44	3
	Zuid	14605	1.246	13.359	0,56	0,70	873	373	9.358	4.001	0	0	0	0	262.890	147.385	45	4
VIII: Ameland Wantij route A Gasunie	**PAWOZ-route**	**16.914**	**3.542**	**13.372**	**0,83**	**0,58**	**2.058**	**1.484**	**7.768**	**5.604**	**0**	**0**	**0**		**304.452**	**250.392**	**76**	
	Noord	15716	3.098	12.618	0,79	0,61	1.890	1.208	7.699	4.919	0	0	0	0	282.888	222.398	67	-8
	Zuid	16230	3.340	12.890	0,75	0,60	2.012	1.328	7.766	5.124	0	0	0	0	292.140	219.650	67	-9
VIII: Ameland Wantij route B Gasunie	**PAWOZ-route**	**9928**	**5.933**	**5.995**	**0,73**	**0,64**	**2.502**	**1.431**	**3.814**	**2.181**	**0**	**0**	**0**		**178.704**	**130.639**	**40**	
	Noord	9999	3.786	6.213	0,66	0,68	2.587	1.199	4.246	1.967	0	0	0	0	179.982	119.087	36	-4
	Zuid	11387	3.722	7.665	0,68	0,62	2.291	1.431	4.719	2.946	0	0	0	0	204.966	140.128	42	3
VIII: Ameland Wantij route B1 Gasunie	**PAWOZ-route**	**14504**	**3.933**	**10.571**	**0,71**	**0,70**	**2.735**	**1.198**	**7.351**	**3.220**	**0**	**0**	**0**		**261.072**	**186.021**	**56**	
	Noord	15736	3.782	11.954	0,63	0,71	2.693	1.089	8.513	3.441	0	0	0	0	283.248	179.850	55	-2
	Zuid	12718	3.722	8.996	0,73	0,69	2.557	1.165	6.180	2.816	0	0	0	0	228.924	167.413	51	-6
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	**PAWOZ-route**	**9748**	**3.542**	**6.206**	**0,79**	**0,54**	**1.898**	**1.644**	**3.325**	**2.881**	**0**	**0**	**0**		**175.464**	**139.052**	**42**	
	Noord	9813	3.084	6.729	0,66	0,58	1.777	1.307	3.877	2.852	0	0	0	0	176.634	115.890	35	-7
	Zuid	9915	3.340	6.575	0,58	0,57	1.907	1.433	3.754	2.821	0	0	0	0	178.470	104.345	32	-11

PAWOZ
Analyse impact agrarische waarden
RE23088-R01-G
24-jan-25

legenda kleurenschaal:
= hoogst verwachting (meest negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering
= gemiddelde verwachting (gemiddelde negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering
= laagste verwachting (minste negatieve effect) ten aanzien van impact op de agrarische bedrijfsvoering

Analyseresultaten - overzicht alle criteria

		resultaten criterium 1			resultaten criterium 2				resultaten criterium 3			resultaten criterium 4			
route	ligging in contour	resultaat 1a - tracélengte in agrarische percelen	resultaat 1b - aantal betrokken perceeleigenaren	resultaat 1c - tracélengte in huiskavels	gemiddelde gewaswaarde-indicatie, per m1	gewaswaarde-indicatie agrarische percelen	gemiddelde gevoeligheid voor structuurschade, per m1	gevoeligheid agrarische percelen voor structuurschade	Lengte in akkerbouw percelen	gemiddelde gewaswaarde-indicatie, per m1	gewaswaarde-indicatie akkerbouw-percelen	oppervlakte minimale scope	gewaswaarde-indicatie minimale scope	Oppervlakte maximale scope	gewaswaarde-indicatie maximale scope
II: Oude Westereems landroute A Gasunie	**PAWOZ-route**	**10.182**	**31**	**1.580**	**0,49**	**4976**	**1,26**	**12.829**	**8.979**	**0,49**	**4.361**	**0**	**0**	**161.640**	**78.507**
	Noord	7.230	25	1.492	0,50	3632	1,31	9.471	5.854	0,54	3.159	0	0	105.390	56.872
	Zuid	12.161	32	6.540	0,50	6132	1,25	15.201	10.178	0,54	5.466	0	0	183.204	98.388
II: Oude Westereems landroute A TenneT	**PAWOZ-route**	**8.212**	**26**	**608**	**0,50**	**4145**	**1,26**	**10.347**	**6.329**	**0,54**	**3.392**	**4.169**	**2.235**	**110.522**	**59.234**
	Noord	5.390	23	410	0,51	2758	1,34	7.223	3.486	0,64	2.239	1.939	1.246	51.904	33.337
	Zuid	9.464	27	5.527	0,52	4945	1,26	11.925	6.880	0,60	4.133	5.428	3.261	132.118	79.367
II: Oude Westereems landroute A1 Gasunie	**PAWOZ-route**	**13.674**	**28**	**4.107**	**0,55**	**7557**	**1,25**	**17.093**	**10.756**	**0,65**	**7.034**	**0**	**0**	**193.608**	**126.612**
	Noord	9.752	33	3.830	0,55	5381	1,27	12.385	8.036	0,61	4.871	0	0	144.648	87.678
	Zuid	14.419	43	6.113	0,47	6838	1,25	18.024	12.958	0,46	5.961	0	0	233.352	107.348
II: Oude Westereems landroute A1 TenneT	**PAWOZ-route**	**12.872**	**26**	**3.938**	**0,55**	**7104**	**1,26**	**16.219**	**9.273**	**0,68**	**6.352**	**7.092**	**4.858**	**175.231**	**120.033**
	Noord	7.399	27	2.538	0,55	4100	1,27	9.397	5.456	0,63	3.452	3.475	2.198	84.223	53.288
	Zuid	13.425	42	5.830	0,47	6358	1,25	16.781	11.284	0,46	5.240	8.491	3.943	211.643	98.282
V: Boschgat landroute A TenneT	**PAWOZ-route**	**16.547**	**47**	**608**	**0,49**	**8133**	**1,26**	**20.849**	**10.227**	**0,56**	**5.731**	**5.585**	**3.130**	**5.585**	**3.130**
	Noord	14.630	45	1.668	0,51	7477	1,26	18.434	9.488	0,59	5.587	4.415	2.600	4.415	2.600
	Zuid	16.106	62	6.906	0,52	8427	1,26	20.294	9.996	0,63	6.268	7.907	4.958	7.907	4.958
V: Boschgat landroute A1 TenneT	**PAWOZ-route**	**18.115**	**51**	**3.687**	**0,55**	**10027**	**1,25**	**22.644**	**14.632**	**0,58**	**8.438**	**10.755**	**6.202**	**10.755**	**6.202**
	Noord	16.757	52	6.174	0,57	9562	1,25	20.946	14.038	0,59	8.248	9.009	5.293	9.009	5.293
	Zuid	17.631	61	6.072	0,54	9567	1,25	22.039	13.491	0,59	7.902	10.732	6.286	10.732	6.286
V: Boschgat landroute B TenneT	**PAWOZ-route**	**25.637**	**76**	**5.431**	**0,50**	**13228**	**1,27**	**33.829**	**17.739**	**0,58**	**10.372**	**9.594**	**5.610**	**9.594**	**5.610**
	Noord	24.763	76	6.244	0,51	12732	1,29	31.944	16.494	0,62	10.175	8.240	5.083	8.240	5.083
	Zuid	26.410	94	12.072	0,52	13860	1,26	33.277	18.932	0,61	11.567	14.919	9.115	14.919	9.115
V: Boschgat landroute B1 TenneT	**PAWOZ-route**	**28.205**	**81**	**8.509**	**0,54**	**15122**	**1,27**	**35.820**	**22.144**	**0,59**	**13.060**	**14.525**	**8.566**	**14.525**	**8.566**
	Noord	27.160	82	10.750	0,55	14818	1,29	35.086	21.048	0,61	12.835	12.860	7.844	12.860	7.844
	Zuid	27.936	93	11.239	0,54	14998	1,26	35.199	22.409	0,59	13.196	17.683	10.413	17.683	10.413
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder Gasunie	**PAWOZ-route**	**38.349**	**105**	**6.885**	**0,50**	**19352**	**1,26**	**48.320**	**27.818**	**0,57**	**15.992**	**0**	**0**	**500.652**	**287.815**
	Noord	36.225	98	7.188	0,51	18463	1,29	46.730	26.621	0,59	15.584	0	0	479.178	280.512
	Zuid	36.303	111	19.424	0,54	19739	1,25	45.379	29.234	0,61	17.738	0	0	525.636	318.935
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder TenneT	**PAWOZ-route**	**36.058**	**100**	**5.914**	**0,51**	**18316**	**1,26**	**45.433**	**24.840**	**0,60**	**14.820**	**13.365**	**7.974**	**382.109**	**227.973**
	Noord	34.045	96	6.043	0,53	18117	1,29	43.918	24.079	0,61	14.585	12.562	7.609	320.026	193.845
	Zuid	35.599	111	19.276	0,55	19449	1,25	44.499	28.530	0,58	16.429	20.781	11.967	510.954	294.233
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool Gasunie	**PAWOZ-route**	**39.139**	**106**	**9.160**	**0,53**	**20921**	**1,26**	**49.315**	**31.211**	**0,59**	**18.332**	**0**	**0**	**561.708**	**329.923**
	Noord	38.067	109	10.840	0,54	20491	1,28	48.726	29.694	0,61	18.044	0	0	534.492	324.792
	Zuid	38.753	125	18.699	0,52	19959	1,25	48.441	33.396	0,55	18.204	0	0	600.696	327.437
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute A1 Roodeschool TenneT	**PAWOZ-route**	**37.619**	**104**	**8.993**	**0,54**	**20206**	**1,26**	**47.400**	**29.259**	**0,60**	**17.505**	**18.259**	**10.931**	**489.817**	**293.247**
	Noord	35.714	103	9.551	0,54	19211	1,28	45.714	27.111	0,61	16.624	16.316	10.005	409.235	250.936
	Zuid	37.053	124	18.265	0,52	19190	1,25	46.316	31.017	0,55	17.198	22.836	12.662	559.436	310.190
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B Gasunie	**PAWOZ-route**	**16.068**	**37**	**8.411**	**0,46**	**7461**	**1,36**	**21.852**	**8.486**	**0,57**	**4.810**	**0**	**0**	**152.748**	**86.580**
	Noord	15.927	46	8.911	0,48	7655	1,36	21.661	8.833	0,65	5.760	0	0	158.796	103.551
	Zuid	15.356	43	7.019	0,46	7103	1,35	20.731	8.531	0,57	4.885	0	0	151.056	86.497
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute B1 Gasunie	**PAWOZ-route**	**16.881**	**41**	**9.633**	**0,48**	**8060**	**1,36**	**22.958**	**9.574**	**0,56**	**5.397**	**0**	**0**	**169.848**	**95.746**
	Noord	16.913	47	9.198	0,48	8059	1,36	23.002	9.800	0,53	5.197	0	0	176.202	93.441
	Zuid	16.528	48	8.357	0,48	7854	1,35	22.313	9.734	0,57	5.546	0	0	172.692	98.392
VII: Schiermonnikoog Wantij landroute C Gasunie	**PAWOZ-route**	**19.466**	**46**	**8.997**	**0,53**	**10271**	**1,26**	**24.527**	**12.791**	**0,59**	**7.605**	**0**	**0**	**228.006**	**135.563**
	Noord	20.110	49	9.181	0,55	11024	1,26	25.339	14.682	0,62	9.038	0	0	237.150	145.986
	Zuid	18.610	49	8.621	0,53	9802	1,27	23.635	14.637	0,56	8.206	0	0	262.890	147.385
VIII: Amaland Wantij route A Gasunie	**PAWOZ-route**	**31.375**	**81**	**10.224**	**0,61**	**18988**	**1,31**	**41.101**	**16.929**	**0,82**	**13.923**	**0**	**0**	**304.452**	**250.392**
	Noord	30.718	91	11.877	0,57	17570	1,30	39.933	15.821	0,79	12.438	0	0	282.888	222.398
	Zuid	29.768	116	7.558	0,57	17047	1,32	39.294	16.362	0,75	12.302	0	0	292.140	219.650
VIII: Amaland Wantij route B Gasunie	**PAWOZ-route**	**28.153**	**80**	**13.371**	**0,47**	**13185**	**1,32**	**37.162**	**9.953**	**0,73**	**7.276**	**0**	**0**	**178.704**	**130.699**
	Noord	27.861	92	15.441	0,46	12782	1,31	36.498	10.156	0,66	6.717	0	0	179.982	119.037
	Zuid	28.114	87	11.740	0,48	13518	1,31	36.829	11.412	0,68	7.802	0	0	204.966	140.128
VIII: Amaland Wantij route B1 Gasunie	**PAWOZ-route**	**27.588**	**76**	**11.341**	**0,52**	**14458**	**1,28**	**35.313**	**14.530**	**0,71**	**10.353**	**0**	**0**	**261.072**	**186.021**
	Noord	28.051	88	11.593	0,52	14525	1,28	35.905	15.894	0,63	10.092	0	0	283.248	179.850
	Zuid	27.102	96	10.271	0,53	14234	1,28	34.691	12.743	0,73	9.319	0	0	228.924	167.413
IX: Zoutkamperlaag route B Gasunie	**PAWOZ-route**	**22.283**	**60**	**7.704**	**0,48**	**10756**	**1,33**	**29.636**	**9.763**	**0,79**	**7.737**	**0**	**0**	**175.464**	**139.052**
	Noord	21.899	68	10.069	0,50	10916	1,32	28.907	9.846	0,66	6.460	0	0	176.634	115.890
	Zuid	20.704	84	5.065	0,48	9884	1,35	27.950	10.158	0,58	5.939	0	0	178.470	104.345



Rotterdam
Engineering

Rotterdam Engineering B.V.
Vasteland 78
3011 BN Rotterdam
Telefoon: 010-226 4935

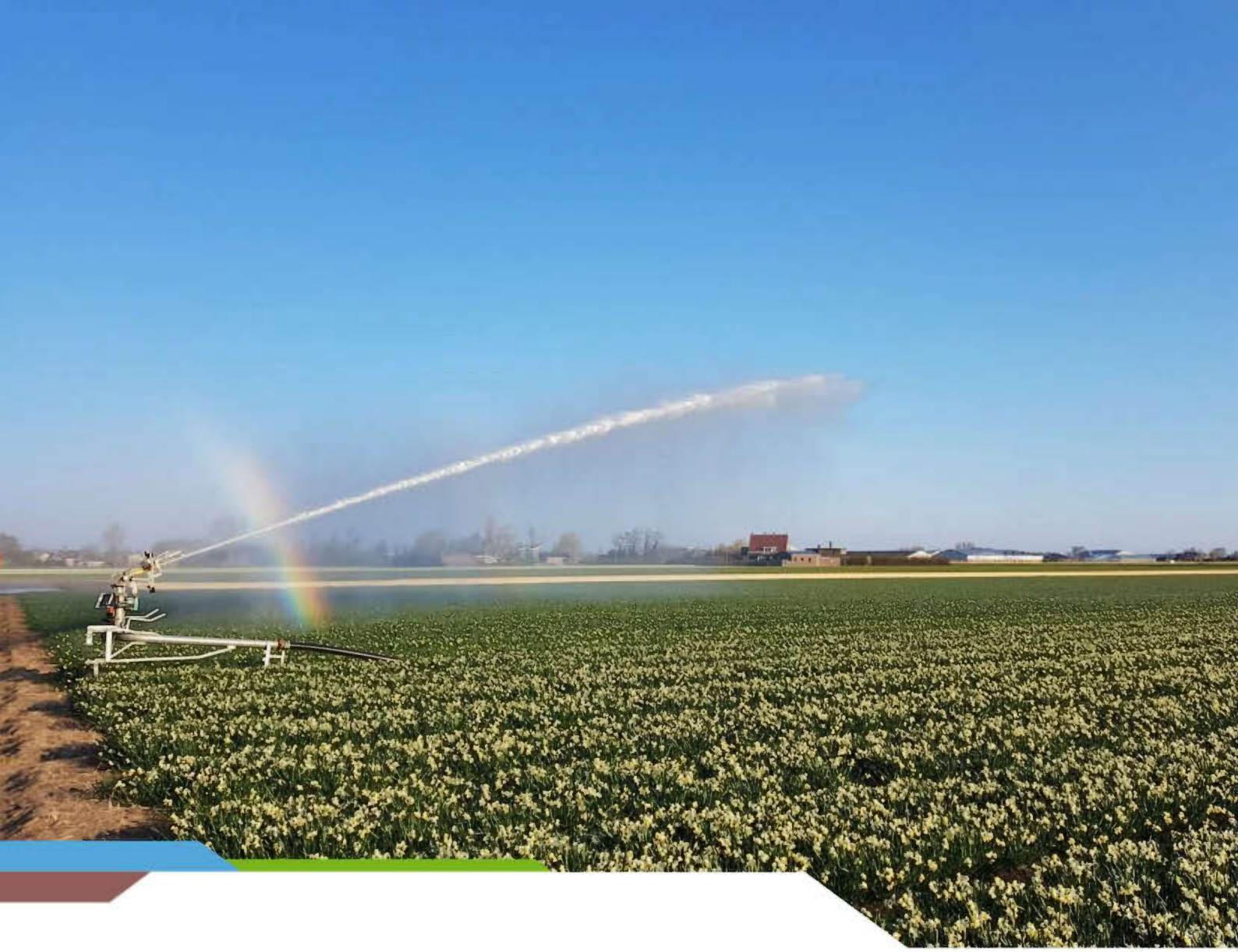
Copyright © 2025
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.

Rotterdam Engineering is onderdeel van

UPA
Universal Pipeline Association

II

BIJLAGE: EFFECTBEREKENINGEN VERZILTING TRACÉ EEMSHAVEN



Effectberekeningen verzilting tracé Eemshaven

Programma Aansluiting Wind op Zee - Eemshaven

ACACIA WATER

Effectberekeningen verzilting tracé Eemshaven

Programma Aansluiting Wind op Zee - Eemshaven

Colofon

Klant
TenneT

Status
Eindrapport

Datum
12 juli 2024

Projectnummer
AW24_093_AG_211175

Auteur(s)
Gevaert A., Siebinga M., Sandfort N.

Gecontroleerd door
Dr. M. J. Waterloo

Vrijgegeven door
Arjen de Vries

Disclaimer
Aan dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend. De auteurs zijn niet verantwoordelijk voor eventuele fouten of consequenties. Aanvullingen of verbeteringen zijn welkom via info@acaciawater.com

Inhoud

1 Inleiding **1**

2 Gebiedsbeschrijving **3**
2.1 Bodem 3
2.2 Grondwater 4
2.3 Zoet-zout situatie 6
2.4 Aanleg tracé 10
2.5 Autonome ontwikkelingen 12

3 Aanpak **15**
3.1 Standaardprofielen 15
3.2 Modellering 18
3.3 Verificatie modelresultaten 21

4 Huidige situatie **22**
4.1 Gevoeligheidsanalyse 22
4.2 Standaardprofielen 23
4.3 Verificatie modelresultaten 24

5 Effecten door aanleg tracé **27**
5.1 Effecten tijdens en direct na aanleg 27
5.2 Herstelperiode 30

6 Mitigerende maatregelen **32**

7 Conclusie **34**
7.1 Berekende verziltingsrisico 34
7.2 Autonome ontwikkelingen 36
7.3 Mitigerende maatregelen 36
7.4 Relevantie onderzoek en hoe verder 37

8 Referenties 38

Bijlage 1 – Vergelijking kwelkaarten 39

Bijlage 2 – DUALEM rapportage 43

Bijlage 3 – Clustering 44

Bijlage 4 – Vergelijking kwel clusters 45

Bijlage 5 – Drainage enquête 49

1 Inleiding

TenneT is in de voorbereidende fase voor het Programma Aanlanding Wind op Zee (PAWOZ). PAWOZ-Eemshaven onderzoekt de mogelijkheden voor toekomstige kabelroutes om energie van windenergiegebieden in de Noordzee naar de Eemshaven te brengen. Eén van de beoogde kabelroutes loopt door de Waddenzee en vanaf de aanlanding over land, parallel aan de Waddenzee. Een mogelijke route wordt in Figuur 1 getoond. Het tracé doorkruist daarbij hoogwaardige landbouwgronden (veelal akkerbouw) in het noorden van Groningen.

Door de ontstaansgeschiedenis en ligging van dit gebied, betreft het een regio waar sprake kan zijn van verzilting. Dit kan zijn in de huidige situatie, of in toenemende mate op termijn als gevolg van bodemdaling (door klimaatverandering en grondgebruik) en/of zeespiegelstijging en veranderingen in neerslag en verdamping als gevolg van klimaatverandering (zie o.a. www.spaarwater.com). Met de aanleg van het tracé worden er mogelijk zoetwatersystemen doorkruist die bestaan uit zoetwaterlenzen. Een zoetwaterlens is een dunne zoetwatervoorraad die bovenop het zoute grondwater ligt, vaak met een dikte van enkele meters tot minder dan 1 meter. Landbouw in het gebied is mogelijk vanwege deze zoetwaterlenzen, en deze zijn van groot belang voor de agrariërs omdat het zorgt voor zekerheid van zoetwater in de wortelzone.

Doordat de aanleg van de kabels invloed kan hebben op de lokale omgeving, waaronder op verzilting, wordt er voor PAWOZ-Eemshaven een milieueffectrapportage (MER) en integrale effectenanalyse (IEA) opgesteld. Effecten van de aanleg op verzilting zijn hier onderdeel van.



Figuur 1. Eén van de mogelijke kabel routes.

Het doel van deze studie is om te onderzoeken hoe verzilting wordt beïnvloed door ingrepen, zoals open ontgravingen en bemalingen tijdens de installatie van de kabelverbinding. De onderzoeksvragen die daaronder vallen zijn de volgende:

- Was is de grootte van de zoetwatervoorraad in de huidige situatie?
- Wat is het effect van de werkzaamheden op de zoetwatervoorraad direct na afloop van de werkzaamheden (korte termijn effecten)?
- Wat is het effect op de zoetwatervoorraad na 1 en na 5 jaar (lange termijn effecten)?

- Wat is het risico op cumulatieve effecten van autonome ontwikkelingen (klimaatverandering en grondgebruik) en die van de aanleg van het tracé op de zoetwatervoorraad?

In de uitvoering van het project zijn naast initiatiefnemer TenneT ook LTO Noord en de werkgroep Landbouw PAWOZ betrokken. Voor het onderzoek zijn gebied-specifieke gegevens over de bodem en kwelsituatie verzameld uit openbare databases. Waar nodig, zijn extra gegevens verzameld door het uitvoeren van veldonderzoeken. De mogelijke effecten langs de beoogde kabelroute zijn vervolgens vastgesteld aan de hand van meerdere modelberekeningen. Dit rapport zal de gebruikte methode en de resultaten van de effectberekeningen toelichten.

2 Gebiedsbeschrijving

De mogelijke route van het tracé doorkruist verschillende polders in het beheersgebied van waterschap Noorderzijlvest. Het landgebruik is overwegend akkerbouw met als belangrijkste gewas pootaardappelen, naast suikerbieten en graan. Door de historische inpoldering en de ligging van het studiegebied, vormt verzilting een risico.

In dit hoofdstuk worden gebiedseigenschappen die belangrijk zijn voor het bepalen van verziltingsrisico, gepresenteerd. Dit zijn bodem, grondwater, kwel, zoet-zout situatie, en de werkwijze bij aanleg van het tracé. Als eerste stap in het onderzoek zijn beschikbare gegevens opgehaald, waaronder bodemopbouw en kwel. Na het verzamelen en analyseren van de beschikbare data, zijn er verschillende 'gaten' in de data geïnventariseerd. Vervolgens zijn aanvullende metingen uitgevoerd om deze 'gaten' in de beschikbare data te dichten, alsook om inzicht te verschaffen in de waarden en variabiliteit (bandbreedtes) van belangrijke parameters die van invloed kunnen zijn op het verziltingsrisico. Om deze gegevens te verzamelen zijn begin 2023 op verschillende locaties langs het tracé veldonderzoeken uitgevoerd door Antea Group en Acacia Water.

2.1 Bodem

De bodems in het studiegebied zijn kalkrijke poldervaaggronden (Kuijer, et al., 1987). Voor zoetwaterlenzen is de bodemopbouw tussen ongeveer 1 en 5 m-mv het belangrijkst omdat dit de zone is waarin de meeste zoetwaterlenzen zich bevinden. De bodemopbouw op deze dieptes is gebaseerd op GeoTop (v1.4). Voor 430 punten, gelijkmatig verdeeld over de percelen langs het tracé, is de bodemopbouw opgehaald. Hieruit is gebleken dat de bodems in het gebied voornamelijk zijn opgebouwd uit zavel en/of zand. Hier en daar zijn profielen met dunne kleilagen te vinden. De gelaagdheid van de bodem varieert, maar ongeveer 40% van de bodems bestaan uit zavel op zand. Circa 10% zijn homogene zavel profielen.

Op 26 locaties langs het tracé zijn veldonderzoeken uitgevoerd. Bodemprofielen zijn opgesteld. Daaruit blijkt dat de bodemopbouw langs het tracé voornamelijk opgebouwd is uit zand en zavel, wat overeenkomt met de resultaten van GeoTOP. Op ieder van de 26 locaties zijn ook bodemmonsters genomen op dieptes van ongeveer 2,5 en 5,5 m-mv. Voor ieder bodemmonster zijn de porositeit en doorlatendheid bepaald en is een korrelanalyse uitgevoerd. De doorlatendheid kan ook bepaald worden aan de hand van de korrelanalyse door middel van de zeefkromme methode (Shepherd 1989). In Tabel 1 wordt een samenvatting van de resultaten van deze onderzoeken gepresenteerd.

Tabel 1. Overzicht van mediaan van bodemeigenschappen op basis van veldonderzoeken, met de minimum en maximum tussen haakjes

	Doorlatendheid [m/d]	Doorlatendheid zeefkromme methode [m/d]	Porositeit [ ]
Zand	7,7 (0,5–19,0)	5,2 (4,0 – 5,9)	0,48 (0,43–0,58)
Zavel	1,4 (0,1–12,3)	3,9 (2,8 – 4,5)	0,49 (0,41–0,58)

2.2 Grondwater

In totaal zijn er langs het tracé 52 peilbuizen geplaatst, waarvan 26 ondiepe en 26 diepe peilbuizen. De diepte van de peilbuizen is respectievelijk ongeveer 2 en 5 m onder maaiveld voor de ondiepe en diepe peilbuizen. Al deze peilbuizen zijn voorzien van grondwaterdivers om op deze manier de stijghoogte verschillen te meten om zo een inschatting te kunnen maken van de kweldruk. Waar de diepere peilbuis zich niet onder de deklaag bevond, was het helaas onmogelijk om een inschatting te maken van de kwelflux.

Bij de plaatsing van de peilbuizen zijn daarnaast beschrijvingen gemaakt van de boorprofielen, dit ter validatie van de gebruikte GeoTop data. Op zes locaties zijn de ondiepe peilbuizen voorzien van een CTD sensor in plaats van een grondwater diver. Deze CTD-sensor meet naast de grondwaterstand ook het zoutgehalte (EC) van het grondwater. Bij de overige peilbuizen is de EC handmatig gemeten tijdens de controlerondes (4x per jaar). Ook is het grondwater bemonsterd op de concentratie chloride. Alle resultaten van de uitgevoerde veldonderzoeken zijn terug te vinden in het rapport van Antea Group (2023).

2.2.1 Grondwaterstanden

De peilbuizen zijn voornamelijk geplaatst om inzicht te krijgen in de kwelsituatie. De gegevens geven echter ook inzicht in grondwaterstanden in het projectgebied.
Tabel 2 geeft een overzicht van gemeten grondwaterstanden samengevat per vigerend peilgebied. Ten tijde van de analyse waren meetreeksen beschikbaar voor de periode half april 2023 t/m half maart 2024.

Tabel 2. Laagste, mediaan, en hoogst gemeten grondwaterstanden per vigerend peilgebied waarin peilbuizen zijn geplaatst, alsook eigenschappen van die peilgebieden (ZP = zomerpeil, WP = winterpeil). Waar meer dan één peilbuis binnen een peilgebied voorkomt worden de medianen van de statistieken gepresenteerd

Peil gebied	ZP [mNAP]	WP [mNAP]	Aantal	Grondwaterstand [m NAP]			Grondwaterstand [m mv]		
				Min	Mediaan	Max	Min	Mediaan	Max
GPG710	-0,20	-0,8	2	-0,49	0,02	0,77	0,58	1,33	1,84
GPG141	-0,24	-0,44	9	-0,10	0,27	0,99	0,26	1,22	1,54
GPG708	-0,30	-0,8	1	-0,39	0,11	0,90	0,49	1,29	1,79
GPG49	-0,35	-0,93	4	-0,48	-0,10	0,65	0,28	1,07	1,43
GPG19	-0,49	-0,69	3	-0,56	-0,13	0,51	0,28	1,04	1,55
GPG440	-0,69	-0,69	4	-0,53	-0,11	0,52	0,50	1,21	1,66
GPG181	-0,73	-0,93	1	-0,40	0,26	1,55	0,09	1,38	2,03
GPG1	-0,93	-0,93	2	-0,31	0,09	1,18	0,30	1,39	1,80

Uit Tabel 2 blijkt dat de hoogste grondwaterstanden in de meetperiode op een enkele uitzondering na ongeveer 0,3 tot 0,6 m-mv waren. Bij de enkele peilbuis in GPG181 is een waarde van 0,09 m-mv bereikt, de 95^{e} percentiel was daar 0,55 m-mv. In de droge zomermaanden zakte het grondwater uit van 1,4 tot 2,0 m-mv. De variatie binnen het jaar was voor de meeste peilbuizen tussen 0,9 en 1,7 m, met een mediaan van 1,2 m.

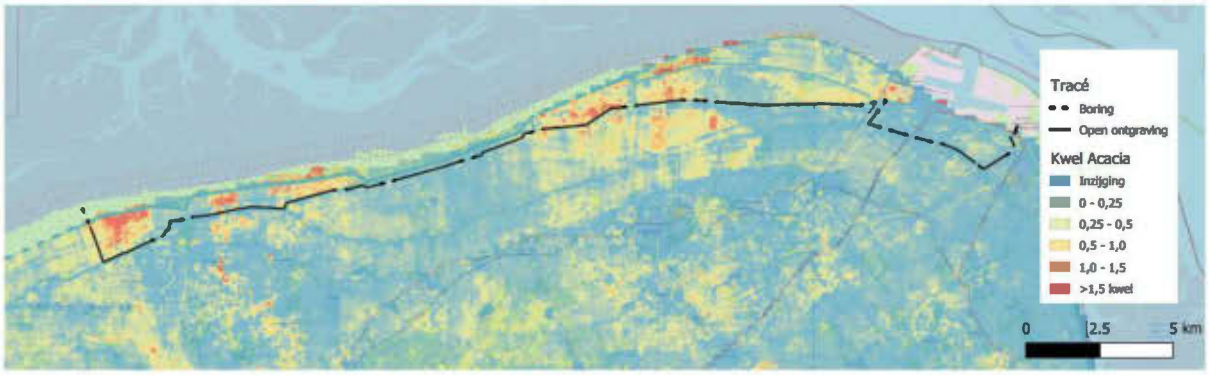
In Tabel 2 worden ook grondwaterstanden ten opzichte van NAP samengevat. Daaruit blijkt dat over het algemeen mediaan grondwaterstanden hoger zijn in peilgebieden waar gehanteerde peilen relatief hoog zijn. GPG141 heeft bijvoorbeeld een relatief hoog zomerpeil en het hoogste winterpeil, en heeft ook de hoogste mediaan grondwaterstanden, alsook de hoogste grondwaterstanden in de droge periode. Voor peilgebieden GPG1 en GPG181 vallen de mediaan en laagste grondwaterstanden hoger uit dan verwacht op basis van het lage zomer- en winterpeil. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de peilbuizen relatief dicht bij de grens van aanliggende peilgebieden liggen waar hogere peilen gehanteerd worden, bijvoorbeeld GPG49 en GPG708.

2.2.2 Kwelsituatie

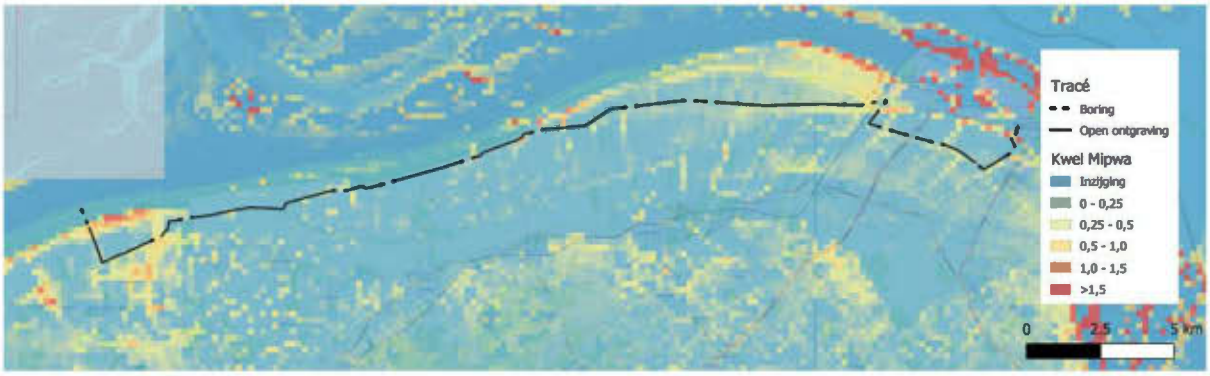
In dit onderzoek zijn verschillende bronnen van kwel meegenomen. Deze bronnen bestaan uit de volgende kwelkaarten:

1) de kwelkaart geproduceerd door het Methodiek Interactieve Planning Waterbeheer (MIPWA) model;
2) de kwelkaart geproduceerd door het Landelijk Hydrologisch Model (LHM);
3) de Acacia Water kwelkaart, een in 2018 intern ontwikkelde kaart.

De kwelkaarten op de locatie van het tracé worden getoond in Figuur 2, Figuur 3, en Figuur 4. Te zien is dat de kaarten onderling verschillen, zowel in waarden als in resolutie. De LHM kwelkaart geeft op het oog de lagere kwelfluxen weer, de Acacia Water kaart hogere. De MIPWA kaart lijkt op het oog hier tussen in te zitten.



Figuur 2. Kwelkaart Acacia Water.



Figuur 3. Kwelkaart Mipwa.



Figuur 4. Kwelkaart LHM.

Er zijn onzekerheden in deze beschikbare kwelkaarten en het is onduidelijk welke van deze drie kwelkaarten het best overeenkomt met de werkelijke situatie. Omdat kwel een belangrijke variabele is in verschillende verziltingsonderzoeken, zoals deze, is het van belang meer grip te krijgen op de betrouwbaarheid van deze kwelkaarten. Daarom is er een vergelijking tussen deze kwelkaarten en meetgegevens gedaan. Tussen peilbuisgegevens waaruit kwelfluxen zijn berekend en DUALEM gegevens van geofysische metingen (Sectie 2.3 en Bijlage 2) waaruit het zoet zout grensvlak kan worden afgeleid. Zie Bijlage 4 – Vergelijking kwelkaarten voor de gehele analyse. Ook zijn de kwelkaarten en de verschillende veldmetingen onderling vergeleken.

Uit de vergelijkingen blijkt dat:

- De resultaten van de DUALEM geofysische metingen en peilbuismetingen niet goed met elkaar overeenkomen. Dit komt onder andere doordat het bepalen van doorlatendheden en bodemstructuren, welke nodig zijn om de flux te berekenen, een onzekerheid met zich mee brengt. De indicatie voor de kwelflux van de DUALEM metingen worden betrouwbaarder geacht, maar hierbij moet ook gerealiseerd worden dat het vertalen van DUALEM figuren naar kwel klassen ook subjectiviteit met zich mee brengt.
- De resultaten van de DUALEM metingen en peilbuismetingen komen ook matig/niet overeen met de kwelfluxen van de kwelkaarten.
- MIPWA en LHM geven overwegend aan dat de kwelflux, laag tot neutraal is. De Acacia Water kwelkaart uit 2018 geeft voor een aantal locaties wel een hogere kwel. De DUALEM metingen geven voor ongeveer een derde van de locaties (zeven stuks) een hoge kweldruk aan. Dit wordt niet bevestigd door één van de kwelkaarten. De kwelkaart 2018 geeft wel voor een negental locaties een hoge kweldruk, maar deze komen niet goed overeen met de locaties van de DUALEM metingen.

Uit de vergelijking blijkt dat alle drie de kwelkaarten niet goed overeenkomen met de meetgegevens. Naast de redenen die hierboven worden gegeven, komt dit waarschijnlijk ook omdat de metingen een puntmeting betreffen op perceelniveau. Ook wordt de kwelflux bepaald door de diepte van het maaiveld, drain diepte en polderpeil. Het is mogelijk dat deze op perceel schaal in de regionale data net niet goed is opgenomen. Misschien zit er te veel lokale variabiliteit in de kwelflux (die uit de metingen blijkt) om dit goed weer te kunnen geven met één van de drie kwelkaarten.

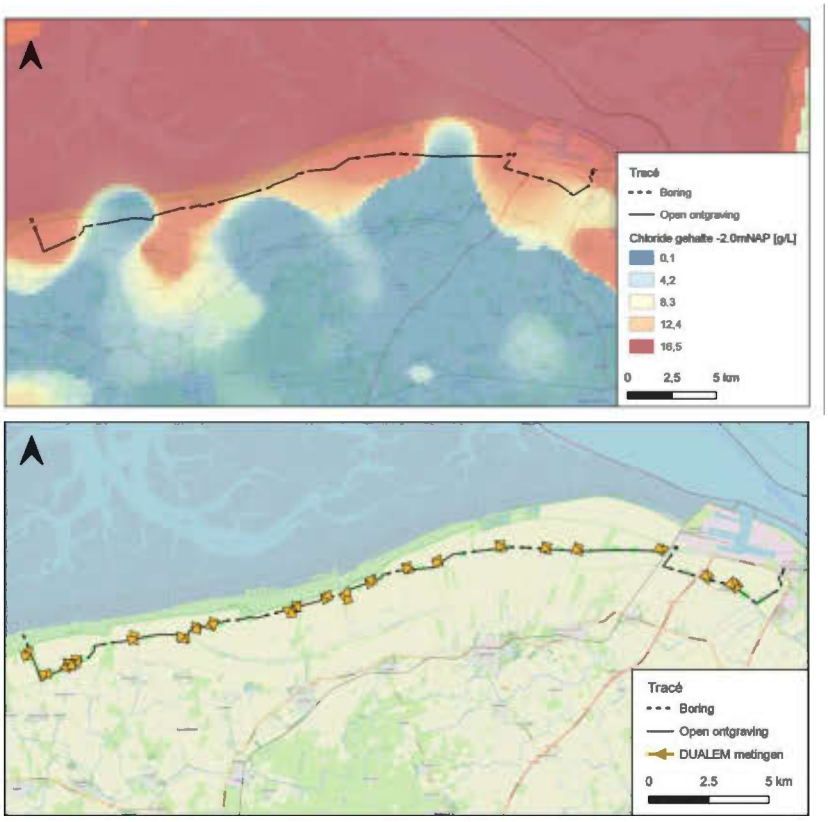
2.3 Zoet-zout situatie

Voor het opzetten van de databank, is informatie over de diepteligging van het zoet-zout grensvlak in eerste instantie opgehaald uit het Nederlands Hydrologisch

Instrumentarium (NHI). Binnen het NHI is een landsdekkend zoet-zout grondwatermodel (LHM zoet-zout) ontwikkeld, waarbij de driedimensionaal ruimtelijke (3D) verdeling van chlorideconcentratie in het grondwater. in kaart is gebracht (Figuur 7, boven). De 3D verdeling van chloride in het grondwater is afgeleid door een interpolatie van beschikbare metingen.

Vanwege beperkte metingen van zoetwaterlenzen in kwelgebieden, zoals het Fries-Groningse kustgebied, ontbreken in deze dataset echter de ondiepe regenwaterlenzen die ontstaan boven brak grondwater (Delsman, et al., 2020). Gezien het feit dat verziltingsonderzoek zich juist richt op de effecten op deze zoetwaterlenzen, zou het gebruiken van deze dataset een grote onzekerheid met zich mee brengen.

Om een gedetailleerder beeld te verkrijgen, is daarom aanvullend geofysisch onderzoek uitgevoerd door Acacia Water. Voor dit onderzoek zijn 70 DUALEM metingen en twee CVES metingen uitgevoerd, waarbij de weerstand van de bodem is gemeten ter indicatie van de zoet-zout situatie. Een uitgebreidere beschrijving van de geofysische meetmethoden is te vinden in Bijlage 2 – DUALEM rapportage.

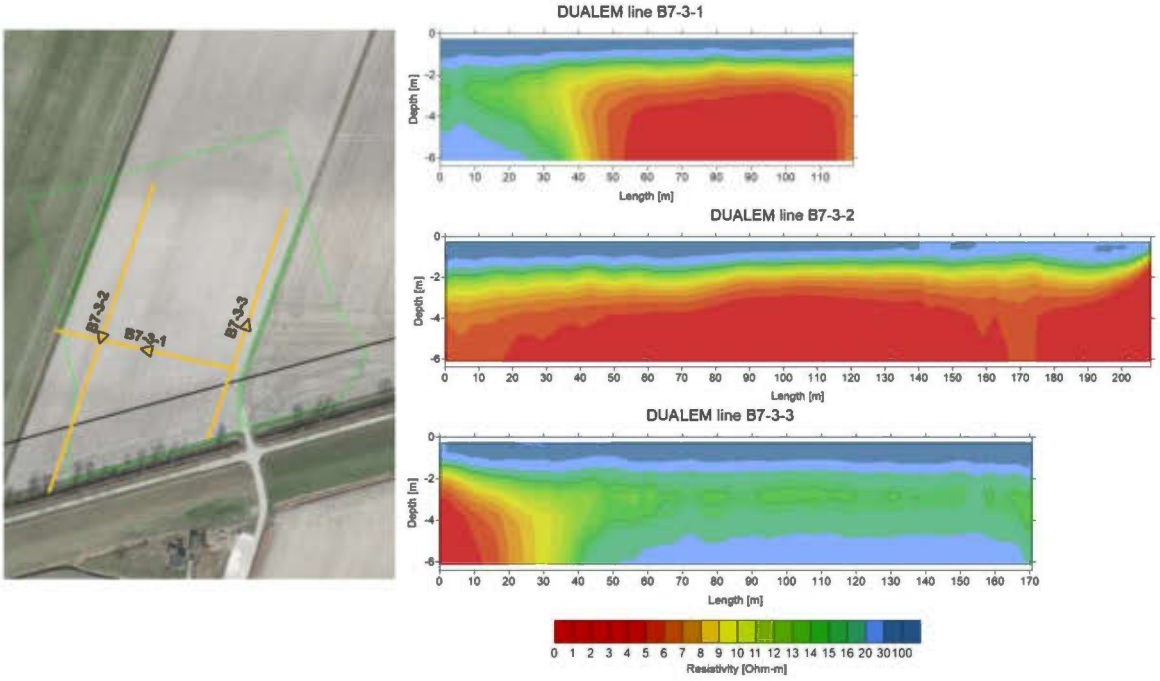


Figuur 5. Chloridegehalte op 2m beneden NAP volgens LHM zoet-zout (boven), en spreiding van de uitgevoerde DUALEM-metingen langs het tracé (onder).

De metingen zijn uitgevoerd op diverse percelen verspreid langs het tracé, om zo de diversiteit in bodem en kwel te dekken (Figuur 7, onder). De metingen vonden plaats aan het eind van de winter. in februari/maart 2023. Hierdoor kan worden aangenomen dat de zoetwatervoorraad tot het maximale niveau was aangevuld op het moment van meten.

In Figuur 6 worden, ter illustratie, de DUALEM resultaten van één van de locaties weergegeven. Op deze locatie zijn drie profielen gelopen, waardoor er drie dwarsdoorsneden tot een diepte van 6 m zijn verkregen. De dwarsdoorsneden tonen de

elektrische weerstand van de bodem, met in rood een extreem lage weerstand en in blauw een hoge weerstand. Hoge weerstanden worden gerelateerd aan zand en/of zoet water, lage aan klei en/of zout. Een uitgebreidere beschrijving van de resultaten is terug te vinden in Bijlage 2 – DUALEM rapportage.



Figuur 6. Overzicht van de gelopen profielen op locatie B7-3 (links) en de bijbehorende resultaten van de DUALEM-metingen (rechts). De metingen laten de grote variatie in diepteligging van het zoet-zoutgrensvlak binnen een perceel zien.

Een samenvatting van de resultaten van het onderzoek wordt weergegeven in Tabel 3. Er kan worden geconcludeerd dat ±70% van de gemeten percelen, (lokaal) te maken heeft met een ondiepe ligging van het zoet-zout grensvlak (<3 m -mv). Naar verwachting zal het grensvlak in de zomer op deze percelen nog ondieper liggen. Daarnaast benadrukken de resultaten de heterogeniteit van de kweldruk en de sterke variatie in diepteligging van het zoet-zout grensvlak. Zelfs binnen een perceel kan de diepteligging van het zoet-zout grensvlak al sterk variëren (Tabel 3). De Vergelijking kwelkaarten volledige resultaten van het DUALEM onderzoek zijn terug te vinden in Bijlage 2 – DUALEM rapportage.

Tabel 3. Overzicht van de resultaten van de metingen. Voor de interpretatie van de resultaten is het zoet-zout grensvlak gedefinieerd als zijnde 4000 µS/cm (Cl = 1500 mg/l)

Cluster	Diepte zoet zout (m mv)	Toelichting
B1-1	2.5 - 3.0	O.b.v. het bodemtype en de gemeten weerstanden lijkt het grondwater lichtbrak te zijn vanaf een diepte van 2.5-3 m. Naar het zuidwesten van het perceel is het grondwater vanaf 4 m brak
B1-2	>6	In de lager gelegen zuidwestelijke hoek ligt het grensvlak op 2.0-2.5 m daarna zakt het uit tot onder het meetbereik (>6 m)
B1-3	>6	Alleen langs de waterlopen ligt het grensvlak op 2.0-2.5 m diepte, op de rest van het perceel ligt het grensvlak buiten meetbereik (>6 m)
B2-0	>6	Weerstanden zijn dusdanig hoog dat er vanuit kan worden gegaan dat zich hier een zoetwaterzone van >6 m bevindt
B2-1	2.0 - 2.5	Sterke variatie binnen het perceel. Aan de noordkant ligt het grensvlak >6 m diep, aan de zuidkant reikt het brakke grondwater tot 2m diepte.
B2-3	2.0 - 2.5	Alleen de oost kant van het perceel heeft een ondiep grensvlak. Op het overgebleven gedeelte ligt het grensvlak buiten meetbereik (>6 m)
B3-1	2.0 -3.0	Sterke variatie binnen het perceel. Voornamelijk aan de noord- en oostkant van het perceel is het grondwater brak. In het zuiden ligt het grensvlak buiten meetbereik (>6 m)
B3-3	2.0 - 4.0	Variatie binnen het perceel. Het grensvlak ligt op 2.0 m bij de zuidelijke waterloop, zakt uit tot 4 m op 50m afstand van de waterloop, en ligt daarna buiten meetbereik (>6 m)
B4-1	>6	Brak grondwater alleen aanwezig in de noordoostelijke hoek, op circa 2.5 m diepte
B4-3	>6	Brak grondwater alleen aanwezig in de noordoostelijke hoek, op circa 2.5 m diepte
B5-1	1.5 - 2.5	Brak grondwater op vrijwel het hele perceel. De ligging van de drainage en de zoetwaterlenzen zijn duidelijk terug te zien in de metingen.
B5-2	1.5 - 2.5	Gemeten weerstanden op dit perceel zijn laag. Op het noordwestelijke deel van het perceel bevindt het grensvlak zich vermoedelijk op een diepte van 1.5-2 m. In oostelijke richting zakt het grensvlak iets dieper naar ongeveer 2-2.5 m.
B5-3	>6	Weerstanden zijn dusdanig hoog dat er vanuit kan worden gegaan dat zich hier een zoetwaterzone van >6 m bevindt
B6-1	1.5 - 2.0	Gemeten weerstanden over het algemeen laag, wat duidt op een ondiepe ligging van het grensvlak (1.5-2 m). In het noorden, bij de zeedijk, stijgt de weerstand sterk op 6 m diepte. Deze weerstandstoename duidt op de lokale aanwezigheid van lichtbrak tot zoet grondwater op 6 m diepte.
B6-3	1.0 - 3	Dicht langs de zuidelijke watergang ligt het grensvlak erg ondiep (1 m), verder het perceel in naar het noordwesten, zakt het naar ca. 3m diepte. Aan de noordoost kant, zakt het brakke grondwater verder weg en is het vermoedelijk lichtbrak.
B7-1	2.0 - 3	Lichtbrak tot brak grondwater. De diepte van het zoet-zout grensvlak wordt o.b.v. de metingen geschat op 2-3 m. Aan de westkant van het perceel is het zoutgehalte waarschijnlijk hoger dan aan de oostkant.

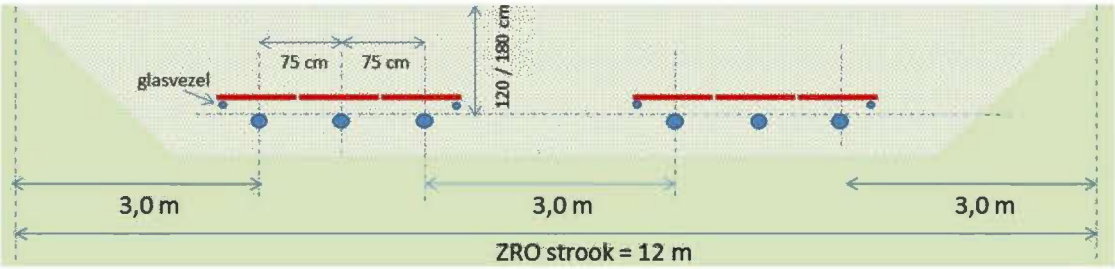
B7-3	1.5 - 3	Sterke variatie binnen het perceel. Brak grondwater aan de westelijke en zuidelijke zijde van het perceel, oostelijk zakt het grensvlak abrupt af buiten het meetbereik (> 6m)
B8-1	>6	Weerstanden zijn dusdanig hoog dat er vanuit kan worden gegaan dat zich hier een zoetwaterzone van >6 m bevindt
B9-2	1.0 – 2.0	Grensvlak erg ondiep aan de zuid- en oostkant van het perceel. Aan de noordwestzijde zakt het grensvlak buiten meetbereik (>6 m)
B9-3	1.0 – 1.5	Gemeten weerstanden extreem laag. Grensvlak erg ondiep op 1-1.5 m over het hele perceel. Invloed van de drainage terug te zien in metingen.
B10-1	2.0 - 2.5	Grensvlak het ondiepst (<2 m) aan de zuidkant van het perceel. Naar het noordoosten, nemen de weerstanden iets toe, wat naar verwachting samengaat met een afname van het zoutgehalte en een overgang van brak naar lichtbrak grondwater.
B10-3	2.5 - 4.0	Zuidelijk deel van het perceel zoet tot lichtbrak, noordelijk (midden van het perceel) wordt het brak
B11-2	>6	Weerstanden zijn dusdanig hoog dat er vanuit kan worden gegaan dat zich hier een zoetwaterzone van >6 m bevindt
B11-3	2.0 - 2.5	De scherpe overgang in weerstand laat zien dat het zoet-zoutgrensvlak hier tussen de 2-2.5 m diepte ligt. Invloed van de drainage terug te zien in metingen.

2.4 Aanleg tracé

Verschillende aanlegmethoden worden toegepast langs het tracé: open ontgravingen en gestuurde boringen. Het uitgangspunt is dat open ontgraving wordt toegepast, tenzij het tracé een beschermd natuurgebied, gevaarlijke buisleiding of waterstaatswerk kruist; of als effecten door een andere aanlegmethode gemitigeerd of voorkomen kunnen worden.

Open ontgravingen

Bij open ontgravingen wordt een sleuf gegraven waarin de kabels geplaatst worden. De breedte van de sleuf op het maaiveld is vastgesteld op 12 m, met een 1:1 talud. De diepte van de sleuf staat gelijk aan 2,1 m-mv. De sleuf wordt soms tot een diepte van 1,8 m onder maaiveld opgevuld met **'backfillzand'**. Dit is afhankelijk van de grondgesteldheid. Indien backfillzand wordt gebruikt wordt na het intrekken van de kabels ook boven op de kabels een zandlaag van ongeveer 30 cm komen te liggen. De onttrekking vindt plaats door middel van een horizontale drain op 2,4 m-mv. Een schematisatie van de open ontgravingen wordt in Figuur 1 weergegeven, waarbij de afmetingen van de sleuf overeenkomt het aanleggen van twee 2GW systemen in één sleuf. De ligging van de kabels kan afwijken van de schematisatie, maar deze zijn niet van belang voor het verziltingsonderzoek.

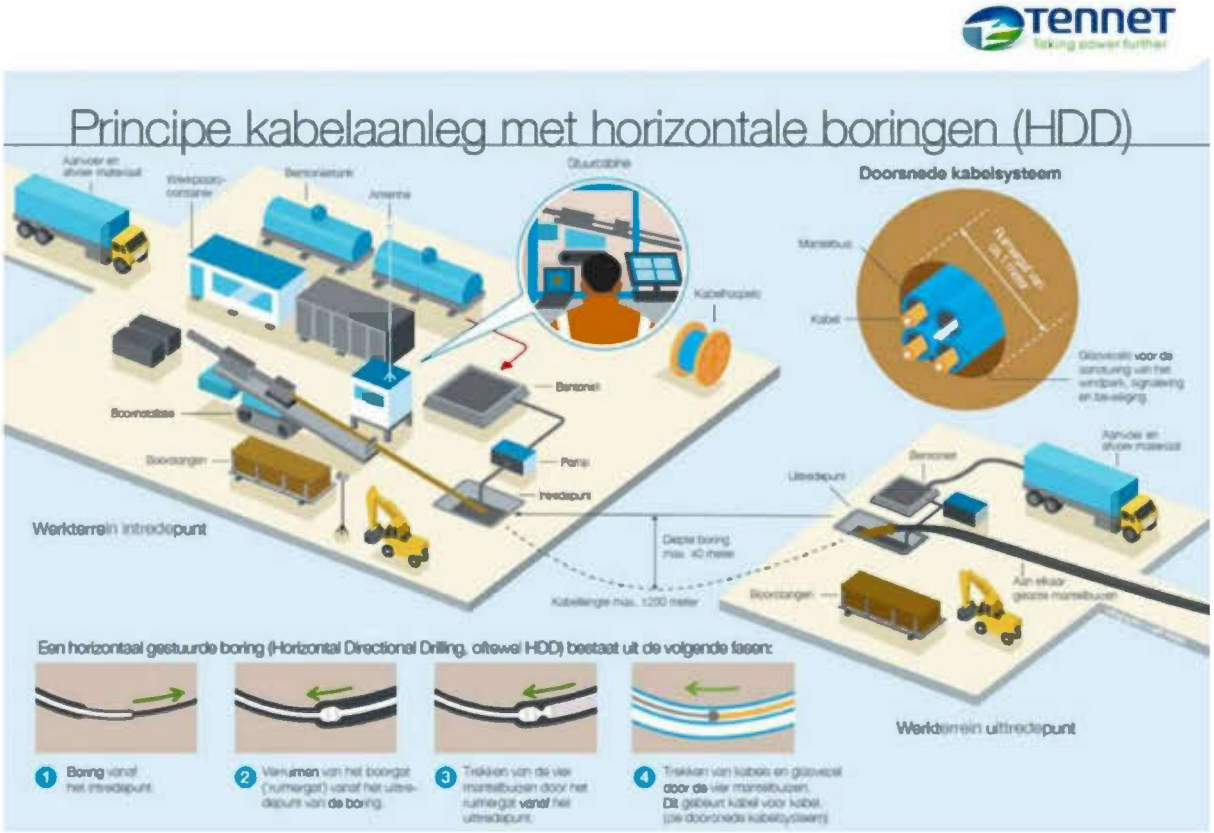


Figuur 7. Schematisatie van de sleuf van de open ontgraving. De blauwe stippen geven de kabels aan, de lichtste groene kleur de vorm van de sleuf, .

Gestuurde boringen

Bij gestuurde boringen worden kabels aangelegd op een diepte van 10–30 m-mv. Deze methode wordt vooral toegepast om knelpunten of obstakels zoals natuurgebieden, gevaarlijke buisleidingen, wegen en waterwegen te vermijden. De maximale lengte van een HDD-boring is 1.200 m. Bij de aanleg zijn werkzaamheden vereist bij de in- en uittredepunten.

Tussen de in- en uittredepunten worden geen bemalingen uitgevoerd, maar kunnen bijvoorbeeld de mantelbuizen op maaiveld worden gelegd. Een schematisatie van de gestuurde boringen wordt weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8. Situatieschets intredepunt HDD-boring (bron: TenneT TSO).

Mof-locaties

Iedere 1.000–1.200 m worden de kabels met elkaar verbonden (mof-locaties). Bij mof-locaties is grondafgraving en grondwateronttrekking nodig. De ontwateringsdiepte is vergelijkbaar met die van de standaard open ontgraving. Bij het aanlandingspunt waar

de kabelroute van zee overgaat naar land is de ontwateringsdiepte met 2,5 m-mv 10 cm dieper dan de standaard open ontgraving.

2.5 Autonome ontwikkelingen

Waar herstel van de zoet-zout situatie langer dan enkele jaren duurt, kunnen autonome ontwikkelingen zoals klimaatverandering en bodemdaling relevant worden. Dit omdat het effect van de maatregelen en de autonome ontwikkeling gestapeld worden. Hier worden voor de sub onderzoeksvraag over autonome ontwikkelingen de relevante ontwikkelingen in het gebied en het verwachtte effect daarvan op de zoetwatervoorraad toegelicht. Onder autonome ontwikkelingen scharen we ontwikkelingen die door klimaatverandering plaatsvinden, alsook ontwikkelingen als gevolg van grondgebruik (i.e. gas- en zoutwinning). Deze aspecten zijn bekeken voor de tijdshorizon tot 2050.

2.5.1 KNMI'23 Klimaatscenario's

Door het KNMI zijn 4 verschillende klimaatscenario's gepresenteerd voor Nederland die zijn gebaseerd op de laatste inzichten die door het IPCC verkregen zijn. Het gaat om de volgende vier scenario's:

- Ld: Lage uitstoot, verdroging. Gebaseerd op het SSP1-2.6 scenario, het op één na laagste uitstootscenario van het IPCC.
- Ln: Lage uitstoot, vernatting. Gebaseerd op het SSP1-2.6 scenario.
- Hd: Hoge uitstoot, verdroging. Gebaseerd op het SSP5-8.5 scenario, welke uit gaat van een fors stijgende uitstoot door het verbranden van fossiele brandstoffen.
- Hn: Hoge uitstoot, vernatting. Gebaseerd op het SSP5-8.5 scenario

Voor het verziltingsonderzoek zijn met name de neerslag, verdamping, en zeespiegelstijging van belang. De kerngetallen voor deze parameters voor de klimaatscenario's zoals hierboven genoemd staan in Tabel 4.

Tabel 4. Kerngetallen van de KNMI'23 klimaatscenario's voor tijdshorizon 2050. De percentages en centimeters toename en afname zijn in vergelijking met het klimaat tussen 1991 en 2020. Dit is de referentie periode.

	KNMI '23			
	Ld	Ln	Hd	Hn
Neerslag lente en zomer (%)	-7	+1	-13	-1
Pot. verdamping zomer (%)	+8	+6	+11	+7
Max. neerslagtekort groeiseizoen (%)	+22	+13	+35	+15
Zeespiegelstijging (cm)	+24	+24	+27	+27

Aan het einde van de zomerperiode zijn de zoetwaterlenzen het dunst. Dit komt omdat er weinig neerslag valt in de zomer, er veel verdamping plaatsvindt en veel water wordt opgenomen door de gewassen. In Tabel 4 is te zien dat vooral in de droge scenario's, de neerslag zal afnemen in de lente en in de zomer. Gevolg hiervan zal zijn dat over het algemeen de zoetwaterlenzen in de toekomst aan het einde van de zomer dunner zijn dan dat ze in de huidige situatie zijn. Aanvulling van de lenzen kan dan in de herfst en winter periode plaatsvinden. Echter het kan goed zijn dat de zoetwaterlenzen over de tijd in dikte gaan afnemen omdat de aanvulling in de winter niet op kan tegen de afname in de zomer. Daarnaast is te zien dat voor elk scenario ook de verdamping toe neemt. Dit zal bovengenoemde versterken en dus zal ook dit over het algemeen tot afname in de dikte van de zoetwaterlens resulteren. De stijging van de zeespiegel zal er richting 2050 voor

zorgen dat er steeds meer zoute kwel omhoog komt in de kust regio's als geen maatregelen worden genomen. Deze zoute kwel zal het zoete water verdringen of er mee mengen waardoor de zoetwaterlenzen steeds dunner zullen worden of zelfs zullen verdwijnen.

2.5.2 Bodemdaling

Verschillende bronnen van bodemdalingsprognoses voor 2050 zijn voor het studiegebied beschikbaar. Bronnen gaan uit van verschillende processen, waaronder alleen aardgaswinning (Figuur 9), gas- en zoutwinning samen (Figuur 10) en ontwatering, gas- en zoutwinning (Figuur 11). Het patroon van verwachte bodemdaling langs het tracé is voor de verschillende bronnen vergelijkbaar, met sterkere bodemdaling in het oosten dan in het westen. De mate van bodemdaling verschilt wel tussen de verschillende bronnen. Dit laat zien dat dit een onzekere variabele is. Opmerkelijk leidt de prognose die uitgaat van de meeste processen (ontwatering, zout- en gaswinning in Figuur 11) niet overal tot de hoogste bodemdalingsprognoses.

Wanneer de bodem daalt, zal de zeespiegel, ongeacht of deze stijgt of niet, automatisch omhoog komen in vergelijking met het maaiveld. Dit betekent dat voor delen die nu al onder zeeniveau liggen, deze nog verder onder zeeniveau komen te liggen. Andere delen die nu nog boven zeeniveau liggen, zullen ofwel onder zeeniveau komen te liggen of het hoogteverschil tussen zeeniveau en maaiveld zal kleiner worden. In al deze gevallen zal de zoute kweldruk toenemen, wat de zoet water lenzen kleiner maakt of verdringt.



Figuur 9. Bodemdaling tot 2018 (links) en prognose van totale bodemdaling tot 2050 (rechts) in cm uitgaande van aardgaswinning (bron: NAM 2020).



Figuur 10. Bodemdaling prognose voor de periode 2020-2050 in cm uitgaande van gas- en zoutwinning (bron:



Figuur 11. Bodemdaling prognose 2020-2050 Hoog, uitgaande van ontwatering, gas- en zoutwinning (bron: klimaateffectatlas.nl).

3 Aanpak

Het verziltingsonderzoek maakt gebruik van modelberekeningen om het risico op en dan de mate van verzilting langs het tracé te bepalen. Eerst zijn hydrologische standaardprofielen gedefinieerd. Elk standaardprofiel vertegenwoordigt de hydrologische situatie van meerdere percelen, die naar verwachting dezelfde effecten zullen ondervinden van de aanleg van het tracé. Voor ieder standaardprofiel zijn vervolgens modelberekeningen uitgevoerd. Door het gebruik van standaardprofielen is het aantal vereiste berekeningen aanzienlijk verminderd, terwijl de resultaten van de effectberekeningen wel vrijwel het gehele studiegebied dekken.

3.1 Standaardprofielen

Hydrologische standaardprofielen zijn samengesteld op basis van de veldonderzoeken en andere beschikbare data, zoals beschreven in het vorige hoofdstuk. Een standaardprofiel bestaat uit een combinatie van bodemopbouw, kwelsituatie, drainage eigenschappen, en aanlegmethode. Door het clusteren van de variabiliteit langs het tracé in deze standaardprofielen die naar verwachting hydrologisch hetzelfde zullen reageren op de aanleg van het tracé, hoeft niet elk perceel afzonderlijk geanalyseerd te worden. Hieronder wordt beschreven hoe de bodemopbouw, kwelsituatie, en drainage eigenschappen bepaald zijn voor de standaardprofielen.

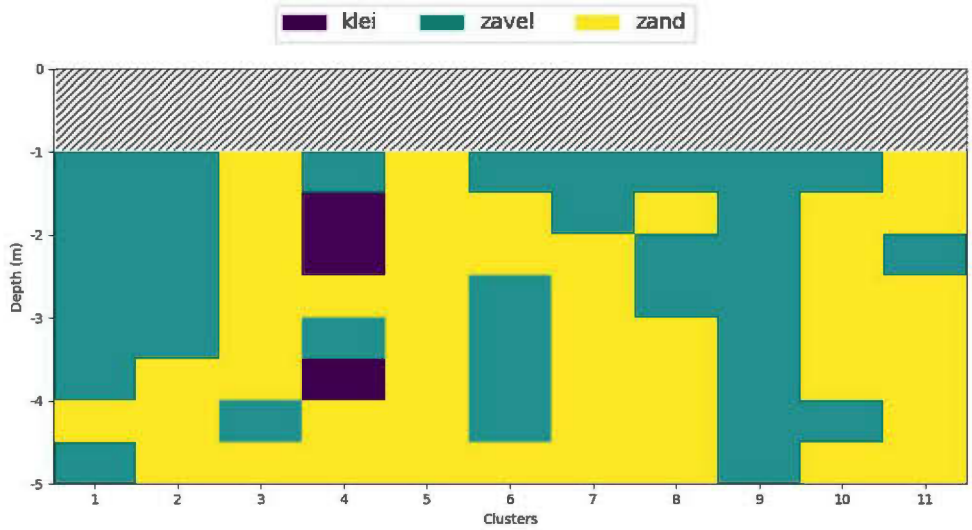
3.1.1 Bodemopbouw

Ieder standaardprofiel bestaat uit een combinatie van bodemopbouw, kwelflux, drainage eigenschappen, en aanlegmethode. Eerst is bepaald hoeveel representatieve bodemprofielen er langs het beoogde tracé voorkomen, gebaseerd op GeoTop. Om het aantal standaardprofielen te beperken zijn de GeoTop gegevens gesimplificeerd tot viert hoofdklassen: Zand, Klei, Zavel & Antropogeen. Aan de hand van een clusteringalgoritme voor categorische data (category utility) zijn alle datapunten langs het tracé aan een groep toebedeeld. Een uitgebreidere omschrijving van het clusteringalgoritme is te vinden in Bijlage 3 – Clustering. Om de meest relevante standaardprofielen te krijgen, is de automatische clustering meerdere malen uitgevoerd onder wisselende parameter combinaties. Zo is er bijvoorbeeld gevarieerd in het vooraf vastgestelde aantal clusters (10, 12, 15, en 20 clusters). Ook zijn er verschillende dieptes van de standaardprofielen meegenomen in de clustering: 0-5m diepte, 0-4m diepte, en 1-5m diepte. De profielen zijn uiteindelijk geclusterd op basis van de samenstelling van de bodem tussen 1 en 5 meter onder het maaiveld. Deze diepte is gekozen omdat de gelaagdheid van de bodem op dit specifieke niveau relevant is voor de vorming van zoetwaterlenzen.

Na uitvoering van de automatische clustering is op basis van de CU waardes en hydrologische kennis, de meest relevante clustering gekozen voor het verziltingsonderzoek. De geselecteerde clustering (CU=0.20) is vervolgens verder aangepast (zie Bijlage 3 – Clustering).

Het representatieve profiel is bepaald door per laag te kijken welk bodemtype het meest voorkomt (modus). Vervolgens is er gekeken welk van de voorkomende profielen het minst afwijkt van dit profiel dat is samengesteld aan de hand van de modus per laag. Dit profiel is uiteindelijk geselecteerd als representatief voor het perceel.

De geselecteerde clustering (CU=0.20) is vervolgens verder aangepast (zie Bijlage 3 – Clustering). Uiteindelijk zijn er elf bodemclusters geïdentificeerd langs het tracé, waarvoor er per cluster een representatieve bodemopbouw is bepaald (Figuur 12).

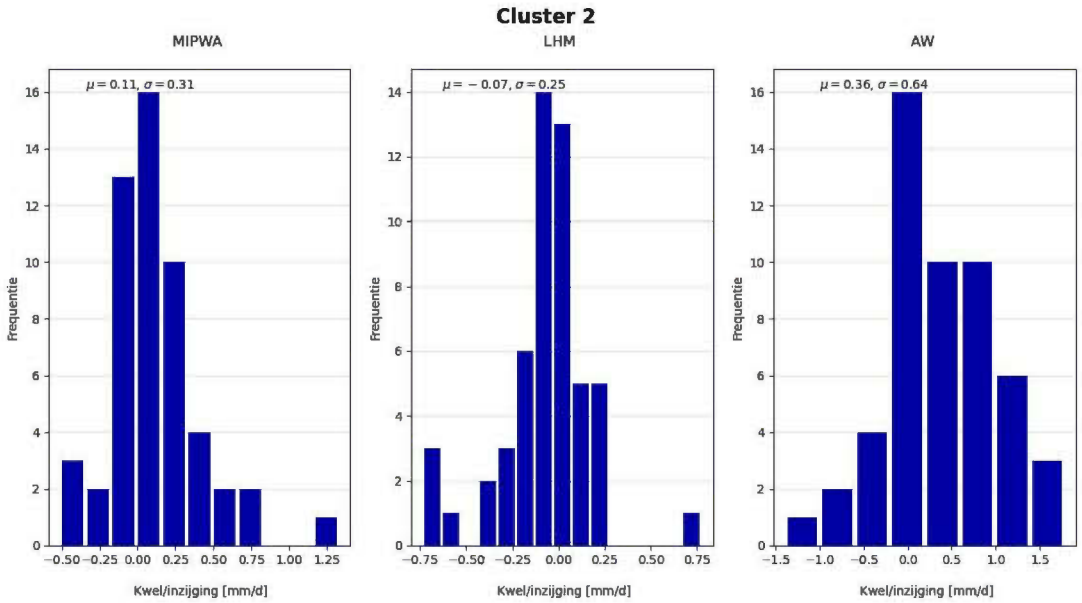


Figuur 12. Representatieve bodemopbouw voor de elf clusters langs het tracé. Het gearceerde deel (0-1 m onder maaiveld) is niet meegenomen in de clustering.

3.1.2 Kwelsituatie

De kwelsituatie afgeleid van de peilbuismetingen zijn waar beschikbaar de beste bron van de kwelsituatie. De standaardprofielen worden echter zo ontworpen dat ze representatief zijn voor percelen langs het gehele tracé. Daarom is ook een ruimtelijke bron van kwelsituatie nodig.

Uit de vergelijking van de peilbuismetingen en de beschikbare ruimtelijke kwelbronnen (zie hoofdstuk 2.2.2) blijkt dat er grote verschillen zijn tussen kwelkaarten. Figuur 13 laat een voorbeeld zien van de verschillen tussen de gemiddelde kwelflux voor alle punten in bodemcluster 2. Volgens LHM heb je op deze locaties te maken met inzijging, terwijl er volgens de MIPWA en Acacia Water kwelkaart sprake is van een kwelsituatie. De Acacia Water kwelkaart laat in dit geval gemiddeld een drie keer hogere kwelflux zien vergeleken met de MIPWA kwelkaart. Dit voorbeeld benadrukt de grote onzekerheid in de beschikbare kwelkaarten. Daarnaast bleek uit de vergelijking dat geen van de drie kaarten duidelijk beter overeenkomt met de kwel op basis van peilbuismetingen dan de andere twee (zie Bijlage 4 – Vergelijking kwel clusters).



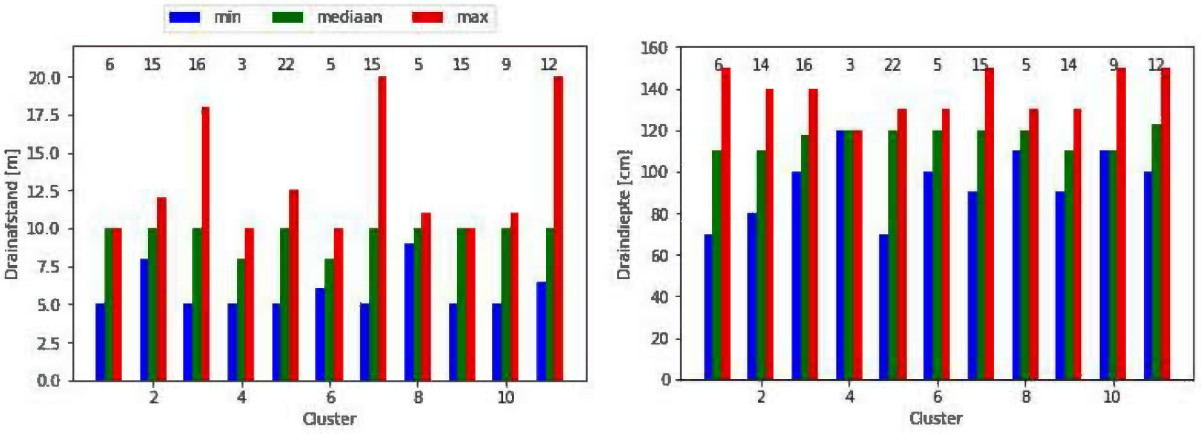
Figuur 13. Een voorbeeld van het vergelijken van de kwelsituatie op meerdere locaties aan de hand van drie verschillende bronnen.

Voor het ontwerp van de standaardprofielen is vooral van belang welke kwelfluxen langs het tracé voorkomen en hoe vaak. De variabiliteit op een enkele locatie is daarbij minder van belang. Op basis van de peilbuismetingen en ruimtelijke kwelkaarten is ervoor gekozen om in de effectberekeningen uit te gaan van twee verschillende kwelsituaties: een (zeer) lage kwel en een hogere kwelsituatie situatie. Dit omdat uit verkennende berekeningen blijkt dat de berekende verziltingsrisico en -effecten gevoelig zijn voor dit verschil. De hoogte van de kwelfluxen wordt bepaald aan de hand van de resultaten van de gevoeligheidsanalyse.

3.1.3 Drainage

De drainageafstand en -diepte hebben invloed op de dikte van de zoetwaterlenzen, al zijn deze minder belangrijk dan bodemtype en kwelsituatie. Informatie over de drainage eigenschappen is in de periode december 2021 tot april 2022 opgehaald d.m.v. een online enquête (zie Bijlage 5 – Drainage enquête). Hierin werden verschillende vragen gesteld met betrekking tot de drainagesituatie van de percelen. De enquête is door 63 agrariërs ingevuld en heeft informatie opgeleverd over 129 percelen grenzend aan het tracé.

Per standaard bodemtype is de variatie in drainageafstand en -diepte bepaald (Figuur 14). Daaruit blijkt dat de mediaan van de drainafstand van de meeste bodemclusters rond 10 m is en de mediaan van de draindiepte van 100 – 120 cm-mv. De variabiliteit verschilt echter per bodemcluster. Voor de standaardprofielen is uitgegaan van de mediaan waardes: een drainagediepte van 1,20 m en een onderlinge drainageafstand van 10 m.



Figuur 14. Minimum, mediaan en maximum drainageafstand (boven) en -diepte (onder) per bodemcluster, met aantal responsen per bodemcluster aangegeven bovenin het figuur.

3.1.4 Aanlegmethode

Uit hoofdstuk 2.1 blijkt dat verschillende aanlegmethoden toegepast worden langs het tracé. Voor de berekeningen zijn echter vooral de standaard open ontgravingen van belang. Verziltingseffecten bij aanleg van het tracé worden veroorzaakt door de onttrekking van water. Bij gestuurde boringen wordt echter geen water onttrokken, waardoor geen verziltingseffecten zullen plaatsvinden.

Bij moflocaties is de ontwateringsdiepte vergelijkbaar met die bij de **'standaard'** open ontgravingen. Door alleen de standaard open ontgravingen door te rekenen wordt het effect bij moflocaties dus op realistische wijze gesimuleerd.

3.1.5 Resultaat

De combinatie van 11 bodemclusters, twee kwelsituaties, en een enkele drainagesituatie en aanlegmethode resulteert in 22 standaardprofielen. Uitgegaan wordt van de huidige situatie, zonder verwerking van prognoses van bodemdaling, veranderingen in neerslag en verdamping, en/of zeespiegelstijging.

3.2 Modellering

Voor ieder standaardprofiel is een 2D dwarsdoorsnedemodel opgezet in MODFLOW6. Met dit pakket kan dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming en stoftransport gesimuleerd worden. Dichtheidsafhankelijke stroming speelt een belangrijke rol bij de ontwikkeling van zoetwaterlenzen, en is daarom cruciaal in dit onderzoek.

3.2.1 Opzet basismodel

De diepte van het 2D dwarsdoorsnede model is 10 m. De breedte van het model moet zo gekozen worden dat de randen minimaal effect hebben op de modelresultaten. Een verkennende berekening heeft aangetoond dat een breedte van 30 keer de drainafstand (300 m) daaraan voldoet. Het model is opgebouwd uit lagen van 10 cm dikte en breedte. Dit detailniveau is nodig om de vorm van de zoetwaterlenzen goed te kunnen simuleren.

Aan de bovenrand van de modellen is een neerslagoverschot met een chloridegehalte van 0,01 g/l. Voor het neerslagoverschot is een sinus gebaseerd op het 30-jaarlijkse daggemiddelde neerslagoverschot wat is gebaseerd op neerslag en verdamping tijdreeksen van KNMI station Eelde. Het neerslagoverschot is daarmee in de

winter het grootst, en in de zomer is er sprake van een neerslagtekort. De langjarige gemiddelde jaarlijkse neerslag van station Eelde wijkt minder dan 5% af van die van stations die dichter bij het tracé liggen, zoals Roodeschool, Uithuizen, Warffum, en Zoutkamp. De onderrandvoorwaarde is een vaste stijghoogte. De stijghoogte zorgt samen met een weerstandslaag (c = 500 dagen) tussen 8–9 m-mv en een variabele grondwaterstand voor een tijdsafhankelijke kwelflux waarvan de gemiddelde overeenkomt met de kwelfluxen van de standaardprofielen. De kwel heeft een aangenomen chloridegehalte van 10 g/l. Op 100 m van de sleuf en aan de rechterkant is een sloot met een peil 10 cm onder drainniveau en een weerstand van 3 dagen ingebracht om naast neerslag te zorgen voor grondwateraanvulling na aanleg van het tracé tijdens de herstelberekeningen. Dit peil ten opzichte van maaiveld komt overeen met een zomerpeil dat iets hoger dan gemiddeld is in het projectgebied (25^{e} percentiel). Verder is aan de zijkanten uitgegaan van een 'zero flux' randvoorwaarde.

De bodemopbouw is gebaseerd op de lithologie van het standaardprofiel (Figuur 12). Bodemeigenschappen zoals porositeit en doorlatendheden worden in Tabel 5 gepresenteerd. De doorlatendheid en porositeit voor zand en zavel zijn gebaseerd op de resultaten van het veldonderzoek, voor klei zijn waardes aangenomen op basis van Wösten et al. (2013). De freatische berging is gebaseerd op Johnson (1967).

Tabel 5. Overzicht van bodemeigenschappen gebruikt in de modellering

	Doorlatendheid [m/d]	Porositeit [ ]	Freatische berging [ ]
Zand	7,9	0,46	0,1
Zavel	1,4	0,48	0,05
Klei	0,15	0,56	0,03

Er is van uitgegaan dat de drains parallel aan het tracé liggen. Uit de drainage enquête blijkt dat de meeste drainage in het gebied een noord-zuid ligging heeft en daarmee dwars op het tracé ligt. De invloed van de ligging van de drainage op de effectenberekeningen is echter beperkt ten opzichte van het effect van bodemopbouw en kwel. Dit omdat drooglegging bij werkzaamheden ervoor zorgt dat grondwaterstanden onder de drainage komen te liggen, waardoor de rol van de drainage op de stromingssituatie beperkt is. Uitgegaan is van een drainafstand van 10 m, een draindiepte van 1,2 m-mv, en een drain weerstand van ongeveer 2 dagen. De eerste drain ligt een halve drainafstand, of 5 m, van de rand van het model.

3.2.2 Aanleg tracé

De aanleg van het tracé is gemodelleerd aan de linkerzijde van het model. De sleuf zelf is ingebracht als vervorming van het maaiveld, veroorzaakt door het graven van de sleuf. De breedte van de sleuf op het maaiveld is vastgesteld op 12 m, met een 1:1 talud. De diepte van de sleuf staat gelijk aan 2,1 m onder maaiveld. De sleuf wordt tot een diepte van 1,8 m onder maaiveld opgevuld met 'backfillzand', met een aangenomen doorlatendheid van 5 m/d.

De horizontale drain onder het midden van de sleuf is gemodelleerd d.m.v. een DRN package (drainage) met een zeer lage weerstand. Hiermee wordt ervoor gezorgd dat het

geplande ontwateringsniveau gehaald wordt. Het ontwateringsniveau is gelijk aan de diepte van de horizontale drain, 2,4 m-mv.

Tabel 6. Overzicht van model uitgangspunten en of die overeenkomen met een 'best guess' of 'worst case' benadering

Uitgangspunt	Waarde	Type
Aanlegmethode	Open ontgraving	Worst case
Periode van aanleg	Natte periode (GHG)	Worst case
Onttrekkingsduur	21 dagen	Best guess

3.2.3 Modelberekeningen

De modelberekeningen zijn uitgevoerd in een aantal stappen. In de eerste stap zijn de modellen voor 30 jaar doorgerekend. Resultaat van deze stap is een inschatting van de dikte van de zoetwaterlenzen in de huidige situatie, en hoe deze varieert over het jaar. In de tweede stap zijn de sleuf en onttrekking toegevoegd. Het model is voor 21 dagen doorgerekend uitgaande van de in de vorige modelstap berekende grondwaterstanden en zoutgehaltes in het voorjaar, een moment waarop grondwaterstanden relatief hoog staan.

Om het herstel in te schatten wordt in een derde stap een periode van 10 jaar doorgerekend, waarin de bodemopbouw en -eigenschappen weer gelijk is gezet aan de originele situatie zonder sleuf. Als initiële condities worden voor deze herstelfase de grondwaterstanden en zoutgehaltes genomen na afloop van de 21 dagen onttrekking.

Het verziltingseffect door aanleg van het tracé is bepaald door de zoetwatervoorraad in het perceel te vergelijken met de situatie zonder sleuf. Dit is zowel direct na afloop van de werkzaamheden beoordeeld, alsook één jaar en vijf jaar na de onttrekking. De zoetwatervoorraad wordt gedefinieerd als de afstand tussen de drainagediepte en de onderkant van de zoetwaterlens. Deze is dus gebaseerd op de diepte van het zoet-zout grensvlak, die voor dit onderzoek is vastgesteld op een chlorideconcentratie van 1,5 g/l, oftewel een EC van circa 4,5 mS/cm.

3.2.4 Gevoeligheidsanalyse

Een Monte Carlo analyse is uitgevoerd om de gevoeligheid van de modelresultaten voor belangrijke parameters te bepalen en daarmee inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de modelresultaten. De onderzochte parameters zijn de porositeit, doorlatendheid, de stijghoogte van het watervoerend pakket en de weerstand van de deklaag. De twee laatste parameters bepalen samen de kwelflux. De bandbreedtes van de parameters zijn gebaseerd op de spreiding van de waardes uit de veldonderzoeken. In de Monte Carlo analyse zijn 60 modelberekeningen uitgevoerd, waarbij de parameterwaardes steeds willekeurig uit de vastgestelde bandbreedte zijn gekozen.

Voor iedere modelberekening is de diepte van het zoet-zout grensvlak onder het midden van de sleuf bepaald één jaar na de werkzaamheden. De verwachting is dat de zoetwaterlenzen direct na aanleg volledig verdwenen zijn als gevolg van de onttrekkingen. De effecten na één jaar zijn daarom naar verwachting meer inzichtelijk omdat dat gerelateerd is aan hoe snel het systeem zich herstelt, en daarmee hoe

langdurig het effect is voor agrariërs. Uitgegaan is van geen mitigerende maatregelen om herstel te bevorderen.

3.3 Verificatie modelresultaten

Er is een model verificatie uitgevoerd om te achterhalen in hoeverre de modelresultaten overeenkomen met de veldmetingen die zijn uitgevoerd. Door dit te doen kan de betrouwbaarheid van het model beter ingeschat worden. De diepte van het zoet-zout grensvlak zoals berekend door het model, is vergeleken met de diepte van het zoet-zout grensvlak zoals gemeten met de DUALEM. Daarnaast zijn in deze vergelijking ook de kwelfluxen, die zijn berekend met behulp van data van de veldonderzoeken (boorprofielen), meegenomen.

Zoals hierboven omschreven zijn voor de verificatie drie verschillende type gegevens gebruikt, namelijk; zoet-zout grensvlak berekend door het model, zoet-zout grensvlak gemeten door de DUALEM en de kwelflux berekend aan de hand van de veldonderzoeken (boorprofielen). De eerste twee genoemde zijn direct beschikbaar.

De derde, de kwelflux, is afgeleid aan de hand van stijghoogtes, die voortkomen uit de peilbuis metingen, en aan de hand van doorlatendheden. Per locatie zijn twee peilbuizen geplaatst, een in de deklaag (à 2m-mv) en een in het watervoerend pakket daaronder (5 à 6 m-mv). Wanneer er een verschil in stijghoogte is tussen deze twee peilbuizen, kan dit resulteren in een verticale opgaande (kwelflux) of neergaande beweging van water (infiltratie flux). De volgende formules zijn gebruikt om deze (kwel)flux te berekenen;

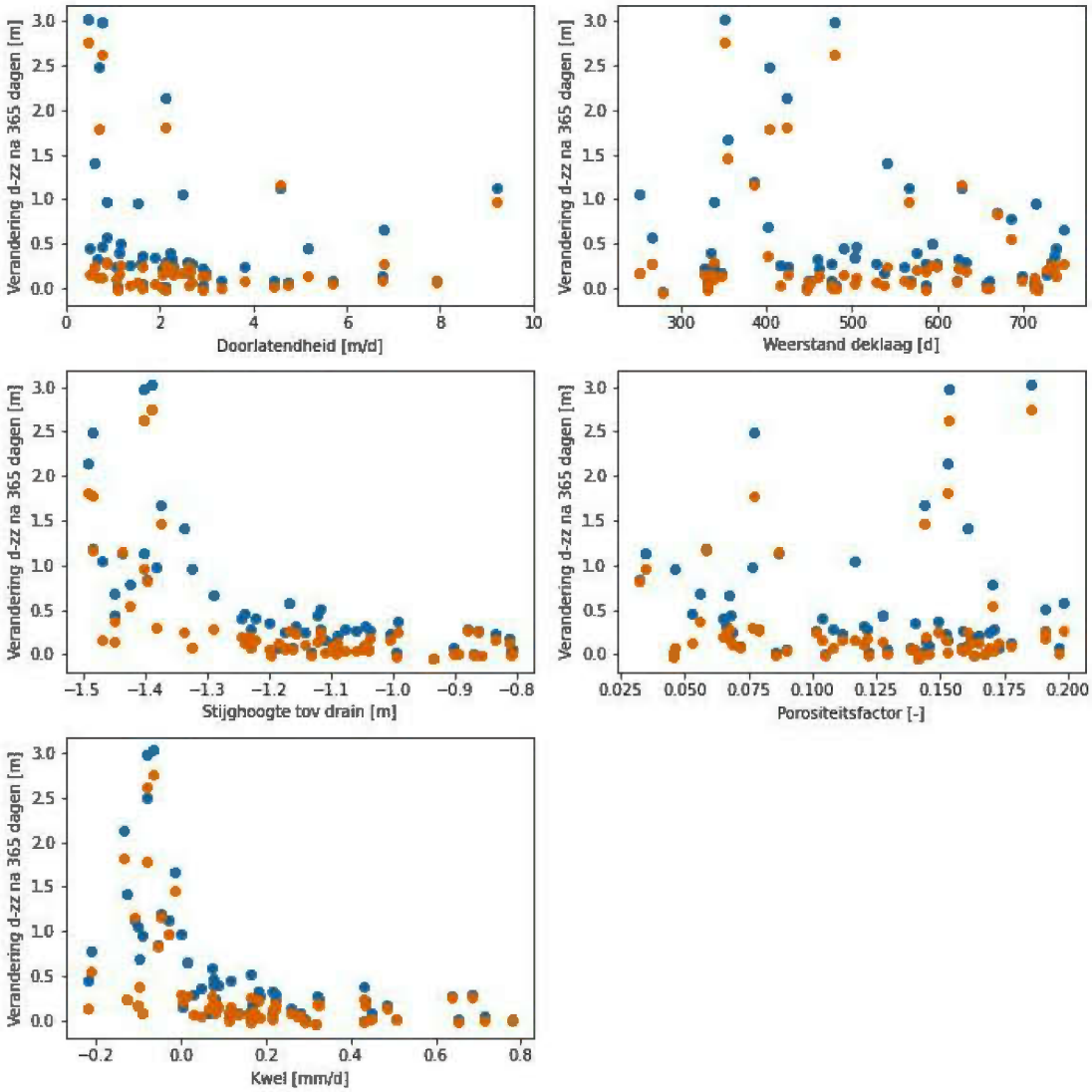
$$c = \frac{d}{Ky} \qquad q = \frac{\Delta h}{c1 + c2}$$

Waarin c, de weerstand van de bodem, d, de dikte van een bodemlaag met dezelfde structuur, Ky, de verticale doorlatendheid van de specifieke bodemlaag, Δh, het verschil in stijghoogte tussen de twee peilbuizen en q de flux. Wanneer er verschillende bodemstructuren tussen de filters van de twee peilbuizen aanwezig zijn, wordt de weerstand voor deze lagen apart berekend en bij elkaar opgeteld. Dit wordt weergegeven door de term, $c1 + c2$.

4 Huidige situatie

4.1 Gevoeligheidsanalyse

Uit de resultaten blijkt dat binnen het vastgestelde bereik van de parameters vooral de doorlatendheid en de gemiddelde kwelflux het belangrijkst is (zie Figuur 15). Bij een relatief lage doorlatendheid en/of lagere kwelflux zijn berekende effecten na één jaar relatief groot. Voor het verschil tussen (quasi-)kwel neutrale situaties (gemiddelde kwelflux is bijna 0) en kwelsituaties (kwelflux>0) is groot. De porositeit is minder van belang.



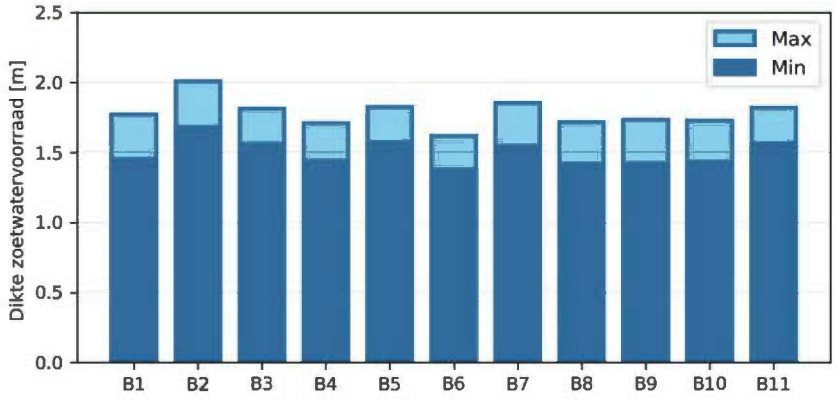
Figuur 15. Relatie tussen berekende effect op het zoet-zout grensvlak 1 jaar na de werkzaamheden en de parameters die in de Monte Carlo analyse zijn onderzocht. Blauwe kleuren zijn berekende effecten ter hoogte van de horizontale drain, oranje stippen op 10 meter van de horizontale drain.

Op basis van de resultaten wordt in de standaardprofielen uitgegaan van een lage gemiddelde kwelflux van 0,05 mm/d en een hogere kwelflux van gemiddeld 0,3 mm/d.

4.2 Standaardprofielen

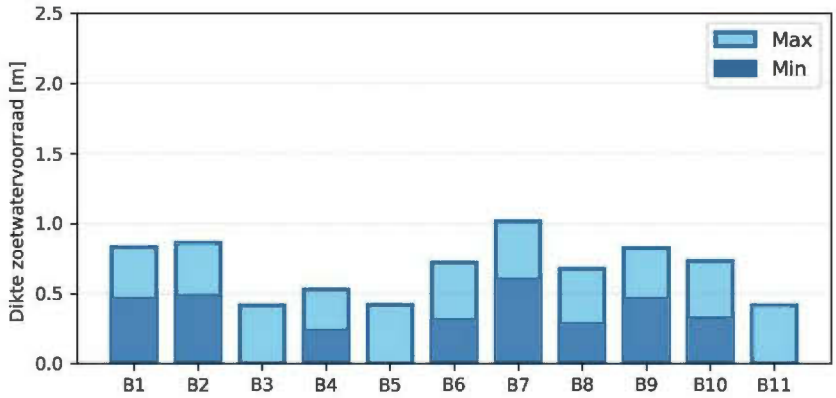
In de eerste stap van de modellering is de dikte van de zoetwaterlens bepaald voor alle standaardprofielen. De dikte van de zoetwaterlens, of de afstand tussen de draindiepte en het zoet-zout grensvlak, verschilt door het jaar heen. Aan het begin van het groeiseizoen is de zoetwaterlens relatief dik omdat het volgt op een periode met overwegend neerslagoverschot. Aan het einde van het groeiseizoen, na een periode van overwegend neerslagtekort, is de zoetwaterlens relatief dun. In Figuur 16 en Figuur 17 worden de minimale en maximale berekende dikte van de zoetwatervoorraad weergegeven voor alle standaardprofielen met respectievelijk zeer lage en lage kwelflux.

Uit Figuur 16 blijkt dat de maximale dikte van de zoetwatervoorraad voor de zeer lage kwelfluxen varieert tussen 1,6 en 2,0 m. De dikte van de zoetwatervoorraad is relatief klein voor de bodemprofielen met relatief veel gelaagdheid (B4 en B6) en relatief groot bij gelaagde profielen van zavel op zand (met name B2 en B7). Door het jaar heen varieert de dikte met ongeveer 25 – 30 cm. De variabiliteit is voor de profielen met zavel rond het niveau van het zoet-zout grensvlak (B1, B2, B7, B9) enkele cm kleiner dan voor de gelaagde en zandige profielen.



Figuur 16. Berekende minimale en maximale dikte van het zoetwatervoorraad in een gemiddeld jaar voor de standaardprofielen met een lage kwelflux van ongeveer 0,05 mm/d.

Voor de standaardprofielen met een kwelflux van gemiddeld ongeveer 0,3 mm/d varieert de maximale dikte van de zoetwatervoorraad tussen 0,4 en 1,0 m (Figuur 17), wat ongeveer 1,0 tot 1,5 m dunner dan de standaardprofielen met zeer lage kwelflux. Voor de zandige bodemprofielen B3, B5, en B11 is de dikte van de zoetwatervoorraad door de hogere doorlatendheid van de bodem relatief klein. Bij deze profielen is het zoet-zout grensvlak aan het einde van het groeiseizoen op drainniveau. De bodemprofielen met zavel tot 2 m-mv (B1, B2, B7 en B9) hebben een relatief dikke zoetwatervoorraad. Door het jaar heen varieert de dikte met ongeveer 35 – 45 cm. De variabiliteit is voor de profielen met veel zavel (B1, B2, B9) enkele centimeters kleiner dan voor profielen met veel zand (B3, B5, B7, B10, B11).



Figuur 17.Berekende minimale en maximale dikte van het zoetwatervoorraad in een gemiddeld jaar voor de standaardprofielen met een relatief hoge kwelflux van ongeveer 0,3 mm/d.

4.3 Verificatie modelresultaten

Er is een model verificatie uitgevoerd om te achterhalen in hoeverre de modelresultaten overeenkomen met de veldmetingen die zijn uitgevoerd. Om modelresultaten aan gemeten (DUALEM) dieptes van het zoet-zout grensvlak te koppelen is informatie over de bodemopbouw en de kwelflux nodig. In de eerste stap is aan de hand van berekende kwelfluxen bepaald welke locaties beschikbaar zijn voor de modelverificatie. In de tweede stap zijn deze locaties gekoppeld aan modelberekeningen, en zijn de gemeten en gemodelleerde dieptes van het zoet-zout grensvlak vergeleken.

4.3.1 Beschikbare locaties

De kwelflux is berekend aan de hand van de methode beschreven in Sectie 3.3. Voor sommige locaties kan de kwelflux niet betrouwbaar bepaald worden doordat de onderste peilbuis zich in hetzelfde pakket (dezelfde bodemstructuur) bevindt als de bovenste. Daardoor kan er niet worden bepaald of er een neerwaartse dan wel opwaartse flux is. Om deze reden is de kwelflux alleen bepaald voor de 15 van 26 locaties waarbij de peilbuizen in verschillende bodemlagen liggen.

Daarnaast is in het model uitgegaan van zoetwaterlenzen, die vormen onder invloed van een kwelflux. Waar op basis van de peilbuizen sprake is van een neerwaartse infiltratieflux kan de locatie niet gekoppeld worden aan een vergelijkbare modelresultaat en is dus geen vergelijking mogelijk. Van de 14 locaties waarbij de verticale flux berekend kon worden blijven nog 7 over met een kwelflux waarmee de modelverificatie uitgevoerd kan worden.

4.3.2 Resultaten verificatie

In Tabel 7 worden de resultaten van de verificatie weergegeven. De eerste kolom geeft de locaties en standaardprofielen weer. De tweede kolom geeft het zoet-zout grensvlak weer zoals gemeten door de DUALEM. Met behulp hiervan kan worden bekeken of het zoet-zout grensvlak gemeten door de DUALEM overeenkomt met het zoet-zout grensvlak zoals berekend door het model. Het verschil tussen de gemodelleerde diepte van het zoet-zout grensvlak in dit tabel in de dikte van de zoetwatervoorraad zoals in Figuur 16 en Figuur 17 is weergegeven is de draindiepte (1,2 m). De vierde kolom geeft de kwelflux weer die is berekend met behulp van de stijghoogten gemeten in de peilbuizen zoals in de vorige paragraaf uitgelegd. De laatste kolom geeft een eindoordeel over de vergelijking tussen DUALEM zout-zoet grensvlak en zoet-zout grensvlak zoals berekend door het

model. Belangrijk om te realiseren is dat de berekende kwelfluxen zijn gebruikt om te achterhalen welk model kwel scenario er aan de specifieke DUALEM gegevens gekoppeld moet worden: wanneer er een lage kwelflux wordt berekend worden de DUALEM gegevens gekoppeld aan het modelscenario met de lage kwelflux.

Tabel 7. Overzicht van verificatie tussen resultaten van DUALEM metingen (kolom 2) en modelresultaten (kolom 3) van het zoet-zout grensvlak per standaardprofiel. Kolom 4 geeft gemiddelde kwelfluxen weer berekend aan de hand van stijghoogten en weerstanden. Positieve fluxen geven een kwelsituatie weer, negatieve fluxen een infiltratie situatie. Of de modelberekening overeenkomt met de bijbehorende DUALEM veldgegevens is in de laatste kolom weergegeven

Locatie	DUALEM zz grensvlak range (m mv)	Model range zz (m mv)	Berekende kwelflux (mm/d)	Conclusie
B1_1	2,5 - 3,0	1,7 – 2,0	0,53	Komt niet overeen
B1_3	> 6	2,7 – 3,0	-0,11	Komt ongeveer overeen
B3_3	2,0 - 4,0	1,2 – 1,6	1,20	Komt niet overeen
B5_1	1,5 - 2,5	1,2 – 1,6	0,46	Komt overeen
B6_3	1,0 - 3,0	2,6 – 2,8	0,06	Komt overeen
B9_1	1,0 - 2,0	2,6 – 2,9	-0,02	Komt niet overeen
B9_3	1,0 - 1,5	1,7 – 2,0	0,73	Komt overeen

Op basis van de resultaten in Tabel 7 blijkt dat de DUALEM gegevens voor bijna alle standaardprofielen buiten het bereik van de gemodelleerde diepte van het zoet-zout grensvlak valt. Echter zitten de dieptes van locaties B5_1, B6_3, en B9_3 wel in de buurt. Voor deze profielen is er een aardige overeenkomstigheid, zeker aangezien de modellen geen reproductie zijn van de specifieke locaties: kwelfluxen wijken over het algemeen af, en ook kunnen de bodemopbouw en drainage eigenschappen afwijken van het meest vergelijkbare standaardprofiel.

Voor profiel B1_3 lijkt het verschil in eerste instantie groot. DUALEM geeft aan dat de diepte van het zoet-zout grensvlak dieper ligt van 6 m, terwijl het model rond 3 m zit. Relatief gezien gaat het echter om een modelberekening met een diep zout-zout grensvlak, en in het model kan een relatief klein verschil in de kwelflux een grote impact hebben op de dikte van de zoetwaterlens. Daarom is het aannemelijk dat bij gebruik van een kwelflux van gemiddeld 0,02 mm/d de dikte van de zoetwaterlens beter overeen zou komen met de metingen.

Voor profielen B1_1, B3_3 en B9_2 wijkt het model echter in grotere mate af van de DUALEM gegevens. Bij twee van deze locaties, B3_3 en B9_2, lijken de resultaten van de DUALEM metingen echter niet overeen te komen met de berekende kwelflux. Naar verwachting ligt het zoet-zout grensvlak relatief diep bij relatief lage kwelflux, en andersom. Bij B3_3 is de berekende gemiddelde kwelflux echter relatief hoog (1,2 mm/d) terwijl de diepte van het zoet-zout grensvlak op basis van de DUALEM metingen relatief diep zit (2–4 m-mv). Bij B9_2 is dat andersom: de berekende kwelflux is relatief laag (0,06 mm/d) terwijl de diepte van het zoet-zout grensvlak relatief ondiep is (1–2 m-mv). Bij B1_1 is minder duidelijk sprake van tegenstrijdigheid tussen de DUALEM meting en berekende kwelflux, maar is toch sprake van een combinatie van relatief hoge kwelflux en relatief diep zoet-zout grensvlak. Op deze locaties wordt als verkenning van de mogelijke

onzekerheid in de kwelflux de locatie vergeleken met het standaardprofiel met de andere kwelflux:

- Voor locatie B1_1 zit het berekende zoet-zout grensvlak voor het standaardprofiel met zeer lage kwelflux op 2,7 – 3,0 m-mv. Dit komt goed overeen met de DUALEM meting van 2,5 – 3,0 m-mv.
- Voor locatie B3_3 zit het berekende zoet-zout grensvlak voor het standaardprofiel met zeer lage kwelflux tussen de 2,8 – 3,0 m-mv. Dit komt goed overeen met de DUALEM meting van 2,0 – 4,0 m-mv.
- Voor profiel B9_2 zit het berekende zoet-zout grensvlak voor het standaardprofiel met kwelflux van 0,3 mm/d op 1,7 – 2,0 m-mv. Dit komt goed overeen met de DUALEM meting van 1,0 – 2,0 m-mv.

Daarmee lijkt het mogelijk dat de onzekerheid in de berekende kwelfluxen een belangrijke deel van het verschil tussen gemeten en gemodelleerde dieptes in het zoet-zout grensvlak kan verklaren.

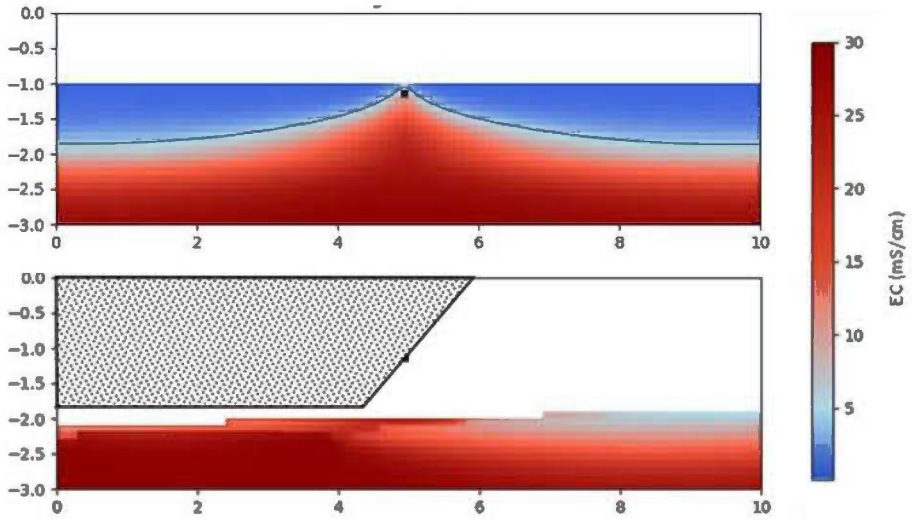
Er zijn verschillende redenen denkbaar dat de berekende kwelflux op basis van de peilbuisgegevens afwijkt van de zoet-zout situatie op basis van een interpretatie van de DUALEM gegevens. Een eerste reden is bijvoorbeeld dat het berekenen van de kwelflux afhankelijk is van verschillende variabelen die een onzekerheid met zich meebrengen; in het meten van de stijghoogte zit een onzekerheid, net als in het bepalen van de bodemstructuur en daarmee ook in het bepalen van de doorlatendheden en weerstanden. Een tweede reden is dat de kwelfluxen per locatie zijn gemiddeld over een jaar dat relatief nat was. Het is dus mogelijk dat de berekende kwelfluxen afwijken van een gemiddeld jaar. Bij relatief hoge grondwaterstanden zal de kwelflux lager uitvallen dan in een gemiddeld jaar, uitgaande dat de stijghoogten niet of in mindere mate hoger waren in dezelfde periode. De DUALEM metingen zijn in het voorjaar uitgevoerd, wanneer de zoetwaterlenzen het dikst zijn. Deze twee type veldmetingen komen dus niet overeen qua timing wat een oorzaak zou kunnen zijn voor de verschillen.

Naast de onzekerheid van de berekende kwelfluxen kunnen de modelberekeningen afwijken van DUALEM metingen vanwege verschillen in uitgangspunten. De meetlocaties zijn gekoppeld aan het meest vergelijkbaar standaardprofiel, maar de precieze bodemopbouw en drainage eigenschappen kunnen afwijken.

5 Effecten door aanleg tracé

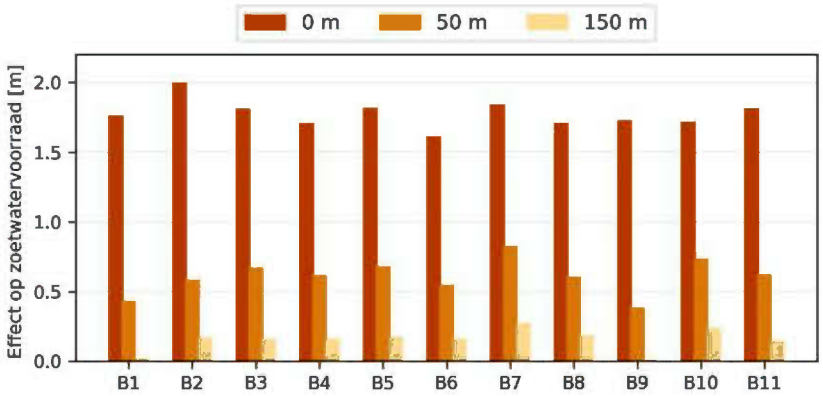
5.1 Effecten tijdens en direct na aanleg

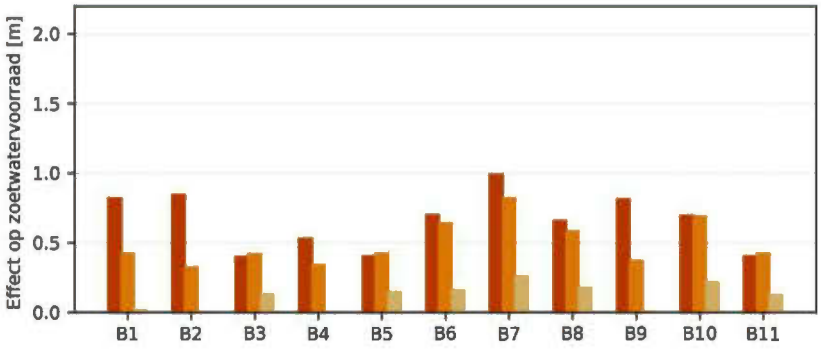
De effecten van open ontgraving op de zoetwaterlenzen in het studiegebied worden direct na aanleg beoordeeld. In Figuur 18 is, ter illustratie, een dwarsdoorsnede te zien van de effecten op de zoetwatervoorraad voor één van de standaardprofielen. In het bovenste gedeelte is de situatie voor de start van de werkzaamheden te zien. In het onderste gedeelte is de situatie direct na afloop van de werkzaamheden te zien. De grondwaterstand is uitgezakt onder de sleuf, en de zoetwaterlens direct onder de sleuf is geheel verdwenen. Voor zoetwaterlenzen naast de sleuf geldt dat er doordat water naar de horizontale drain wordt getrokken, er ook een horizontale verschuiving van de zoetwaterlens plaatsvindt.



Figuur 18. Dwarsdoorsnede rondom de sleuf van standaardprofiel B7_hwvp25 (bodemcluster 7 en lage kwelsituatie) voor de start van werkzaamheden (boven) en vlak na de aanleg (onder). De locatie van de sleuf is gearceerd aangegeven in de onderste dwarsdoorsnede. De wit gekleurde vlakken geven de onverzadigde zone weer.

Figuur 19 geeft het effect op de zoetwatervoorraad op verschillende afstanden van het midden van de tracé weer voor alle standaardprofielen. Voor alle standaardprofielen geldt dat de volledige zoetwatervoorraad in de directe omgeving van de horizontale sleuf verdwijnt als gevolg van de werkzaamheden. De grootte van het effect ter hoogte van het midden van de sleuf (0 m) is dus gelijk aan de dikte van de zoetwatervoorraad bij aanvang van de werkzaamheden.





Figuur 19. Afname van de dikte van de zoetwatervoorraad direct na afloop van de werkzaamheden op verschillende afstanden van de horizontale drain midden onder de sleuf voor standaardprofielen met lage kwelflux (boven) en relatief hoge kwelflux (onder).

Op 50 m van het midden van de sleuf is het effect op de zoetwatervoorraad voor de lage kwel situatie tussen ongeveer 40 en 80 cm, en voor de hogere kwelsituatie waar de zoetwaterlenzen dunner zijn tussen ongeveer 30 en 80 cm. Het effect op de zoetwatervoorraad is het grootst voor bodemprofielen B7 en B10, profielen waarbij een dik zandpakket onder een zavel laag liggen. Daarna volgen de bodemprofielen met veel zand (B3, B5, en B11), en de bodemprofielen met relatief dikke zavel en/of klei lagen tussen 2 en 5 m-mv (B2, B4, B6, B8). Voor de profielen met overwegend zavel (B1 en B9) is het effect op deze afstand relatief klein. Het effect op afstand is vooral afhankelijk van de bodemtype, de kwelflux is minder belangrijk.

Op 150 m van het midden van de sleuf is het effect op de zoetwatervoorraad voor zes standaardprofielen kleiner dan 5 cm. Dit zijn de profielen die overwegend uit zavel bestaan (B1 en B9) alsook standaardprofielen met hoge kwelflux en die tot en met de diepte van de horizontale drain uit zavel en/of klei bestaan (B2 en B4). Voor de andere standaardprofielen is het effect ongeveer 15 tot 25 cm op deze afstand.

Ondanks dat de absolute effecten op de zoetwatervoorraad kleiner zijn op locaties met een hogere kwelflux (0,3 mm/d), betekent dit niet per se dat de gevolgen hier ook kleiner zullen zijn. De implicaties voor de landbouw kunnen juist groter zijn op de locaties met een kleinere oorspronkelijke zoetwatervoorraad. De dikte van de zoetwatervoorraad kan op deze locaties momenteel nét voldoende zijn om gewassen te verbouwen. Het zoet-zout grensvlak ligt hier ondiep, waardoor een kleine afname van de zoetwatervoorraad en een opschuiving van het grensvlak hier dus direct kan leiden tot het indringen van zout water in de wortelzone. Relatief gezien kunnen hier dus kleine absolute effecten grotere negatieve gevolgen hebben.

Het neerslagtekort in een gemiddeld groeiseizoen (april t/m augustus) is volgens gegevens van KNMI station Eelde 93 mm. In 2018 was dat met 236 mm ongeveer 2,5 keer zo groot. Door aan te nemen dat het verschil in dikte van de zoetwaterlens over het groeiseizoen met dezelfde factor zal toenemen wordt een worst case benadering van het effect van een extreem droog jaar benaderd. In een extreem droog jaar is het namelijk waarschijnlijk dat de werkelijke verdamping lager ligt dan referentieverdamping door bijvoorbeeld uitzakkende grondwaterstanden. Doordat het een worst case benadering is kan geconcludeerd worden dat als effecten meer dan 2,5 keer groter zijn dan de krimp van de zoetwaterlens in een gemiddeld jaar, dat het verziltingseffect groter is dan het effect dan een extreem droog jaar. Andersom is echter niet duidelijk te concluderen dat een berekende effect kleiner is dan een extreem droog jaar zonder aanvullende

modelberekeningen uit te voeren waarin de afname van verdamping als gevolg van uitzakkende grondwaterstanden wordt meegenomen.

Volgens de modelberekeningen van de huidige situatie is de variatie in dikte van de zoetwaterlens uitgaande van een gemiddeld jaar 25–30 bij een lage kwelflux en 35–45 cm voor de hogere kwelflux (zie Figuur 16 en Figuur 17). Dan is een grove schatting van het effect van een extreem droog jaar als 2018 op de zoetwaterlens 0,6–0,75 m voor de lage kwelflux, namelijk 2,5 keer groter dan de variatie in de dikte van de zoetwaterlens in een gemiddeld jaar. De kans is dus groot dat de berekende effecten ter hoogte van de horizontale drain zoals hierboven beschreven zijn (ongeveer 1,6–2,0 m) groter zijn dan het effect van een extreem droog jaar. Voor de hogere kwelflux is de berekende variatie in dikte van de zoetwaterlens 25–30 cm. Uitgaande van dezelfde factor 2,5 is dit ongeveer 90–110 cm, wat groter is dan de dikte van de zoetwaterlenzen. Deze grove schatting van een 2,5 keer grotere variabiliteit in een extreem droog jaar is echter waarschijnlijk een overschatting. Het houdt namelijk geen rekening met een afname in verdamping door lage grondwaterstanden in een extreem droog jaar. Als gevolg hiervan is het aannemelijk dat de effecten van aanleg van het tracé groter zijn dan van een extreem droog jaar in locaties met een lage kwelflux, maar is de vergelijking in locaties met een hoge kwelflux onzeker.

Bodemstructuur

In deze fase is het onderzoek gericht op veranderingen in de zoet-zout situatie in het perceel. Verziltingseffecten kunnen, afhankelijk van het bodemtype, ook gevolgen hebben voor de bodemstructuur. Afhankelijk van de diepte waar de veranderingen in structuur optreden kunnen deze gevolgen hebben voor de ontwikkeling van gewassen die op de percelen geteeld worden. Hier wordt kwalitatief beschreven wat de risico's zijn en onder welke omstandigheden deze verwacht worden. Een verdiepende slag kan in een vervolgfase opgepakt worden.

Veranderingen in bodemstructuur worden veroorzaakt doordat natrium in zoute omstandigheden met name de calciumionen in het klei-humus complex kunnen verdringen, waarna deze makkelijker uitspoelen (Molen, 1958). Hierdoor kan de bodem compacter worden en kan water moeilijker infiltreren. Dit effect is vooral van belang bij bodemtypes met veel klei. Op basis van de veldmetingen zijn de bodemtypes in het studiegebied echter hoofdzakelijk zand en zavel, waardoor het risico van compactie relatief laag is en het zout in de winter door percolerende neerslag snel uitspoelt. Dat sluit echter niet uit dat lokaal zwaardere bodemtypes met hoger kleigehalte kunnen voorkomen.

Op deze locaties is het van belang op welke diepte in het profiel verzilting optreedt. Direct na afloop van de werkzaamheden herstelt de grondwaterstand met (grond)water uit de omgeving. Door opmenging van relatief zoet en brak/zout omgevingswater komt volgens de modelberekeningen ter hoogte van de sleuf brak grondwater tot rond drain niveau (1,2 m-mv). Bij neerslag in de winter wordt op dit grondwater een zoetwaterlens gevormd. Dit betekent dat brak grondwater niet tot in de wortelzone van gewassen reikt, waardoor een direct effect van verzilting op bodemstructuur in de wortelzone niet verwacht wordt. Grondwater kan door capillaire aanvulling alsnog optrekken tot in de wortelzone. Met name bij lichte zavelgronden is dit effect groot, al zal het effect op bodemstructuur bij deze gronden naar verwachting beperkt zijn vanwege de lage kleigehaltes. Waar door capillaire werking en/of mening van bodemlagen bij het vullen van de sleuf toch zout in

de wortelzone komt, zal herstel geleidelijk plaatsvinden. Regenwater bevat weinig calciumionen, maar de aanwezigheid van kalk in de bodem, in de vorm van schelpresten, kan deze ionen leveren.

Het herstel van de bodem gebeurd door uitspoeling van het zout door percolerend regenwater in de winter maar de overmaat aan geadsorbeerd natrium, kalium en magnesium kan enkele jaren aanhouden in zwaardere bodems. Het herstel kan dan versneld worden door toediening van gips of calciumchloride, of in calcietrijke bodems door toediening van zwavel. Van der Molen concludeerde dat toediening van gips aan de bodem de meest praktische oplossing voor herstel van overstroomde bodems op grotere schaal was (Molen, 1958). Een modelstudie voor de opbreng van zout waddenslib op percelen met zand en kleibodems toonde aan dat chloride, afhankelijk van de neerslag, zeer snel uitspoelde en na 2 jaar tot onder de wortelzone (Foli and Verhagen, 2023).

5.2 Herstelperiode

Aanvullende modelberekeningen geven inzicht in de ontwikkeling van de zoetwatervoorraden in de periode na werkzaamheden, en geven daarmee een indicatie van hoe snel de zoetwaterlenzen herstellen. In Figuur 20 en Figuur 21 wordt de dikte van de zoetwatervoorraad net voor de werkzaamheden vergeleken met de dikte van de zoetwatervoorraad één en vijf jaar na afloop van de werkzaamheden.

Uit Figuur 20 blijkt de zoetwaterlenzen van standaardprofielen met de lagere onderzochte kwelflux van 0,05 mm/d na één jaar nog niet volledig hersteld zijn. Na één jaar is de berekende dikte van de zoetwatervoorraad tussen ongeveer 15 en 50 cm kleiner dan net voor de start van de werkzaamheden. Relatief gezien zijn de zoetwaterlenzen 10–25% kleiner. Na vijf jaar is de berekende dikte van de zoetwatervoorraad voor negen van de elf standaardprofielen groter dan 5 cm, met een maximaal verschil van 16 cm. Voor twee standaardprofielen is het verschil in dikte na 5 jaar kleiner dan 5 cm .



Figuur 20. Dikte van de zoetwatervoorraad voor aanvang van de werkzaamheden, alsook één en vijf jaar na afloop van de werkzaamheden voor de standaardprofielen met een lage kwelflux van 0,05 mm/d.

Het berekende verschil na één jaar is het grootst voor profiel B2, waarvan de zoetwaterlens voorafgaand aan de werkzaamheden ook het dikst is. Ook voor de zavelige profielen (B1 en B9) is het effect relatief groot. Het verschil is relatief klein voor standaardprofielen B4, B6, B8, en B10. Dit zijn gelaagde profielen met zavel tot net onder drainniveau, met daaronder afwisselend zandige en zavel en/of kleilagen. Voor alle bodemprofielen geldt dat de dikte van de zoetwaterlens na één jaar groter is dan 1 m. Bij lensdiktes groter dan 1 m is in een eerder onderzoek in de noordelijke kustregio gesteld

dat de verziltingsrisico beperkt is (Acacia Water 2019), uitgaande van natuurlijke fluctuaties in het zoet-zout grensvlak als gevolg van de variabiliteit in neerslag, verdamping, en kweldruk. Daarbij was de verziltingsrisico gedefinieerd als de risico dat de zoetwaterlens verdwijnt, of dat brak kwelwater de wortelzone bereikt.

Voor de standaardprofielen met hogere kwelflux blijkt uit de berekeningen dat de dikte van de zoetwaterlenzen één jaar na afloop van de werkzaamheden slechts enkele centimeter verschilt van de situatie voorafgaand aan de werkzaamheden (Figuur 21). Deze kleine verschillen vallen binnen de onzekerheidsmarge van de modellen, waardoor voor deze profielen geconcludeerd kan worden dat er geen effect meer waargenomen wordt.



Figuur 21. Dikte van de zoetwatervoorraad voor aanvang van de werkzaamheden, alsook één en vijf jaar na afloop van de werkzaamheden voor de standaardprofielen met een relatief hoge kwelflux van 0,3 mm/d.

Uit de berekeningen blijkt dat de kwelflux bepalend is voor de herstelperiode, vooral omdat het bepalend is voor de dikte van de zoetwaterlenzen. Eerder is echter vastgesteld dat de kwelflux ook een onzekere parameter is. De kwelflux volgens de drie onderzochte kwelkaarten en waar beschikbaar ook die afgeleid van de peilbuismetingen kan erg verschillen (hoofdstuk 2.2.2 en Bijlage 1 – Vergelijking kwelkaarten).

6 Mitigerende maatregelen

Er zijn verschillende mitigerende maatregelen denkbaar om verziltingsrisico te verkleinen of verziltingseffecten te verkleinen. Dat kan zowel tijdens de installatie, om zo effecten te verkleinen. Mitigerende maatregelen kunnen ook na afloop van werkzaamheden worden uitgevoerd, om herstel te bevorderen. Hier worden verschillende mogelijke mitigerende maatregelen kort beschreven. Het is echter ook belangrijk dat mitigerende maatregelen technisch haalbaar en uitvoerbaar zijn.

De effectiviteit van deze maatregelen valt buiten de scope van dit onderzoek. In de basis geldt echter dat hoe minder water wordt onttrokken tijdens werkzaamheden, hoe kleiner het verziltingsrisico.

De keuze voor mitigerende maatregelen zal gebaseerd worden op de effectiviteit om verziltingsrisico en -effecten te verkleinen, eventuele bijeffecten van de maatregelen, en de technische haalbaarheid van de maatregelen.

Maatregelen tijdens aanleg

Er zijn verschillende manieren om het totale debiet dat onttrokken wordt tijdens de aanleg te beperken, en daarmee het verziltingsrisico of -effecten te verkleinen. Eén manier om het totale debiet te verkleinen is om de onttrekkingsduur te verkorten. Dat kan door bijvoorbeeld met kortere secties te werken die daardoor korter bemaald kunnen worden. Ook langere dagen of andere aanpassingen aan het bemalingsstrategie kunnen de bemalingsduur verkorten.

Een andere manier is om het debiet te verkleinen. Dit kan bijvoorbeeld door het tracé zoveel mogelijk aan te leggen in de droge periode, aan het einde van het groeiseizoen. Dan zijn grondwaterstanden relatief laag en hoeft dus minder water te worden onttrokken om het ontwateringsdiepte te halen. Dit heeft als bijkomend voordeel dat de natste periode, wat het meest bijdraagt aan herstel van de zoetwaterlenzen, voorkomt tussen de werkzaamheden en het volgend groeiseizoen. Deze maatregel is vooral effectief op locaties waar het verschil in de grondwaterstand in de droge en natte perioden relatief groot is. Uit de peilbuismetingen blijkt dat relatief hoge (95^{e} percentiel) en lage (5^{e} percentiel) grondwaterstanden verschilden met 0,5 tot 1,4 m, afhankelijk van de locatie, met een mediaan van 0,8 m.

Alternatieve aanleg methoden

Ook kan gekozen worden voor alternatieve aanlegmethoden waarbij geen of minder water wordt onttrokken. Langs horizontaal gestuurde boringen (HDD-boringen) wordt vaak bemalen bij de in- en uittrede punten afhankelijk van de grondgesteldheid. Tussen de in- en uittrede punten, en dus langs de lengte van de boring, wordt geen bemaling toegepast. Waar een bemaling nodig is bij de in- en uittredepunten is dat uit ervaring in dit gebied minimaal omdat de ontgraving meteen wordt gevuld met boorspoeling. Doordat er geen of minimaal water wordt onttrokken is de verziltingsrisico ten opzichte van open ontgravingen verwaarloosbaar. Bij boringen is het werkterrein bij het in- en uittrede punt echter relatief groot (1.500 – 2.500 m^2), waardoor agrariërs daar meer nadelige effecten kunnen ervaren. De verlaagde verziltingsrisico langs de boringen kan dus gepaard gaan met neveneffecten voor agrariërs bij in- en uittrede punten.

De trench box methode is vergelijkbaar met de open ontgraving, echter worden de activiteiten in een trein verricht. De kabels worden direct aangelegd in een sleuf van 1,5 tot 1,8 m-mv. Bij heel doorlatende bodemtypes kan een bemaling noodzakelijk zijn, die in dat geval een veel kortere duur heeft dan bij open ontgraving. De verwachting is echter dat bemaling niet noodzakelijk zal zijn binnen het projectgebied. Doordat er waarschijnlijk geen water onttrokken hoeft te worden bij deze methode in dit gebied, en anders de veel kortere bemalingsduur zal het verziltingsrisico lager uitvallen dan bij de open ontgraving. Bij deze maatregel is de verstoring van de ondiepe grondlagen in de sleufbreedte echter groot. Deze aanlegmethode is nog nooit toegepast bij de 2GW kabels, waardoor het nog niet duidelijk is of het haalbaar is voor de geplande kabelroute.

Ploegen is een methode waarbij de kabels direct ondergronds worden aangebracht. Grondafgraving en grondwateronttrekking is dan alleen bij moflocaties nodig, zoals dat voor de andere aanlegmethodes ook nodig is bij moflocaties. Hierdoor zal de verziltingsrisico met name tussen moflocaties in lager uitvallen. Bij deze maatregel is de verstoring van de ondiepe grondlagen in de sleufbreedte echter groot, al beperkter in omvang dan bij de trench box. Als ploegen bij natte bodems wordt toegepast, wordt vaak de A-horizon afgegraven om verstoring van ondiepe grondlagen te voorkomen. De ontgravingsdiepte is daarmee beperkter dan bij de andere aanlegmethodes, waarbij de A, B en C-horizonten (apart) worden afgegraven en gescheiden worden gehouden. Net als bij de trench box methode is echter onduidelijk of deze aanlegmethode toegepast kan worden bij de 2GW kabels.

Maatregelen na afloop van werkzaamheden

Herstel kan bevorderd worden door na afloop van de werkzaamheden extra zoet water aan te voeren of zoetwater beter vast te houden. Aanvoer van zoet water kan bijvoorbeeld op het moment dat de sleuf is aangevuld tot boven de grondwaterstand (GHG), via de drainage, of met behulp van infiltratiefilters in het perceel gebracht worden. Waar oppervlaktewater relatief zoet is, kan dat als bron gebruikt worden.

Echter moet water van voldoende kwaliteit beschikbaar zijn voor deze aanvulling. Uit de berekeningen blijkt dat de zoetwaterlens ter hoogte van de horizontale drain bij alle onderzochte standaardprofielen geheel verdwenen is. Dat betekent dat de kans groot is dat de EC van onttrokken water boven agrarische schadedrempelwaardes ligt. Waar oppervlaktewater relatief zoet is, kan dat mogelijk als bron gebruikt worden. De aanwezigheid van bruinrotbacterie is echter een risico in oppervlaktewater, wat voor dit gebied in kaart gebracht zou kunnen worden met analyses.

Peilgestuurde drainage is een manier om zoetwater langer vast te houden in het perceel. Er zijn verschillende vormen van peilgestuurde drainage, maar in de basis wordt het uitstroomniveau van het drainagesysteem regelbaar. Door deze te verhogen wordt meer water vastgehouden, waardoor de dikte van de zoetwaterlens kan toenemen. Aandachtspunten zijn onder andere dat de grond voldoende doorlatend is, de doorlegging voldoende is voor verhoging van de grondwaterstand, en de kwelsituatie.

7 Conclusie

TenneT is in de voorbereidende fase voor het Programma Aanlanding Wind op Zee (PAWOZ). PAWOZ-Eemshaven onderzoekt de mogelijkheden voor toekomstige kabelroutes om energie van windenergiegebieden in de Noordzee naar de Eemshaven te brengen. Eén van de beoogde kabelroutes loopt door de Waddenzee en vanaf de aanlanding over land, parallel aan de Waddenzee. Een verkennend verziltingsonderzoek is uitgevoerd om verziltingsrisico's en de mate van effecten bij aanleg van het tracé te onderzoeken.

Eerst zijn representatieve zogenaamde standaardprofielen bepaald aan de hand van openbare gegevens en veldonderzoeken. Dit zijn combinaties van bodemopbouw, kwelsituatie, en een vaste set drainage eigenschappen en aanlegmethode van het tracé Voor ieder van de 22 standaardprofielen zijn modelberekeningen uitgevoerd.

7.1 Berekende verziltingsrisico

Uit de modelresultaten blijkt dat de dikte van de zoetwaterlens sterk afhankelijk is van de gemiddelde kwelflux (Tabel 8). Bij een lage gemiddelde kwelflux is de dikte van de zoetwaterlens maximaal 1,6 tot 2,0 m. Bij een hogere kwelflux van gemiddeld 0,3 mm/d is dat 0,4 tot 1,0 m. De berekende dieptes van het zoet-zout grensvlak komen in grote lijnen overeen met metingen.

Tabel 8. Overzicht van de berekende dikte van de zoetwaterlens direct voor uitvoering van werkzaamheden en het berekende effect (afname in dikte zoetwaterlens) op verschillende momenten na afloop van de werkzaamheden voor iedere standaardprofiel. De naam van de standaardprofiel is een samenstelling van de bodemprofiel en kwelsituatie (i.e. B1 laag is bodemprofiel 1 bij een zeer lage kwelflux, B2 hoog is bodemprofiel 2 met de hogere onderzochte kwelflux)

	Bodemtype	Dikte vooraf [m]	Effect direct na afloop [m]	Effect na 1 jaar [m]	Effect na 5 jaar [m]
B1 laag	Zavelig	1,73	1,73	0,33	0,10
B2 laag	Zavel op zand	1,96	1,96	0,51	0,16
B3 laag	Zandig	1,78	1,78	0,21	0,05
B4 laag	Gelaagd met klei	1,72	1,72	0,21	<0,05
B5 laag	Zand	1,79	1,79	0,21	0,06
B6 laag	Gelaagd	1,59	1,59	0,16	<0,05
B7 laag	Zavel op zand	1,80	1,80	0,27	0,06
B8 laag	Gelaagd	1,67	1,67	0,17	0,05
B9 laag	Zavel	1,70	1,70	0,30	0,09
B10 laag	Gelaagd	1,68	1,68	0,18	<0,05
B11 laag	Zandig	1,79	1,79	0,24	0,08
B1 hoog	Zavelig	0,79	0,79	0,08	<0,05
B2 hoog	Zavel op zand	0,80	0,80	<0,05	<0,05
B3 hoog	Zandig	0,37	0,37	<0,05	<0,05
B4 hoog	Gelaagd met klei	0,68	0,68	<0,05	<0,05

B5 hoog	Zand	0,37	0,37	<0,05	<0,05
B6 hoog	Gelaagd	0,66	0,66	<0,05	<0,05
B7 hoog	Zavel op zand	0,94	0,94	<0,05	<0,05
B8 hoog	Gelaagd	0,62	0,62	<0,05	<0,05
B9 hoog	Zavel	0,85	0,85	<0,05	<0,05
B10 hoog	Gelaagd	0,65	0,65	<0,05	<0,05
B11 hoog	Zandig	0,37	0,37	<0,05	<0,05

De modelberekeningen tonen aan dat door de bemalingen bij de open ontgraving de zoetwatervoorraad ter hoogte van het tracé na afloop van de werkzaamheden is verdwenen. De dikte van de zoetwaterlenzen van de standaardprofielen, wat voornamelijk bepaald wordt door de kwelsituatie, is voor de verziltingseffecten ter hoogte van het tracé en de hersteltijd belangrijker dan de bodemtype. Op afstand van het tracé is het effect op de zoetwatervoorraad vooral afhankelijk van bodemtype, en minder van kwelsituatie.

Effect van kwelsituatie

Het berekende effect op de zoetwatervoorraad is groter voor standaardprofielen met dikkere lenzen (i.e. met lage kwelflux) dan voor standaardprofielen met dunnere lenzen (i.e. hogere onderzochte kwelflux).

Volgens de berekeningen zijn de zoetwaterlenzen van standaardprofielen met de hogere kwelflux van ongeveer 0,3 mm/d na 1 jaar hersteld (Tabel 8). Bij lagere kwelfluxen en zoetwaterlensdiktes van ongeveer 1,6 tot 2,0 m is de hersteltijd in de orde van 5 jaar. Bij dikkere zoetwaterlenzen is het aannemelijk dat de hersteltijd langer duurt. Een hersteltijd in de orde van 5 jaar betekent dat als binnen 5 jaar aanvullende werkzaamheden worden uitgevoerd in hetzelfde gebied, er sprake kan zijn van cumulatieve effecten. De mate hiervan is ook afhankelijk van de afstand tussen de nieuwe werkzaamheden het oorspronkelijke tracé.

Effect van bodemtype

Voor de standaardprofielen met veel zavel (bodemtypes B1 en B9) zijn de berekende effecten van de bemalingen bij aanleg van het tracé gemiddeld vergeleken met de andere standaardprofielen. De afname in zoetwatervoorraad is voor de lage kwelsituatie ongeveer 1,7 m, en voor de hogere onderzochte kwelflux ongeveer 0,8 m. Voor deze profielen is het effect op de zoetwatervoorraad op 50 en 150 m van het tracé relatief klein. Op 150 m is het berekende effect kleiner dan 5 cm. De hersteltijd is voor de standaardprofielen met lagere doorlatendheid is vergeleken met de andere bodemsoorten relatief lang uitgaande van de lage kwelsituatie. Na vijf jaar is de zoetwatervoorraad ongeveer 0,1 m kleiner dan voorafgaand aan de werkzaamheden.

Voor de standaardprofielen met zavel op zand (bodemtypes B2 en B7) zijn de berekende effecten met 1,8 en 2,0 m voor de lage kwelsituatie en 0,8 en 0,9 m voor de hogere kwelsituatie relatief groot vergeleken met de andere bodemtypes. Het berekende effect op de zoetwatervoorraad op 50 en 150 m afstand van het tracé is afhankelijk van de doorlatendheid. Het effect is relatief groot voor het profiel met een dikker zandpakket (bodemtype B7, ca. 0,25 m) en relatief klein voor het profiel met een dikker zavelpakket (bodemtype B2, 0,19 m). De hersteltijd voor deze standaardprofielen is ook relatief lang.

Van de twee zavel op zand profielen is het effect relatief groot en de hersteltijd relatief lang voor het profiel met een dikkere zavel laag.

Voor de gelaagde profielen (bodemtypes B4, B6, B8, B10) zijn de berekende effecten met 1,6 tot 1,7 m voor de lage kwelsituatie en 0,6 tot 0,7 m voor de hogere kwelsituatie relatief klein. Het gelaagde profiel met klei heeft een relatief groot effect voor beide kwelsituaties vergeleken met de gelaagde profielen met alleen zand en zavel. Het berekende effect op de zoetwatervoorraad op 50 en 150 m is afhankelijk van de doorlatendheid. Effecten zijn voor het bodemtype met klei (bodemtype B4) relatief klein (ca. 0,15 m), en relatief hoog (ca. 0,24 cm) voor het gelaagde bodemtype met het meeste zand (bodemtype B10). De hersteltijd van alle gelaagde profielen relatief kort, aangezien de het berekende effect voor deze bodemtypes bij lage kwelsituatie na 5 jaar gelijk aan of kleiner dan 0,05 m is.

Voor de standaardprofielen met veel zand (bodemtypes B3, B5, B11) zijn de berekende effecten voor de lage kwelsituatie met 1,8 m relatief hoog vergeleken met de andere bodemtypen. Voor de hogere kwelsituatie zijn de effecten met 0,4 m juist relatief klein. De berekende effecten op 50 en 150 m afstand van het tracé zijn met ongeveer 0,15–0,18 m hoger dan de bodemtypen met veel zavel, maar lager dan de andere bodemtypen. De hersteltijd is voor de standaardprofielen met veel zand is gemiddeld vergeleken met de andere bodemsoorten, met langere hersteltijden dan de gelaagde profielen, maar kortere hersteltijden dan de zavelige en zavel op zand profielen.

Impact van verziltingseffecten

Verwacht wordt dat de implicaties voor de landbouw voornamelijk groot zijn op locaties waar de zoetwatervoorraad voorafgaand aan de werkzaamheden relatief klein zijn. Ondanks dat de absolute effecten misschien groter zijn op de locaties waar zoetwaterlenzen relatief dik zijn, relatief gezien zijn de effecten groter bij dunne zoetwaterlenzen. Bij dunne zoetwaterlenzen kunnen relatief kleine veranderingen in zoetwatervoorraad het verschil maken tussen wel of geen zoutschade. Bij de dikkere lenzen van de standaardprofielen met lage kwelflux komt de dikte van de zoetwaterlens na één jaar overeen met een beperkte verziltingsrisico volgens de categorisatie van de verziltingsrisicokaart (Acacia Water 2019).

7.2 Autonome ontwikkelingen

In het gebied spelen verschillende autonome ontwikkelingen die invloed kunnen hebben op de zoetwatervoorraad. Dit zijn onder andere zeespiegelstijging, bodemdaling (door klimaat verandering en door bodem gebruik), en veranderingen in neerslag en verdamping. De berekende hersteltijden zijn met maximaal ongeveer 5 jaar relatief kort ten opzichte van de tijdshorizonten van autonome ontwikkelingen zoals klimaatverandering en bodemdaling door grondgebruik. Daardoor wordt verwacht dat er geen rekening gehouden hoeft te worden met cumulatieve effecten van werkzaamheden bij aanleg van de kabeltracés en autonome ontwikkelingen.
worden om alsnog inzicht te krijgen in verziltingsrisico's langs het gehele tracé.

7.3 Mitigerende maatregelen

In dit onderzoek is uitgegaan van aanleg volgens de standaard open ontgravingsmethode. Het is echter mogelijk om mitigerende maatregelen te nemen om daarmee het verziltingsrisico te verkleinen en/of de effecten te verkleinen, of om de hersteltijd van de zoetwatervoorkomens te verkleinen. Er zijn maatregelen die genomen

kunnen worden op het moment van aanleg volgens de open ontgraving methode (bijvoorbeeld aanleg in de droge periode), alternatieve aanlegmethoden, of maatregelen die het herstel kunnen bevorderen. Naar verwachting geldt: hoe meer een mitigerende maatregel het totale onttrokken debiet kan verkleinen, of hoe meer zoetwater een herstel maatregel kan aanleveren, hoe groter de verwachte effectiviteit van de maatregel. Bij keuze voor mitigerende maatregelen is het echter belangrijk om de effectiviteit van de maatregel, eventuele nadelige neveneffecten, en de technische haalbaarheid af te wegen.

7.4 Relevantie onderzoek en hoe verder

De uiteindelijke kabelroute om energie van windenergiegebieden in de Noordzee naar de Eemshaven te brengen kan afwijken van het gebruikte tracé in dit onderzoek. Door het gebruik van standaardprofielen kunnen de resultaten van dit onderzoek echter alsnog inzicht geven in verziltingsrisico's bij aanleg van een tracé dat een andere route volgt. Door de bodemopbouw en kwelsituatie langs het uiteindelijke tracé op te halen, kan ieder perceel langs die route gekoppeld worden aan de meest vergelijkbare onderzochte standaardprofiel. Mocht voor bepaalde locaties geen representatieve standaardprofiel zijn, dan kunnen enkele aanvullende berekeningen uitgevoerd.

Uit de modelberekeningen blijkt dat de kwelflux een belangrijke parameter is voor de dikte van de zoetwatervoorraden in de huidige situatie, maar ook de verziltingseffecten en hersteltijden. Tegelijkertijd verschillen de regionale kaarten onderling van elkaar, en ook van de metingen die in dit onderzoek zijn uitgevoerd verschillen. In een volgende fase kan dit een bron van onzekerheid zijn als verziltingsrisico's langs het tracé in kaart gebracht moeten worden. De onzekerheid kan verlaagd worden door metingen van kwelflux. Daarbij is het van belang dat er minimaal een jaar gemeten wordt. Anderzijds kunnen DUALEM onderzoeken inzicht geven in de dikte van de zoetwatervoorraad, wat een directere indicatie is van verziltingsrisico en herstelduur. Een andere mogelijke bron is FREsh Salt groundwater distribution (FRESHEM) onderzoek dat eerder is uitgevoerd in Zeeland en in de planningsfase zit voor noord Nederland. Dit onderzoek zal inzicht geven in het zoutgehalte van het grondwater. Mogelijk kan aan de hand van de DUALEM of FRESHEM onderzoek locaties worden gekozen voor kwelflux metingen die representatief zijn voor verschillende diktes van zoetwatervoorraden die langs het tracé voorkomen.

Dit verkennend onderzoek geeft inzicht in de risico's op en mate van verzilting langs het onderzochte tracé. In een vervolg fase, na keuze voor een kabelroute en vaststelling van de technische uitgangspunten van die route, zal verdiepend onderzoek worden uitgevoerd. Mogelijke verdiepende stappen kunnen zijn onderzoek naar de effectiviteit van mitigerende maatregelen en de invloed van weersomstandigheden (i.e. droge jaren) op de zoetwatervoorraad in de referentiesituatie en op hersteltijden.

8 Referenties

Acacia Water (2019). Spaarwater – Versterken zoetwaterlens: anti verziltingsdrainage – Technische rapportage. Gouda.

Acacia Water. (2023). *Zoetwatermetingen tracé Eemshaven west. PAWOZ: Programma Aansluiting Wind Op Zee.* Gouda.

Antea Group. (2023). *Bodemonderzoeken t.b.v. verziltingsstudie. NOZ - TNW Ten Noorden van de Wadden - Eemshaven West.* Heerenveen.

De Vries, F., De Groot, W. J., Hoogland, T., & Denneboom, J. (2003). *De Bodemkaart van Nederland digitaal; toelichting bij inhoud, actualiteit en methodiek en korte beschrijving van additionele informatie (No. 811).* Alterra.

Delsman, J. R., Oude Essink, G., Huizer, S., Bootsma, H., Mulder, T., Zitman, P., & Janssen, G. (2020). *Actualisatie zout in het NHI—toolbox NHI zoet-zout modellering en landelijk model.* . Deltares rapport 11205261-003-BGS, 1.

Foli, E., Verhagen, S.A. (2023). Labresultaten en modelberekeningen Waddenslib (Notitie No. 231442). Acacia Water, Gouda, Nederland.

Kuijer, P. C., Steur, G. G., Heijink, W., de Bakker, H., Boersma, O. H., & Hamming, C. (1987). *Bodemkaart van Nederland schaal 1: 50.000: toelichting bij de kaartbladen 3 West Uithuizen en 3 Oost Uithuizen.*

Mirkin, B. (2001). Reinterpreting the category utility function. *Machine Learning, 45*, 219-228.

Molen, W.H. van der (1958). The exchangeable cations in soils flooded with sea water (Verslag Landbouwkundig Onderzoek No. 63.17). Landbouw Hogeschool, Wageningen, 's-Gravenhage, The Netherlands.

Wösten, H., Vries, F. de, Hoogland, T., Massop, H., Veldhuizen, A., Vroon, H., Wesseling, J., Heijkers, J., Bolman, A. (2013). BOFEK2012, de nieuwe, bodem fysische schematisatie van Nederland. Alterra-rapport 2387. Wageningen, the Netherlands, 88 p.

Bijlage 1 – Vergelijking kwelkaarten

Inleiding

Zoals in hoofdstuk 3.1.2 aangegeven, zijn er grote onzekerheden in de beschikbare kwelkaarten: de LHM kaart, de MIPWA kaart en de Acacia Water (2018) kaart. Het is onduidelijk welke van deze drie kwelkaarten het meest overeenkomt met de werkelijke situatie. Omdat kwel een belangrijk variabele is in verschillende verziltingsonderzoeken, zoals deze, is het van belang meer grip te krijgen op de betrouwbaarheid van deze kwelkaarten.

Daarom heeft er een vergelijking tussen DUALEM geofysische metingen van de ondergrond, peilbuismetingen en de kwelkaarten plaatsgevonden. In deze vergelijking stonden de volgende vragen centraal:

1. Hoe verhouden de kwelfluxen van de kwelkaarten zich tot de kwelfluxen van de peilbuizen?
2. Hoe verhouden de kwelfluxen van de kwelkaarten zich tot de kwelfluxen van de DUALEM metingen?
3. Hoe verhouden de resultaten van de peilbuizen en de DUALEM metingen zich tot elkaar?

Methode voor vergelijking kwelkaarten met boorprofielen

De peilbuizen zijn op verschillende locaties langs het tracé geplaatst. Per locatie zijn twee peilbuizen geplaatst, één in de deklaag (à 2 m-mv) en één in het watervoerend pakket daaronder (5 à 6 m-mv). Wanneer er een verschil in stijghoogte is tussen deze twee peilbuizen, kan dit resulteren in een verticale opgaande (kwelflux) of neergaande beweging van water (infiltratie flux). De volgende formules zijn gebruikt om deze (kwel)flux te berekenen. Met behulp van de stijghoogtes, die voortkomen uit de peilbuis metingen, en aan de hand van doorlatendheden kan een infiltratie of kwel flux worden berekend. Dit is gedaan met de volgende formules:

$$c = \frac{d}{Ky} \qquad q = \frac{\Delta h}{c1 + c2}$$

Waarin c, de weerstand van de bodem [d], d, de dikte van een bodemlaag met dezelfde structuur [m], Ky, de verticale doorlatendheid van de specifieke bodemlaag [m/d], Δh, het verschil in stijghoogte tussen de twee peilbuizen [m] en q de flux [m/d]. Wanneer er verschillende bodemstructuren tussen de filters van de twee peilbuizen aanwezig zijn wordt de weerstand voor deze lagen apart berekend en bij elkaar opgeteld. Dit wordt weergegeven door de term, $c1 + c2$.

Doordat niet alle peilbuis paren correct geplaatst zijn, heeft het voor sommige paren geen toegevoegde waarde om een flux te berekenen. Namelijk, wanneer de onderste peilbuis zich in hetzelfde pakket (dezelfde bodemstructuur) bevindt als de bovenste, kan er met deze berekening geen betrouwbare kwelflux berekend worden. Daarom is alleen voor de peilbuizen waarbij dit wel het geval is de flux berekend. Dit is gedaan voor 14 van de 26 paren peilbuizen.

Methode voor vergelijking kwelkaarten met Dualem metingen

Voor elke locatie zijn ook DUALEM metingen uitgevoerd. De resultaten van deze metingen zijn vergeleken met de waarden van de kwelkaarten. Uit de figuren van de DUALEM metingen is de diepte van het zoet zout grensvlak af te leiden maar niet direct de kwelflux. Wel kan aan de hand van de diepte van het zoet zoutgrensvlak en de beschrijving bij elke meting, worden afgeleid of er een hoge kwelflux, gemiddeld/lage kwelflux of kwel neutrale/infiltratie situatie is. Deze klassen zijn vervolgens ook gebruikt om te relateren aan de waarden die uit de kwelkaart naar voren komen. De volgende klasindeling is gebruikt:

- > 0,5 mm/d = hoge kwelflux;
- 0,1 < 0,5 mm/d = lage/gemiddelde kwelflux;
- <0,1 mm/d = kwelneutraal/infiltratie.

Voor het in klassen delen van de DUALEM metingen zijn de volgende aannamen gedaan:

- Wanneer het zoet, zout grensvlak ondiep ligt (1,5-2,5 m) dan is de kwelflux geklasseerd als hoog;
- Grensvlak op een diepte van 2.5 tot 6 m dan geklasseerd als lage/ gemiddelde kwelflux;
- Grensvlak op een diepte groter dan 6 m dan geklasseerd als kwelneutraal/infiltratie.

Resultaten vergelijking kwelkaarten met peilbuismetingen

Wat betreft de resultaten voor de peilbuizen is er geen eenduidig antwoord op welke kwelkaart het best overeen komt met de berekende kwelfluxen. De resultaten zijn samengevat in het linker gedeelte van Tabel 9Tabel 7. Doormiddel van de kleuren rood, oranje en groen is (visueel) beoordeeld of de waarden, respectievelijk, slecht, matig of goed met elkaar overeenkomen. Er is te zien dat er behoorlijke verschillen zitten tussen de metingen en de kwelkaarten. Infiltratie (negatieve getallen) en kwel situaties (positieve getallen) op een locatie komen vaak niet overeen en eveneens zitten er tussen de waarden zelf ook grote verschillen.

Echter is het berekenen van de kwelflux afhankelijk van verschillende variabelen die een onzekerheid met zich meebrengen; in het meten van de stijghoogte zit een onzekerheid, net als in het bepalen van de bodemstructuur en daarmee ook in het bepalen van de doorlatendheden. Daarnaast is de kwelflux ook gevoelig voor verandering van deze variabelen. Deze onzekerheden komen dus terug in de uiteindelijke kwelflux. Dit zou een oorzaak kunnen zijn voor de slechte overeenkomst tussen de verschillende kwelkaarten an sich en vervolgens ook slechte overeenkomsten tussen de kwelkaarten en de berekende kwelfluxen. Conclusie met betrekking tot de resultaten van de peilbuismetingen is dat er matige/ slechte overeenkomstigheid is tussen de kwelkaarten en de berekende kwelfluxen.

Resultaten vergelijking kwelkaarten met DUALEM gegevens

De rechterzijde van Tabel 9 geeft de resultaten weer van de vergelijking tussen de kwelkaarten en de DUALEM metingen. De diepte van het zoet zout grensvlak zoals gemeten door de DUALEM wordt weergegeven en in de kolommen daarna wordt weergegeven in welke klassen de kwelfluxen van de kwelkaarten en de DUALEM gegevens vallen (zoals uitgelegd in de paragraaf over de methode). De kleuren zijn gebruikt om te accentueren in welke klasse de flux valt. Dit is vervolgens samengevat in Tabel 10; hier wordt weergegeven het aantal keer dat de verschillende kwelkaarten en de metingen in dezelfde klasse vallen. Te zien is dat voor zowel voor de vergelijking van de

kwelkaarten onderling als voor de vergelijking tussen kwelkaarten en metingen minder dan de helft van de locaties in dezelfde kwelklasse vallen (in totaal zijn er 25 locaties meegenomen). Uitzondering zijn het LHM en MIPWA die meer met elkaar overeen komen.

Conclusie

Uit de vergelijkingen blijkt dat:

- De resultaten van de DUALEM metingen en peilbuismetingen niet goed met elkaar overeenkomen. Een oorzaak hiervoor zou kunnen zijn dat het berekenen van de kwelflux onzekerheid met zich mee brengt. De indicatie voor de kwelflux van de DUALEM metingen worden betrouwbaarder geacht, maar hierbij moet ook gerealiseerd worden dat het vertalen van DUALEM figuren naar kwel klassen ook subjectiviteit met zich mee brengt.
- De resultaten van de DUALEM metingen en peilbuismetingen komen verder ook matig/niet overeen met de kwelfluxen van de kwelkaarten.
- MIPWA en LHM geven overwegend aan dat de kwelflux laag tot neutraal is. De kwelkaart 2018 geeft voor een aantal locaties wel een hogere kwel. De DUALEM metingen geven voor ongeveer een derde van de locaties (7 stuks) een hoge kweldruk aan. Dit wordt niet bevestigd door één van de kwelkaarten. De kwelkaart 2018 geeft wel voor een 9-tal locaties een hoge kweldruk, maar deze komen niet goed overeen met de locaties van de DUALEM metingen.

Uit de vergelijking blijkt dat alle drie de kwelkaarten niet goed overeenkomen met de meetgegevens. Naast de redenen die hierboven worden gegeven komt dit waarschijnlijk ook omdat de metingen een puntmeting betreffen op perceelniveau. Ook wordt de kwelflux bepaald door de diepte van het maaiveld, drain diepte en polderpeil, het kan goed dat deze op perceelschaal in de regionale data net niet goed is opgenomen. Misschien zit er te veel lokale variabiliteit in de kwelflux (die uit de metingen blijkt) om dit goed weer te kunnen geven met een van de drie kwelkaarten.

Tabel 9 De linkerzijde van deze tabel geeft een vergelijking van de kwelkaarten met de boorprofielen. Rood = slechte overeenkomst, oranje = matige overeenkomst en groen = goede overeenkomst. Negatieve getallen geven een infiltratie situatie weer, positieve getallen een kwel situatie. De rechter tabel geeft weer of aan de waarden van de kwelkaarten dezelfde klasse is toegekend als aan de DUALEM metingen. Afkorting neu is neutraal en gem is gemiddeld.

Meetpunt	Kwelflux AW 2018 (mm/d)	Kwelflux LHM (mm/d)	Kwelflux MIPWA (mm/d)	Kwelflux berekend (mm/d)		Diepte zz Dualem (m mv)	kwel klasse DUALEM	kwel klasse AW 2018	kwel klasse LHM	kwel klasse MIPWA	kwel klasse Berekend
B1_3	0.55	0.24	0.15	-0.10		> 6	neu	hoog	gem	gem	neu
B3_3	1.53	0.24	0.03	1.20		2.0 - 4.0	gem	hoog	gem	neu	hoog
B9_3	0.97	-0.22	0.85	0.73		1.0 - 1.5	hoog	hoog	neu	hoog	hoog
B6_3	0.12	0.43	0.18	0.06		1.0 - 3.0	gem	gem	gem	gem	neu
B2_1	0.41	0.25	0.23			2.2 - 2.5	gem	gem	gem	gem	
B9_1	0.56	-0.13	0.16	-0.02		1.0 - 2.0	hoog	hoog	neu	gem	neu
B5_3	1.34	-0.05	-0.09			> 6	neu	hoog	neu	neu	
B2_0	-0.28	-0.03	-0.15			> 6	neu	neu	neu	neu	
B7_3	0.74	-0.01	-0.05	-0.74		1.5 - 3	gem	hoog	neu	neu	neu
B10_3	1.09	0,00	0.02			2.5 - 4.0	gem	hoog	neu	neu	

Meetpunt	Kwelflux AW 2018 (mm/d)	Kwelflux LHM (mm/d)	Kwelflux MIPWA (mm/d)	Kwelflux berekend (mm/d)		Diepte zz Dualem (m mv)	kwel klasse DUALEM	kwel klasse AW 2018	kwel klasse LHM	kwel klasse MIPWA	kwel klasse Berekend
B8_1	0.06	-0.04	-0.15			> 6	neu	neu	neu	neu	
B5_1	0.09	-0.1	-0.15	0.46		1.5 - 2.5	hoog	neu	neu	neu	gem
B6_1	0.13	-0.08	-0.05			1.5 - 2.0	hoog	gem	neu	neu	
B4_1	-0.05	-0.02	0.13	-1.61		> 6	neu	neu	neu	gem	neu
B3_1	0.23	-0.28	-0.03			2.0 - 3.0	gem	gem	neu	neu	
B11_2	1.19	-0.25	0.13			> 6	neu	hoog	neu	gem	
B2_3	1.78	-0.13	0.06	0.55		2.0 - 2.5	gem	hoog	neu	neu	hoog
B7_1	0.05	-0.13	0.15	2.51		2.0 - 3.0	gem	neu	neu	gem	hoog
B5_2	0.17	-0.01	0.24			1.5 - 2.5	hoog	gem	neu	gem	
B11_3	0.40	0.67	0.74			2.0 - 2.5	hoog	gem	hoog	hoog	
B10_1	0.01	-0.01	0.02	-0.57		2.0 - 2.5	hoog	neu	neu	neu	neu
B1_2	-0.06	0.14	0.20	1.40		> 6	neu	neu	gem	gem	hoog
B1_1	-0.35	0.19	0.16	0.53		2.5 - 3.0	gem	neu	gem	gem	hoog
B11_1	0.02	0.01	0.10	0.13				neu	neu	neu	gem
B4_3	-0.2	-0.07	0.43	-0.97		> 6	neu	neu	neu	gem	neu

Tabel 10 Deze tabel is een samenvatting van de rechterzijde van Tabel 4. Weergegeven wordt het aantal keer dat de verschillende kwelkaarten en de metingen in dezelfde klasse vallen.
* Voor de berekende kwelfluxen kan maar 15 keer vergeleken worden.

	DUALEM	AW	LHM	MIPWA	Berekend *
DUALEM	-	9	10	10	4
AW	-	-	9	7	4
LHM	-	-	-	17	4
MIPWA	-	-	-	-	4

Bijlage 2 – DUALEM rapportage



Zoetwatermetingen tracé Eemshaven west

PAWOZ Programma Aansluiting Wind Op Zee

ACACIA WATER

Zoetwatermetingen tracé Eemshaven west

PAWOZ Programma Aansluiting Wind Op Zee

Colofon

Klant
TenneT

Status
Definitieve rapportage extern gebruik

Datum
17 juni 2024

Projectnummer
AW24_172_MS_221326

Auteur(s)
Siebinga, M

Gecontroleerd door
T. van Hateren

Vrijgegeven door
Arjen de Vries

Disclaimer
Aan dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend. De auteurs zijn niet verantwoordelijk voor eventuele fouten of consequenties. Aanvullingen of verbeteringen zijn welkom via info@acaciawater.com

Inhoud

1 Inleiding **1**

2 Processen die het zoutgehalte in een perceel bepalen **3**

2.1 Zoutgehalte ondiepe grondwater 3

2.2 Zoutgehalte van bodemvocht 5

2.3 Zoutgehalte van afvoer van drains en greppels 5

3 Geofysische meetmethoden **7**

3.1 Relaties elektrische weerstand, lithologie en zoutgehalten 7

3.2 Geofysische methoden 8

3.3 Uitvoering 7

4 Resultaten **13**

4.1 Interpretatie van de metingen 15

5 Conclusie **60**

6 Referenties **61**

1 Inleiding

TenneT is in de voorbereidende fase voor het Programma Aanlanding Wind op Zee (PAWOZ). Voor dit project wordt een milieueffectrapportage (MER) opgesteld. Het project betreft het realiseren van kabelverbindingen tussen windenergie gebied ten noorden van de Waddeneilanden en het Nederlandse hoogspanningsnet.

Eerder is gestart met het onderzoek naar één van de beoogde tracés in de richting van de Eemshaven. Dit tracé loopt door de Waddenzee en vanaf de aanlanding over land, parallel aan de Waddenzee. Het tracé doorkruist daarbij landbouwgronden (veelal akkerbouw). Het betreft een gebied waar sprake kan zijn van verzilting. Dit kan zijn in de huidige situatie of op termijn als gevolg van zeepspiegelstijging, bodemdaling en klimaatverandering (zie o.a. www.spaarwater.com).



Figuur 1. Locatie van één van de beoogde tracés.

Het doel van het reeds ingezette onderzoek is om inzicht te krijgen in de effecten van ingrepen bij de aanleg van de kabelverbinding op verzilting. Binnen dit onderzoek worden modelberekeningen uitgevoerd om de mogelijke effecten vast te stellen. Vastgesteld is dat voor een aantal modelparameters onvoldoende informatie beschikbaar is om betrouwbare effectberekeningen te kunnen doen. Daarom is aanbevolen aanvullend veldonderzoek te laten uitvoeren. Dit aanvullend onderzoek betreft het plaatsen van peilbuizen voor de bepaling van kweldruk en grondwaterstand, het testen van de doorlatendheid en porositeit, en ten slotte het vaststellen van de huidige zoet-zout situatie in percelen.

Om de huidige zoet-zout situatie in kaart te brengen zijn meerdere geofysica metingen uitgevoerd. De kartering dient meerdere doelen binnen het lopende onderzoek. In de eerste plaats om vast te stellen of sprake is van een zoete neerslaglens en hoe dik deze is. In de tweede plaats kan het dienen als nulmeting.

De gebruikte meetmethoden en resultaten worden in dit rapport toegelicht.

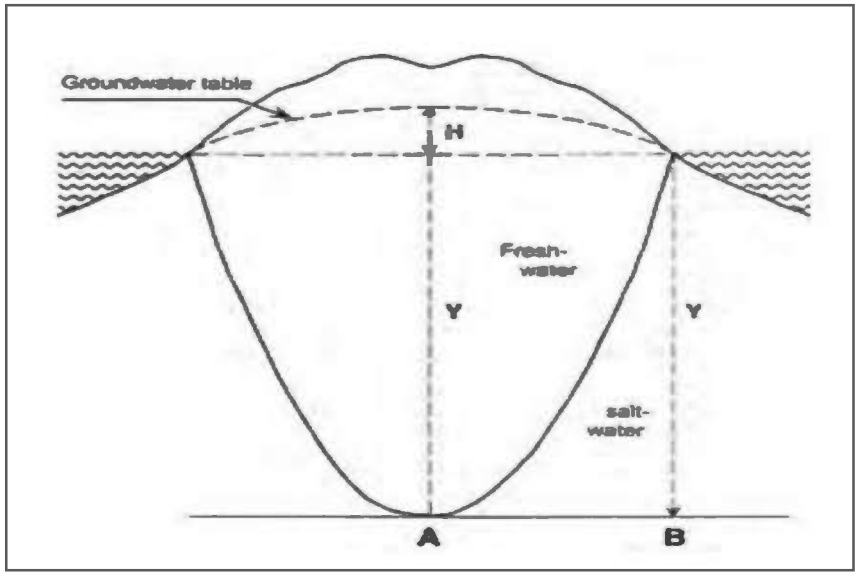
2 Processen die het zoutgehalte in een perceel bepalen

Dat landbouw mogelijk is ondanks de aanwezigheid van zoute kwel, is een gevolg van het neerslagoverschot in ons land. Door het neerslagoverschot wordt het zout, dat zich in de droge perioden in de bodem ophoopt, in de natte perioden weer uitgespoeld. Hierdoor neemt het zoutgehalte in de sloten in de loop van de zomer toe. Dit zout wordt uiteindelijk met het overtollige regenwater en eventuele doorspoeling naar de boezem en naar zee afgevoerd.

Het klassieke beeld is dat het bodemvocht gedurende de zomer in toenemende mate zouter wordt en in de winter door verdunning weer verzoet. Meer recent is ontdekt (o.a. verziltingsstudie Noord-Nederland, Acacia Water 2013) dat in plaats van een min of meer homogeen systeem van een met de seizoenen wisselende zoutconcentratie, er een situatie heerst waarbij het geïnfiltreerde regenwater als een zoetwaterlens op het zoutere water drijft. Deze lens vertoont een, aan de seizoenen gerelateerd gedrag van uitdijing en krimp. De vorm en de dynamiek van een neerslaglens wordt bepaald door de drainerende werking van greppels en drainagebuizen en in veel mindere mate door watergangen.

2.1 Zoutgehalte ondiepe grondwater

De zoetwaterlens is, afhankelijk van de lokale situatie, meestal 0 tot 4 m dik. Echter direct onder de drainagemiddelen is die meestal dunner of afwezig. Als de grondwaterstanden hoog genoeg zijn en ondiep grondwater zijdelings gaat afstromen naar de drains en greppels, komt ook brak grondwater vanuit de diepere lagen omhoog onder de drainagemiddelen.



Figuur 2. Principe van een zoetwaterlens volgens Badon Ghyben-Herzberg. Wanneer de grondwaterstand (H) 10cm ligt boven het drainageniveau dan zou de dikte van de zoetwaterbel (Y) ongeveer 4m dik moeten zijn.

Midden tussen de drainagemiddelen is de dikte van de lens dus het grootst, hoewel die kleiner is dan verwacht volgens het Badon Ghyben-Herzberg principe (Figuur 1) van licht zoet water drijvend op zwaarder brak water (De Vries, 1982)[1]. Op basis van dit principe zou bij een gemiddelde grondwaterstand van 10cm boven het drainageniveau een dikte van 4m onder het drainageniveau het resultaat moeten zijn.

De praktijk in percelen is echter anders. Het systeem in een perceel is zo dynamisch dat nooit de evenwichtssituatie wordt bereikt. In de winterperiode met neerslagoverschot wordt de stroming in de lenzen geactiveerd en het brakke grondwater uitgespoeld. Tijdens voorjaar en zomer dalen de grondwaterstanden tot onder de drainagebasis. In die periode stagneert de grondwaterstroming en zakken, in meer of mindere mate, ook de brakke kegels onder de drainagemiddelen in. De lenzen krimpen verder door capillaire opstijging van water naar de wortelzone en gewasverdamping. De mate van groei en krimp van de zoetwaterlenzen verschilt van jaar tot jaar. Een droge winter of een lange periode met vorst, zoals in 2010, leidt tot minder aanvulling en kleine zoetwaterlenzen.

Afgezien van het klimaat hangt de dikte van de lens tussen de drainagemiddelen en de mate van aantrekken van zout naar de drainagemiddelen af van de volgende factoren:

a) afstand van de drainagemiddelen;
b) bodemopbouw;
c) niveau van de buisdrainage of greppelbodems (drainagebasis);
d) de kweldruk.

Kleine drainage-afstanden en relatief hoge doorlatenheden leiden tot kleinere opbolling tussen de drains en zeer dunne lenzen van enkele decimeters rond het niveau van de buisdrains. In percelen met een slechtere doorlatendheid (meer klei) kunnen zich lenzen ontwikkelen tot ca. 4m dikte. Op basis hiervan onderscheiden we de zoetwaterlenzen in drie typen:

De **bolle lens**.
De bolle lens heeft, in de winterperiode, aan de boven- en onderkant een bolle vorm. Deze vorm ontstaat bij een homogene bodemopbouw tussen de drains. De dikte van de lens neemt toe bij grotere drainageafstanden, lagere doorlatendheid en een lagere kweldruk.

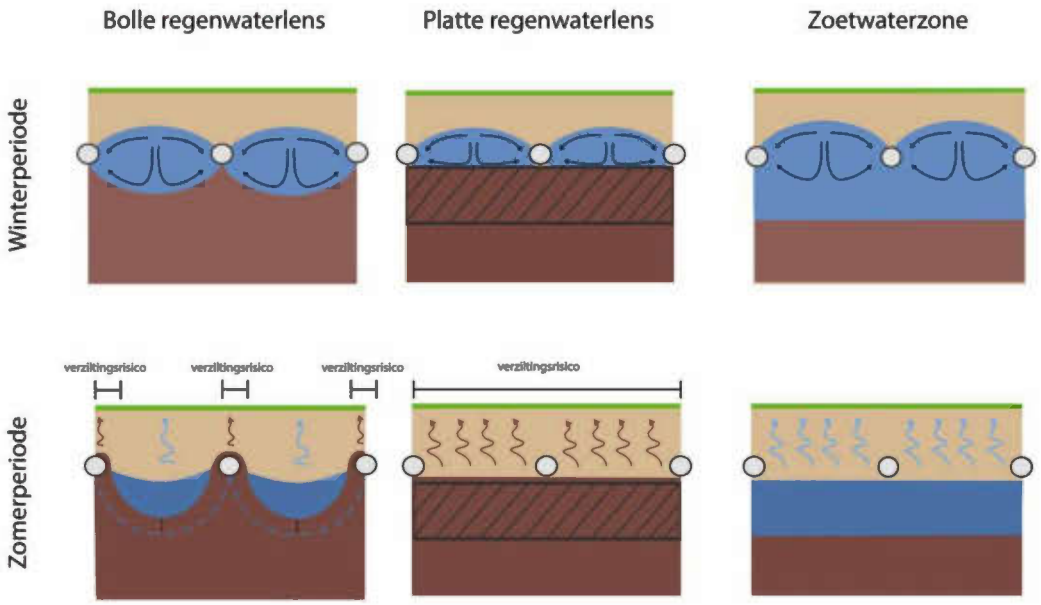
De **platte lens**.
De werking van de platte lens is te vergelijken met de bolle lens. Maar door de aanwezigheid van een slecht doorlatende laag onder het drainageniveau, krijgt de lens geen bolle vorm aan de onderkant. De slecht doorlatende laag zorgt voor de platte onderkant. Dit komt voor bij zand op klei of bij gerijpte op ongerijpte klei.

De **zoetwaterzone**.
Daar waar de kweldruk beperkt of afwezig is, kan het zoete water tot onder de drainage doordingen. Als de zoet-zoutgrens in het grondwater diep genoeg ligt, wordt het zoute

[1] De Vries J.J., 1982. Anderhalve eeuw hydrologisch onderzoek

water niet tot de drains aangetrokken. Zo is het mogelijk dat er een brede zoetwaterlaag blijft bestaan die we de 'zoetwaterzone' noemen.

Onderzoek van Acacia Water heeft aangetoond dat ook een hogere kweldruk leidt tot een aanzienlijke afname van de zoete lenzen [2].



Figuur 3. Type neerslaglenzen zoals aangetroffen in Nederland

2.2 Zoutgehalte van bodemvocht

Tijdens perioden van neerslagtekort en sterke gewasverdamping in voorjaar en zomer kan, bij brak-zout grondwater, vanaf de grondwaterstand door de capillaire werking water tot in de wortelzone optrekken. Tussen de drainagemiddelen stijgt dan vanaf de (dan stagnerende) lenzen zoet water op. Echter ter plaatste van de drains en greppels bevindt zich (soms) water met hoge zoutgehalten dichtbij het freatische vlak (grondwaterspiegel). Dit zout zal dan ook tot in de wortelzone kunnen optrekken. Percelen met zeer dunne lenzen zijn bijzonder gevoelig voor deze doorslag van zout in de wortelzone, omdat de lenzen daar in hun geheel kunnen verdwijnen tijdens droge perioden.

Opstijgen van zout in de onverzadigde zone kan mogelijk effect hebben op de gewasgroei. Het in droge periode opgebouwde verzilte bodemvocht wordt bij buien over het algemeen snel uitgespoeld.

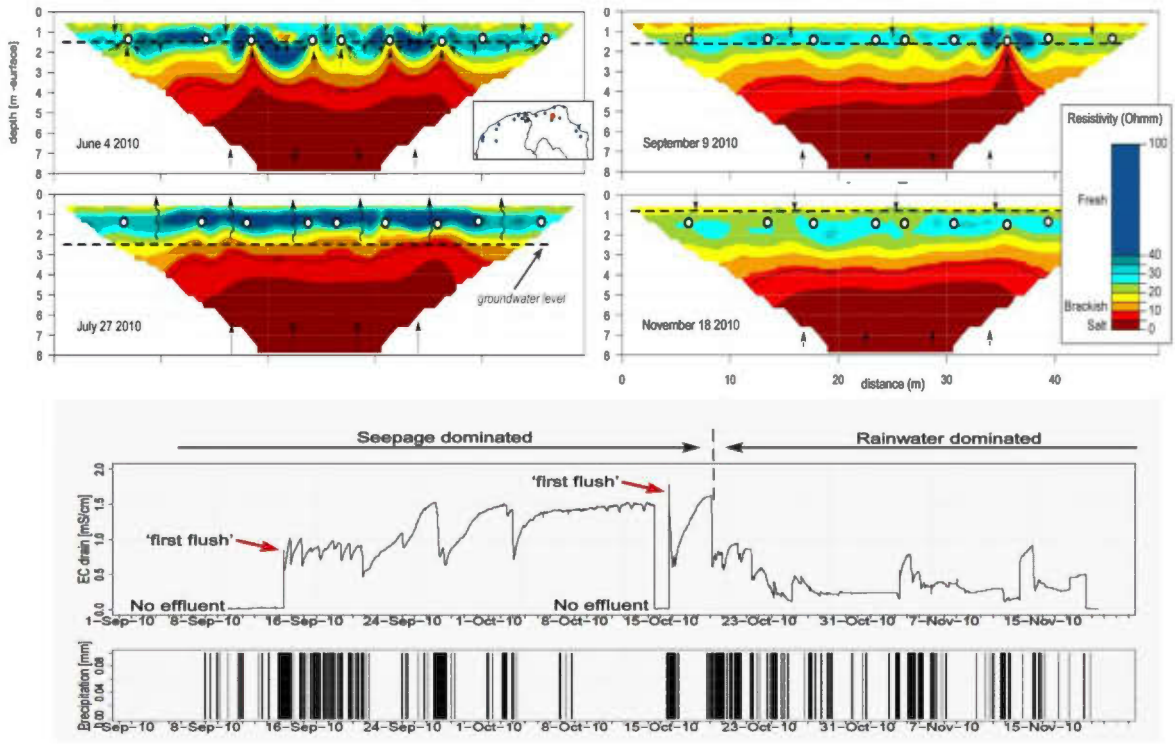
2.3 Zoutgehalte van afvoer van drains en greppels

In het verloop van het zoutgehalte van greppels en buisdrainage is duidelijk de werking van de hierboven beschreven zoetwaterlenzen te herkennen. In najaar en winter wateren

[2] Tolk, L. en Velstra, J. 2016. Spaarwater, pilots rendabel en duurzaam agrarisch watergebruik in een verziltende omgeving van de Waddenregio.Hoofdrapport, Acacia Institute

percelen meestal relatief zoet water af. Echter waar ‘upconing’ van brak grondwater tot in de drainagemiddelen reikt, blijken ontwateringsmiddelen ook in najaar en winter vaak water te produceren met verhoogde zoutgehaltes.

Het naleveren van zout na de zomer is een vrij normaal verschijnsel. Tijdens lange droge perioden met veel verdamping krimpen de zoetwaterlenzen. Wanneer daarna neerslag optreedt en de buisdrains met hun diepe ligging alweer snel gaan lopen dan heeft het water de eerste periode een hoog zoutgehalte. Dit kan enkele weken tot maanden duren. Een voorbeeld waar langdurig metingen zijn uitgevoerd (Figuur 3) laat zien dat dit tot in oktober optreedt en dan pas het zoutgehalte is gaan dalen. De daling komt overeen met een hoge grondwaterstand waardoor waarschijnlijk ook de kweldruk is verminderd.



Figuur 4. Voorbeeld uit Groningen. Het laat het optrekken van zout naar de drainagemiddelen zien in natte perioden. Dit leidt tot afvoer van drainagewater met een verhoogd elektrisch geleidingsvermogen of EC (hoog zoutgehalte) in de zomermaanden en de nazomer. I

3 Geofysische meetmethoden

3.1 Relaties elektrische weerstand, lithologie en zoutgehalten

Voor geofysisch onderzoek worden twee typen meetmethoden toegepast die een beeld geven van de elektrische weerstand ρ van de ondergrond, uitgedrukt in Ohm-m, of de elektrische geleidbaarheid σ, uitgedrukt in mS/m of µS/cm. Daarbij geldt dat:

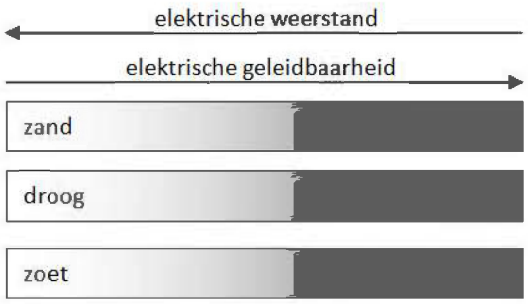
$$1\ \text{Ohm m} = \frac{1}{S/m} = \frac{1000}{\text{mS}/m} = \frac{10000}{\mu\text{S/cm}}$$

De elektrische weerstand van de ondergrond (ook wel formatieweerstand) ρ_f wordt bepaald door de weerstand van het grondwater ρ_w, de lithologie, de mate van waterverzadiging en de temperatuur.

Voor de correctie van een gemeten weerstand bij een temperatuur T in °C naar de weerstand bij een T van 20 °C geldt de volgende relatie:

$$\rho_{f20} = \rho_f \cdot \frac{75}{1.8T + 39}$$

Figuur 5 geeft een indicatie van wat er met een geofysica meting wordt vastgesteld. Voor een juiste interpretatie worden altijd enkele boringen uitgevoerd om mogelijke verkeerde interpretatie te voorkomen. Voor een goede interpretatie van de geofysische metingen moet men dus op de hoogte zijn van de lithologie en de grondwaterstand ter plaatse van de meting. Voor de relatieve veranderingen in de tijd (monitoring) zijn geofysische metingen in ieder geval geschikt.



Figuur 5. Hoge weerstanden worden gerelateerd aan zand en/of zoet water, lage aan klei en/of zout.

Voor de weerstand van verzadigde grond en de weerstand van het grondwater geldt de relatie van Archie (1942):

$$\rho_w = \frac{\rho_f}{F}$$

Waarbij F de formatiefactor is. De formatiefactor van waterverzadigde klei ligt die in de orde grootte van 1 à 2, terwijl deze voor verzadigd zand varieert van 2.5 voor fijn zand tot 5

voor grof zand en grind. In de onverzadigde zone, met name van zandbodems, is de formatiefactor hoger.

Tabel 1. Formatiefactor voor diverse bodemsoorten

Lithologische beschrijving	Formatiefactor	
grind met zand	7	
grof zand met grind	6	
grof zand	5	
matig grof zand	4	
zwak slib houdend zand	3	
matig slib houdend zand	2.5	*
sterk slib houdend zand	2	*
klei	1 - 3	*
veen	~ 1	

De elektrische weerstand of de elektrische geleidbaarheid (EC) van water is gerelateerd aan het aantal opgeloste ionen oftewel het zoutgehalte. Uit de metingen is door DLO (Mulder & Spoelstra, 1995) een relatie opgesteld tussen de elektrische geleidbaarheid σ_{w20} de (EC bij 20 °C) en het zoutgehalte van het water uitgedrukt in chlorideconcentratie in mg/l (Cl) op basis van alle analyses in dit gebied. Deze geldt alleen voor EC-waarden hoger dan 1000 µS/cm.

$$Cl = 3.9831 * \sigma_{w20} - 256.4$$

Een andere relatie is die van Stuyfzand (1987), waarin ook het bicarbonaatgehalte HCO_3 en sulfaat (SO_4) in mg/l wordt meegenomen. Deze gaat op voor EC-waarden hoger dan 800 µS/cm.

In de praktijk is de geleidbaarheid van water toch de meest praktische en direct meetbare parameter (EC-meting). Voor dit onderzoek definiëren we de verschillende zoutklassen als volgt: de bovengrenzen van zoet, lichtbrak, brak en zout zijn respectievelijk 1000 µS/cm (Cl = 150 mg/l), 4000 µS/cm (Cl = 1500 mg/l), 15000 µS/cm (Cl = 6000 mg/l) en 50000 µS/cm (Cl = 20000 mg/l).

Tabel 2. Verhouding van Chloride gehalten en geleidbaarheid van grondwater tot weerstanden

Water type	Chloride [mg/l]	Geleidbaarheid water [µS/cm]	Weerstand [Ohm m]	Weerstand zand [Ohm m]	Weerstand klei [Ohm m]
Zoet	<150	<1.000	>10	>30 – 50	>10 – 30
Licht Brak	1.500	4.000	2,5	7,5 – 17,5	2,5 – 7,5
Brak	6.000	15.000	0,67	2 – 4,7	0,67 – 2
Zeewater	20.000	50.000	0,2	0,6 – 1,4	0,2 – 0,6

3.2 Geofysische methoden

Voor deze rapportage zijn twee methoden van belang, namelijk de FDEM (DUALEM) en de CVES of ERT-methode. Over het algemeen is de DUALEM-methode geschikt om

binnen korte tijd meerdere profielen uit te voeren, maar dit gaat ten koste van de resolutie van de resultaten. Aan de andere kant biedt de CVES of ERT-methode een hoge resolutie, maar vereist het meer tijd voor de metingen.

FDEM profilering(DUALEM)

Met de Frequency Domain Elektromagnetische (FDEM) methode worden elektrische stromen in de ondergrond opgewekt door inductie van een wisselend elektromagnetisch veld, uitgezonden door een zenderspoel. Het opgewekte secondaire elektromagnetische veld wordt opgevangen door een ontvangerspoel. Uit het laatste signaal kan de schijnbare weerstand van de ondergrond worden verkregen. Door 3 frequenties en 2 spoelstanden te combineren worden schijnbare weerstanden tot 6 verschillende diepten gemeten. Uit deze waarden kan door inversie een 2D beeld van de ondergrond worden verkregen tot een diepte van ca. 6 m. De spoelen zijn bevestigd aan een enkele buis, waarmee al lopend kan worden gemeten. Na interpretatie wordt dan een continu 2D beeld verkregen van de weerstand van de ondergrond. Voor de metingen is gebruik gemaakt van de DUALEM-421S.



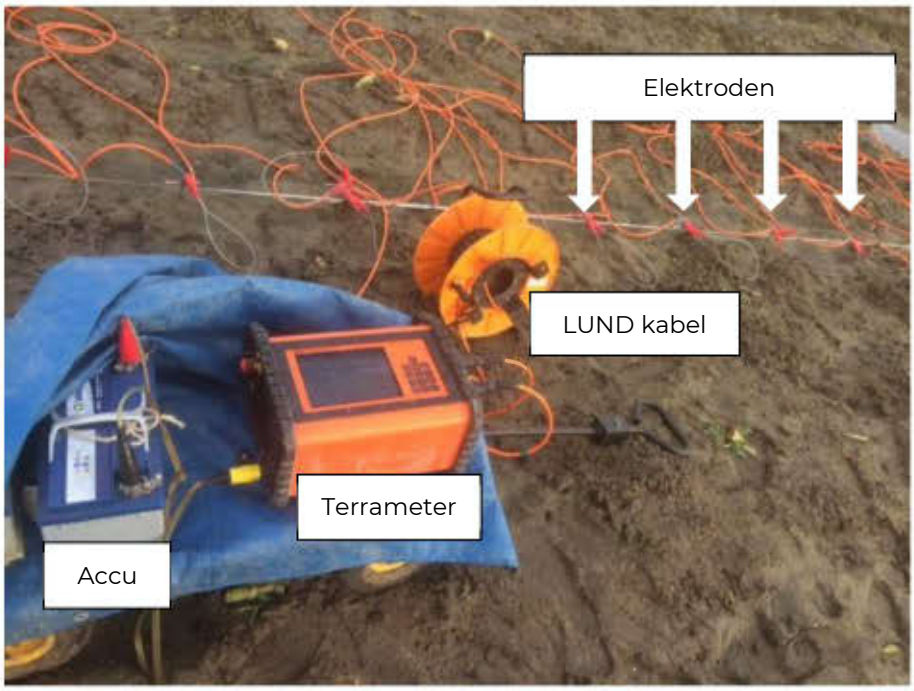
Figuur 6. FDEM (DUALEM) meting

CVES of ERT-methode

De CVES of ERT (Electrical Resistivity Tomography) methode is een zogenaamde Direct Current methode. Hierbij wordt via twee stroomelektroden een elektrische stroom opgewekt in de ondergrond.

Uit die stroom en het geïnduceerde potentiaalverschil in twee andere electroden kan dan de schijnbare weerstand worden berekend. De schijnbare weerstand is een soort gemiddelde waarde van de ondergrond tot een bepaalde diepte, welke afhankelijk is van de afstand van de stroomelektroden. Bij de CVES-methode worden langs een profiel een

groot aantal electroden geplaatst en worden de schijnbare weerstanden bij tal van combinaties van electroden bepaald. Door inversie van deze waarden te bepalen door een rekenmodel kunnen de werkelijke of de formatieweerstanden van de ondergrond worden bepaald en getoond in een 2D beeld.



Figuur 7. CVES-meting met terrameter, accu, LUND-kabel en elektroden

De metingen zijn uitgevoerd met een Terrameter en de LUND kabel van ABEM. In totaal kunnen met dit systeem voor elke meting 64 electroden geplaatst worden op afstanden variërend van 0.5 tot 10 m. De totale lengtes kunnen hierdoor variëren van 40 tot 400 m. Het diepte bereik is ongeveer een 1/6 van de lengte van de CVES. Door de afstanden te vergroten wordt de resolutie verlaagd, maar de gemeten diepte dus ook vergroot.

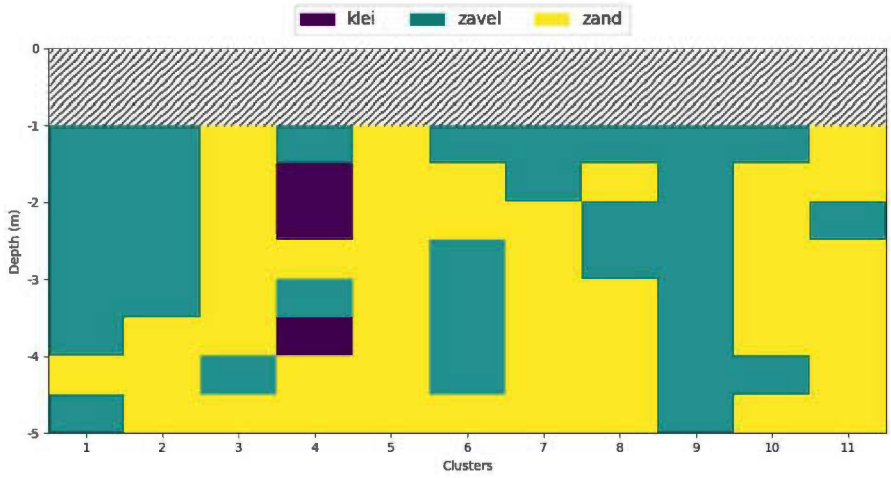
3.3 Uitvoering

De metingen zijn uitgevoerd aan het eind van de winter in februari/maart 2023. Dit betekent dat op het moment van meten de zoetwatervoorraad min of meer tot het maximale niveau was aangevuld.

Uitgevoerd zijn:

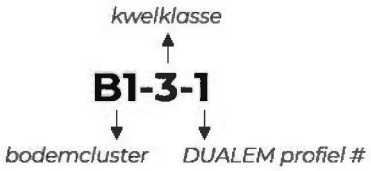
- 70 DUALEM-profielen op 23 locaties, met circa 3 profielen per locatie waarvan in de meeste gevallen 2 loodrecht op de drains.
- 2 CVES-profielen op interessante locaties in het gebied om extra detailinformatie over de zoet-zout opbouw te verkrijgen.

De locaties van de metingen zijn vooraf vastgesteld door middel van een clusteringsanalyse. Deze analyse heeft als doel gehad om een aantal standaardprofielen te definiëren. Voor elk perceel langs het beoogde tracé is tijdens deze analyse een passend standaardprofiel toegewezen, dat het meest representatief is voor de bodemopbouw en kwelsituatie van dat specifieke perceel. De hydrologische standaardprofielen, in totaal 27, zijn gebaseerd op bodemgegevens uit GeoTop en drie verschillende kwelkaarten: MIPWA, LHM en de Acacia Water kwelkaart. Figuur 8 toont de bodemopbouw per bodemcluster.



Figuur 8. Bodemopbouw per cluster o.b.v. GeoTop. De eerste meter onder maaiveld is niet meegenomen gezien deze minder bepalend is voor de vorming van de zoetwaterlens.

Aan de 11 unieke bodemclusters zijn drie kwelklassen (1 t/m 3, waarbij 1 staat voor lage kwel en 3 voor hoge kwel) toegevoegd om zo tot 27 unieke standaardprofielen te komen. Het streven was om uiteindelijk een meting uit te voeren op ieder standaardprofiel, om zo de diversiteit in bodem en kwel langs het tracé te dekken. De codes van de DUALEM-profielen geven aan tot welk standaardprofiel het perceel behoort waar de meting is uitgevoerd:



4 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de meetresultaten gepresenteerd en kort toegelicht. Tabel 3 geeft een overzicht van de resultaten. In sectie 4.1 worden de resultaten stuk voor stuk toegelicht.

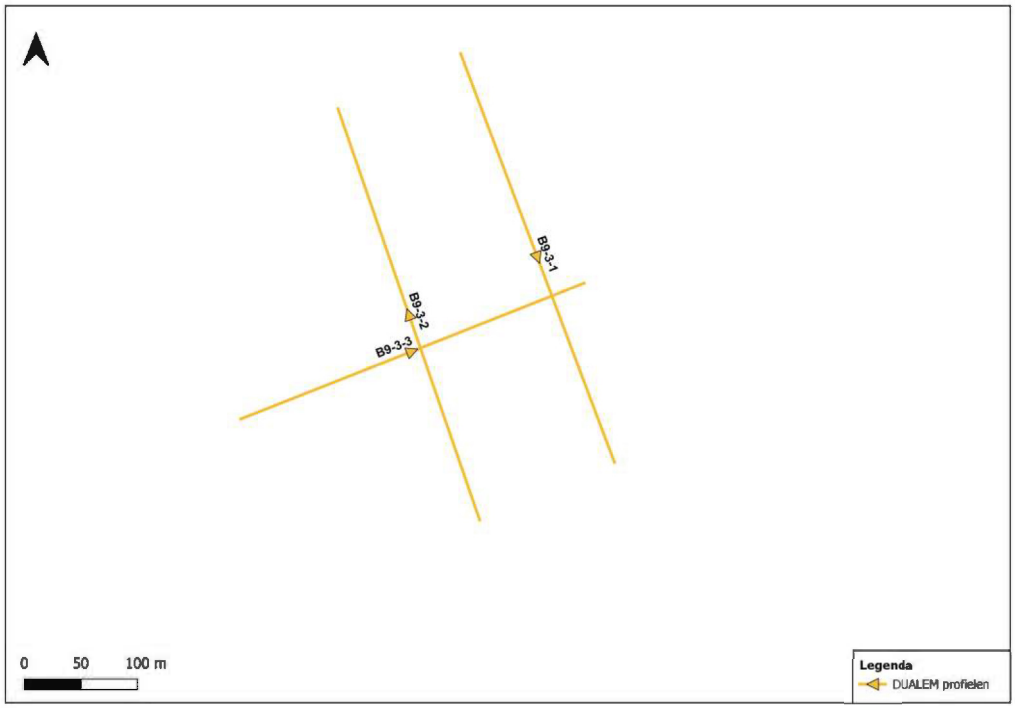
Tabel 3. Overzicht van de resultaten van de metingen. Voor de interpretatie van de resultaten is het zoet-zout grensvlak gedefinieerd als 4000 µS/cm (Cl = 1500 mg/l).

Cluster	Diepte zoet zout (m mv)	Toelichting
B1-1	2.5 - 3.0	O.b.v. het bodemtype en de gemeten weerstanden lijkt het grondwater lichtbrak te zijn vanaf een diepte van 2.5-3 m. Naar het zuidwesten van het perceel is het grondwater vanaf 4 m brak
B1-2	>6	In de lager gelegen zuidwestelijke hoek ligt het grensvlak op 2.0-2.5 m daarna zakt het uit tot onder het meetbereik (>6 m)
B1-3	>6	Alleen langs de waterlopen ligt het grensvlak op 2.0-2.5 m diepte, op de rest van het perceel ligt het grensvlak buiten meetbereik (>6 m)
B2-0	>6	Weerstanden zijn dusdanig hoog dat er vanuit kan worden gegaan dat zich hier een zoetwaterzone van >6 m bevindt
B2-1	2.0 - 2.5	Sterke variatie binnen het perceel. Aan de noordkant ligt het grensvlak >6 m diep, aan de zuidkant reikt het brakke grondwater tot 2m diepte.
B2-3	2.0 - 2.5	Alleen de oost kant van het perceel heeft een ondiep grensvlak. Op het overgebleven gedeelte ligt het grensvlak buiten meetbereik (>6 m)
B3-1	2.0 - 3.0	Sterke variatie binnen het perceel. Voornamelijk aan de noord- en oostkant van het perceel is het grondwater brak. In het zuiden ligt het grensvlak buiten meetbereik (>6 m)
B3-3	2.0 - 4.0	Variatie binnen het perceel. Het grensvlak ligt op 2.0 m bij de zuidelijke waterloop, zakt uit tot 4 m op 50m afstand van de waterloop, en ligt daarna buiten meetbereik (>6 m)
B4-1	>6	Brak grondwater alleen aanwezig in de noordoostelijke hoek, op circa 2.5 m diepte
B4-3	>6	Brak grondwater alleen aanwezig in de noordoostelijke hoek, op circa 2.5 m diepte
B5-1	1.5 - 2.5	Brak grondwater op vrijwel het hele perceel. De ligging van de drainage en de zoetwaterlenzen zijn duidelijk terug te zien in de metingen.
B5-2	1.5 - 2.5	Gemeten weerstanden op dit perceel zijn laag. Op het noordwestelijke deel van het perceel bevindt het grensvlak zich vermoedelijk op een diepte van 1.5-2 m. In oostelijke richting zakt het grensvlak iets dieper naar ongeveer 2-2.5 m.
B5-3	>6	Weerstanden zijn dusdanig hoog dat er vanuit kan worden gegaan dat zich hier een zoetwaterzone van >6 m bevindt

B6-1	1.5 - 2.0	Gemeten weerstanden over het algemeen laag, wat duidt op een ondiepe ligging van het grensvlak (1.5-2 m). In het noorden, bij de zeedijk, stijgt de weerstand sterk op 6 m diepte. Deze weerstandstoename duidt op de lokale aanwezigheid van lichtbrak tot zoet grondwater op 6 m diepte.
B6-3	1.0 - 3	Dicht langs de zuidelijke watergang ligt het grensvlak erg ondiep (1 m), verder het perceel in naar het noordwesten, zakt het naar ca. 3m diepte. Aan de noordoost kant, zakt het brakke grondwater verder weg en is het vermoedelijk lichtbrak.
B7-1	2.0 - 3	Lichtbrak tot brak grondwater. De diepte van het zoet-zout grensvlak wordt o.b.v. de metingen geschat op 2-3 m. Aan de westkant van het perceel is het zoutgehalte waarschijnlijk hoger dan aan de oostkant.
B7-3	1.5 - 3	Sterke variatie binnen het perceel. Brak grondwater aan de westelijke en zuidelijke zijde van het perceel, oostelijk zakt het grensvlak abrupt af buiten het meetbereik (> 6m)
B8-1	>6	Weerstanden zijn dusdanig hoog dat er vanuit kan worden gegaan dat zich hier een zoetwaterzone van >6 m bevindt
B9-2	1.0 – 2.0	Grensvlak erg ondiep aan de zuid- en oostkant van het perceel. Aan de noordwestzijde zakt het grensvlak buiten meetbereik (>6 m)
B9-3	1.0 – 1.5	Gemeten weerstanden extreem laag. Grensvlak erg ondiep op 1-1.5 m over het hele perceel. Invloed van de drainage terug te zien in metingen.
B10-1	2.0 - 2.5	Grensvlak het ondiepst (<2 m) aan de zuidkant van het perceel. Naar het noordoosten, nemen de weerstanden iets toe, wat naar verwachting samengaat met een afname van het zoutgehalte en een overgang van brak naar lichtbrak grondwater.
B10-3	2.5 - 4.0	Zuidelijk deel van het perceel zoet tot lichtbrak, noordelijk (midden van het perceel) wordt het brak
B11-2	>6	Weerstanden zijn dusdanig hoog dat er vanuit kan worden gegaan dat zich hier een zoetwaterzone van >6 m bevindt
B11-3	2.0 - 2.5	De scherpe overgang in weerstand laat zien dat het zoet-zoutgrensvlak hier tussen de 2-2.5 m diepte ligt. Invloed van de drainage terug te zien in metingen.

4.1 Interpretatie van de metingen

B9-3

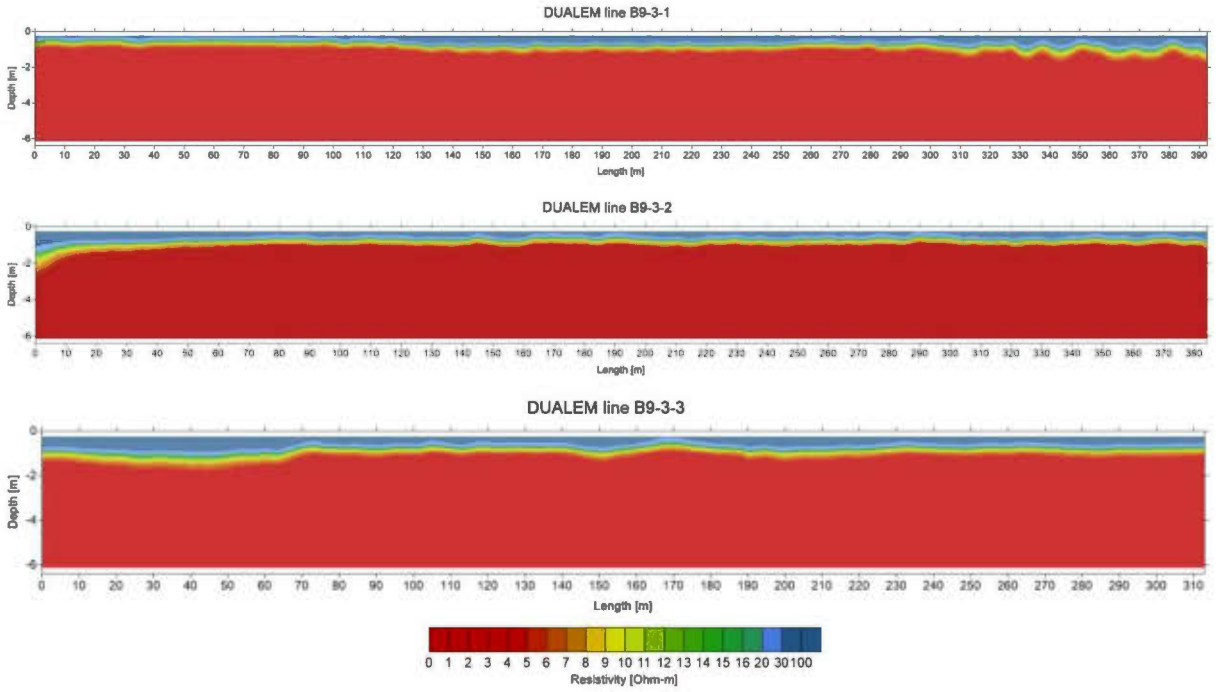


Figuur 9. Meetlocaties voor cluster B9-3. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

Op Locatie B9-3 zijn drie DUALEM-profielen gelopen, zoals te zien in Figuur 9. De drainage watert af op het noordoosten, wat betekent dat er twee profielen (B9-3-1 en B9-3-2) haaks op de drains zijn gelopen. Volgens de bodemclustering is de bodem homogeen, bestaande uit zavel tot 5m diepte (Figuur 8). Figuur 10, laat de resultaten van de DUALEM metingen zien.

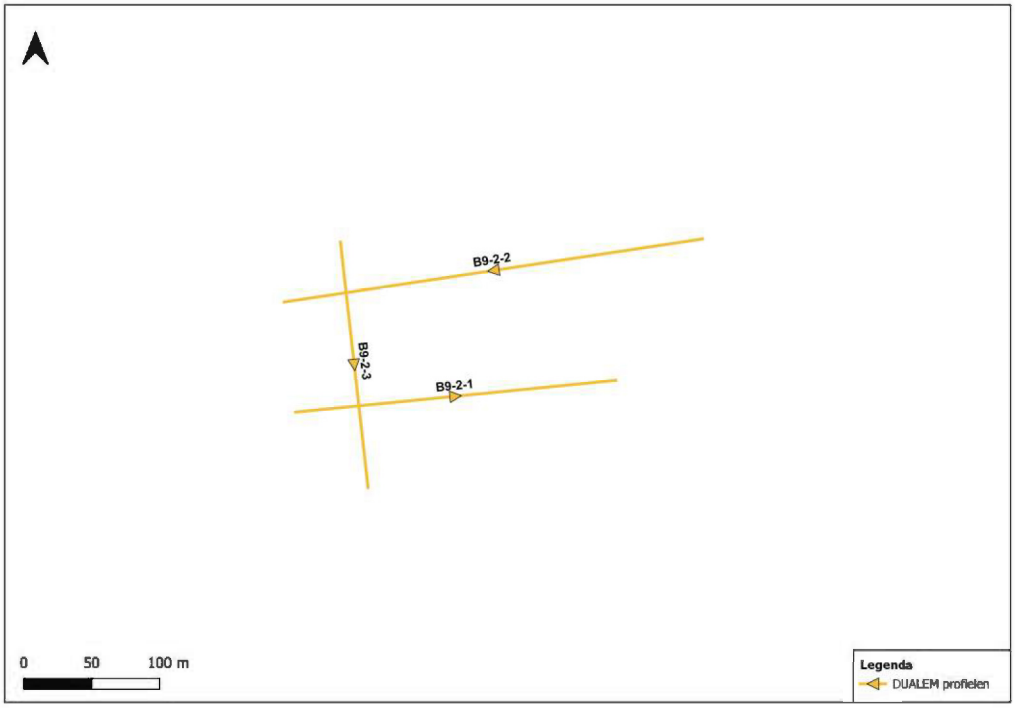
Zoals weergegeven, heeft alleen de bovenste 1-1.5 meter een hoge weerstand, wat betekent dat alleen dit deel zoet is, of de grondwater spiegel lager staat. Vanaf 1-1.5 m is een scherpe overgang te zien naar een extreem lage weerstand (< 5 Ohm m), wat duidt op een overgang naar brak grondwater. De uitgevoerde handmetingen van Antea (2023) bevestigen dit hoge zoutgehalte, met gemeten waardes van 16 mS/cm en >20 mS/cm op respectievelijke dieptes van ±2 en 5.5 m onder maaiveld. De diepteligging van het zoet-zout grensvlak neemt iets toe in zuidelijke richting.

In de resultaten van profiel B9-3-1 lijkt op sommige plekken de invloed van de drainage terug te zien. Dit betekent dat er hoogstwaarschijnlijk zoetwaterlenzen aanwezig zijn binnen dit perceel.



Figuur 10. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B9-3.

B9-2

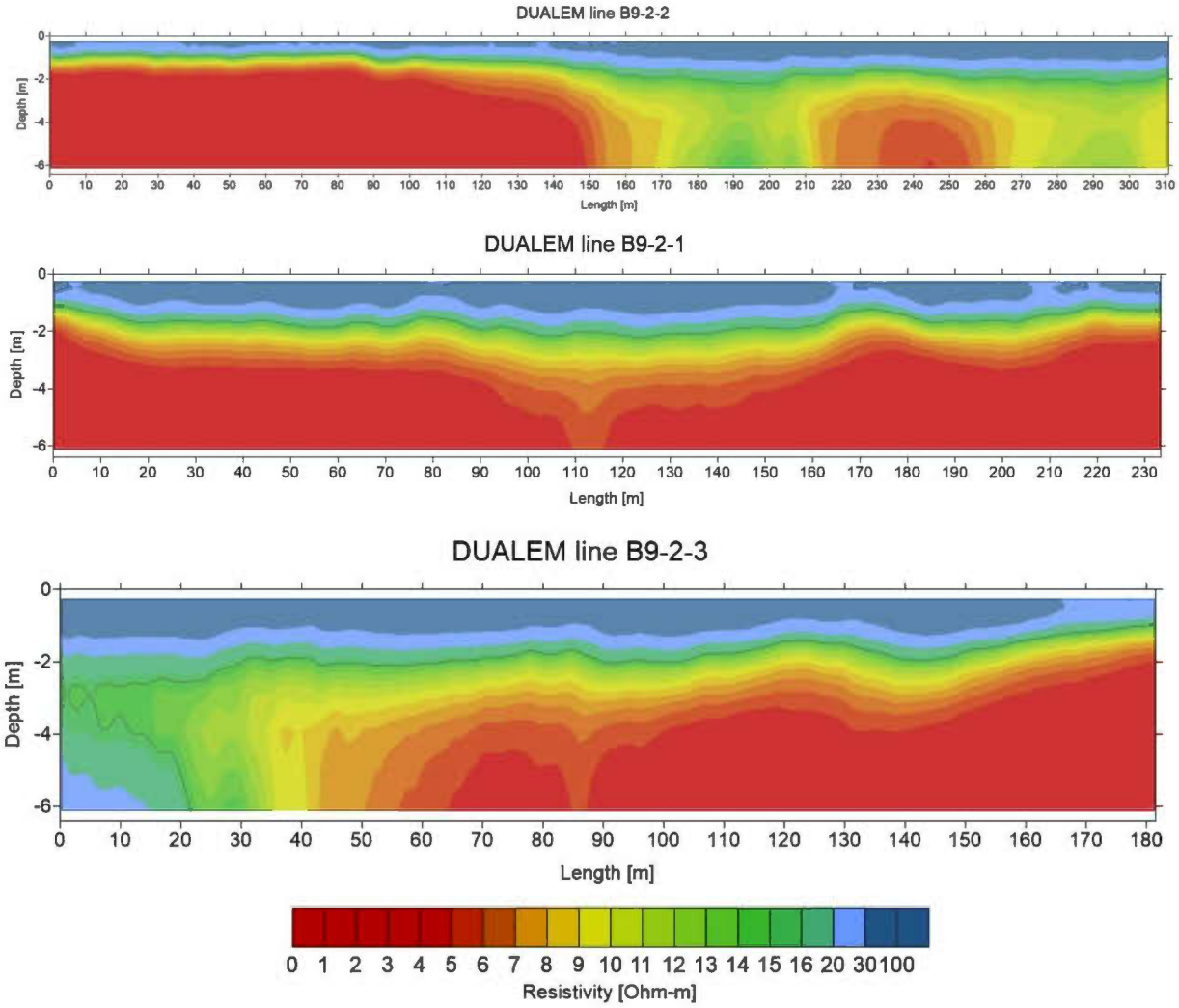


Figuur 11. Meetlocaties voor cluster B9-2. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

De bodemopbouw op locatie B9-2 is vergelijkbaar met de vorige locatie, met een homogeen zavelprofiel, en de drainage loopt in oostelijke richting (Figuur 8). Er zijn in totaal drie DUALEM-profielen uitgevoerd, waarvan profiel B9-2-3 loodrecht op de drainage loopt (Figuur 10). De resultaten van de metingen zijn weergegeven in Figuur 10.

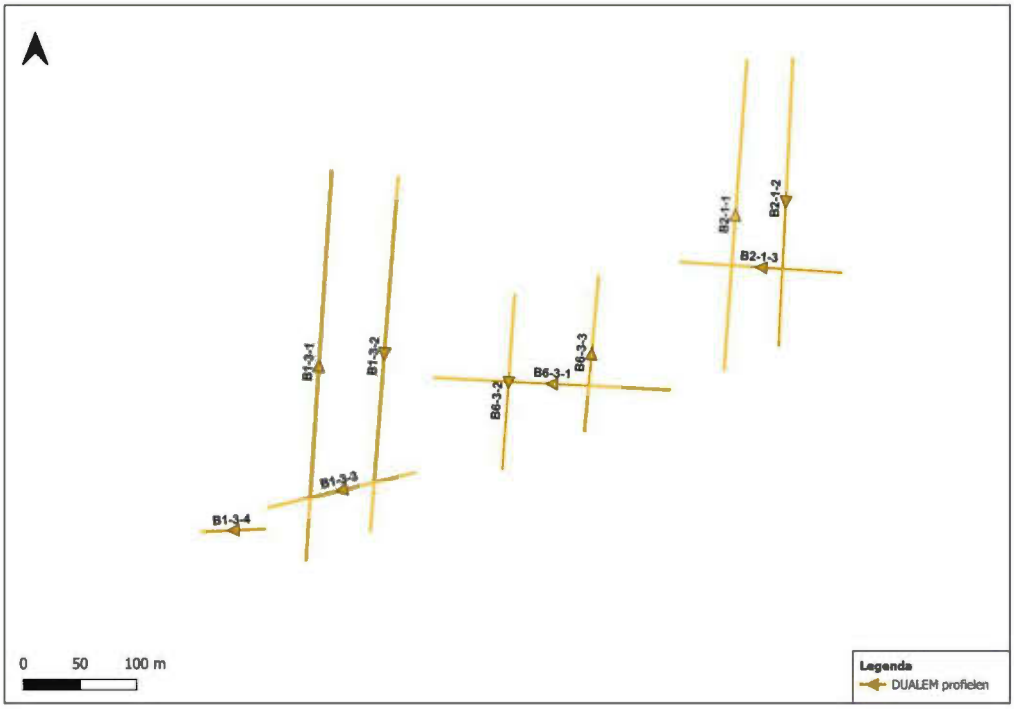
De diepte van het zoet-zout grensvlak varieert binnen het perceel. Zoals de resultaten laten zien, begint de laag met lage weerstand (minder dan 5 Ohm m) al op een diepte van ongeveer 1-1.5 meter aan de oost- en zuidkant van het perceel, wat wijst op een ondiepe ligging van het zoet-zout grensvlak precies op de beoogde locatie van het tracé. De uitgevoerde EC-metingen (Antea, april 2023) laten ook zien dat het grondwater in het zuidelijke deel een hoog zoutgehalte heeft. Op een diepte van 2.4 meter en 5.5 meter zijn respectievelijk EC-waarden van 3 mS/cm en > 20 mS/cm gemeten.

Aan de noordwestkant van het perceel daalt het zoutgehalte en is het grondwater vermoedelijk zoet. In de resultaten van profiel B9-2-2 neemt de weerstand op twee plaatsen toe, wat mogelijk kan worden veroorzaakt door een overgang naar zoeter grondwater en/of een zandiger bodem.



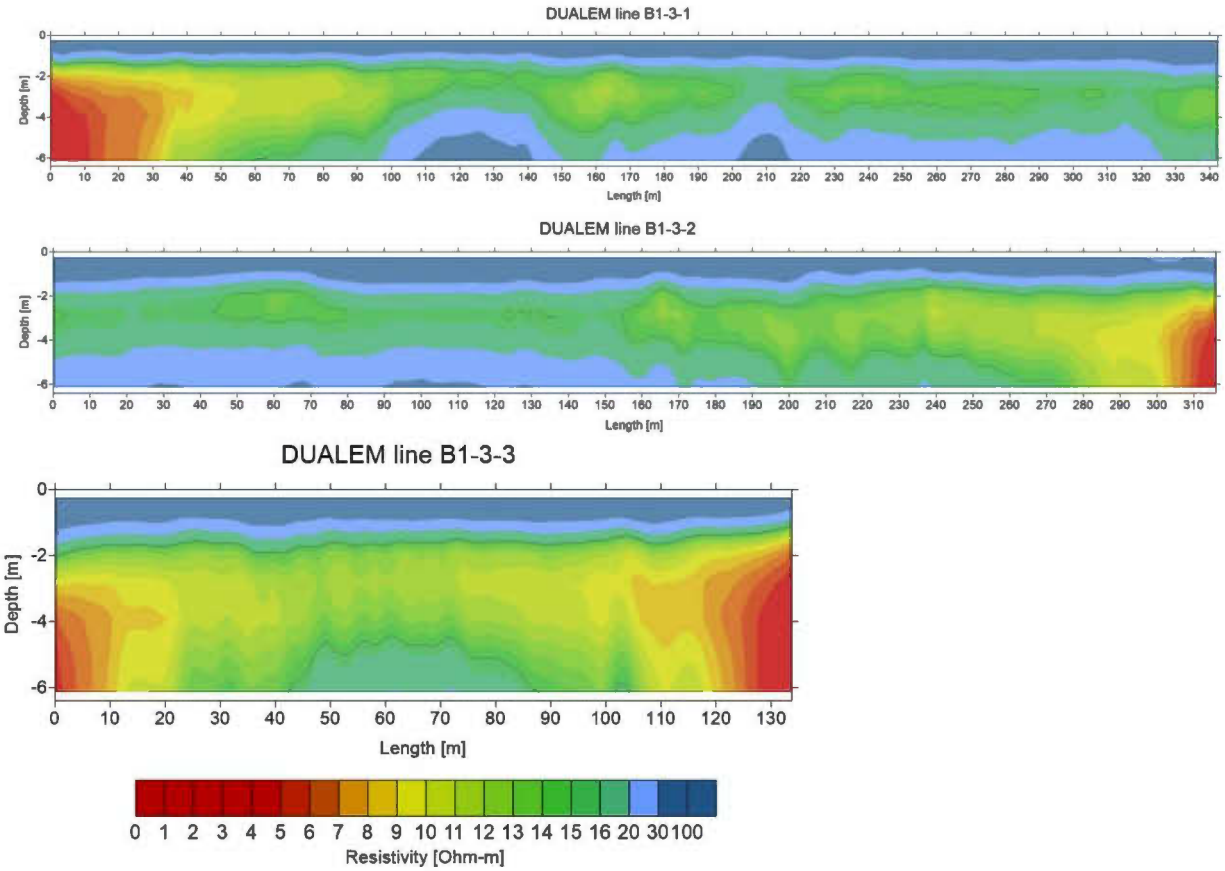
Figuur 12. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B9-2.

B1-3



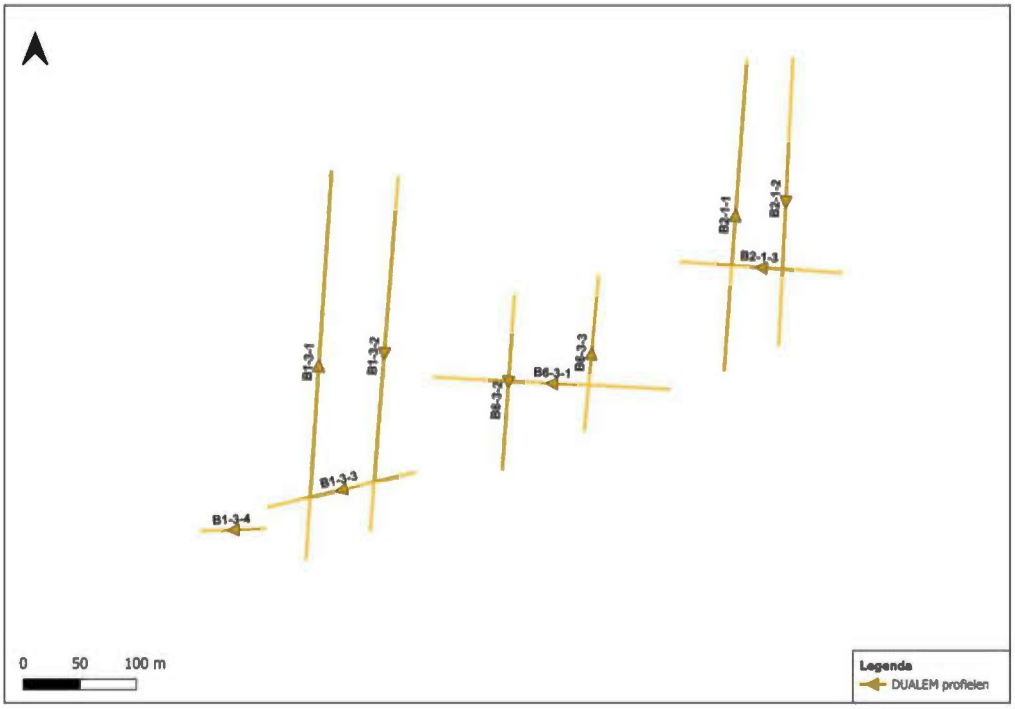
Figuur 13. Meetlocaties voor cluster B1-3 (linker perceel). De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

De bodem op locatie B1-3 bestaat uit zavel met een zandlaag op 4 m diepte (Figuur 8). Op locatie B1-3 zijn wederom drie profielen gelopen, de resultaten zijn weergegeven in Figuur 12. Wat opvalt bij deze profielen is dat op sommige plekken de weerstand weer toeneemt op grotere diepte. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van de zandlaag. Het zout komt alleen omhoog (tot circa 2.0-2.5 m) aan de randen van het perceel langs de watergangen, waar weerstanden < 5 Ohm m gemeten zijn. Binnen het perceel lijkt het grondwater zoet tot lichtbrak (zuidkant) te zijn.



Figuur 15. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B1-3.

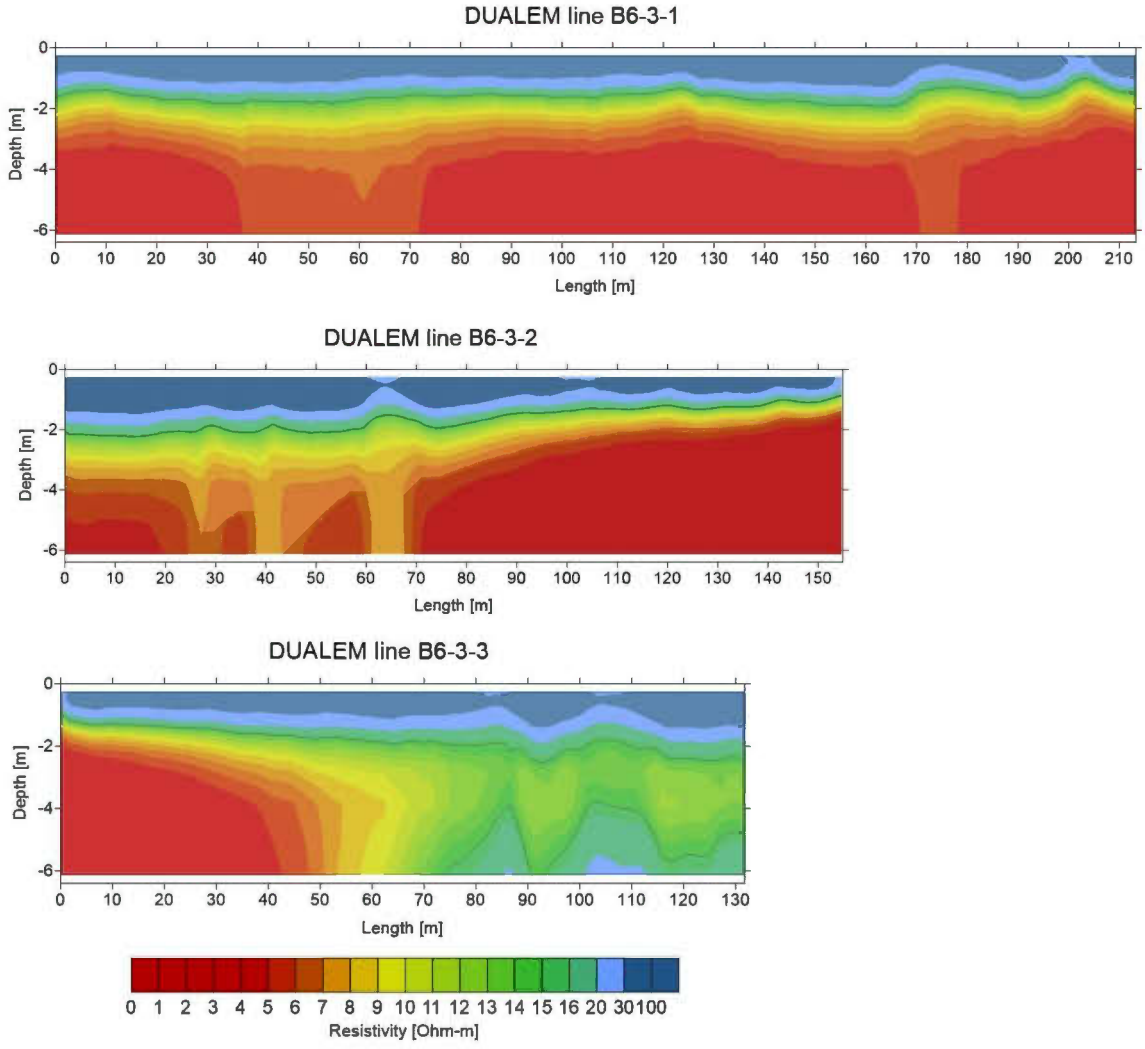
B6-3



Figuur 14. Meetlocaties voor cluster B1-3 (middelste perceel). De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

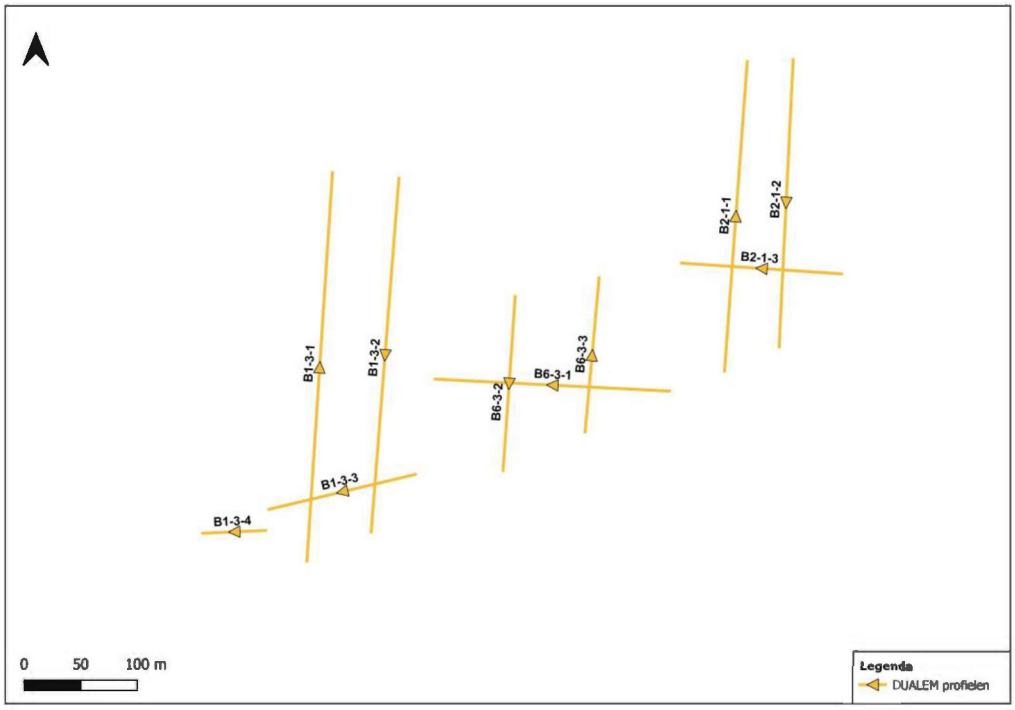
Locatie B6-3 is toebedeeld aan bodemcluster 6, gekenmerkt door een gelaagd zavel-zand profiel (Figuur 8). De drainage loopt van oost naar west. In totaal zijn er drie profielen gelopen, waarvan twee haaks op de drainage (B6-3-2 en B6-3-3) en één parallel aan de drainage (B6-3-1). Figuur 15 laat de DUALEM resultaten zien.

Over het algemeen is de weerstand hier lager vergeleken met het aangrenzende perceel B1-3. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door een hoger zoutgehalte van het grondwater. De diepte van het grensvlak varieert tussen ongeveer 1-3 m onder maaiveld. Ook hier komt het zout het meest omhoog langs de zuidelijke watergang tot een diepte van 1-1.5 m beneden maaiveld. Verder het perceel in, aan de noordoost kant, zakt het zout weg en neemt de weerstand toe (B6-3-3). Hier is ook de gelaagdheid van de bodem terug te zien in de meting, met een verloop van een lagere weerstand naar een hogere weerstand op grotere diepte. Het grondwater op dit deel van het perceel is naar verwachting lichtbrak. Aan de noordwest kant van het perceel wordt de diepte van het zoet-zoutgrensvlak geschat op grofweg 3 m onder maaiveld.



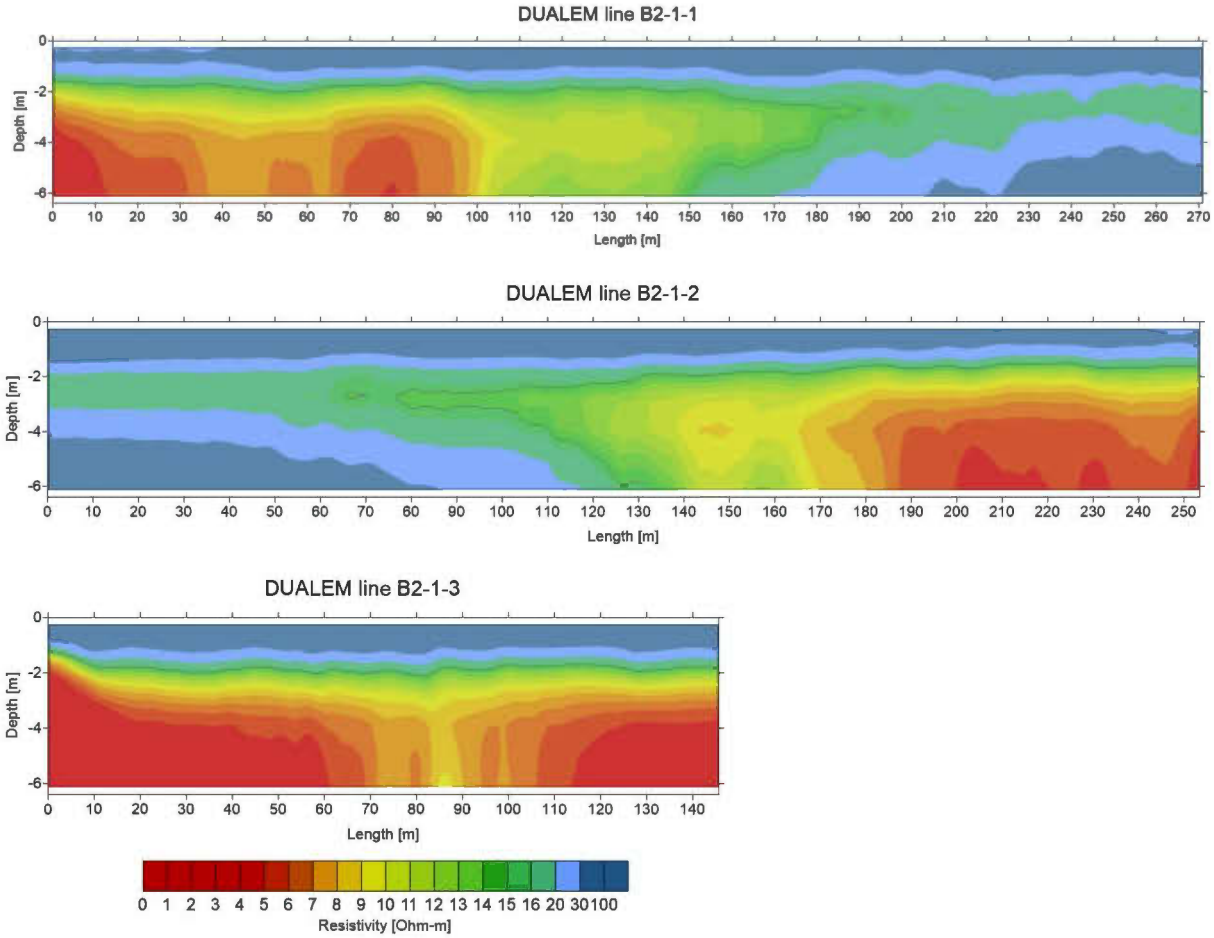
Figuur 16. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B6-3.

B2-1



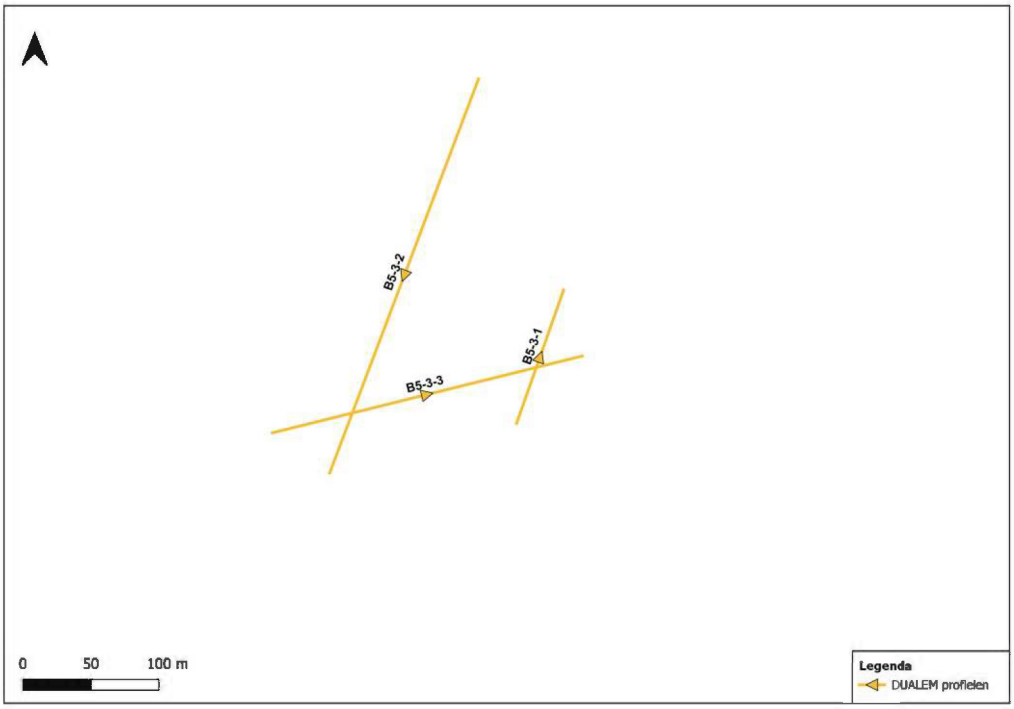
Figuur 17. Meetlocaties voor cluster B2-1 (rechter perceel). De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

Locatie B2-1 valt onder bodemcluster 2 dat gekenmerkt wordt door een zavel op zand profiel (Figuur 8). De drainage loopt naar het oosten. Dit betekent dat er van de in totaal drie profielen, twee haaks op de drains zijn gelopen (B2-1-1 en B2-1-2). De resultaten laten zien dat, ook hier, de zuidkant van het perceel het zoutst is. Aan de zuidoost kant van het perceel rijkt het zout tot boven de 2 m onder maaiveld. Op de rest van het zuidelijke deel van het perceel wordt de diepte van het zoet-zout grensvlak geschat op ongeveer 2-2.5 m. Naar de noordkant van het perceel neemt de weerstand toe tot >30 Ohm m op 4 tot 6 m diepte. Dit houdt in dat er hier een zoetwaterzone van >6m diep zit. Tussen ca. 1.5 en 4 m diepte neemt de weerstand wat af, hoogstwaarschijnlijk door de aanwezigheid van zavel



Figuur 18. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B2-1.

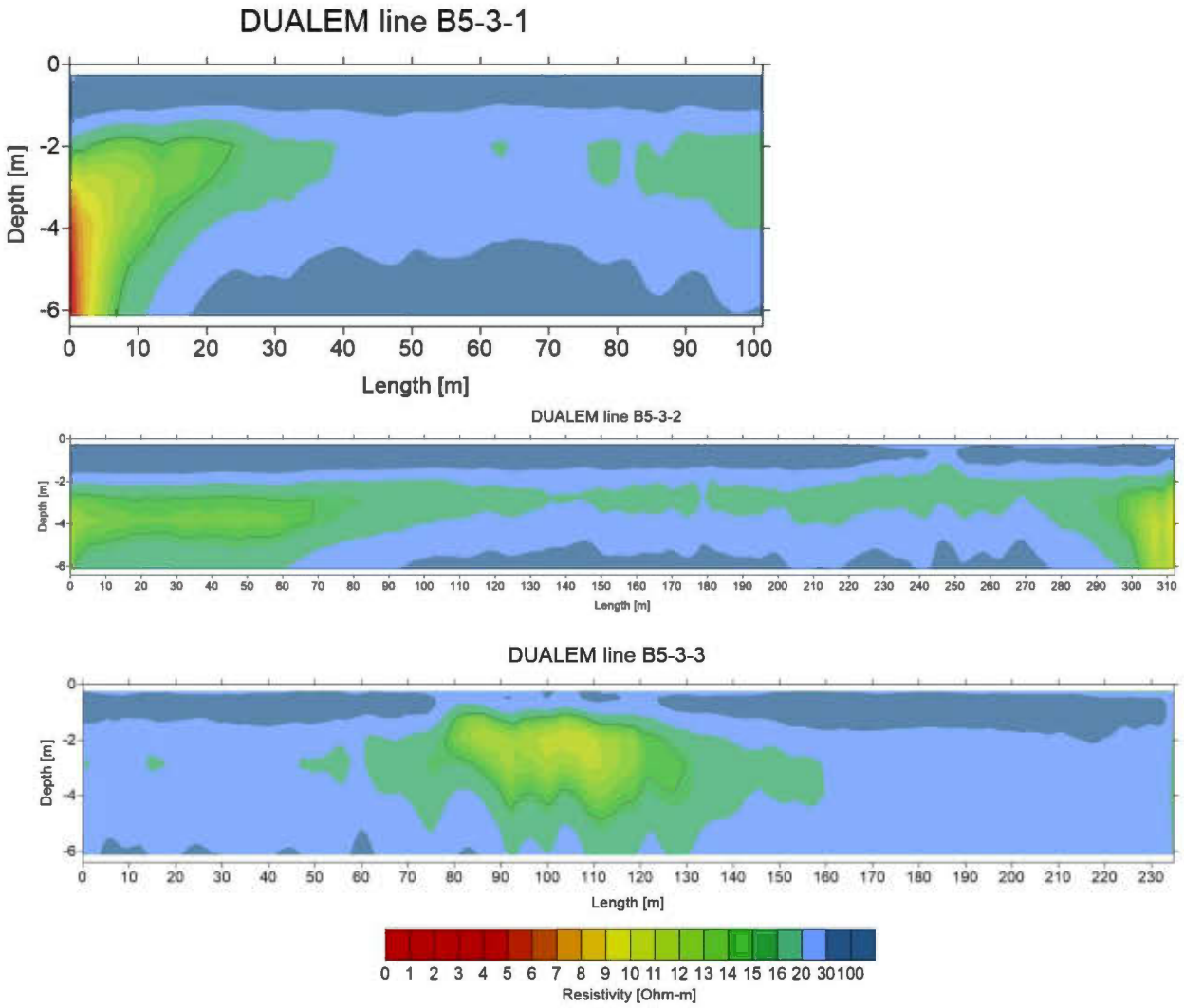
B5-3



Figuur 19.Meetlocaties voor cluster B5-3. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

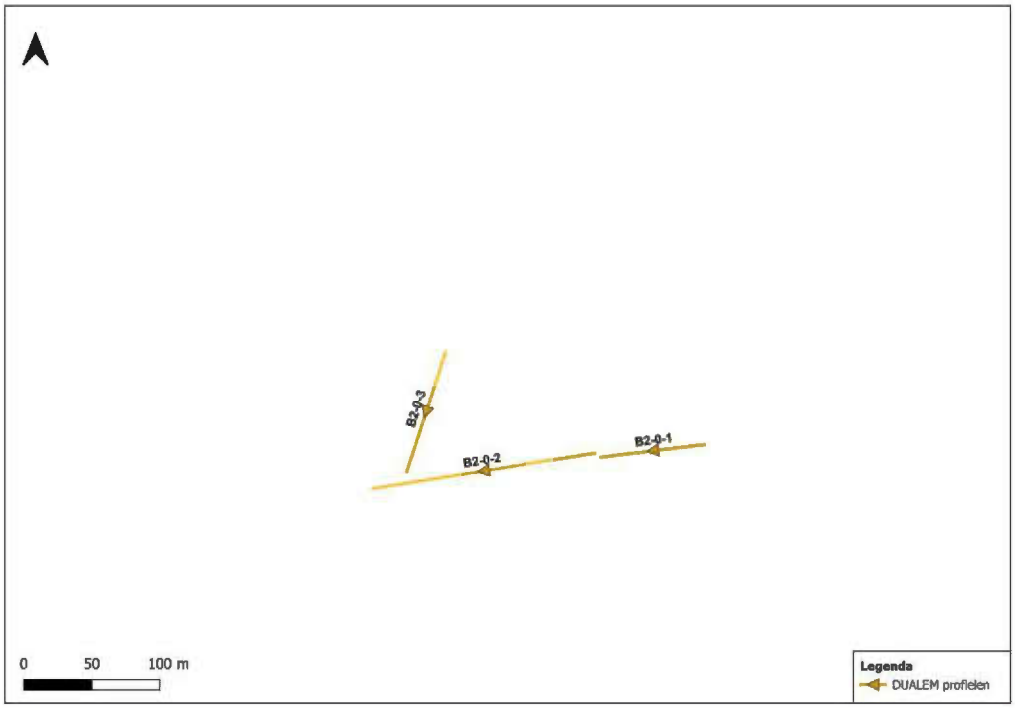
Volgens de bodemclustering en de GeoTop-gegevens bestaat de bodemopbouw op locatie B5-3 uit homogeen zand tot een diepte van 5 m (Figuur 8). De drainage loopt in westelijke richting, dus profiel B5-3-1 en profiel B5-3-2 zijn loodrecht op de drainagemiddelen uitgevoerd. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 18.

Over het algemeen is de gemeten weerstand relatief hoog vanwege het zandige karakter van de bodem. De hoge weerstand (> 20 Ohm m) duidt er ook op dat het grondwater hier zoet is. De handmatige metingen uitgevoerd door Antea (april 2023) bevestigen ook een laag zoutgehalte, met EC-waarden van respectievelijk 0.8 en 1.1 mS/cm op 2 m en 5.5 m diepte. Er lijkt echter sprake te zijn van een niet volledig homogene bodemsamenstelling. In profiel B5-3-3 is er duidelijk een lagere weerstand in het midden van het profiel, wat waarschijnlijk wordt veroorzaakt door een toename in kleigehalte op dat specifieke deel. Verder is in de buurt van de zuidelijke watergang het zout wel waarneembaar op grotere diepte (profiel B5-3-1).



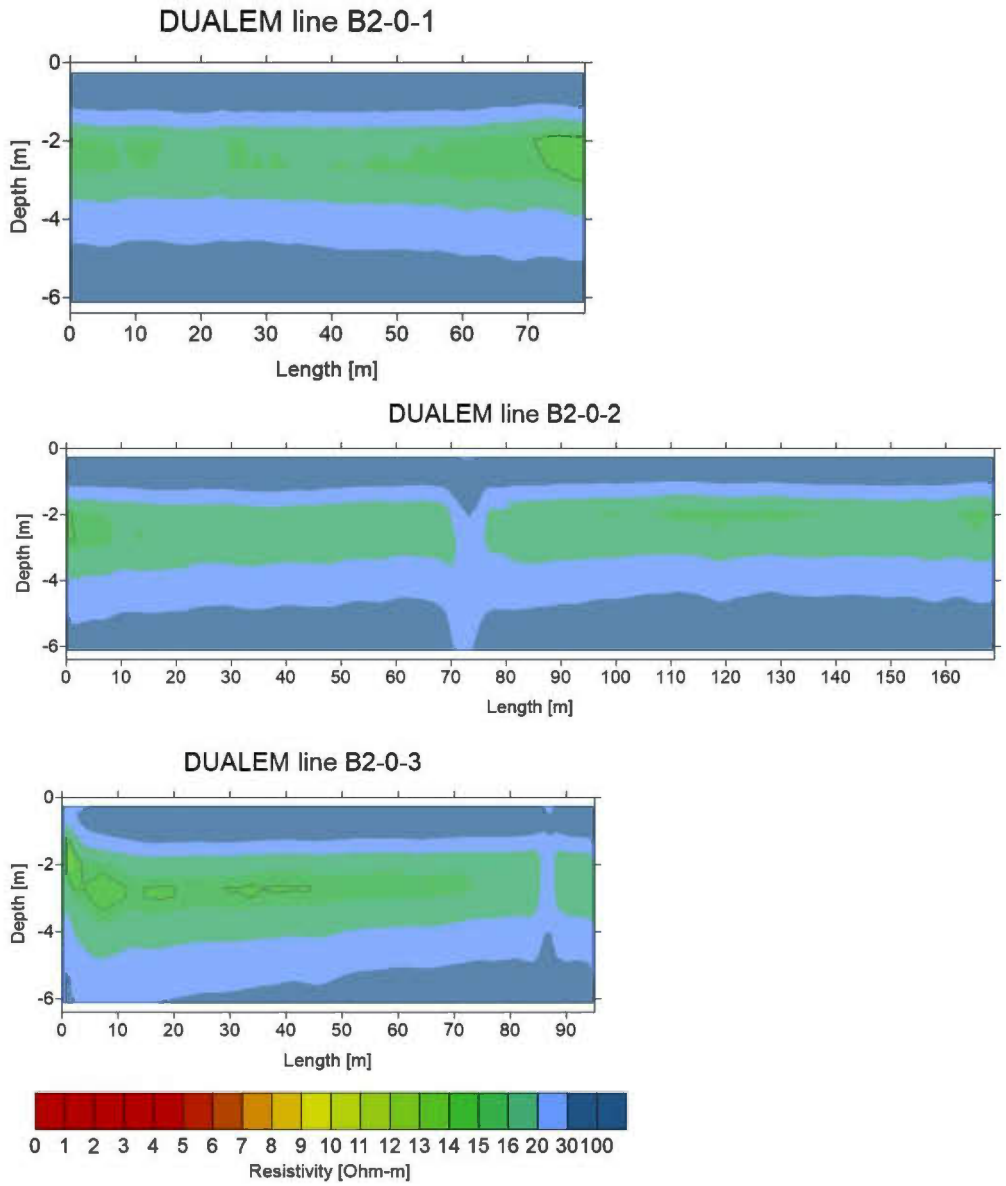
Figuur 20. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B5-3.

B2-0



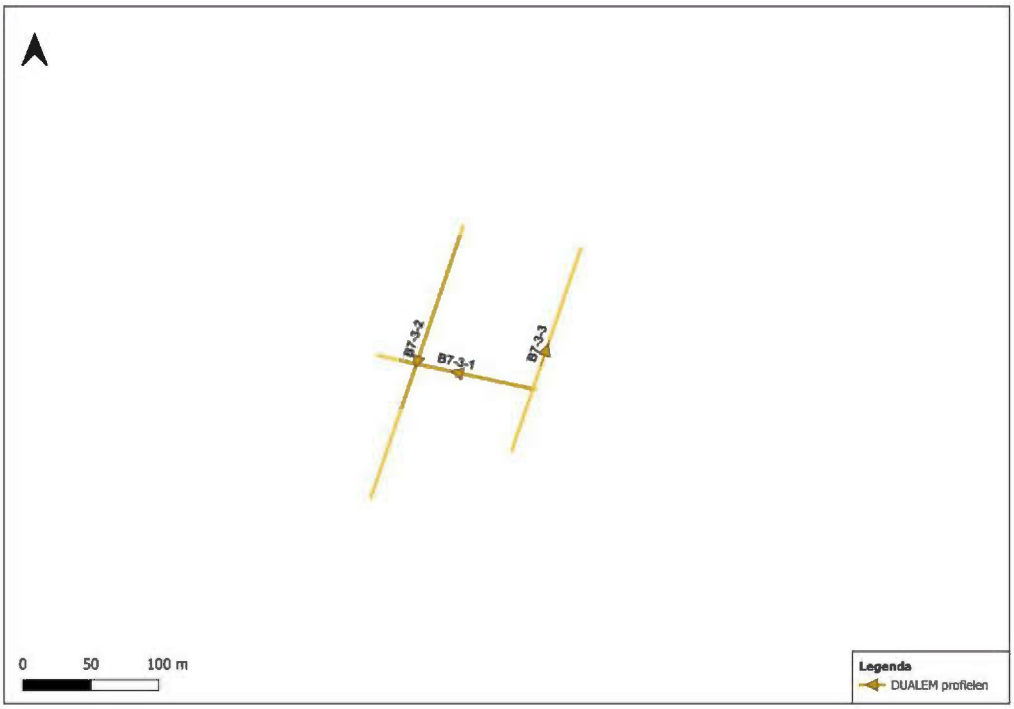
Figuur 21. Meetlocaties voor cluster B2-0. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

Volgens de resultaten van de clustering bestaat de bodem op locatie B2-0 uit zavel, met daaronder zand (Figuur 8). De DUALEM resultaten tonen aan dat de gemeten weerstanden hoog zijn. De gelaagdheid van de bodem is terug te zien in de metingen. In het midden van het profiel zijn er lagere weerstanden te observeren, veroorzaakt door de aanwezigheid van een laag met een hoger kleigehalte (zavel) t.o.v. de onderliggende zand laag. Al met al zijn de weerstanden dusdanig hoog dat er vanuit kan worden gegaan dat zich hier een zoetwaterzone van >6 m bevindt. De handmetingen uitgevoerd door Antea in april 2023 bevestigen dit beeld (EC van 0.9 mS/cm op 2.8 m diepte, en 1.2 mS/cm op 5.3 m diepte).



Figuur 22. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B2-0.

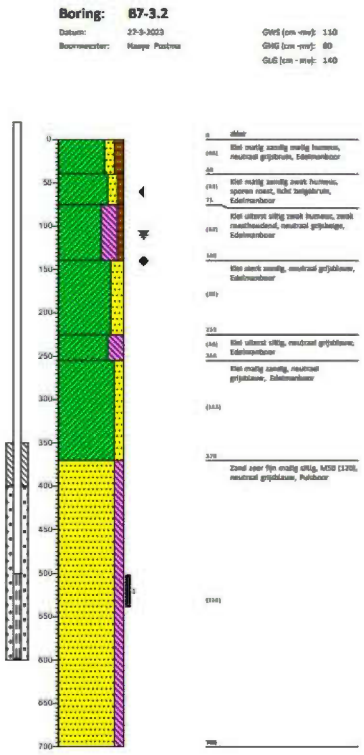
B7-3



Figuur 23. Meetlocaties voor cluster B7-3. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

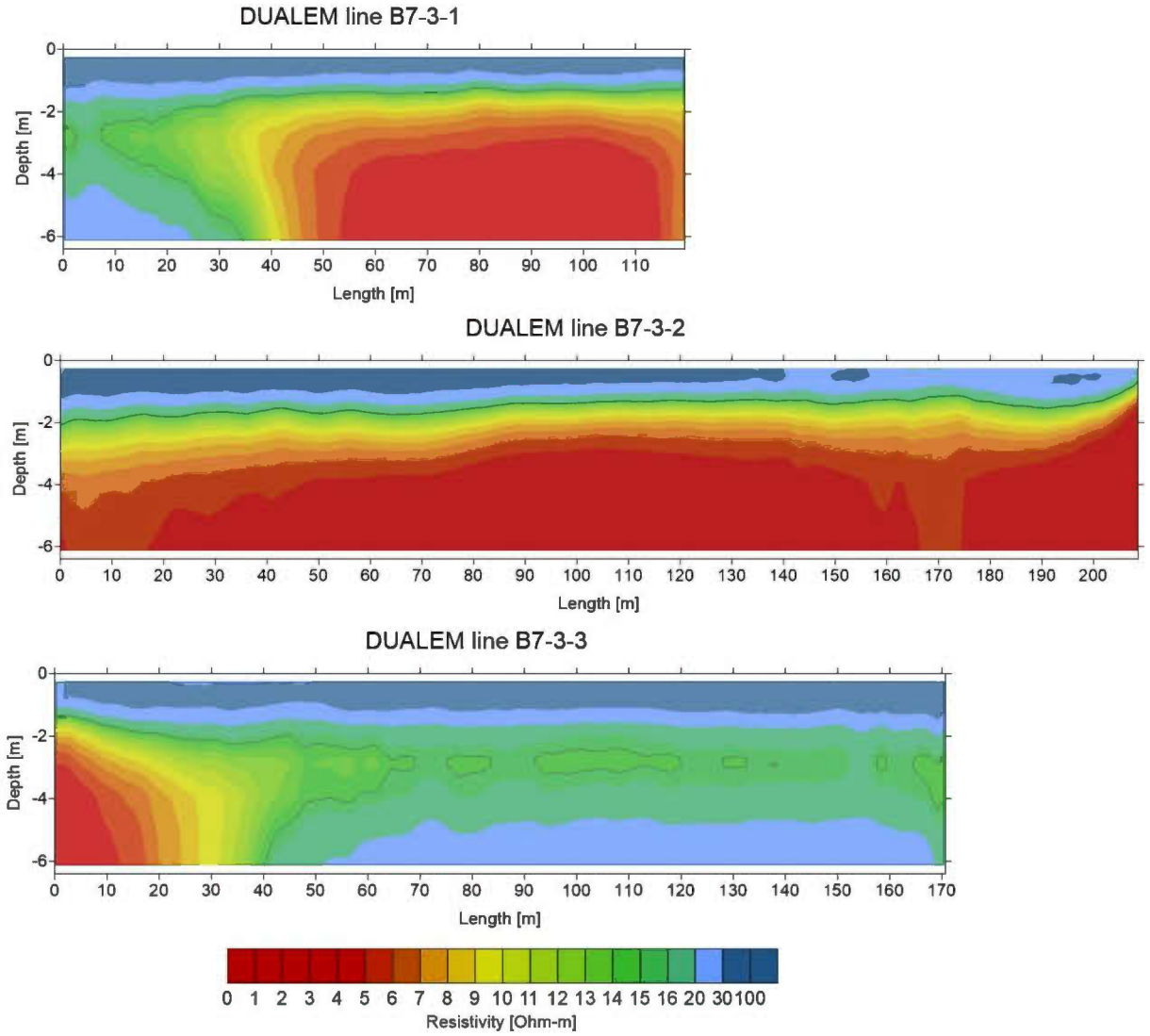
Volgens GeoTop bestaat de bodem op locatie B7-3 tussen 1 en 2 m onder maaiveld uit zavel, daaronder bevindt zich zand tot 5 m diepte (Figuur 8). De drainage watert af op het oosten. In totaal zijn er drie profielen gelopen, waarvan er twee haaks op de drains liggen (B7-3-2 en B7-3-3).

In de metingen is de gelaagdheid van de bodem terug te zien (Figuur 22). Het lijkt er alleen op dat - in tegenstelling tot de verwachtingen n.a.v. de GeoTop data en bodemclustering - de zand laag pas dieper begint. In de profielen B7-3-1 en B7-3-3 is namelijk te zien dat de overgang van een wat lagere weerstand (zavel) naar een hogere weerstand van 20-30 Ohm m (zand), op circa 4.5 m diepte ligt. De diepere ligging van het zand is ook terug te zien in de boorstaat van deze locatie (Antea, maart 2023). De hoge weerstand van 20-30 Ohm m op 5-6 m diepte geeft aan dat het grondwater hier waarschijnlijk zoet tot lichtbrak is. Dit is echter alleen het geval op de zuidoostkant van het perceel. De westkant van het perceel wordt gekenmerkt door een veel lagere weerstand. Tegen de zuidelijke waterloop aan, komt het zout omhoog tot



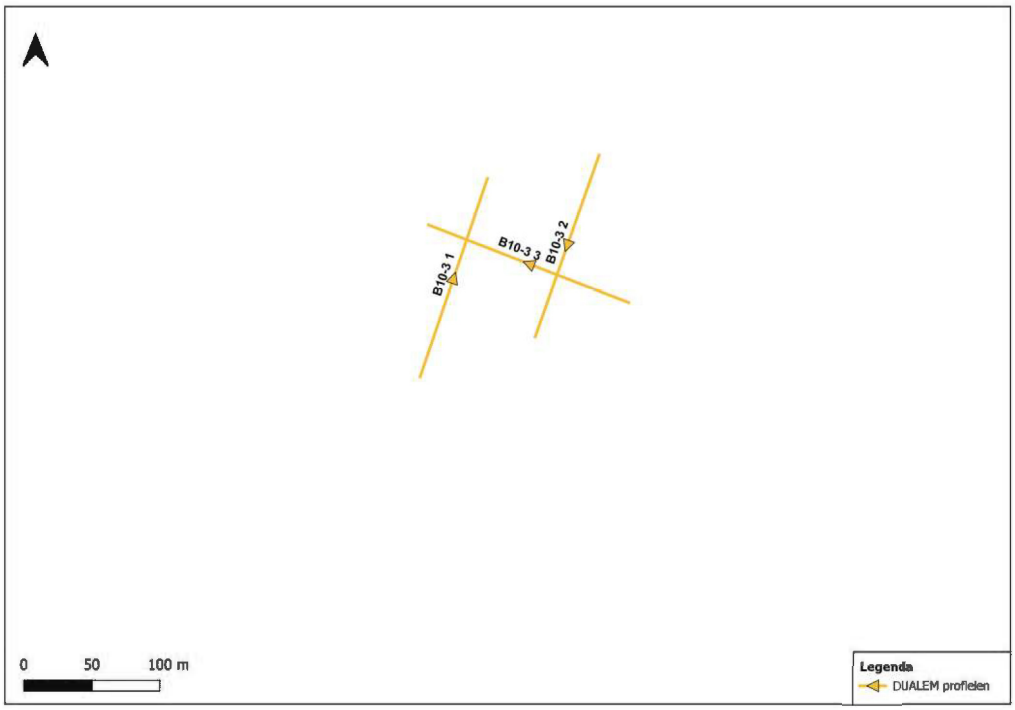
Figuur 24. Boorstaat van locatie B7-3 (Antea, april 2023).

grofweg 1.5m beneden maaiveld. Op de rest van het perceel wordt geschat dat het zoet-zout grensvlak zich op zo'n 2.5 tot 3 m diepte bevindt.



Figuur 25. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B7-3.

B10-3

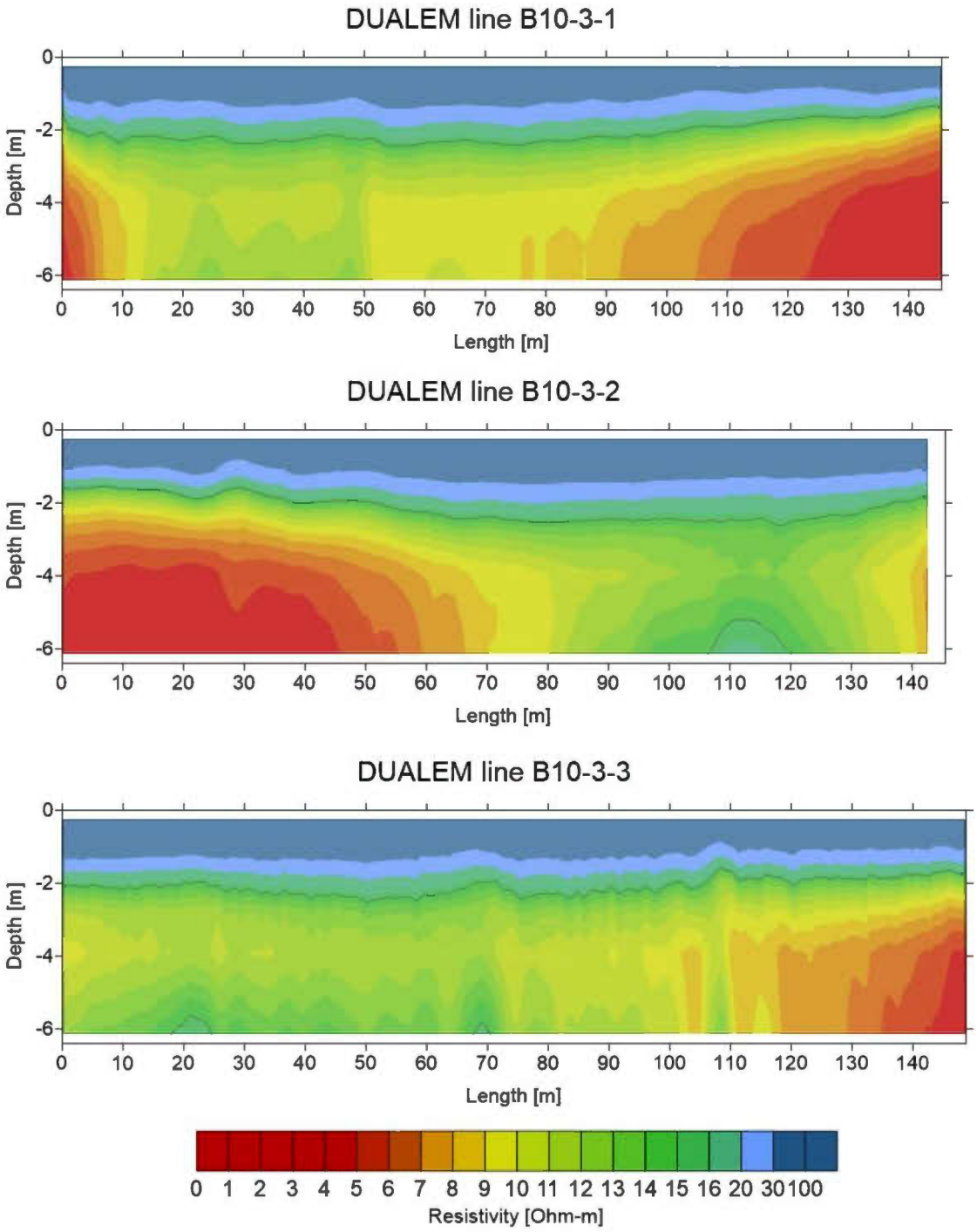


Figuur 26. Meetlocaties voor cluster B10-3. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

De bodem op locatie B10-3 bestaat voornamelijk uit zand (Figuur 8) en de drainage loopt in oostelijke richting. Twee van de drie profielen zijn dus loodrecht op de drainagemiddelen uitgevoerd: B10-3-1 en B10-3-2. Figuur 24 toont de resultaten van de DUALEM-metingen.

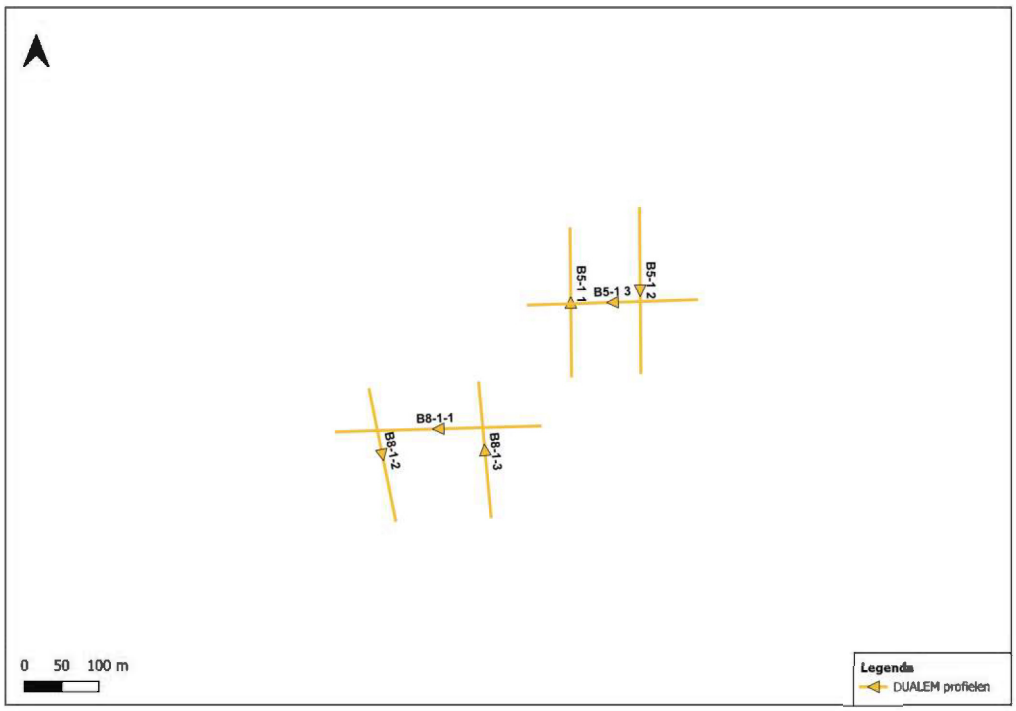
In het noordwestelijke deel van het perceel reikt het zout naar schatting tot een diepte van 2,5 m onder het maaiveld. Vervolgens zakt het zoutgehalte na ongeveer 40 m richting het zuidoosten tot ongeveer 3-4 m onder het maaiveld (B10-3-3). Het zuidelijke deel van het perceel vertoont over het algemeen een iets hogere weerstand en bevat waarschijnlijk zoet tot licht brak grondwater. Een uitzondering hierop is het gebied direct grenzend aan de zuidelijke waterloop, waar het zout weer dichter bij het oppervlak komt.

Op het meest noordelijke gedeelte van het perceel lijkt het zoet-zoutgrensvlak zich te bevinden op een diepte van ongeveer 2,5-3 m. De peilbuizen zijn geplaatst rond de kruising van profiel B10-3-1 en B10-3-3. De uitgevoerde EC-metingen op de locaties van de peilbuizen (Antea, april 2023) bevestigen inderdaad dat het zoet-zoutgrensvlak op dit deel van het perceel rond een diepte van 3-4 m ligt; op ±2,5 m diepte is een EC-waarde van 1,9 mS/cm gemeten, terwijl de EC-waarde op een diepte van ±5,5 m 18 mS/cm bedraagt.



Figuur 27. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B10-3.

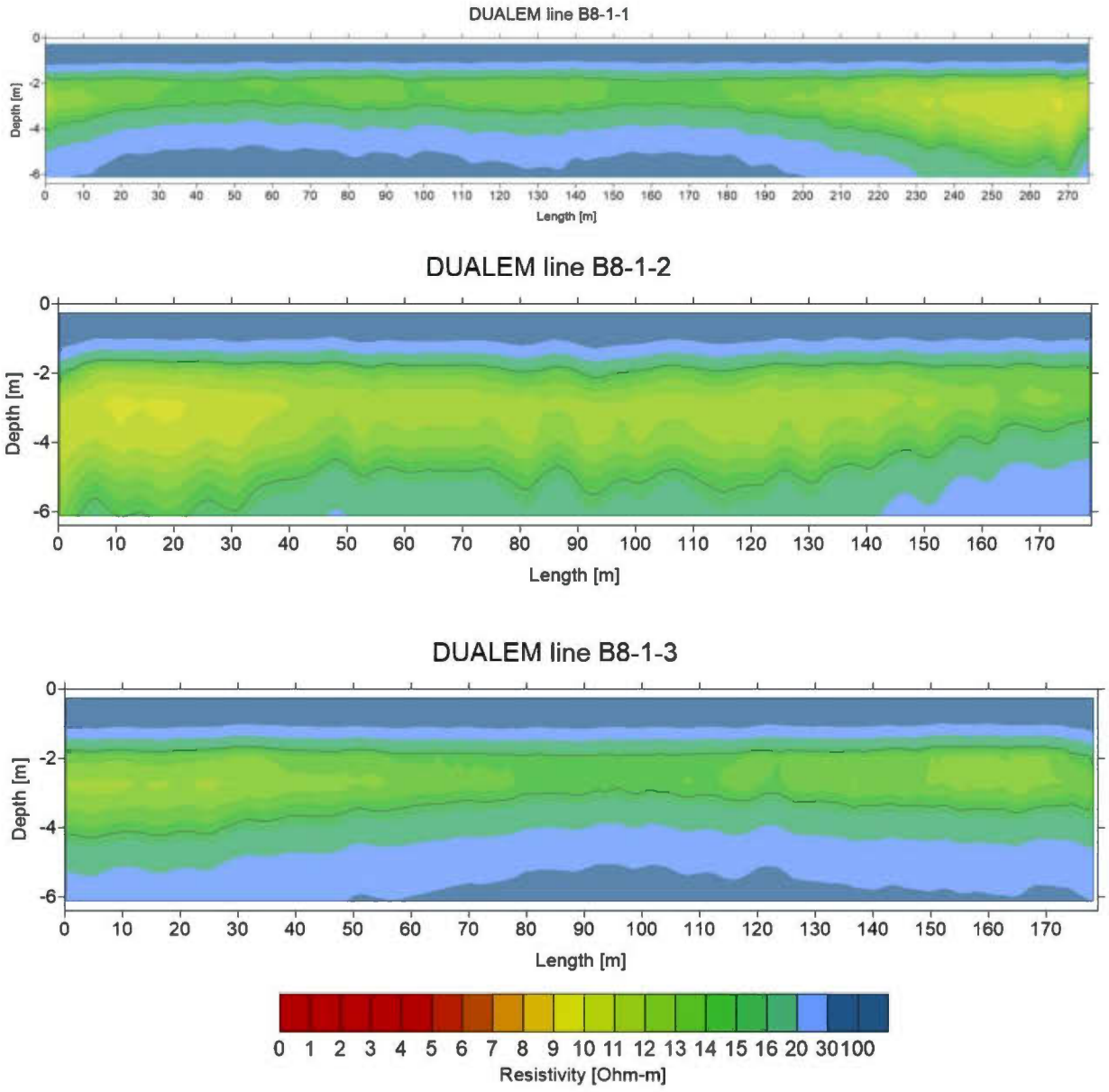
B8-1



Figuur 28. Meetlocaties voor clusters B8-1 en B5-1. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

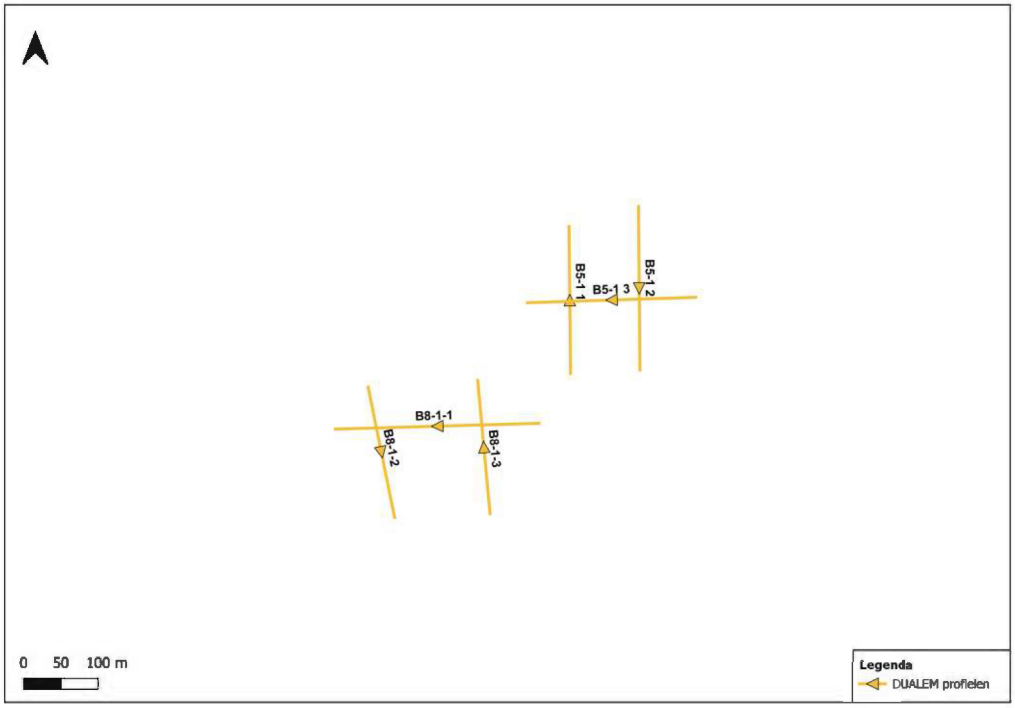
Volgens de GeoTop data bestaat de bodem op locatie B8-1 uit een gelaagd zand-zavel profiel (Figuur 8). Het perceel watert af richting het westen, wat betekent dat de profielen B8-1-2 en B8-1-3 haaks op de drainage zijn gelopen.

Over het algemeen is de gemeten weerstand vrij hoog, met op sommige plekken een weerstand >30 Ohm m op 6 m diepte. Dit betekent dat het zeer waarschijnlijk is dat zich op deze locatie een zoetwater zone bevindt van ten minste 6 m. Verder is de zavel laag duidelijk terug te zien in de metingen: de lagere weerstand variërend tussen de ±2 en 5 m diepte duidt op een laag met een hoger kleigehalte. Aan de west kant van het perceel lijkt de zavel laag dikker dan verwacht n.a.v. de GeoTop data en de bodemclustering.



Figuur 29. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B8-1.

B5-1



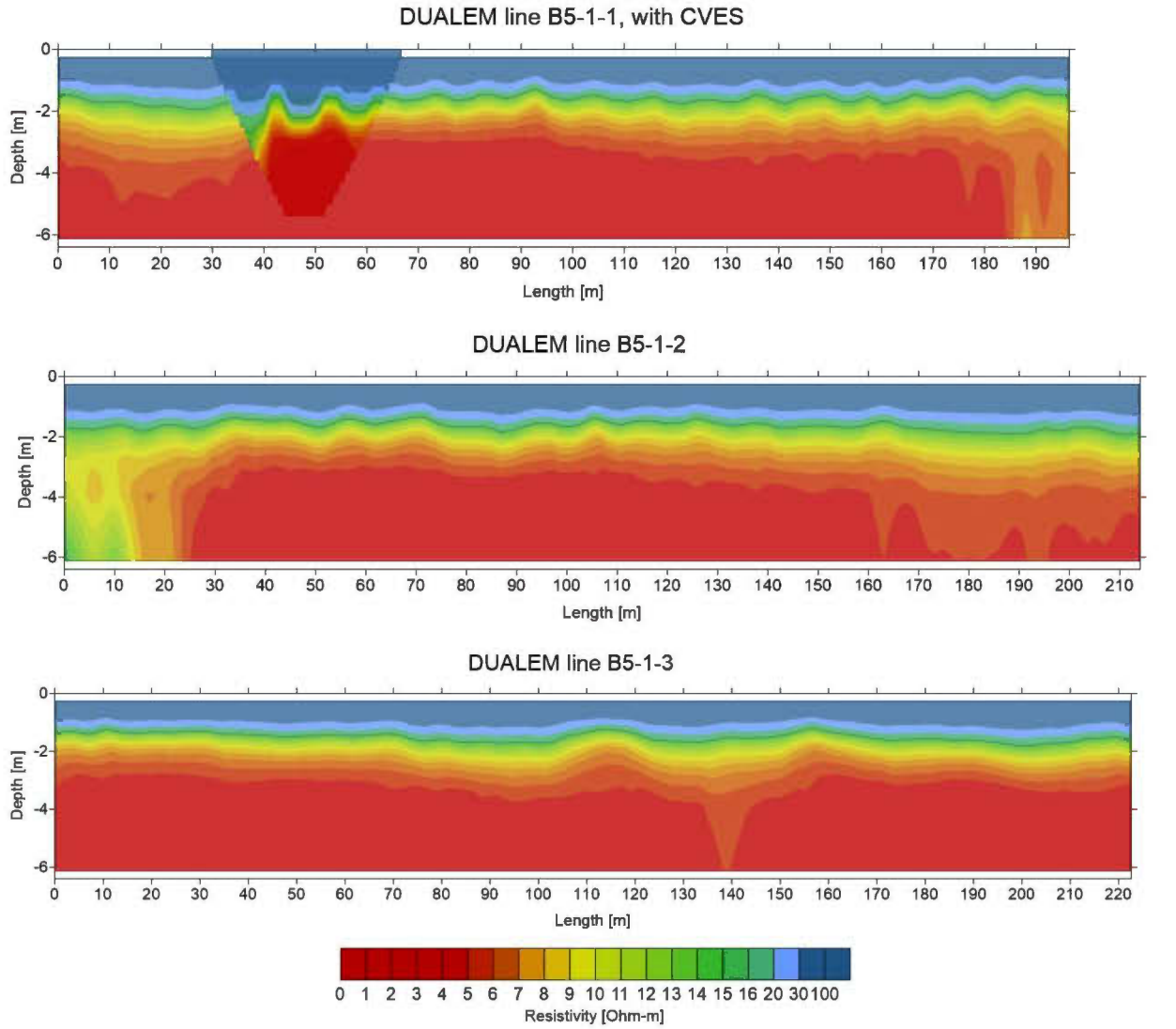
Figuur 30. Meetlocaties voor clusters B8-1 en B5-1. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

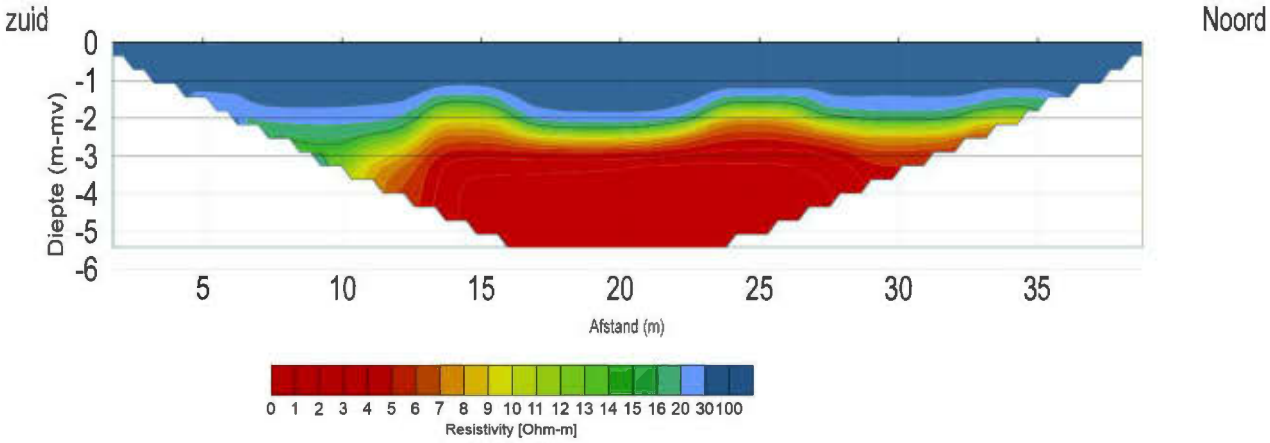
Volgens GeoTop en de bodemclustering bestaat de bodem op locatie B5-1 tot 5m diepte uit zand (Figuur 8). De drainage op dit perceel ligt in noordoostelijke richting; de profielen B5-1-1 en B5-1-2 zijn dus haaks op de drainage gelopen. De resultaten van de DUALEM metingen tonen aan dat de weerstand op dit perceel laag is (Figuur 28), ondanks de zandige ondergrond. Dit betekent dat we op deze locatie te maken hebben met brak grondwater. Ook de ligging van de drainage is duidelijk terug te zien in de metingen. Op de plekken van de drainagemiddelen wordt het zout omhoog getrokken, wat leidt tot de vorming van duidelijke bolle neerslaglenzen. Het grensvlak wordt geschat op een diepte tussen de 1.5-2.5 m.

Ondanks de toekenning aan een lage kwel klasse, laten de metingen zien dat er hier wel degelijk een kwelflux aanwezig is. De metingen van de actuele grondwaterstand en stijghoogte van de ondiepe en diepe peilbuis bevestigen dit. In de freatische peilbuis werd namelijk een grondwater stand van 1.38 m beneden maaiveld gemeten, terwijl in de diepere peilbuis een stijghoogte van 1.32 m onder maaiveld werd gemeten (Antea, april 2023). Het stijghoogte verschil van 6 cm toont aan dat er een kwelflux aanwezig is, die zorgt voor de vorming van de neerslaglenzen.

Om de neerslaglenzen nog gedetailleerder in kaart te brengen is een extra CVES meting uitgevoerd. De resultaten van de CVES meting zijn te zien in Figuur 29. Ook in de resultaten van de CVES meting is duidelijk de ligging van de (oude) drainage zichtbaar. Ook hier is te zien dat het grensvlak zich tussen de 1.5 en 2.5 m diepte bevindt, en dat het zout bij de drains omhoog wordt getrokken.

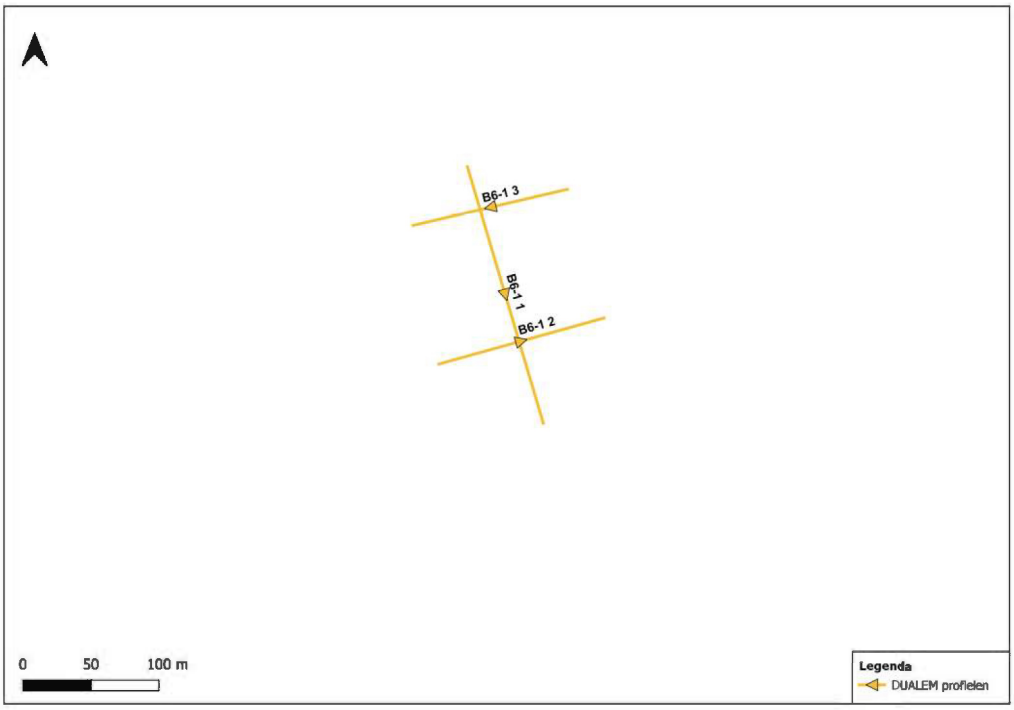
Figuur 31. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B5-1.





Figuur 32. Resultaten van de CVES meting van cluster B5-1.

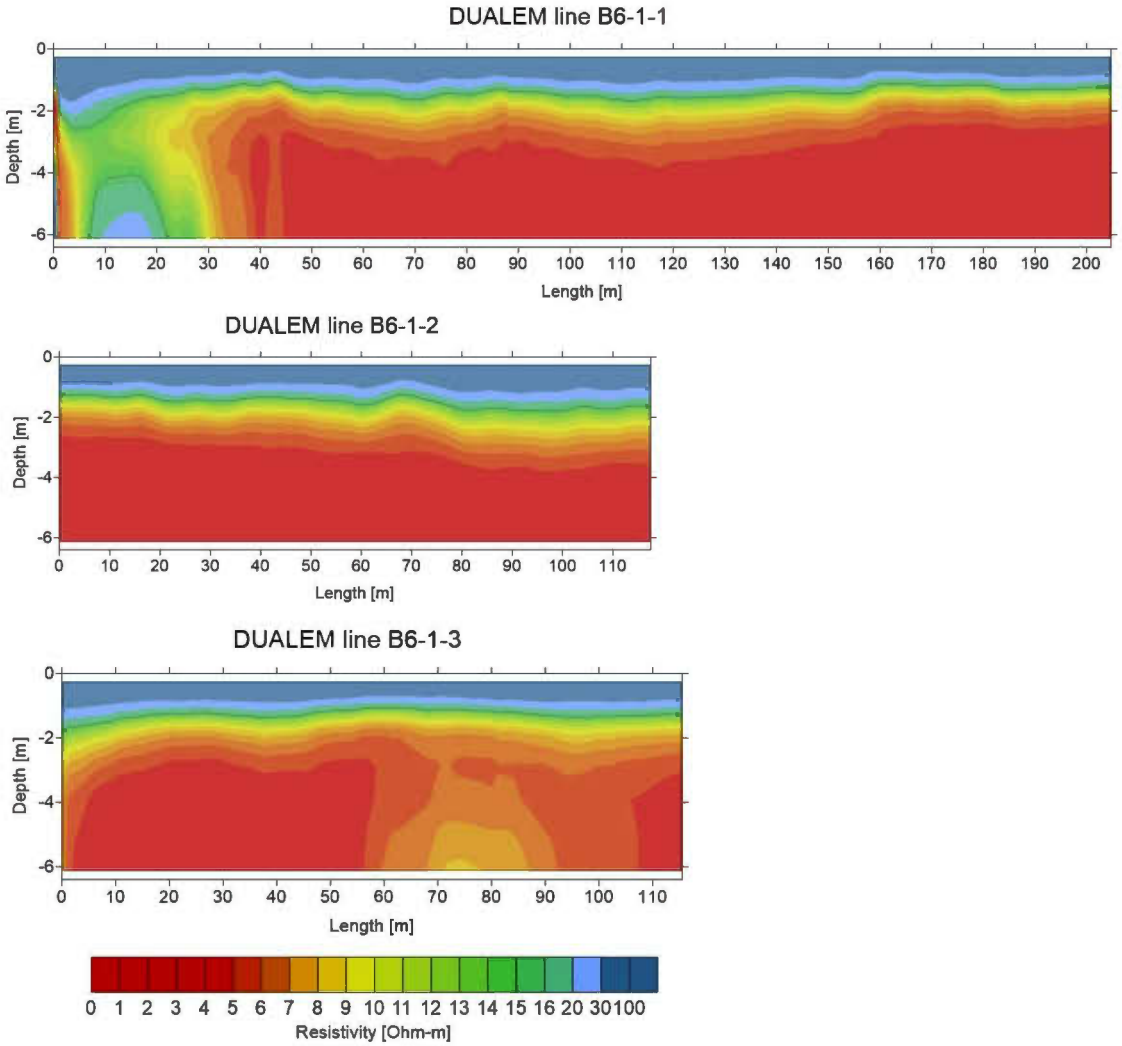
B6-1



Figuur 33. Meetlocaties voor cluster B6-1. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

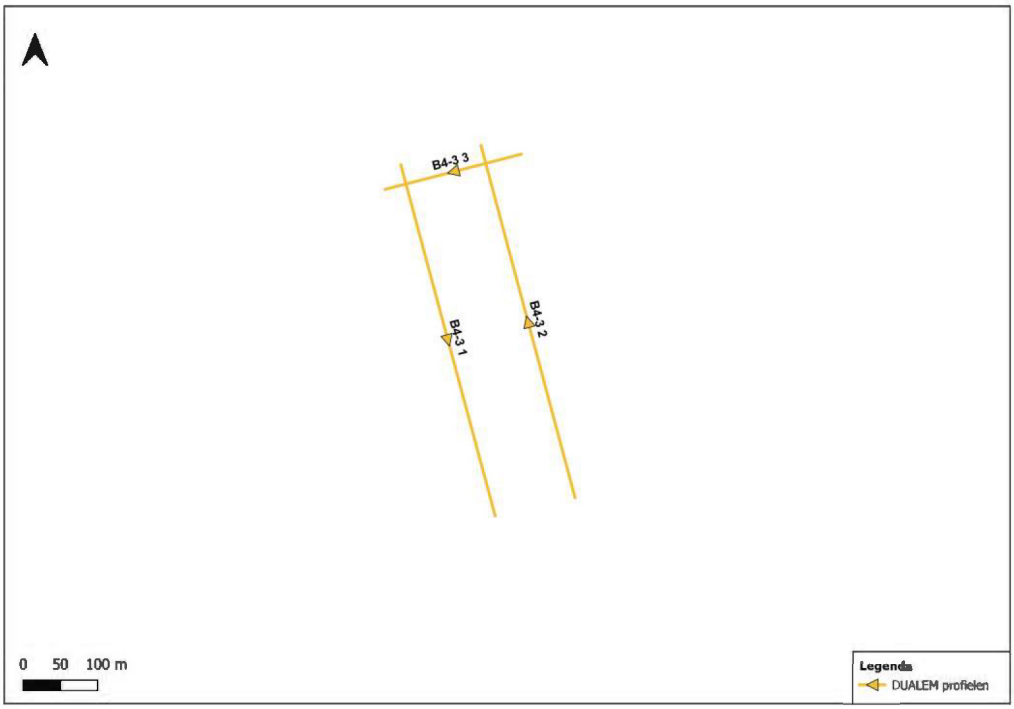
Op locatie B6-1 ligt de drainage in zuidelijke richting en bestaat de bodem, volgens de clustering, uit een gelaagd zand-zavel profiel. De DUALEM metingen B6-1-2 en B6-1-3 zijn haaks op de drains uitgevoerd. Ondanks de verwachtte lage kwelflux o.b.v. de kwelkaarten, laten de lage weerstanden van de metingen (<5 Ohm m) zien dat het zoet-zout grensvlak toch ondiep zit. De diepte van het grensvlak wordt voor het grootste deel van het perceel geschat op 1.5 tot 2 m. De gemeten EC van 8.4 mS/cm op 2.5 m diepte bevestigt dit beeld (Antea, april 2023). Ook de gemeten grondwaterstand en stijghoogte van de ondiepe en diepe peilbuis laten de aanwezigheid van een kwelflux zien. In de freatische peilbuis werd namelijk een grondwater stand van 1.49 m beneden maaiveld gemeten, terwijl in de diepere peilbuis een stijghoogte van 1.20 m onder maaiveld werd gemeten (Antea, april 2023). Het stijghoogte verschil van 29 cm toont aan dat er een kwelflux aanwezig is.

Helemaal in het noorden neemt de weerstand echter sterk toe: tot 20-30 Ohm m op 6 m diepte. Op dit deel is in de metingen ook de zavel laag tussen ca. 2.5 – 4.5 m te herkennen. De toename in weerstand op dit segment wijst zeer waarschijnlijk op de aanwezigheid van lichtbrak tot zoet grondwater tot 6m diepte.



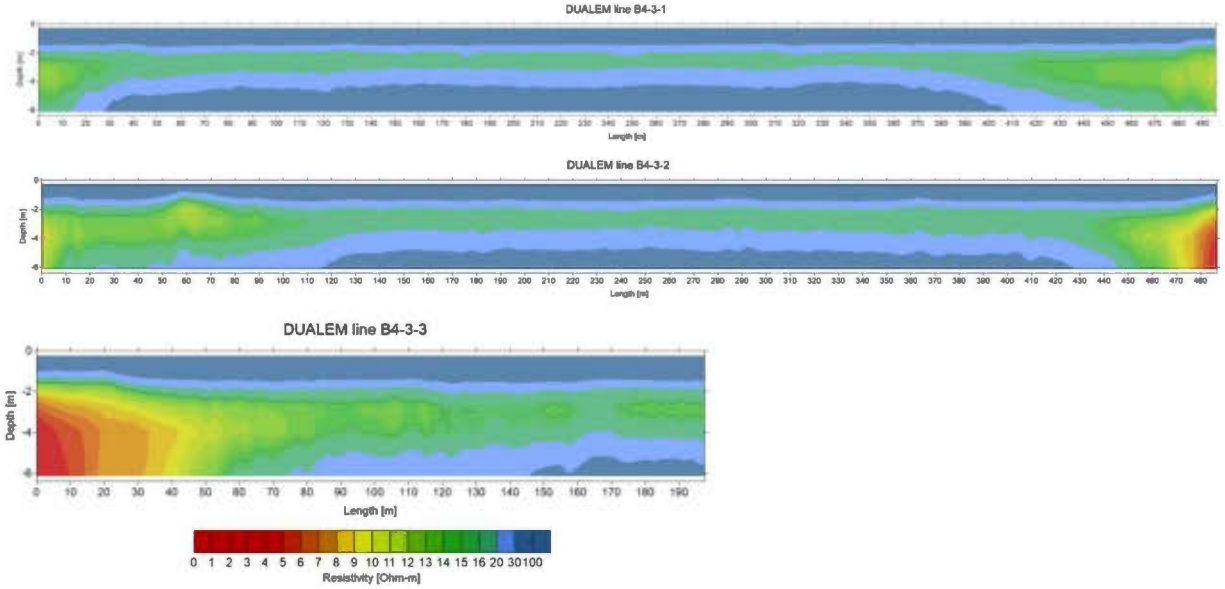
Figuur 34. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B6-1.

B4-1 en B4-3



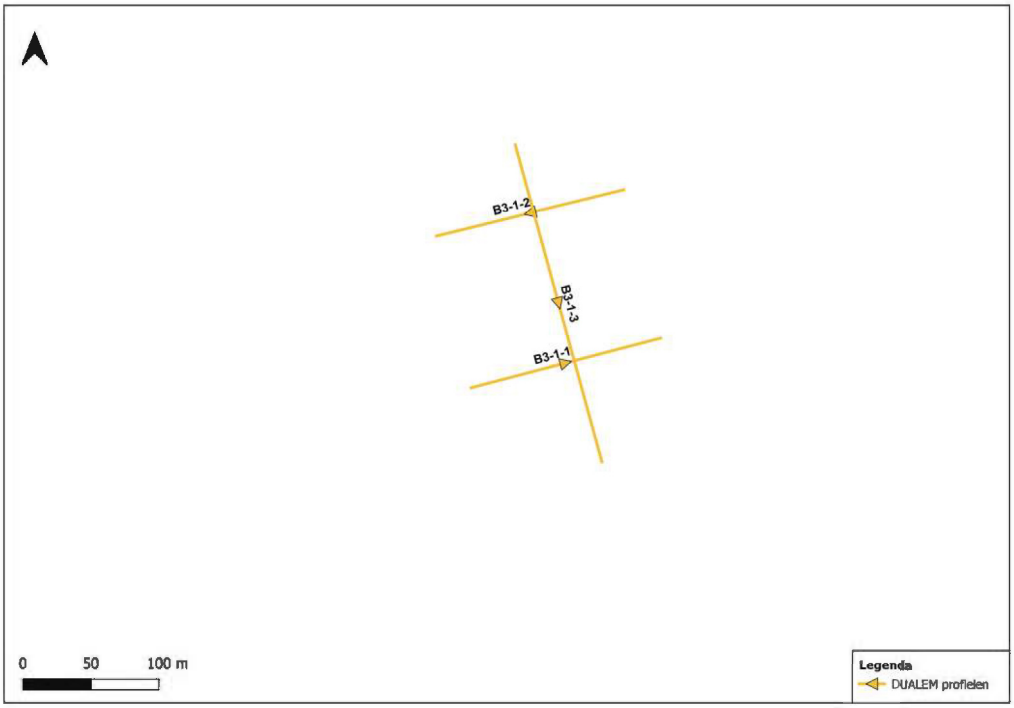
Figuur 35. Meetlocaties voor cluster B4-3. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

De bodem op locatie B4-3-1 is heterogeen en bestaat uit zowel klei, zavel als zand. De drainage op het perceel loopt in westelijke richting; de profielen B4-3-1 en B4-3-2 zijn dus haaks op de drainage gelopen. Ondanks de verwachte hoge kwelflux, zijn over het algemeen de gemeten weerstanden hoog. Dit betekent dat zich hier hoogstwaarschijnlijk een zoetwaterzone bevindt van minstens 6 m dik. De gemeten EC van 1.2 mS/cm op 5.5 m diepte (Antea, april 2023) laat zien dat dit inderdaad het geval is. De gelaagdheid van de bodem is terug te zien in de metingen met een lagere weerstandslaag tussen de 2 m en 4.5 m diepte. De metingen laten zien dat het zout wel omhoog komt in de noordoostelijke hoek van het perceel.



Figuur 36. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B4-3.

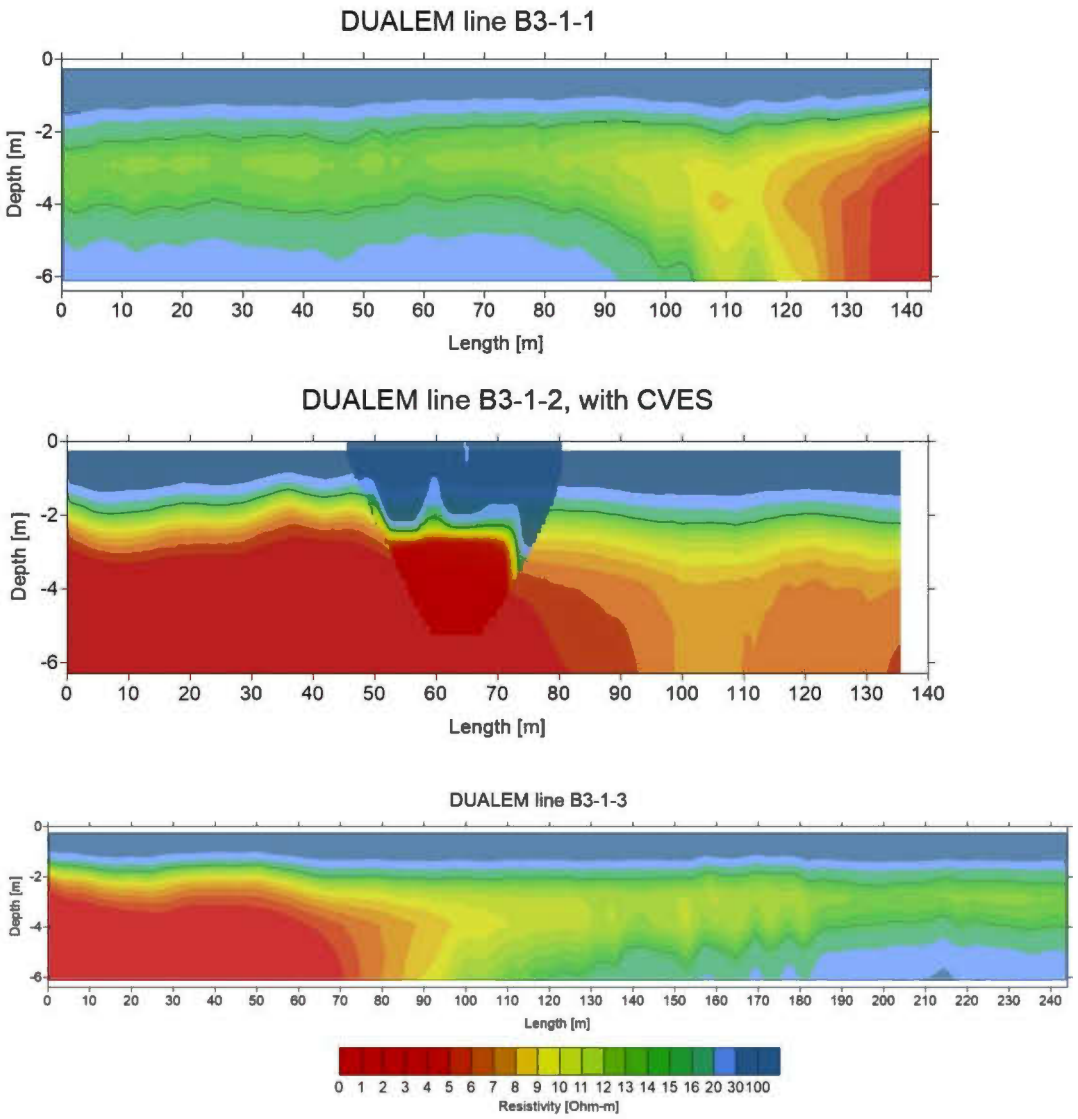
B3-1



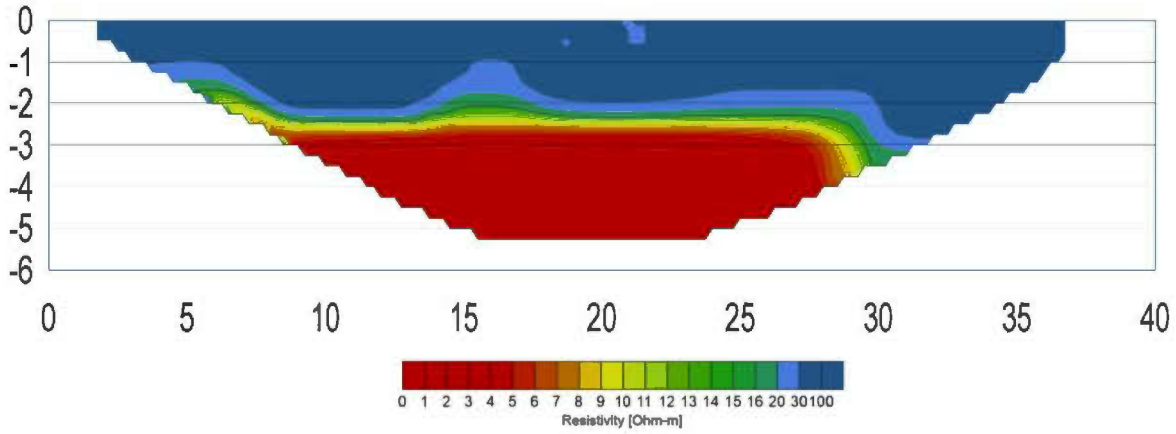
Figuur 37. Meetlocaties voor cluster B3-1. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

Volgens de clustering heeft de bodem op locatie B3-1 een zandig karakter. De drainage op het perceel loopt in zuidelijke richting. Profiel B3-1-3 is parallel aan de drainage gelopen, terwijl de profielen B3-1-1 en B3-1-2 haaks op de drains zijn gelopen. De resultaten van de DUALEM metingen worden weergegeven in Figuur 33. De metingen tonen grote variaties in weerstand binnen het perceel. De noordkant van het perceel laat een veel lagere weerstand zien vergeleken met de zuidkant van het perceel. Ook laat de oostelijke kant van het perceel een sterke afname in weerstand zien; veroorzaakt door de invloed van de oostelijk gelegen - naar verwachting brakke - waterloop. De diepte van het zoet-zout grensvlak wordt aan de noordkant van het perceel geschat op ca. 2-3 m. In zuidelijke richting zakt het zout verder weg en neemt het zoutgehalte van het grondwater vermoedelijk af. Aan de zuidkant van het perceel neemt de weerstand toe tot meer dan 20 Ohm m op 5-6 m diepte, wat betekent dat het zoet-zout grensvlak buiten meetbereik ligt en zich hier een zoetwaterzone bevindt.

Ongeveer halverwege profiel B3-1-2 is ook een CVES meting uitgevoerd om een gedetailleerder beeld te krijgen van de ligging van het zoet-zout grensvlak. De resultaten worden weergegeven in Figuur 36. Ook hier is te zien dat er een scherpe overgang in weerstand zit op ca. 2.5 m diepte, wat duidt op de overgang naar brak grondwater. Rond de 6 en 16 m lijkt het zout wat omhoog te komen, mogelijk door de aanwezigheid van de drainage.

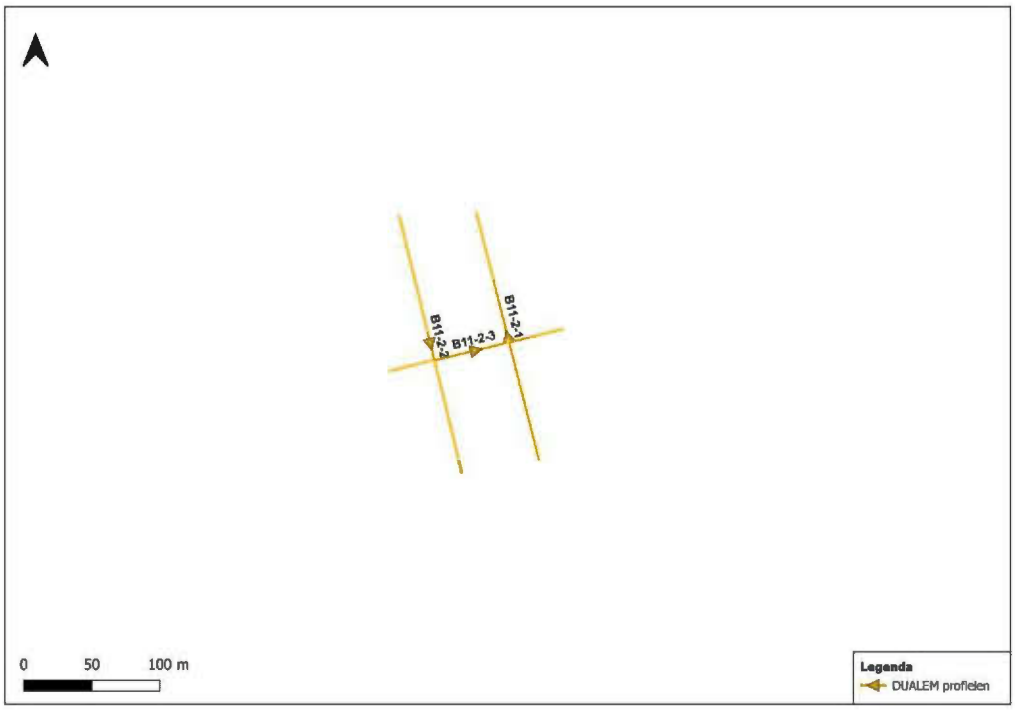


Figuur 38. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B3-1.



Figuur 39. Resultaten van de CVES meting van cluster B3-1.

B11-2



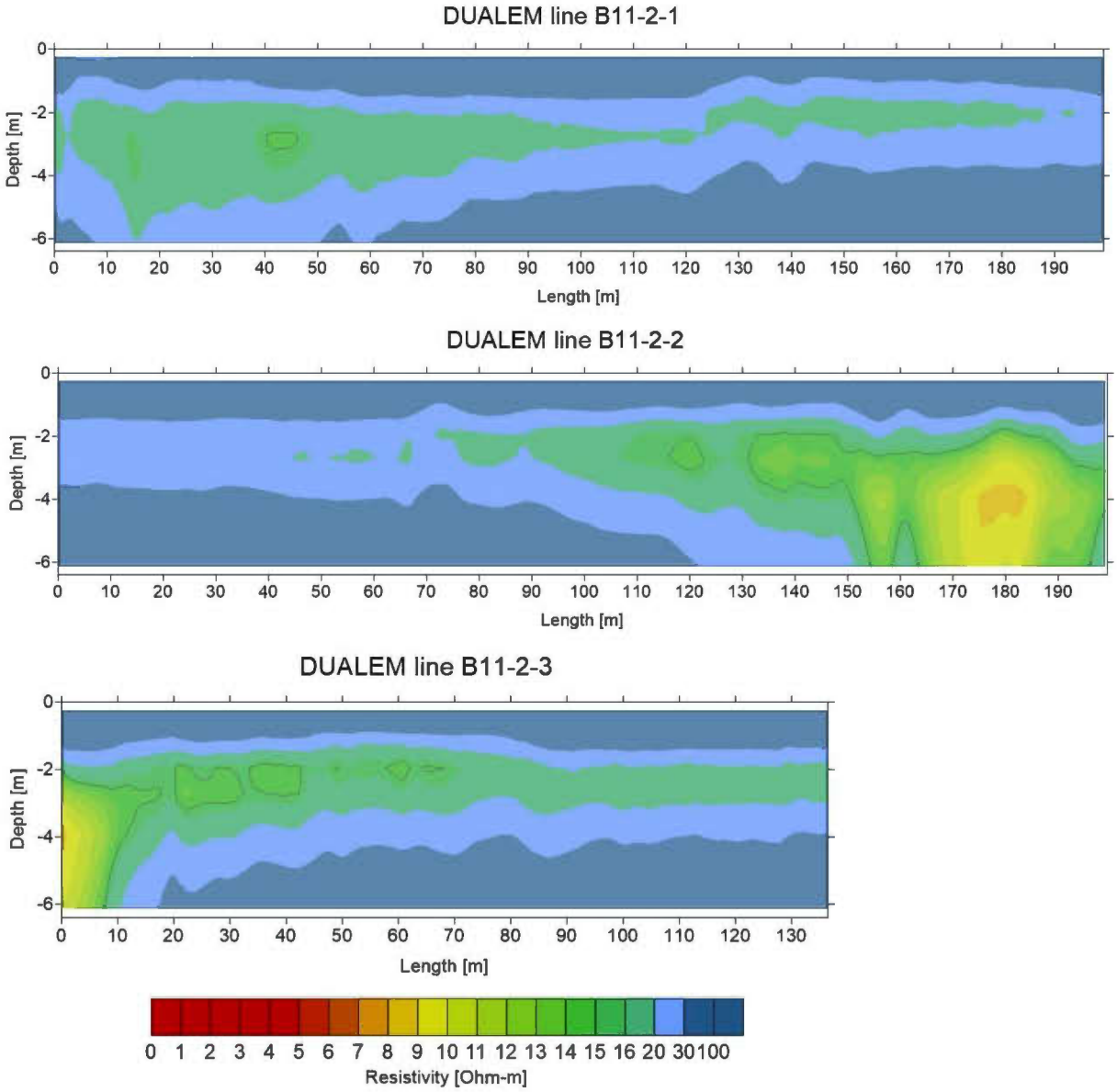
Figuur 40. Meetlocaties voor cluster B11-2. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

Locatie B11-2 is toegewezen aan cluster 11, wat wordt gekenmerkt door een zandige bodem met een dunne laag zavel op een diepte van 2 meter. De resultaten van de drie DUALEM-profielen worden weergegeven in Figuur 35.

Bij alle drie de DUALEM-profielen zijn er hoge weerstanden gemeten. Op veel plekken op het perceel is de gemeten weerstand op een diepte van 6 meter groter dan 30 Ohm m. Dit geeft aan dat het grondwater op deze locatie, ongeacht het bodemtype, zoet is. Dit

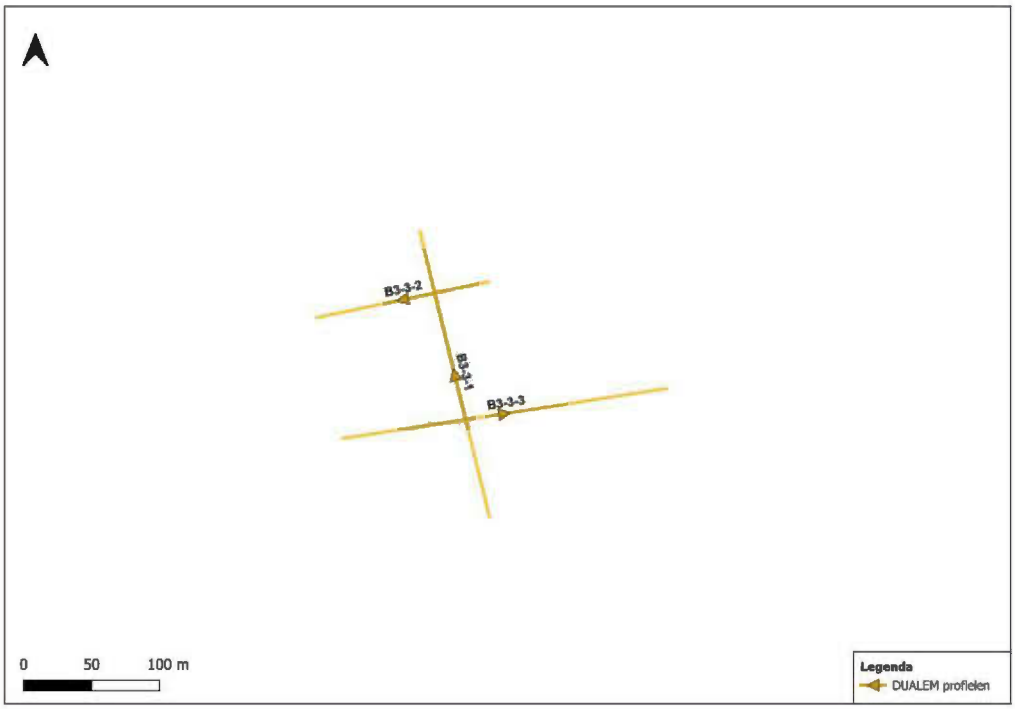
komt overeen met de gemeten elektrische geleidbaarheid (EC) van 3 mS/cm op een diepte van 5,5 meter op deze locatie (Antea, april 2023).

In de zuidwestelijke hoek van het perceel neemt de weerstand iets af. Dit kan worden veroorzaakt door een toename in het klei- of zoutgehalte in dit specifieke deel van het perceel. De metingen suggereren dat de zavellaag mogelijk dikker is dan aanvankelijk verwacht op basis van de bodemclassificatie en de GeoTop-gegevens.



Figuur 41. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B11-2.

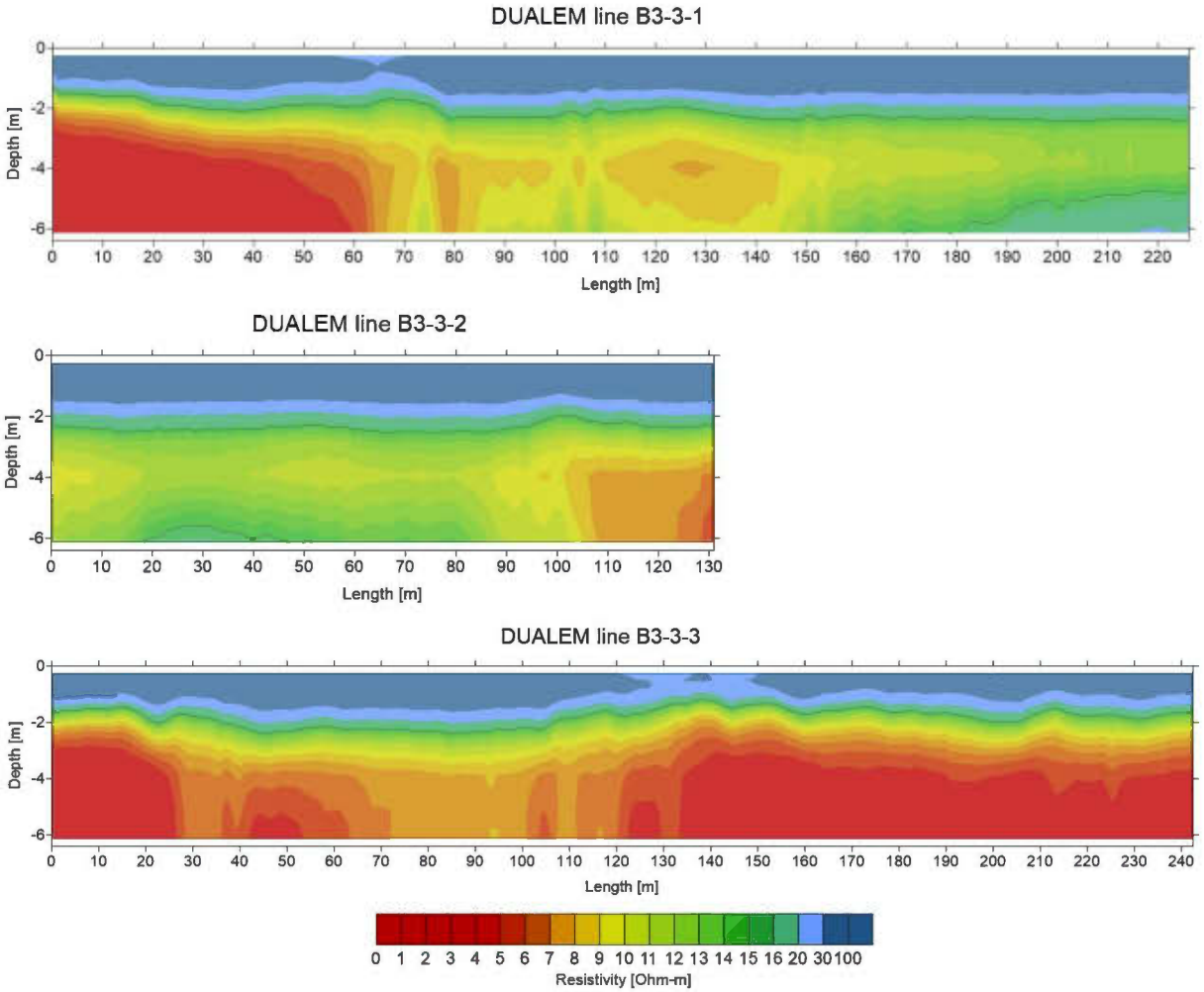
B3-3



Figuur 42. Meetlocaties voor cluster B3-3. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

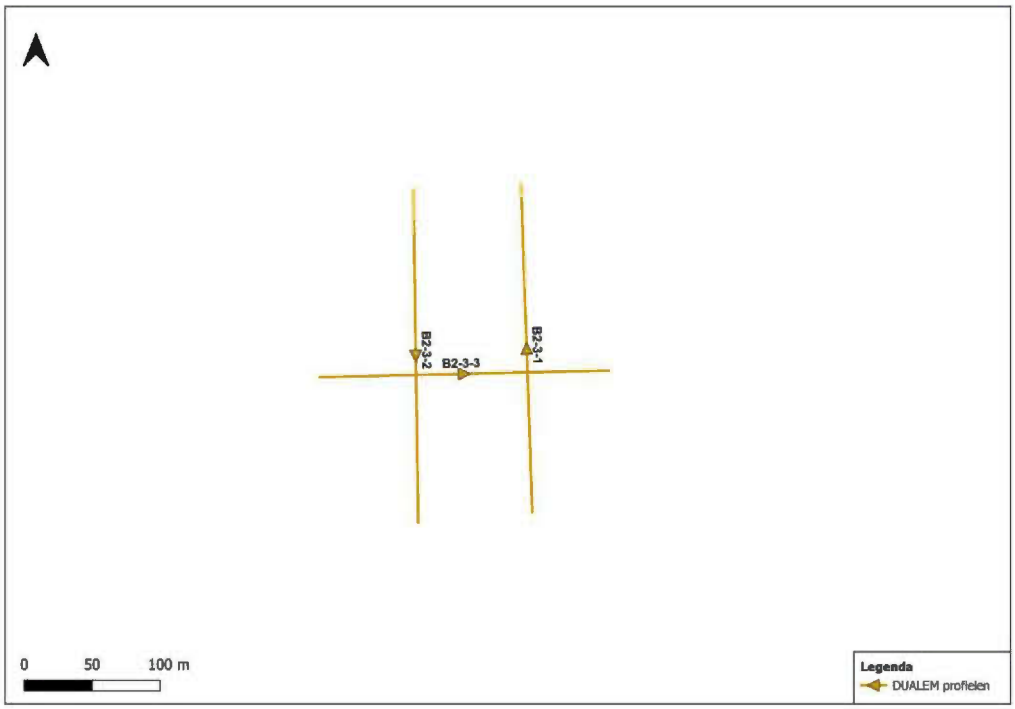
Dit perceel valt onder bodemcluster 3, waarvan het representatieve bodemprofiel bestaat uit zand met een zavellaag op een diepte van 4 meter. De profielen B3-3-2 en B3-3-3 zijn loodrecht op de drainage uitgevoerd, die in zuidelijke richting loopt. De resultaten van de metingen zijn weergegeven in Figuur 34 en laten een duidelijk patroon van weerstandsverandering zien in noord-zuidelijke richting.

Aan de zuidkant van het perceel zijn lage weerstanden gemeten, lager dan 5 Ohm m, wat duidt op de ondiepe ligging van de zoet-zoutgrens. Op het meest zuidelijke punt van het perceel wordt de diepte van het zoet-zoutgrensvlak geschat op 2 meter. Ongeveer 50 meter naar het noorden zakt het grensvlak naar een diepte van 4 meter, waarna het zoutgehalte van het grondwater geleidelijk afneemt en het grondwater licht brak tot zoet wordt. De uitgevoerde EC-metingen (Antea, april 2023) in het grondwater aan de zuidkant van het perceel bevestigen ook de aanwezigheid van zout. Op een diepte van 2 meter en 5,5 meter zijn respectievelijk EC-waarden van 6 mS/cm en 19,6 mS/cm gemeten.



Figuur 43. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B3-3.

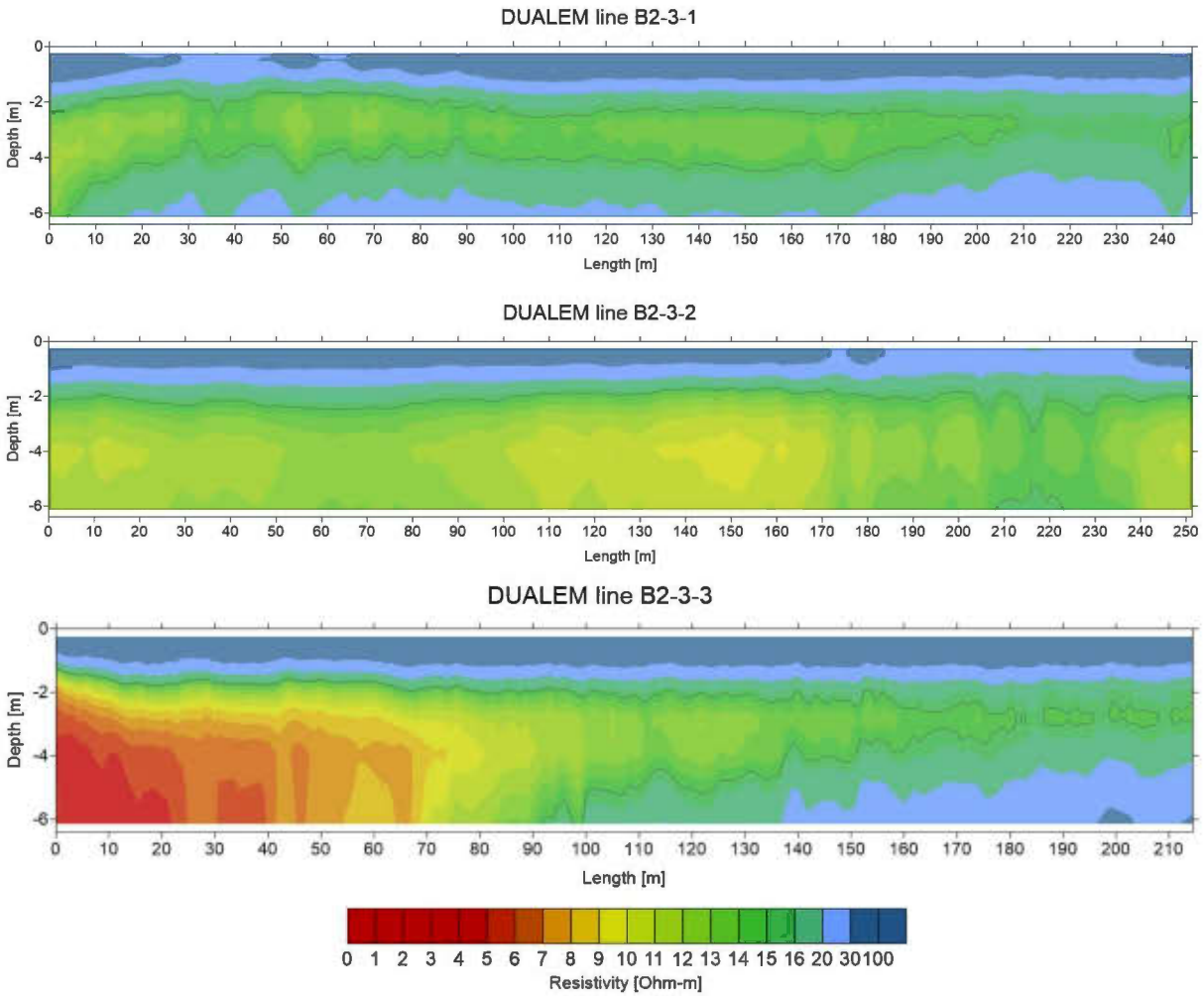
B2-3



Figuur 44. Meetlocaties voor cluster B2-3. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

De bodem op locatie B2-3 valt onder cluster 2 en bestaat uit een zavelige toplaag met daaronder zand, vanaf een diepte van ongeveer 3,5 meter. De drainage loopt naar het zuiden, waardoor profiel B2-3-3 loodrecht op de drains is uitgevoerd. De resultaten van de metingen laten over het algemeen relatief hoge weerstanden zien, met als uitzondering de oostelijke zijde van het perceel (B2-3-3). Hier neemt de weerstand van de diepere lagen af tot onder de 5 Ohm m. Ongeacht het bodemtype, duidt dit op de aanwezigheid van brak grondwater op deze locatie.

Op het meest oostelijke deel van het perceel wordt verwacht dat het zoet-zoutgrensvlak zich op een diepte van ongeveer 2 meter bevindt. Het grondwater op de rest van het perceel is vermoedelijk zoet tot licht brak, wat overeenkomt met de gemeten EC-waarden van respectievelijk 1,5 mS/cm en 1,9 mS/cm op een diepte van 2,5 meter en 5 meter (Antea, april 2023).



Figuur 45. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B2-3.

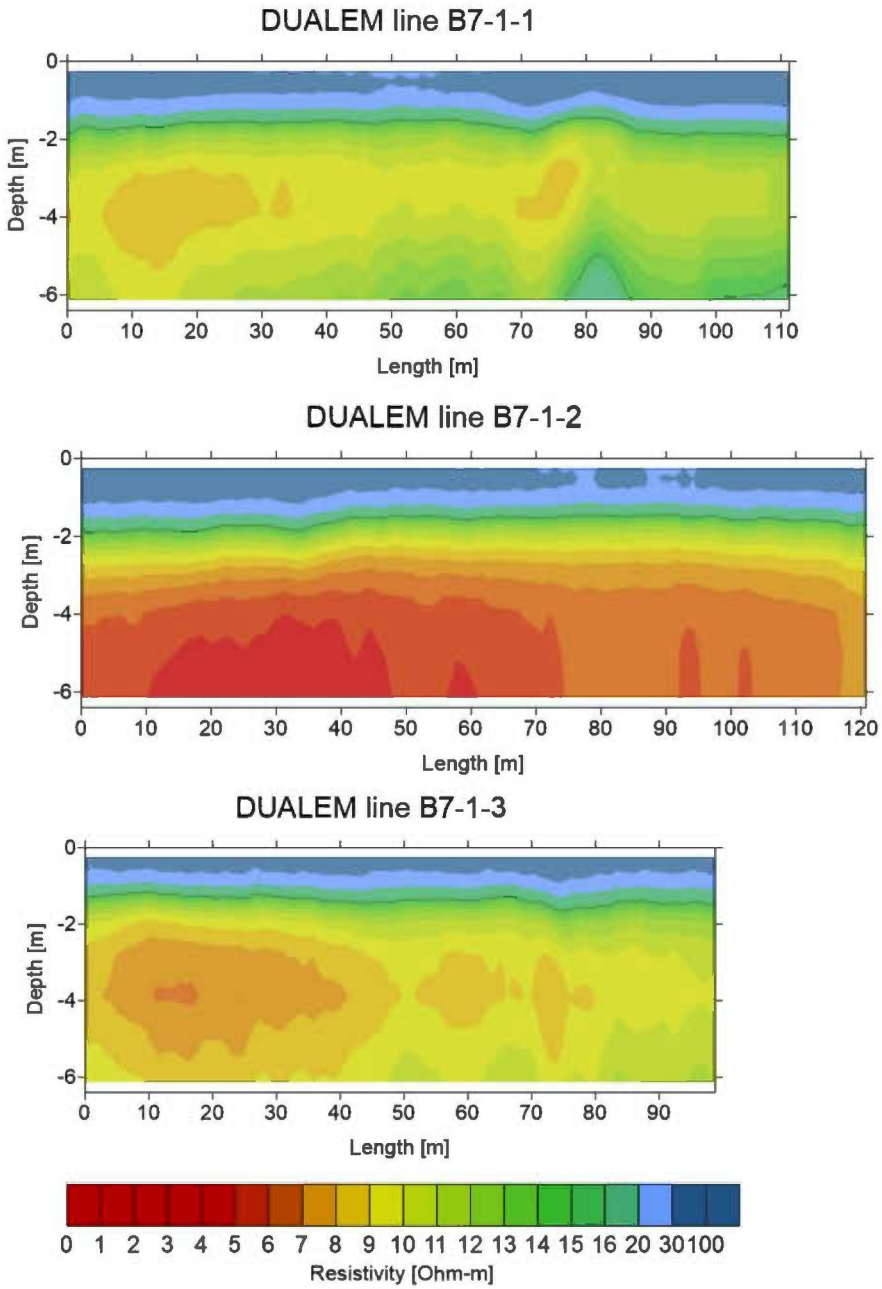
B7-1



Figuur 46. Meetlocaties voor cluster B7-1. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

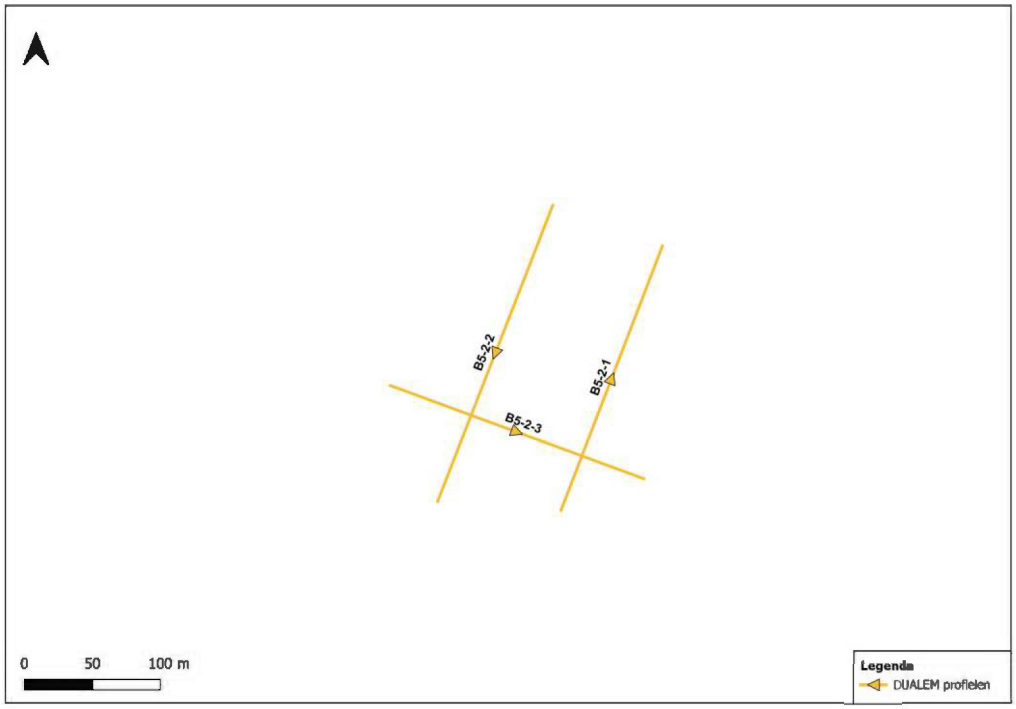
De drainage op locatie B7-1 watert af op het westen. Dit betekent dat de profielen B7-1-1 en B7-1-2 loodrecht op de drainagemiddelen zijn uitgevoerd. Het perceel is toegekend aan bodemcluster 7, wat bestaat uit een zavel-zand profiel, met de overgang naar zand op circa 2m onder maaiveld.

De resultaten worden weergegeven in Figuur 28. Uit de metingen blijkt dat de westzijde van het perceel gekenmerkt wordt door een lagere weerstand ten opzicht van de oostkant. Dit kan worden veroorzaakt door een kleiiger karakter van de bodem óf door een hoger zoutgehalte. Uit de boringen op locatie blijkt dat de diepere bodemlagen inderdaad uit zand bestaan. De gemeten weerstanden lager dan 20 Ohm m, in combinatie met de zandige bodem, duiden op de aanwezigheid van lichtbrak tot brak grondwater. Op de westelijke kant van het perceel is het zoutgehalte vermoedelijk hoger. De diepte van het zoet-zout grensvlak wordt op basis van de metingen geschat op 2-3 m. De uitgevoerde handmetingen van de EC bevestigen de diepte ligging van het grensvlak met gemeten waarden van 1.5 en 7.8 mS/cm op respectievelijke dieptes van 2.5 en 5 m. Deze metingen zijn uitgevoerd net in het verlengde van profiel B7-1-3.



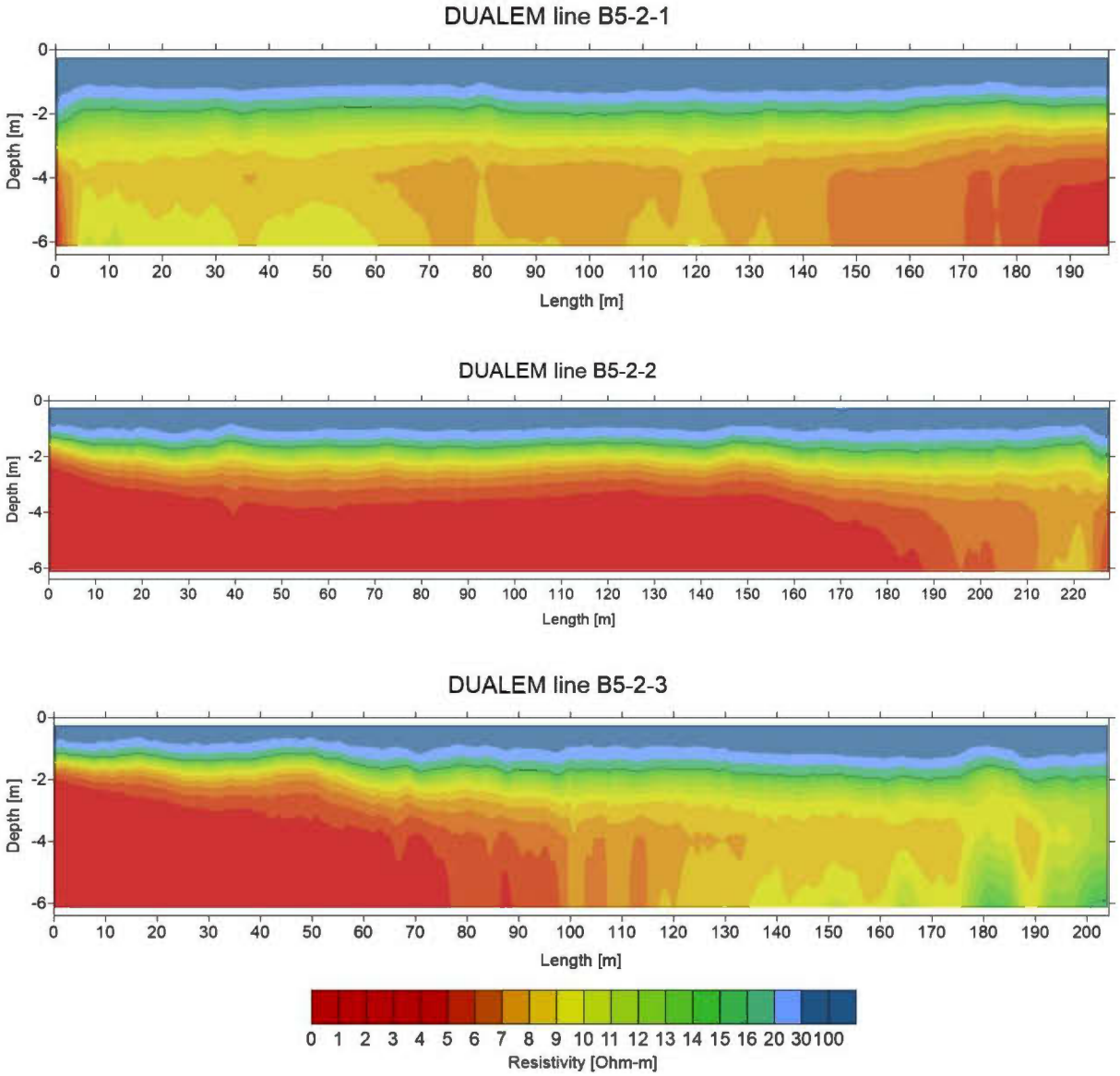
Figuur 47. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B7-1.

B5-2



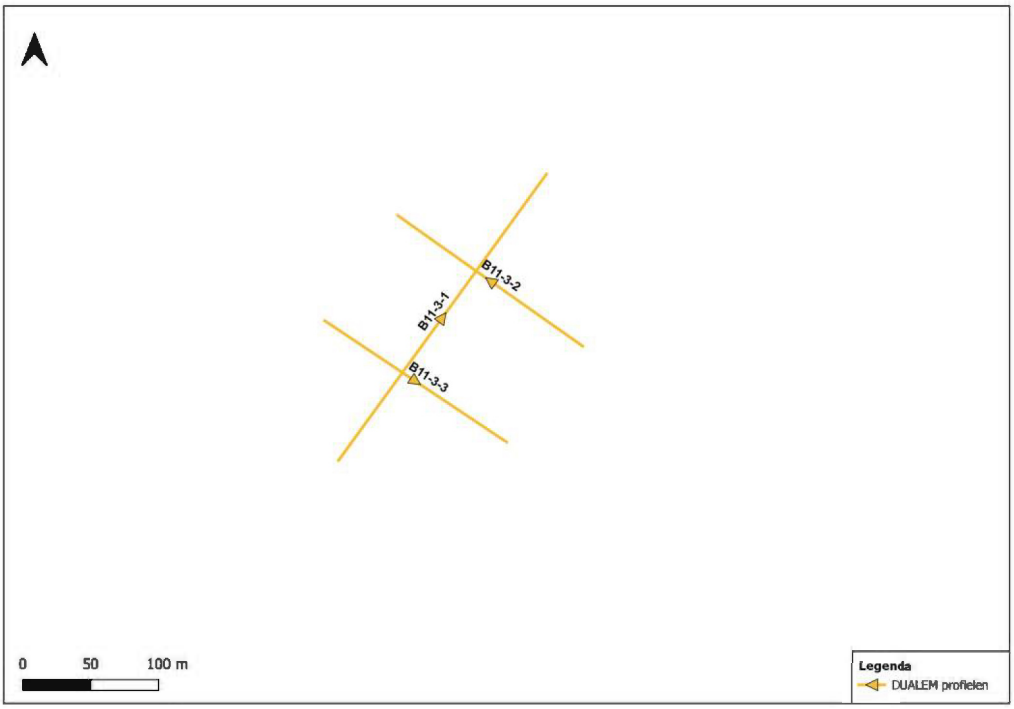
Figuur 48. Meetlocaties voor cluster B5-2. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

Het perceel op locatie B5-2 heeft een homogene en zandige bodem en is daardoor toegewezen aan bodemcluster 5. Ondanks het zandige karakter van de bodem zijn de gemeten weerstanden laag, wat duidt op een ondiepe ligging van het zoet-zoutgrensvlak. Op het noordwestelijke deel van het perceel bevindt het grensvlak zich vermoedelijk al op een diepte tussen de 1.5-2 m. In oostelijke richting zakt het grensvlak iets dieper naar ongeveer 2-2.5 m diepte. Over het algemeen, kan er op basis van de metingen worden geconcludeerd dat het zoet-zoutgrensvlak zich op deze locatie relatief ondiep bevindt.



Figuur 49. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B5-2.

B11-3

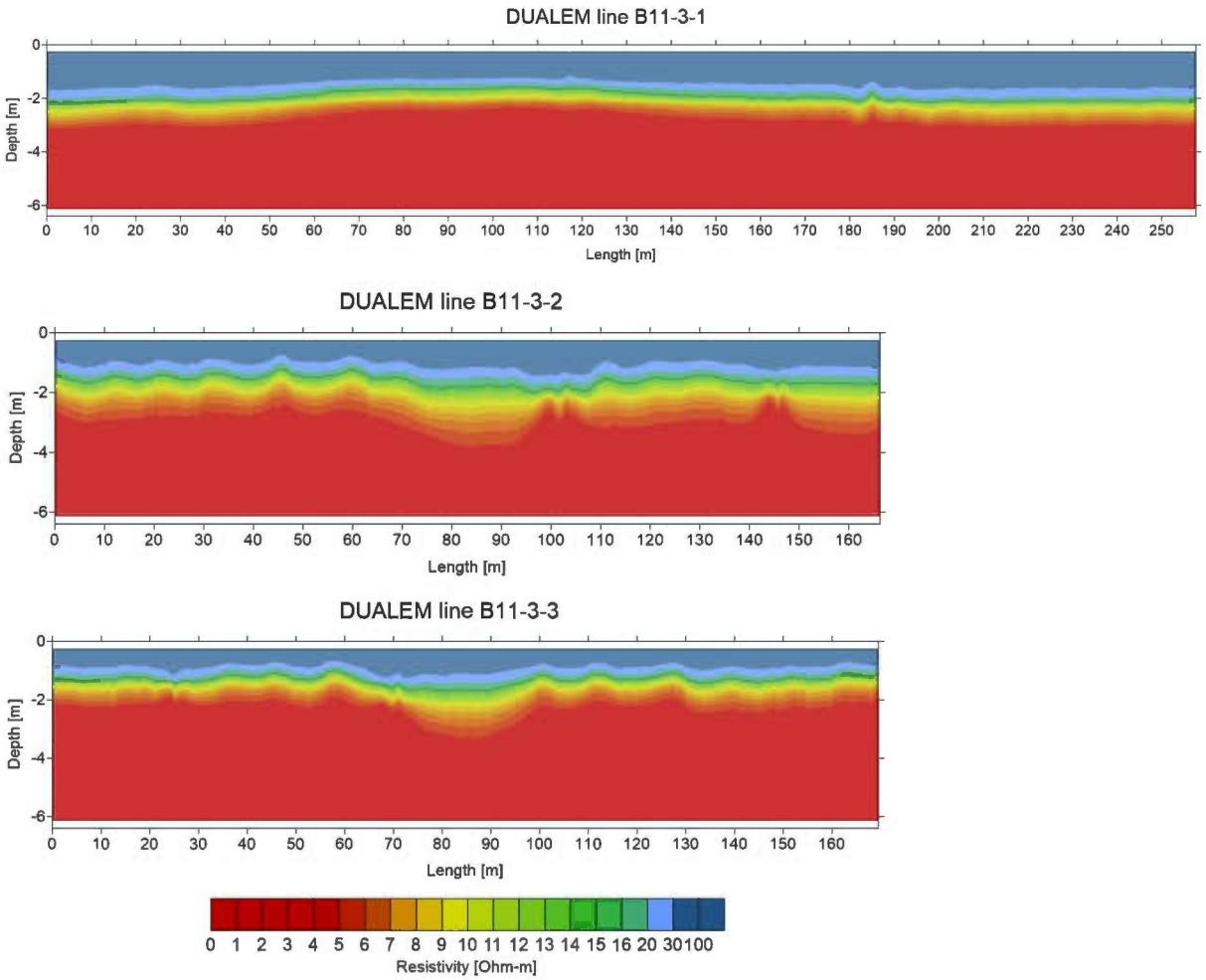


Figuur 50. Meetlocaties voor cluster B11-3. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

Locatie B11-3 behoort tot bodemcluster 11, dat wordt gekenmerkt door een zandige bodem met een dunne zavel laag aan de bovenkant van het profiel. De drainage op dit perceel loopt in noordoostelijke richting, waardoor de profielen B11-3-2 en B11-3-3 loodrecht op de drainagemiddelen zijn uitgevoerd. De resultaten van de metingen zijn weergegeven in Figuur 49.

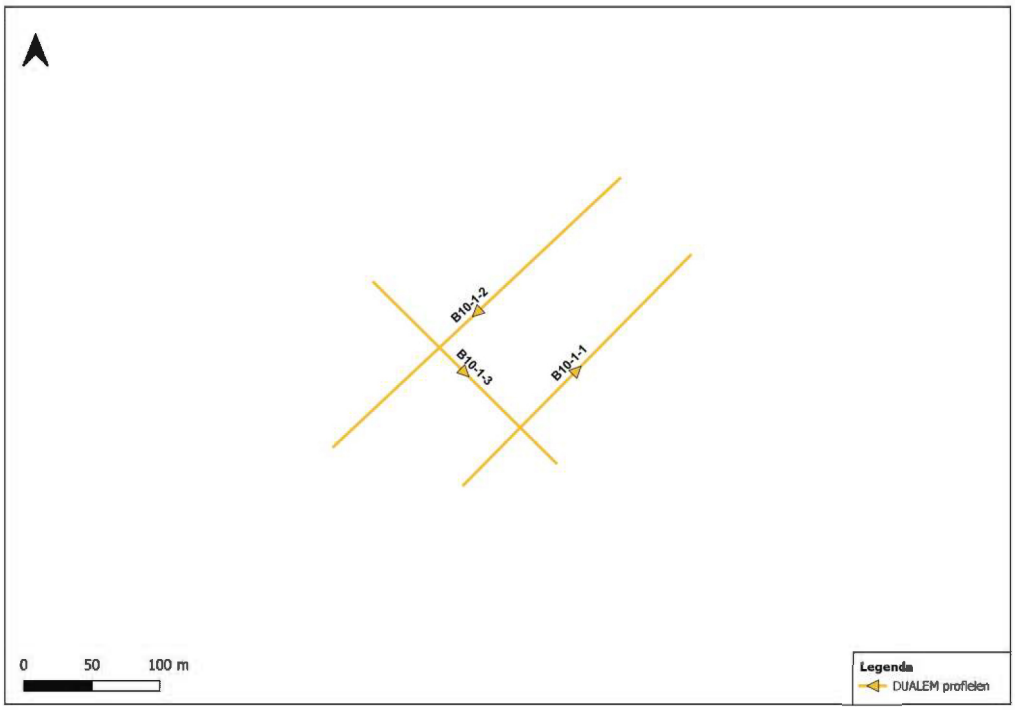
Alle profielen vertonen een duidelijke overgang tussen een hoge weerstand (> 30 Ohm m) in de ondiepere delen van het profiel en een lage weerstand (< 5 Ohm m) in de diepere delen. De hoge weerstand (> 20 Ohm m) in de bovenste laag duidt op een laag bodemvochtgehalte en/of aanwezigheid van zoet grondwater. De scherpe overgang in weerstand wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van kwel en een sterke toename van het zoutgehalte. Deze scherpe overgang wijst erop dat het zoet-zoutgrensvlak hier naar verwachting tussen de 2-2.5 m diepte ligt.

De aanwezigheid van kwel op dit perceel wordt tevens weerspiegeld in de resultaten van de profielen B11-3-2 en B11-3-3. Op bepaalde locaties is de positie van de drainage duidelijk zichtbaar doordat er zout omhoog komt in de richting van de drainagemiddelen, die zich op een diepte van 1.30 m bevinden. Dit proces leidt tot de vorming van zoetwaterlenzen.



Figuur 51. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B11-3.

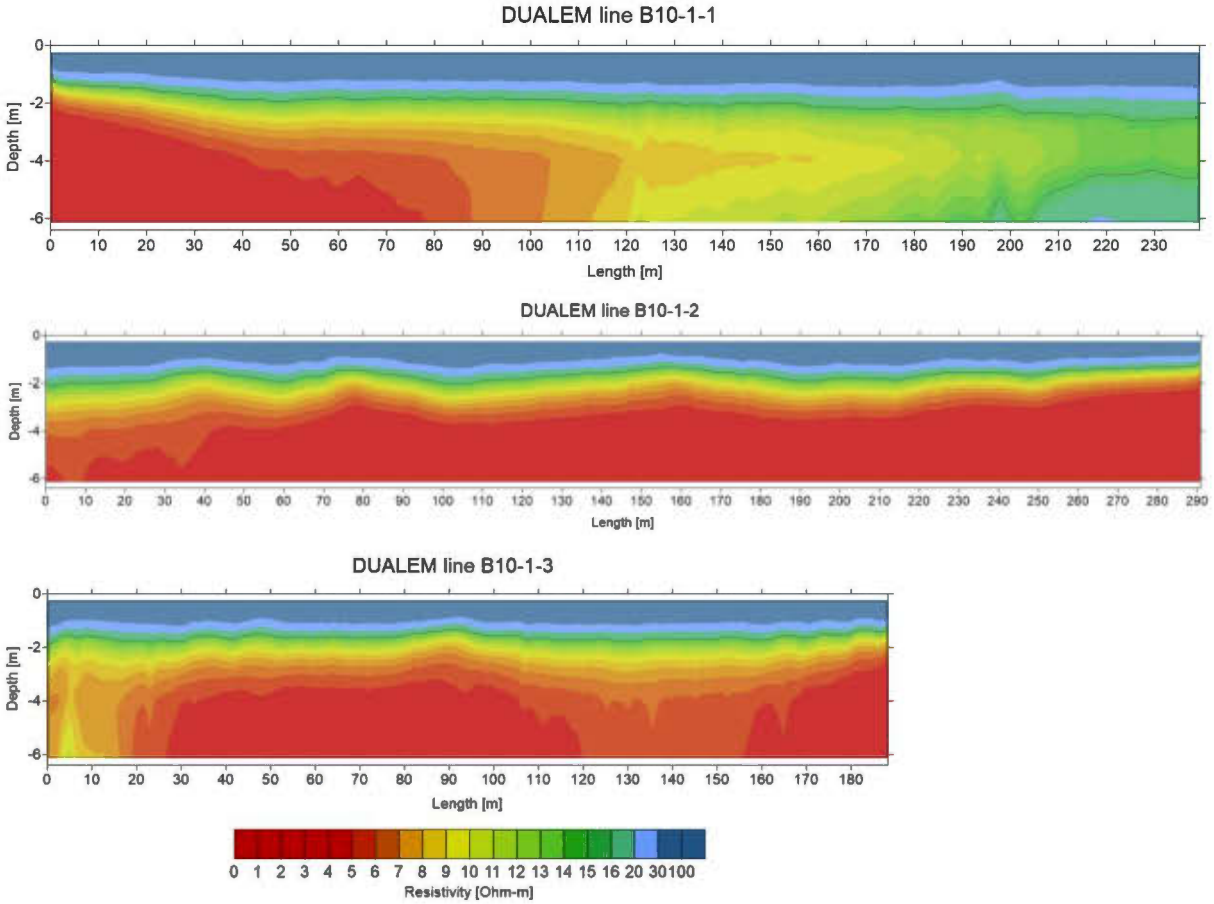
B10-1



Figuur 52. Meetlocaties voor cluster B10-1. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

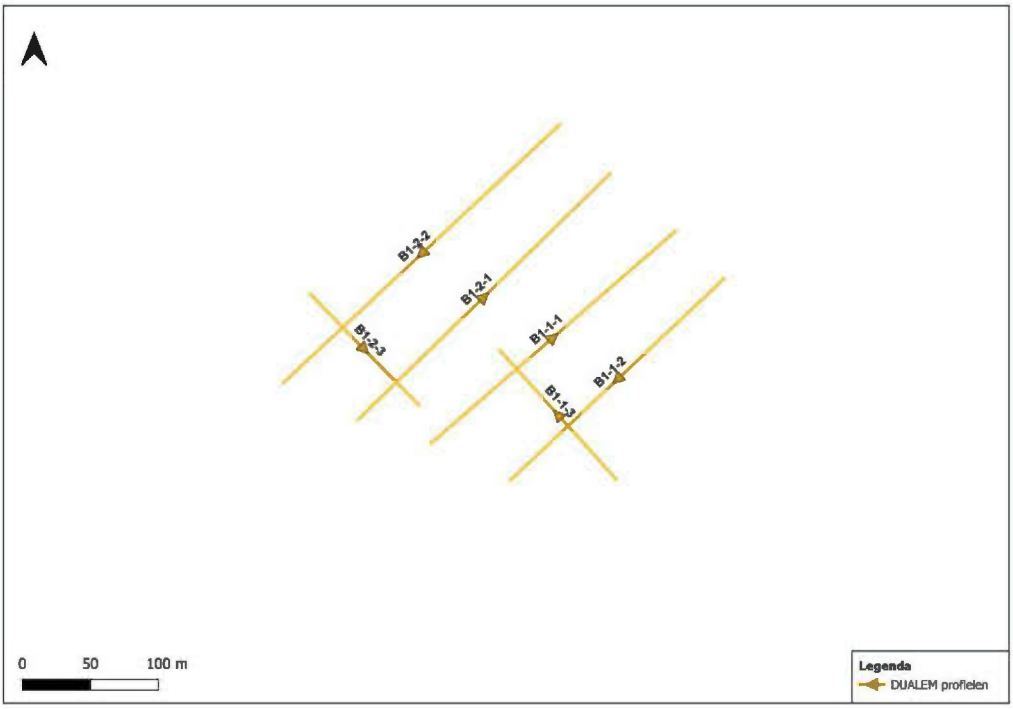
Locatie B10-1 is toegewezen aan bodemcluster 10, wat betekent dat de bodem voornamelijk bestaat uit zand, met twee dunne zavellagen boven en onder in het profiel. De drainage bevindt zich op een diepte van 1,50 m en loopt af in zuidwestelijke richting.

De resultaten laten zien dat de weerstanden het laagst zijn aan de zuidkant van het perceel (Figuur 39). Ondanks de toewijzing aan de laagste kwelklasse, tonen weerstanden van minder dan 5 Ohm m aan dat het grondwater op een groot deel van het perceel brak is. Naar het noordoosten toe nemen de weerstanden iets toe, wat naar verwachting samengaat met een afname van het zoutgehalte en een overgang van brak naar lichtbrak grondwater. De diepte van het zoet-zoutgrensvlak wordt geschat op ongeveer 2 tot 2,5 m. Dit komt overeen met de gemeten EC-waardes van 4.1 en 27.4 mS/cm op respectievelijke dieptes van 2.5 en 5.5 m (Antea, april 2023). Aan de zuidkant van het perceel lijkt het grensvlak zich zelfs minder dan 2 m onder het maaiveld te bevinden.
.



Figuur 53. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B10-1.

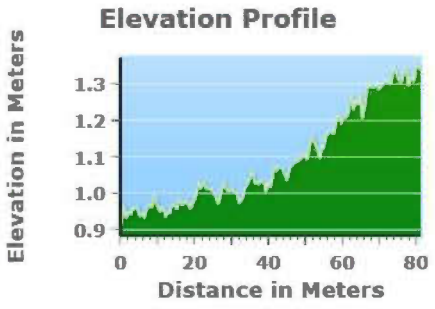
B1-2



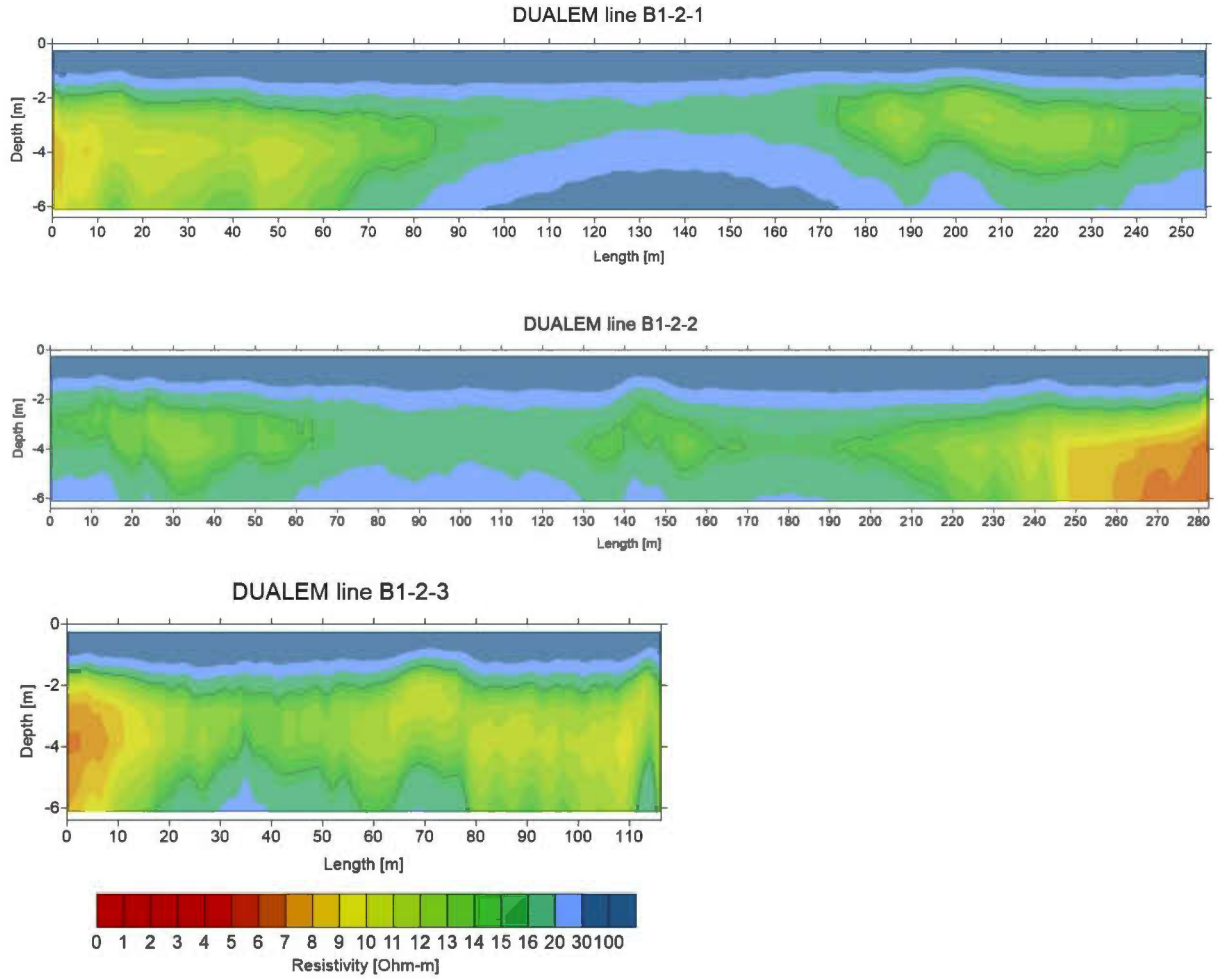
Figuur 54. Meetlocaties voor cluster B1-2. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

Locatie B1-2-2 behoort tot bodemcluster 1 dat gekenmerkt wordt door een zavelige bodem met een diepere zandlaag. De drains liggen op 1 m diepte en lopen in westelijke richting. De resultaten van de DUALEM-metingen worden weergegeven in Figuur 40.

Over het algemeen zijn de gemeten weerstanden hoog. Dit wil zeggen dat het grondwater hier op de meeste locaties zoet tot lichtbrak is tot ten minste 6m diepte. Enkel in de zuidwestelijke hoek van het perceel nemen de weerstanden af tot onder de 8 Ohm m. Dit kan worden verklaard door het aanzienlijke hoogteverschil in het maaiveld binnen dit perceel. De zuidwestelijke hoek ligt circa 30-40 cm lager (Figuur 55). Logischerwijs is de kwelflux en dus het zoutgehalte op dit deel van het perceel het hoogst, wat resulteert in lagere weerstanden vergeleken met de rest van het perceel. In deze lager gelegen hoek ligt het zoet-zout grensvlak op ±2-2.5 m diepte. Op andere delen van het perceel werden weerstanden groter dan 20 Ohm m gemeten op 6 m diepte. Dit toont aan dat hier zoet tot lichtbrak grondwater aanwezig is.

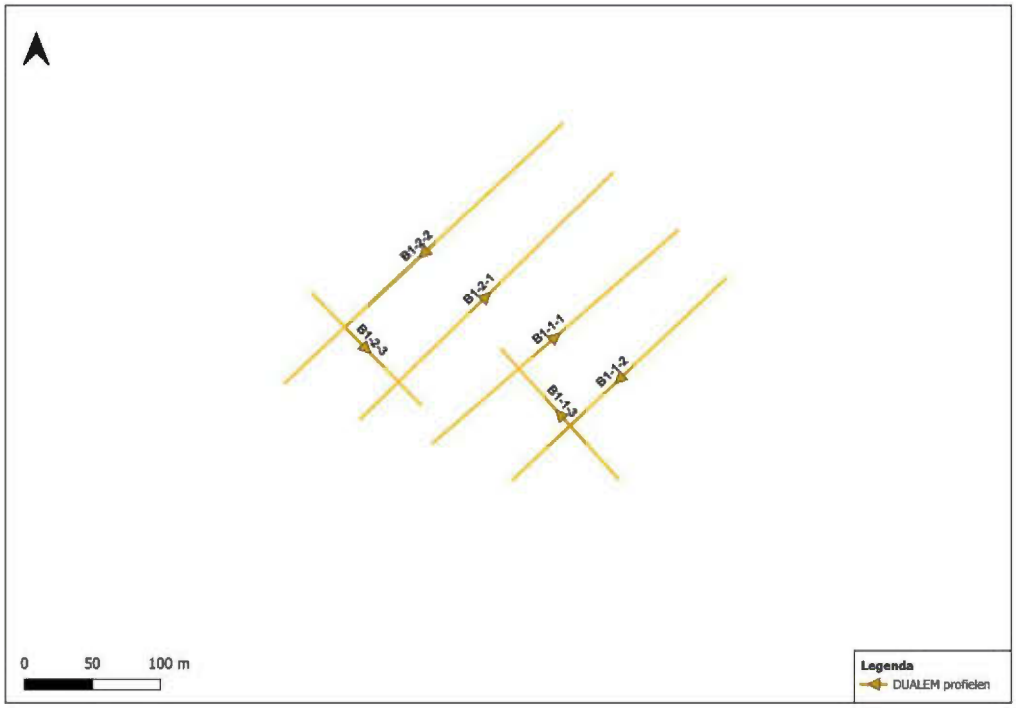


Figuur 55. Verloop in het perceel (bron: AHN).



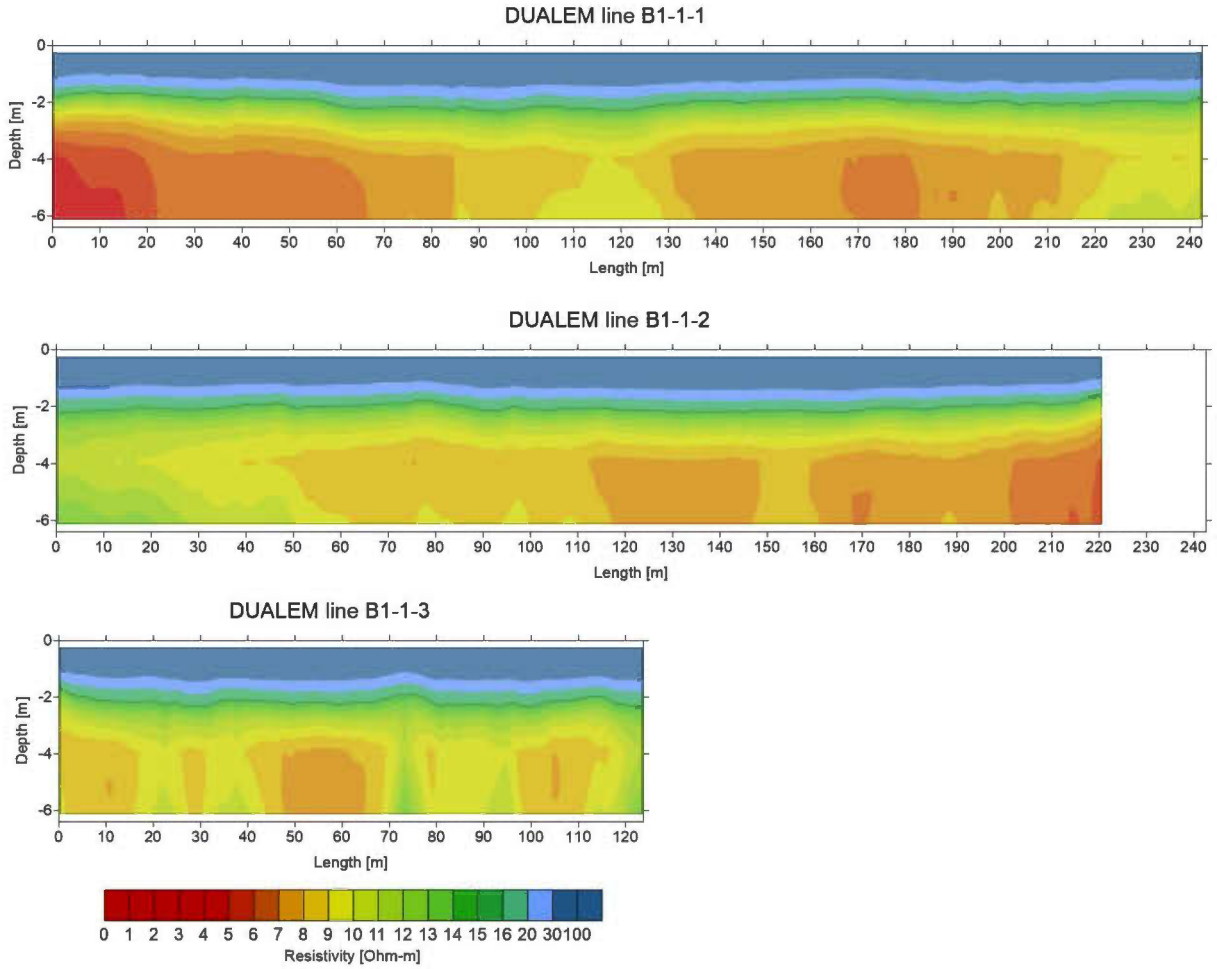
Figuur 56. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B1-2.

B1-1



Figuur 57. Meetlocaties voor cluster B1-1. De pijlen geven de richting aan waarin de profielen zijn gelopen.

Locatie B1-1-1 behoort ook tot bodemcluster 1. Volgens de kwelclassificatie heeft dit perceel echter een lagere kwelflux in vergelijking met het aangrenzende perceel. Ondanks de toekenning aan een lagere kwelklasse, zijn de gemeten weerstanden niet hoger dan die op het aangrenzende perceel. De lagere weerstanden kunnen worden veroorzaakt door een hoger zoutgehalte of een hoger kleigehalte. In het grootste deel van de profielen werd een weerstand gemeten variërend van 6 tot 11 Ohm m vanaf een diepte van 2,5-3 m. Aangezien er sprake is van een zavelige bodem, lijkt het erop dat het grondwater vanaf een diepte van 2,5-3 m lichtbrak is. Naar het zuidwesten van het perceel neemt de weerstand tussen 4-6 m diepte af tot minder dan 5 Ohm m, wat erop wijst dat het grondwater hier, ongeacht het bodemtype, brak is.



Figuur 58. Resultaten van de DUALEM-profielen van cluster B1-1.

5 Conclusie

Uit het DUALEM onderzoek is gebleken dat de percelen langs het tracé gekenmerkt worden door een variërende diepteligging van het zoet-zout grensvlak. Deze variatie in grensvlakdiepte is zelfs merkbaar binnen percelen, zoals bij locatie B3-1, waar het grensvlak aan de noordkant op een diepte van ongeveer 2-3 meter ligt en aan de zuidkant op meer dan 6 meter diepte. Ook zijn er aanzienlijke verschillen tussen aangrenzende percelen, bijvoorbeeld tussen locaties B8-1 en B5-1. Deze resultaten benadrukken de heterogeniteit van de kweldruk in het gebied en daarmee de ruimtelijke verschillen in het risico op verzilting.

Bovendien is gebleken dat er onzekerheden zitten in de huidige kwelkaarten (MIPWA, LHM, Acacia Water) en daarmee in de kwelclassificatie van de standaardprofielen. Bijvoorbeeld bij standaardprofiel B5-1 - waar op basis van de kwelgegevens een lage kwelflux werd verwacht - lag het zoet-zout grensvlak toch op 1.5-2.5 m diepte. Opmerkelijk genoeg werd bij B5-3 de ligging van het grensvlak op een diepte groter dan 6 m (buiten meetbereik) geschat, terwijl het standaardprofiel is toebedeeld aan de hoogste kwelklasse. Vanwege deze onzekerheid zal in het vervolgonderzoek de kwelparameter worden meegenomen in de gevoeligheidsanalyse van de modelstudie.

6 Referenties

Antea Group. (2023). *Bodemonderzoeken t.b.v. verziltingsstudie: NOZ - TNW Ten Noorden van de Wadden Eemshaven West.*

Archie, G. (1942). The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. . *Petroleum Transactions of AIME* , 146: 54–62.

Mulder, J., & Spoelstra, J. (1995). *Een geohydrologische systeembeschrijving van het noordelijke deel van het herinrichtingsgebied Bergen-Schoorl Wageningen, .* SC-DLO, Rapport 325.

Stuyfzand, P. (1987). *A very accurate calculation method of the electrical conductivity of water: version 2.* Kiwa report SWE 87.006.

Hoofdkantoor

Van Hogendorpplein 4
2805 BM Gouda

Regiokantoor
Noord-Nederland

Watercampus
Agora 4
8934 CJ Leeuwarden

Regiokantoor
Oost-Afrika

Woreda 03, Bole Sub city
House No. 4/020
Addis Abeba

www.acaciawater.com

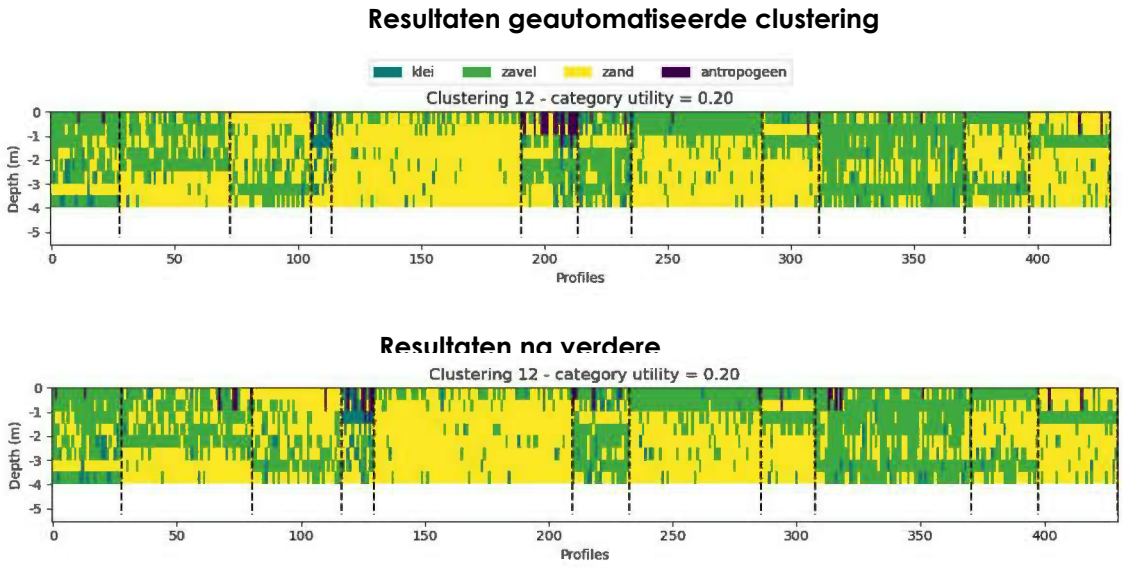
Bijlage 3 – Clustering

De Category Utility (CU) van een bepaalde clustering is een numerieke waarde die aangeeft hoe goed een clustering van categorische data is. Het probeert zowel de kans te maximaliseren dat twee objecten in dezelfde categorie attribuutwaarden gemeen hebben, als de kans dat objecten uit verschillende categorieën verschillende attribuutwaarden hebben. De formule van de CU wordt hieronder getoond:

$$CU(C) = \frac{1}{m}\sum_{k=0}^{m-1} P(C_k)\,[\sum_i \sum_j P(A_i = V_{ij} \mid C_k)^2 - \sum_i \sum_j P(A_i = V_{ij})^2\,]$$

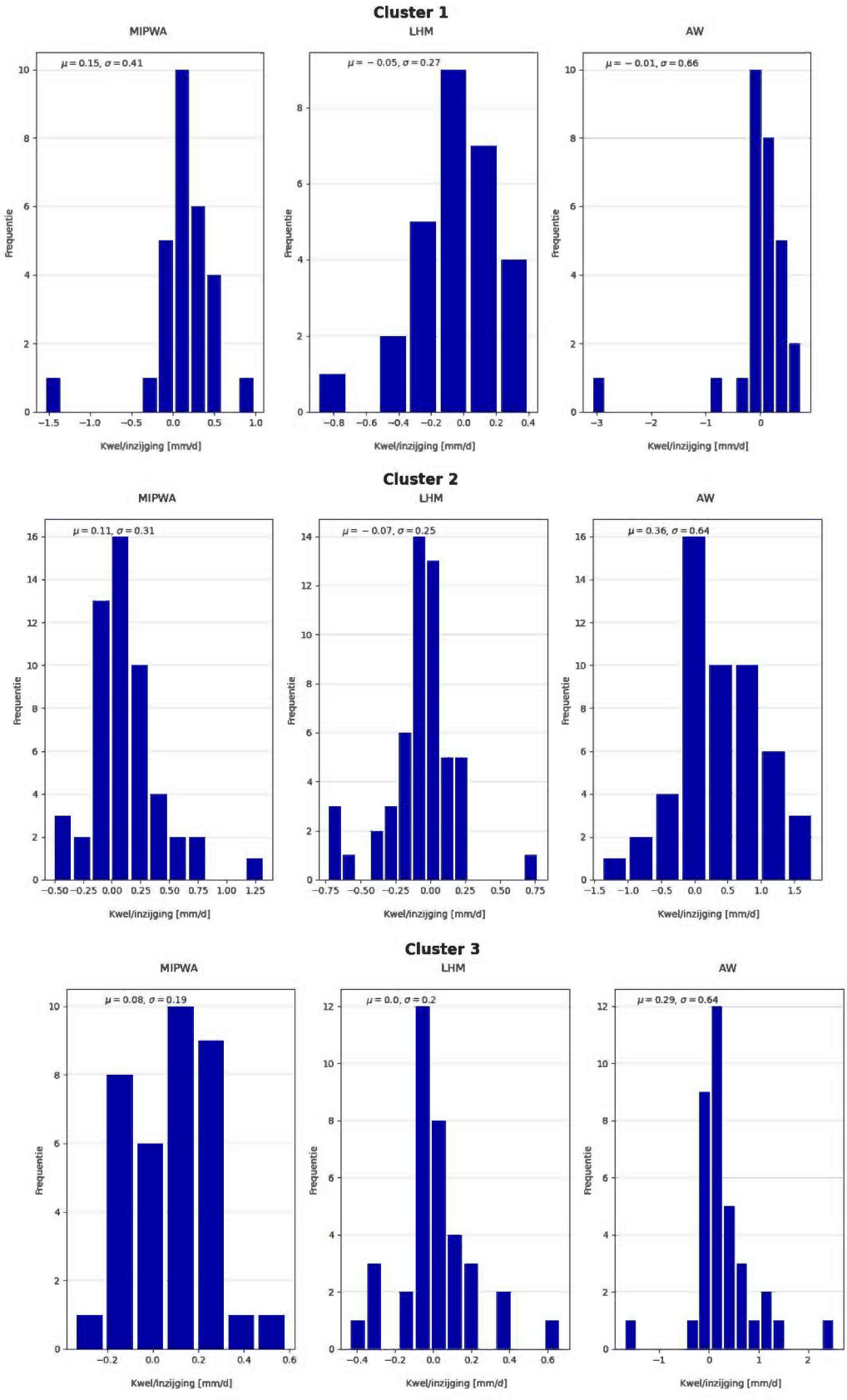
In de vergelijking is C een clustering, A een attribuut, zoals in dit geval 'bodemtype', en V is een waarde, zoals 'zand'. De kleine letter k is een indexvariabele voor elk unieke cluster. De kleine letter m geeft het aantal clusters weer. Voor een uitgebreide uitleg van de functie zie Mirkin (2001).

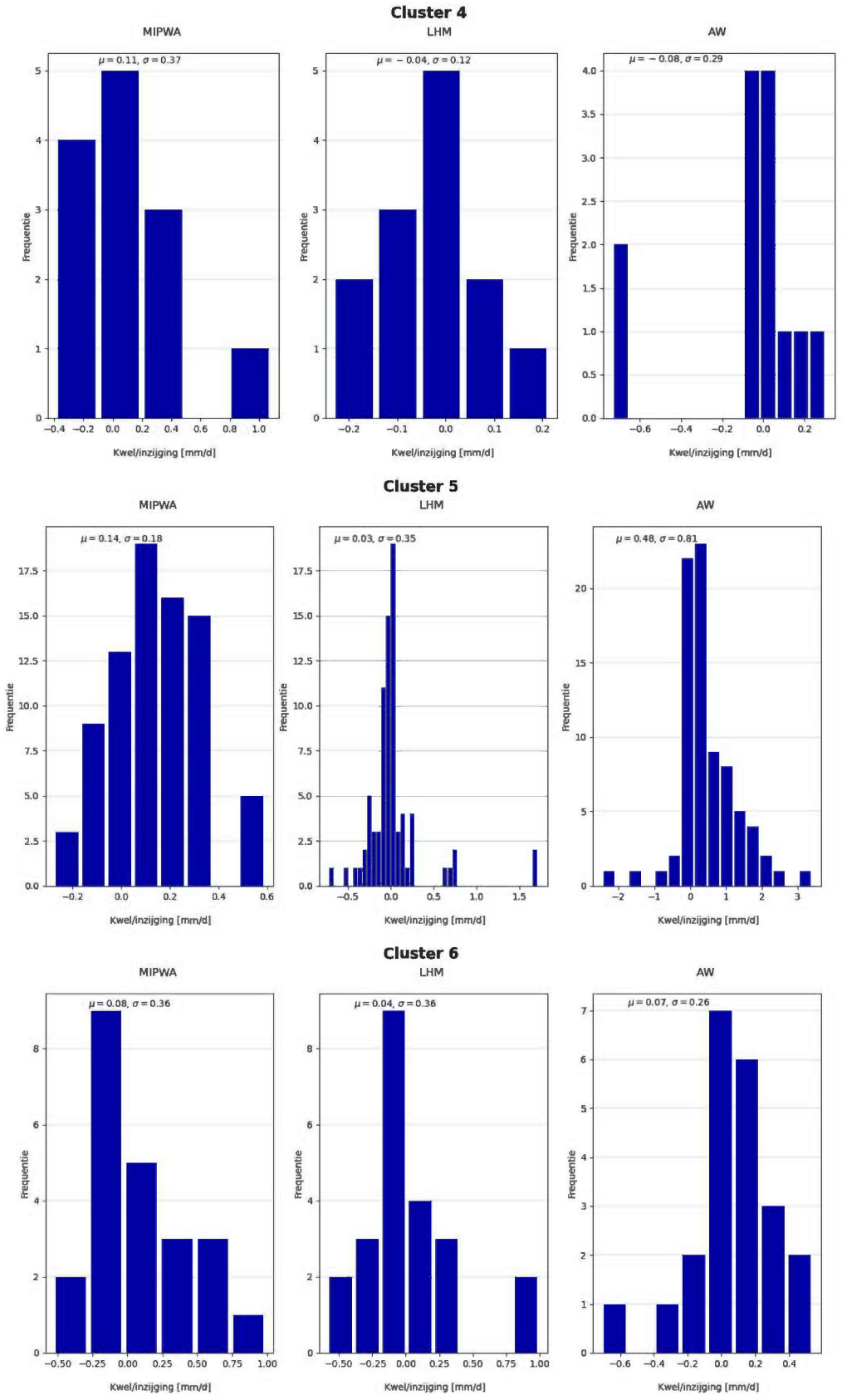
Figuur 22 laat de resultaten van de uitgevoerde clustering te zien. Per cluster worden alle bijbehorende bodemprofielen getoond. Na uitvoering van de automatische clustering, zijn de resultaten verder aangepast o.b.v. 'expert judgement'. Bodemprofielen met antropogene lagen zijn bijvoorbeeld niet toegekend aan een aparte cluster, maar verdeeld over de andere clusters (Figuur 22). De profielen met antropogene lagen zijn namelijk vaak punten vlak langs de dijk. Door de 100m resolutie van GeoTOP vallen deze punten binnen dezelfde pixel als de dijk (Figuur 22, links), maar in de realiteit liggen ze op de percelen (Figuur 22, rechts). Aangezien het onderzoek focust op het verziltingsrisico op perceel niveau, is er gekeken naar de bodemopbouw van de omringende pixels (van het specifieke perceel) en zijn de punten op basis hiervan toegekend aan het meest representatieve cluster.

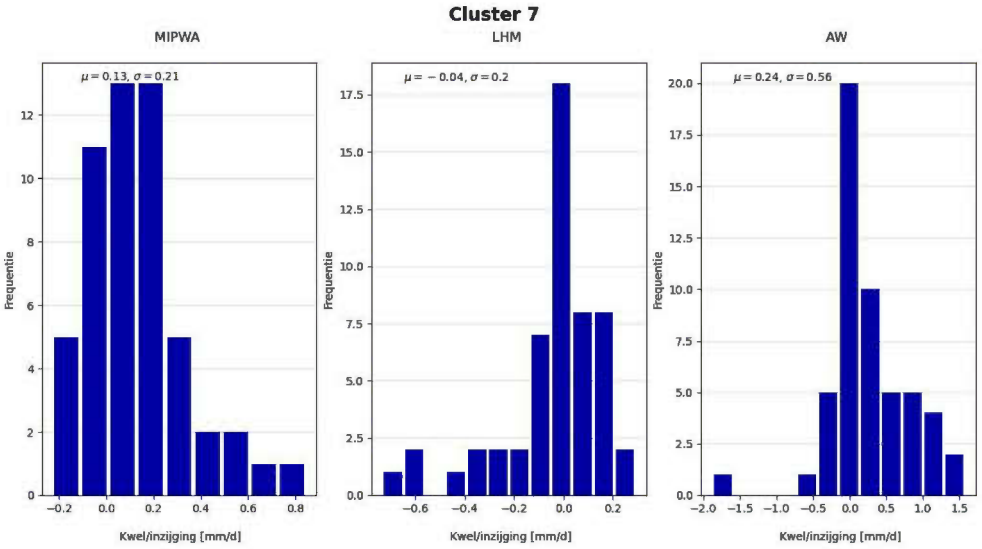


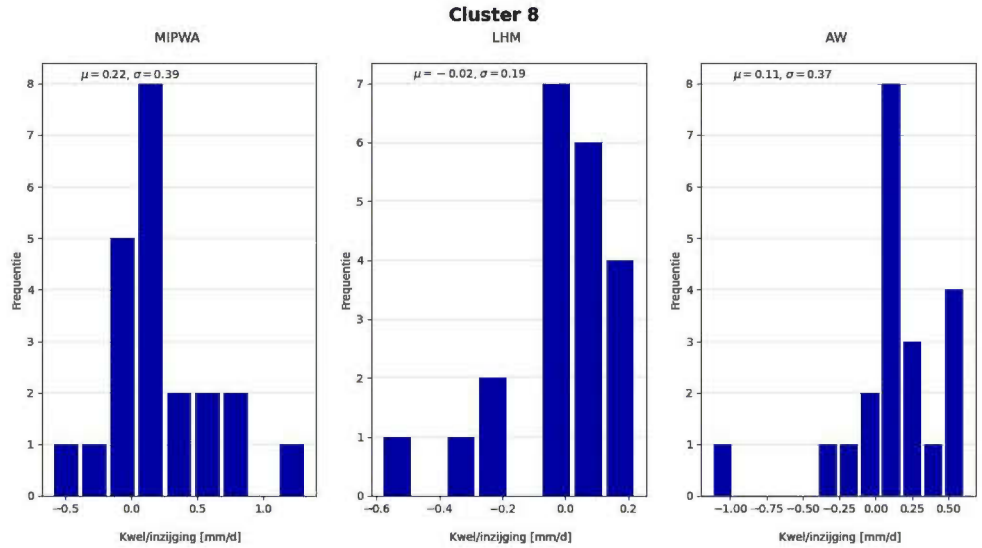
Figuur 22: Resultaten van de geselecteerde clustering van de 430 bodemprofielen langs het tracé. Na de automatische clustering (boven) zijn er verdere aanpassingen gedaan op basis van expert judgement (onder).

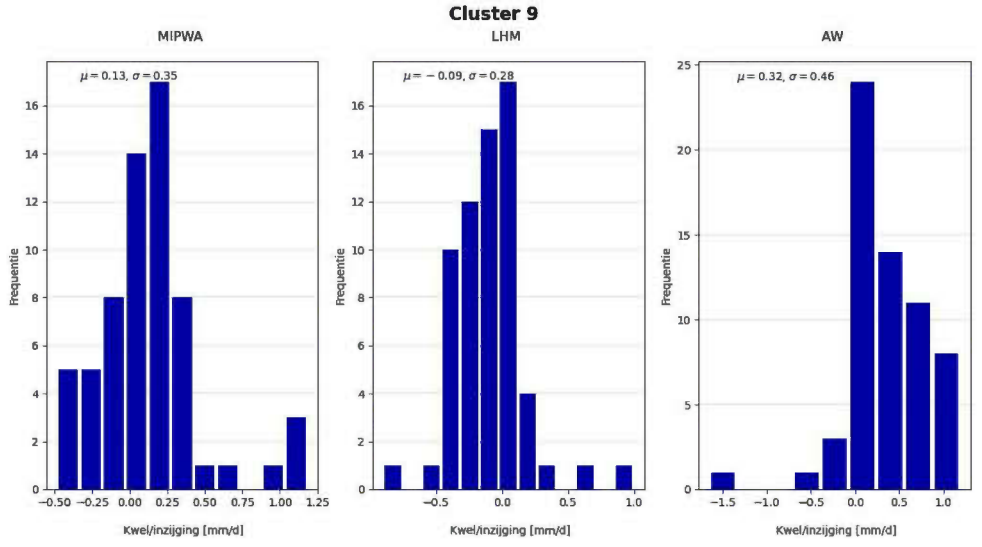
Bijlage 4 – Vergelijking kwel clusters

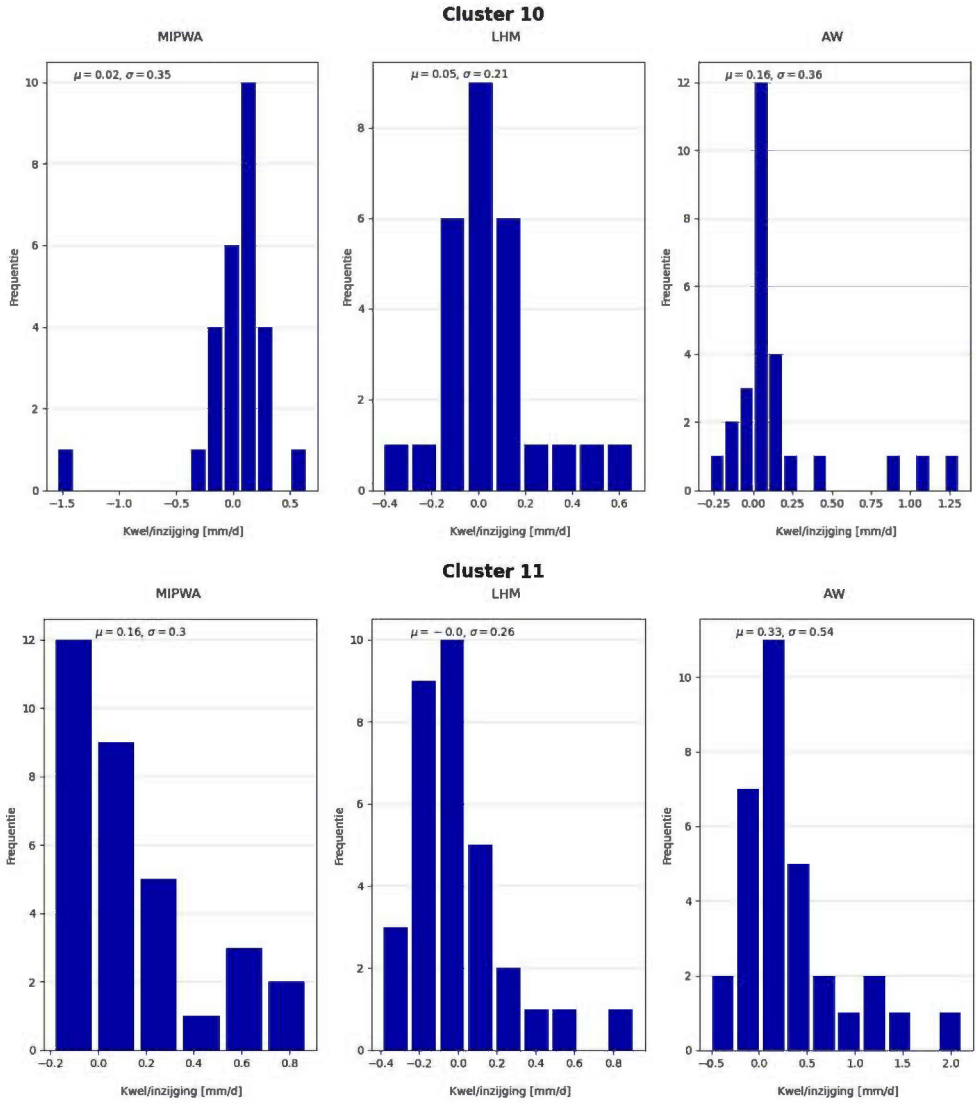



Cluster 4
MIPWA
LHM
AW
μ = 0.11, σ = 0.37
μ = − 0.04, σ = 0.12
μ = − 0.08, σ = 0.29
Frequentie
Kwel/inzijging [mm/d]
Cluster 5
MIPWA
LHM
AW
μ = 0.14, σ = 0.18
μ = 0.03, σ = 0.35
μ = 0.48, σ = 0.81
Frequentie
Kwel/inzijging [mm/d]
Cluster 6
MIPWA
LHM
AW
μ = 0.08, σ = 0.36
μ = 0.04, σ = 0.36
μ = 0.07, σ = 0.26
Frequentie
Kwel/inzijging [mm/d]


Cluster 7
MIPWA
LHM
AW
$\mu = 0.13, \sigma = 0.21$
$\mu = -0.04, \sigma = 0.2$
$\mu = 0.24, \sigma = 0.56$
Frequentie
Kwel/inzijging [mm/d]


Cluster 8
MIPWA
LHM
AW
$\mu = 0.22, \sigma = 0.39$
$\mu = -0.02, \sigma = 0.19$
$\mu = 0.11, \sigma = 0.37$
Frequentie
Kwel/inzijging [mm/d]


Cluster 9
MIPWA
LHM
AW
$\mu = 0.13, \sigma = 0.35$
$\mu = -0.09, \sigma = 0.28$
$\mu = 0.32, \sigma = 0.46$
Frequentie
Kwel/inzijging [mm/d]


Cluster 10
MIPWA
LHM
AW
μ = 0.02, σ = 0.35
μ = 0.05, σ = 0.21
μ = 0.16, σ = 0.36
Frequentie
Kwel/inzijging [mm/d]
Cluster 11
MIPWA
LHM
AW
μ = 0.16, σ = 0.3
μ = −0.0, σ = 0.26
μ = 0.33, σ = 0.54
Frequentie
Kwel/inzijging [mm/d]

Bijlage 5 – Drainage enquête

Inleiding

Met het verziltingsonderzoek willen Acacia Water, LTO Noord, EZK en TenneT gezamenlijk de mogelijke verziltingseffecten van de aanleg van elektriciteitskabels richting Eemshaven onderzoeken. Voor het onderzoek zijn gegevens over de drainagesituatie van de percelen cruciaal. Deze enquête is bedoeld om deze gegevens op te halen over de percelen die in de buurt van het tracé liggen. De opgehaalde informatie wordt zonder nadrukkelijke toestemming van u niet voor andere doeleinden dan dit verziltingsonderzoek gebruikt. Als Acacia Water naar aanleiding van de enquête aanvullende vragen heeft, dan nemen zij contact met u op.

Klik op de kaart op een eigen perceel langs het tracé en vul enkele vragen in over dat perceel. Mochten de eigenschappen variëren binnen het perceel, houdt u bij de antwoorden dan rekening met dat deel van het perceel waar het tracé wordt aangelegd (grof aangegeven in paars). Maak vervolgens een nieuwe kaart aan voor het volgende perceel langs het tracé en voer dezelfde stappen uit tot al uw percelen langs het tracé zijn opgenomen in het formulier.

Heeft u een vraag over het invullen van de enquête, dan kunt u donderdag 30 december of dinsdag 4 januari bellen naar 06-11286594.

Wij begrijpen dat u inspanningen zult moeten verrichten om mee te werken aan deze enquête. Graag willen wij u dan ook eenmalig voor uw inspanningen compenseren, met een vergoeding van 200 Euro per volledig ingevulde en bruikbare enquête.

Perceelgegevens invoeren [?]



DRAINDIEPTE HUIDIGE DRAINAGE:	cm beneden maaiveld
AFSTAND TUSSEN DRAINAGEBUIZEN HUIDIGE DRAINAGE:	m
AFWATERINGSRICHTING VAN DE DRAINAGE:	
IS HET PERCEEL HERGEDRAINEERD?	

	Opmerking herdrainage: Oude drainage kan nog van invloed zijn op ontwatering en verzilting in een perceel. Dit is niet altijd goed bekend, maar globale informatie is voor ons ook belangrijk om te weten voor de bepaling van effecten.
ALS PERCEEL IS HERGEDRAINEERD, DRAINDIEPTE OUDE DRAINAGE:	cm beneden maaiveld (als niet van toepassing, laat vakje leeg)
ALS PERCEEL IS HERGEDRAINEERD, AFSTAND TUSSEN DRAINAGEBUIZEN OUDE DRAINAGE:	m (als niet van toepassing, laat vakje leeg)
ALS PERCEEL IS HERGEDRAINEERD EN DE AFSTAND TUSSEN DE DRAINAGEBUIZEN IS GELIJK GEBLEVEN, ONDERLINGE AFSTAND VAN HUIDIGE EN OUDE DRAINAGE:	m (als niet van toepassing, laat vakje leeg)
GLOBALE BOUWPLAN:	bijv. 'aardappelen-graan-ui'
OVERIGE OPMERKINGEN:	

Klik hier om een nieuwe kaart te openen voor percelen met andere gegevens.

NAAM:	
ADRES:	
POSTCODE:	
PLAATSNAAM:	
TELEFOON:	
E-MAIL:	
BANKREKENINGNUMMER (IBAN):	

Klik hier om het formulier op te sturen

Hoofdkantoor

Van Hogendorpplein 4
2805 BM Gouda

Regiokantoor
Noord-Nederland

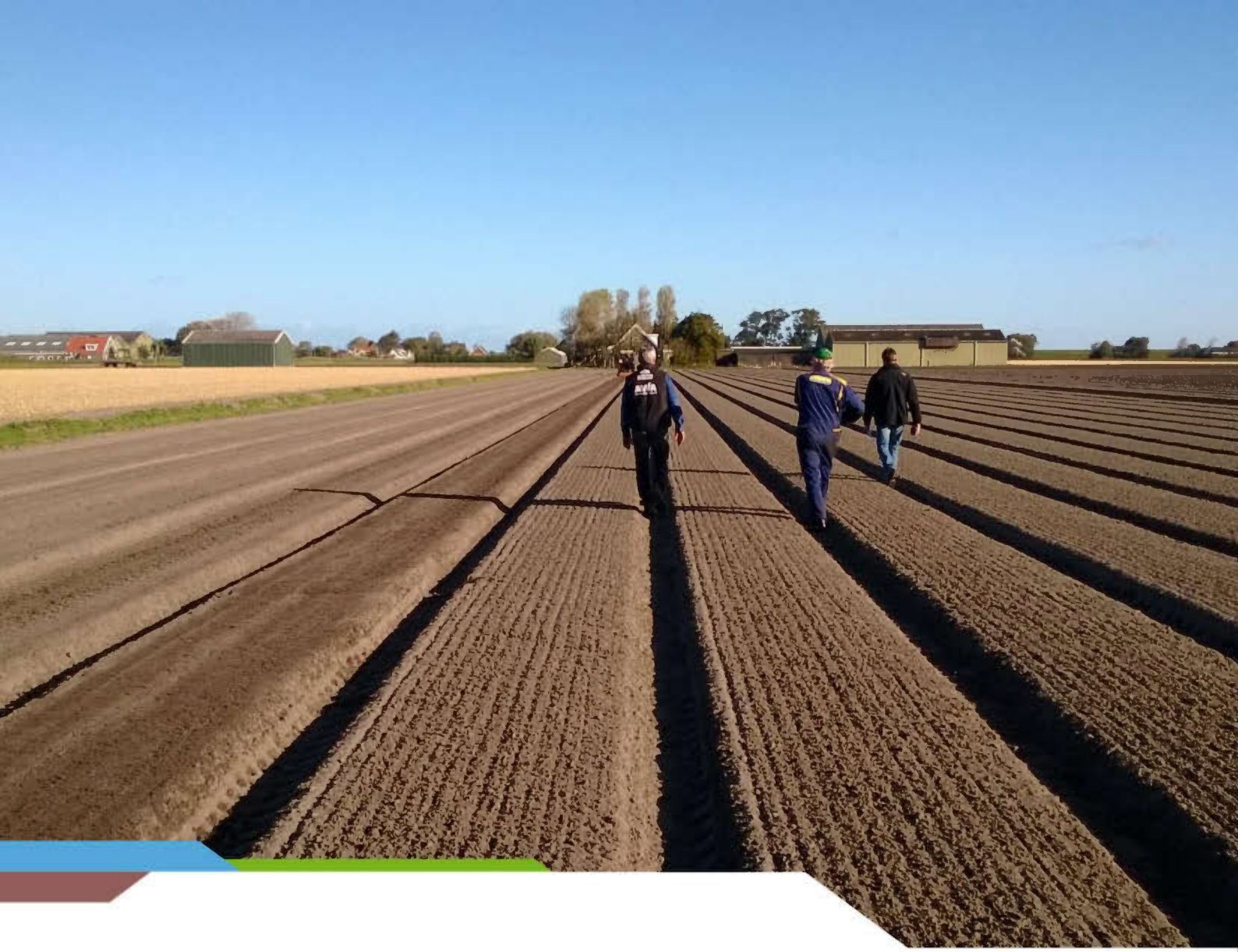
Watercampus
Agora 4
8934 CJ Leeuwarden

Regiokantoor
Oost-Afrika

Woreda 03, Bole Sub city
House No. 4/020
Addis Abeba

www.acaciawater.com

BIJLAGE: VERKENNEND ONDERZOEK NAAR VERZILTINGSEFFECTEN VAN AANLEG VAN WATERSTOFROUTES IN NOORD NEDERLAND



Pawoz Eemshaven, waterstofroutes Gasunie

Verkennend onderzoek naar verziltingseffecten van aanleg van waterstofroutes in Noord Nederland

ACACIA WATER

Pawoz Eemshaven, waterstofroutes Gasunie

Verkennend onderzoek naar verziltingseffecten van aanleg van waterstofroutes in Noord Nederland

Colofon

Klant
Gasunie

Status
Eindrapport

Datum
29 augustus 2024

Referentie nummer
AW_293-3_AG_231422

Auteur(s)
Gevaert A., Sandfort N.

Gecontroleerd door
Marte Siebinga

Vrijgegeven door
Jouke Velstra

Disclaimer
Aan dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend. De auteurs zijn niet verantwoordelijk voor eventuele fouten of consequenties. Aanvullingen of verbeteringen zijn welkom via info@acaciawater.com

Inhoud

1 Inleiding **1**

2 Gebiedsbeschrijving **2**

2.1 Routes 2

2.2 Bodemopbouw 3

2.3 Kwelsituatie 3

2.4 Zoet-zout 6

3 Aanpak **8**

3.1 Standaardprofielen 8

3.2 Model 10

3.3 Indicatoren van verzilting 12

4 Berekende verziltingseffecten **15**

4.1 Standaardprofielen 15

4.2 Routes 17

5 Conclusies en aanbevelingen **19**

5.1 Aanbevelingen 19

Referenties **21**

1 Inleiding

Gasunie verkent mogelijke routes voor waterstofleidingen in Noord Groningen en Noord Friesland. De mogelijke routes doorkruisen hoogwaardige landbouwgronden (veelal akkerbouw) in het noorden van Groningen en de aanleg van waterstofleidingen kan invloed hebben op de lokale omgeving, zoals op verzilting. Doordat de aanleg van de leidingen invloed kan hebben op de lokale omgeving, waaronder op verzilting, wordt er voor PAWOZ-Eemshaven een milieueffectrapportage (MER) en integrale effectenanalyse (IEA) opgesteld. Voor de IEA is onder andere inzicht nodig in of er verzilting gaat optreden en wat de mogelijke effecten hiervan zijn in relatie tot landbouw langs elk van deze routes.

Door de ontstaansgeschiedenis en ligging van het betreffende gebied, gaat het om een regio waar sprake kan zijn van verzilting. Dit kan zijn in de huidige situatie, of in toenemende mate op termijn als gevolg van zeespiegelstijging, bodemdaling en klimaatverandering (zie o.a. www.spaarwater.com). Met de aanleg van waterstofleidingen worden er mogelijk zoetwatersystemen doorkruist die bestaan uit zoetwaterlenzen. Een zoetwaterlens is een dunne zoetwatervoorraad die bovenop het zoute grondwater ligt, vaak met een dikte van enkele meters tot minder dan 1 meter. De scheiding tussen zoet en zout kan heel duidelijk zijn, maar het kan ook zijn dat er juiste nog een brakke tussenlaag aanwezig is. Landbouw in het gebied is mogelijk vanwege deze zoetwaterlenzen, en dit is van groot belang voor de agrariërs omdat het zorgt voor zekerheid van zoetwater in de wortelzone. Voor aanleg van de waterstofleidingen is bemaling nodig. Door deze bemaling kan de dikte van een eventueel aanwezige zoetwaterlens afnemen of kan de lens zelfs verdwijnen. Ook kan dieper gelegen zout grondwater naar de oppervlakte worden getrokken. Bemaling kan dus op deze manier voor verzilting, of voor een afname van de zoetwatervoorraad zorgen.

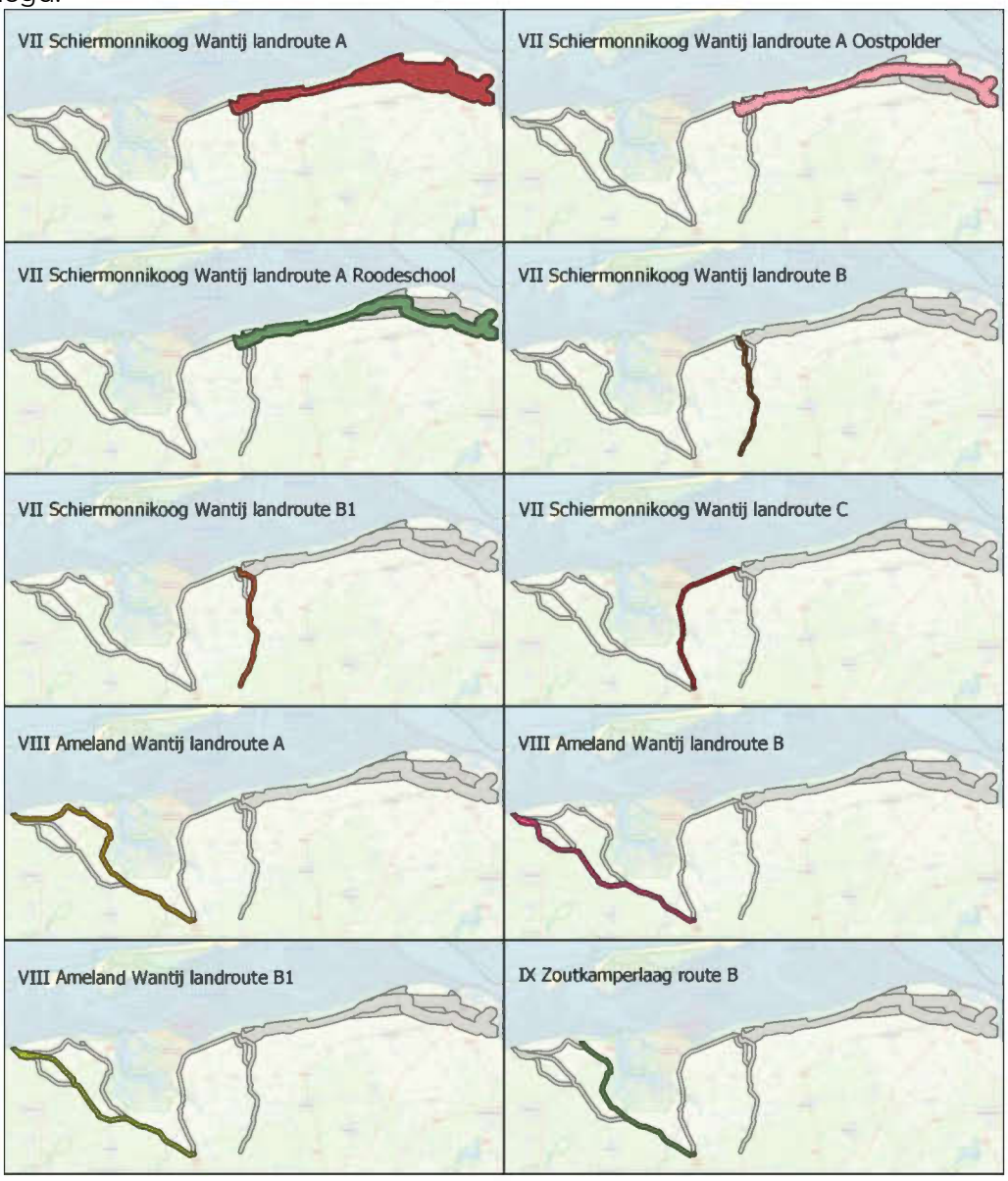
Deze studie is een verkennend bureau onderzoek waarin de mogelijke effecten van onttrekking op verzilting van landbouwgrond in beeld gebracht zijn en is gefinancierd door GasUnie. Het doel van deze studie is om de kans op (toename in) verzilting door bemaling, tijdens en direct na de installatie van de waterstofleidingen, van de omliggende landbouwgronden te onderzoeken. Hiervoor zijn gebied specifieke gegevens over de bodem en kwelsituatie verzameld uit openbare databases. De mogelijke effecten langs de beoogde waterstofleidingen zijn vervolgens vastgesteld aan de hand van meerdere modelberekeningen.

In deze studie zijn de kans op verzilting en de effecten daarvan direct na aanleg beoordeeld. De duur van herstel van de zoetwaterlenzen bij eventuele vastgestelde verziltingseffecten, valt buiten de scope van dit onderzoek. Dit rapport zal de gebruikte methode en de resultaten van de effectberekeningen toelichten.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Routes

Er zijn negen verschillende routes in Noord Groningen en Noord Friesland door Gasunie aangeleverd (zie Figuur 1). De route VII Schiermonnikoog Wantij landroute A wordt voor de MER als geheel beschouwd (links boven in Figuur 1), maar bevat twee route varianten voor leidingen: VII Schiermonnikoog Wantij landroute A Oostpolder en VII Schiermonnikoog Wantij landroute A Roodeschool. Deze twee varianten worden in deze studie ook in beschouwing genomen. De corridors van de routes omvatten een breedte van 500 m, behalve route varianten VII Schiermonnikoog Wantij landroute A, welke een breedte van 1500 meter omvatten. Binnen deze breedte zal de waterstofleiding worden aangelegd.



Figuur 1. Ieder van de negen routes en één verzamelroute (VII A) die onderzocht zijn in kleur weergegeven, met de overige routes ter referentie in grijs.

2.2 Bodemopbouw

Een belangrijke factor die meespeelt bij de kwantificatie van het risico op verzilting, is de bodemopbouw. Dit komt doordat doorlatendheden en porositeit, die per bodem verschillend zijn, bepalend zijn voor de vorm van de zoetwaterlens. Daarnaast bepaald het invloedsgebied van de bemaling tot welke afstand van de waterstofleiding eventuele verziltingseffecten plaats kunnen vinden. De mogelijke route doorkruist verschillende polders in het beheersgebied van waterschap Noorderzijlvest en Wetterskip Fryslân. De bodems in het studiegebied zijn overwegend kalkrijke en kalkarme poldervaaggronden (Kuijer et al. 1987, WENR 2022).
Het landgebruik is overwegend akkerbouw met als belangrijkste gewas pootaardappelen, naast suikerbieten en graan.

GeoTop v1.5 gegevens zijn gebruikt voor het afleiden van de bodemopbouw tot 5 meter voor verschillende puntlocaties in het beheersgebied. GeoTop is een model dat de opbouw van de ondergrond uit verschillende lagen beschrijft tot maximaal 50 m NAP. In dit gebied is de GeoTOP data in 2016 opgeleverd. De diepte tot 5 meter is het belangrijkste voor de zoetwaterlenzen aangezien het zoet-zoutgrensvlak van zoetwaterlenzen over het algemeen binnen enkele meters van maaiveld ligt (Staveren & Velstra 2012). Voor dit onderzoek heeft het gebruik van GeoTOP data de voorkeur boven de dataset van Kuijer et al., 1987 omdat de diepte van de bodem in de laatste beperkt is tot 1,2 m-mv. Uit een eerste analyse van de bodemopbouw, is gebleken dat zavel het belangrijkste bodemsoort is in dit gebied. Zand en klei komen ook regelmatig voor. Veen komt in mindere mate voor.

2.3 Kwelsituatie

Naast de bodemopbouw is ook kwel een belangrijke parameter voor het bepalen van het zoet-zout grensvlak, en daarmee ook het verziltingsrisico. Het zoet-zout grensvlak in de bodem representeert de scheiding tussen zoet en zout (of brak) grondwater. Kwel is grondwater dat dankzij een drukverschil, opwaarts door de bodem beweegt. Het is daarmee het tegenovergestelde van infiltratie. Kwel ontstaat wanneer de stijghoogte, of het drukniveau, in een diepere ondergrondse laag groter is dan in een ondiepere laag. Wanneer het diepere grondwater een hogere chloride concentratie heeft, kan deze dus door middel van kwel dichter naar de oppervlakte worden gebracht. Het volume kwel dat in een bepaalde tijd omhoog stroomt wordt de kwelflux genoemd. Hoe groter de kwelflux, hoe meer druk op zoetwaterlenzen, en dus hoe dunner de zoetwaterlens.

De kwelsituatie in Noord Nederland is afhankelijk van de lokale maaiveldhoogte en drainagediepte omdat het verschil tussen drainagehoogte en stijghoogte van het eerste watervoerende pakket relatief klein is (van Doorn en Velstra 2021). Gedetailleerde drainagegegevens zijn voor deze regio echter niet beschikbaar. Dit betekent dat de kwelsituaties uit hydrologische modellen en andere benaderingen gevoelig zijn voor de onderliggende aannames over drainagediepte. Om de lokale onzekerheid in kwelsituaties in kaart te brengen worden kwelkaarten van verschillende bronnen bekeken.

Er zijn drie bronnen bekend waaruit een kwelflux te herleiden is voor deze regio:

1. de kwelkaart geproduceerd door het Methodiek Interactieve Planning Waterbeheer (MIPWA) model;
2. de kwelkaart geproduceerd door het Landelijk Hydrologisch Model (LHM);
3. de Acacia Water kwel kaart (Acacia Institute 2019).

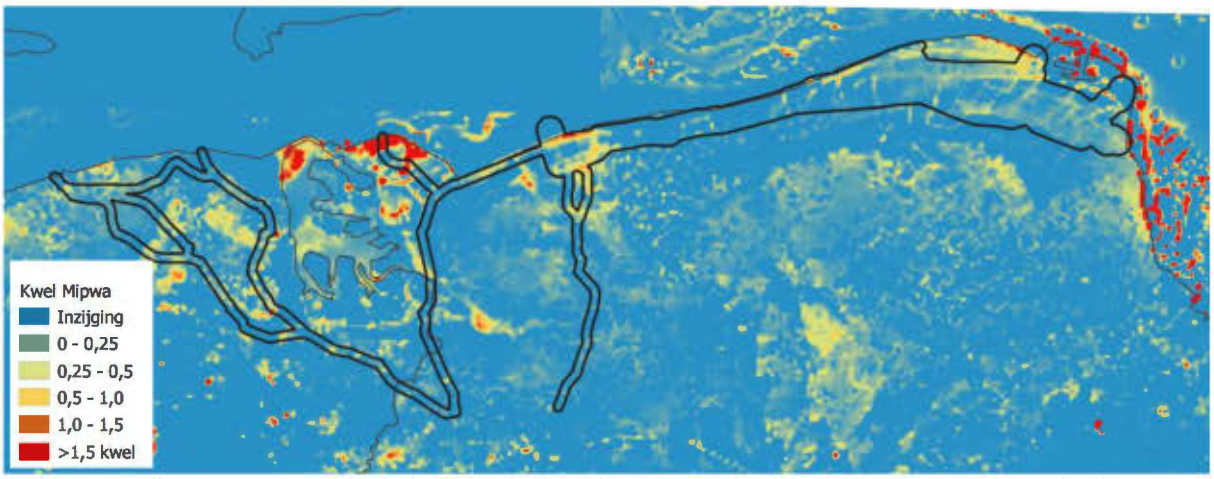
De eerste twee bronnen zijn afkomstig van hydrologische modellen, waarvan één op landelijke (LHM) en de andere op regionale schaal (MIPWA). De derde is een kwelkaart ontwikkeld door Acacia Water op basis van 1) de voorjaarsstijghoogte van het eerste watervoerend pakket, 2) een gemiddeld voorjaars grondwaterstand met behulp van het Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN), 3) een deklaagweerstand gebaseerd op GeoTOP, en 4) maaiveld hoogte en een aangenomen, veelvoorkomende draindiepte. De interne kaart is destijds ontwikkeld omdat de bestaande kwelkaarten ontoereikend waren voor de ontwikkeling van een verziltingsrisicokaart, waarbij het risico gebaseerd is op de dikte van de zoetwaterlens. Deze bron is eerder gebruikt in een validatie van het LHM (van Doorn en Velstra 2021). Deze drie kwelkaarten hebben een geohydrologische basis, maar verschillen zowel van aanpak (model vs analyse) als onderliggende aannames over onder andere drainagediepte (van Doorn en Velstra 2021). Uitgegaan wordt dat juist daarom het gebruik van deze drie kaarten inzicht zal geven in de bandbreedtes van kwelsituatie, en waar deze relatief betrouwbaar of juist onzeker is.

Uit een analyse van de beschikbare kwelkaarten, is gebleken dat er tussen de diverse kaarten substantiële verschillen zitten. In Figuren 2, 3 en 4 zijn de verschillende kwelkaarten voor Noord Nederland te zien. Te zien is dat de LHM en Mipwa kaart op regionaal niveau het behoorlijk met elkaar eens zijn. Op het oog zijn de kwelfluxen van het Mipwa model over het algemeen wat groter in vergelijking met de LHM kaart. De Acacia Water kaart geeft over het algemeen hogere kwelfluxen weer dan de Mipwa en LHM kaarten. Er is binnen Acacia Water onderzoek verricht naar welke van deze kaarten het best met de werkelijkheid overeen zouden komen en daarmee het meest betrouwbaar is, echter hier kon geen eenduidige conclusie uit getrokken worden.

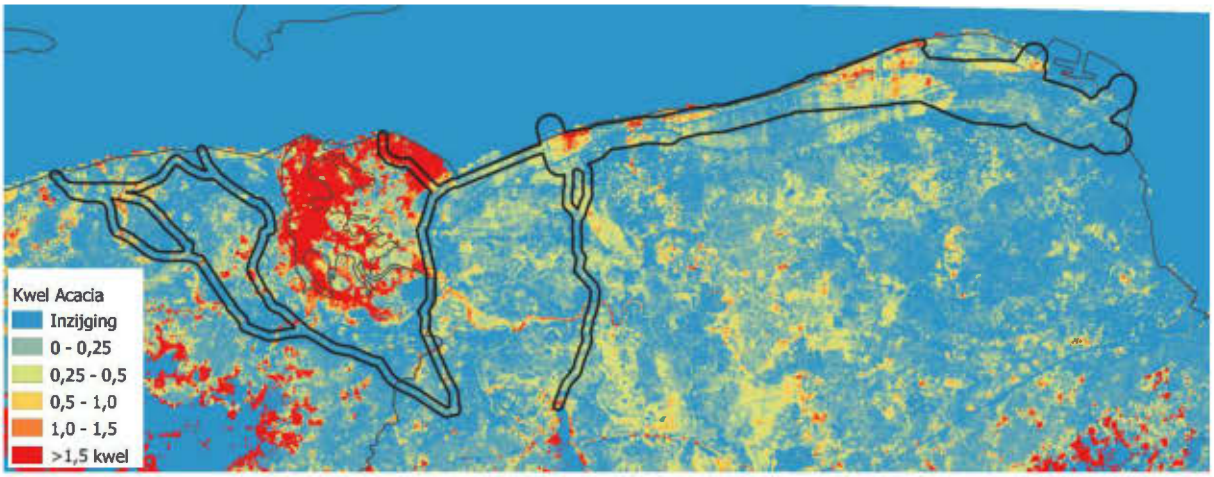
Net als de bodemopbouw wordt ook de kwelsituatie als input voor het model gebruikt. Door de variabiliteit van de kwelkaarten en het belang voor de resultaten, is ervoor gekozen de onzekerheid in de kwel, zoals te zien in Figuren 2–4, terug te laten komen in de definitie van de uiteindelijke risico klassen. Dit komt in hoofdstuk 4 verder aan bod.



Figuur 2. Kwelkaart voor Noord Nederland afgeleid uit het Landelijk Hydrologisch Model (LHM). De routes zijn zwart omlijnd. De dunne grijze lijnen geven de omtrekken van de provincies en de kust weer.



Figuur 3. Kwelkaart voor Noord Nederland afgeleid van het MIPWA model. De routes zijn zwart omlijnd. De dunne grijze lijnen geven de omtrekken van de provincies en de kust weer.



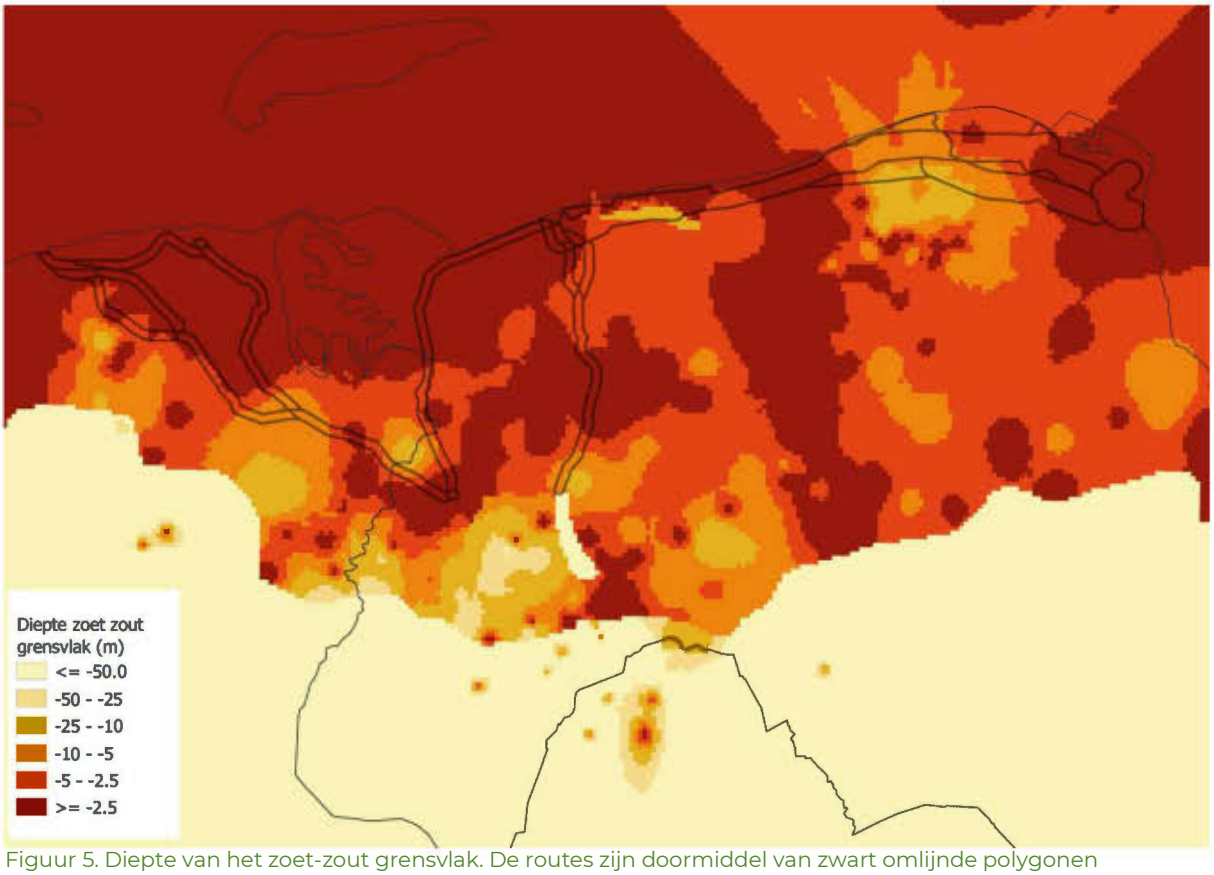
Figuur 4. Kwel voor Noord Nederland afgeleid door Acacia Water. De routes zijn zwart omlijnd. De dunne grijze lijnen geven de omtrekken van de provincies en de kust weer.

2.4 Zoet-zout

Naast de kwelkaarten is de diepte van het zoet-zout grensvlak een belangrijke indicator voor waar verzilting verwacht kan worden. Logischerwijs, hoe dieper dit grensvlak is gelegen des te kleiner de kans op verzilting is. In dit onderzoek wordt het zoet-zout grensvlak gebaseerd op een chloride gehalte van ongeveer 1,5 g/l, wat overeenkomt met een EC van ongeveer 4,5 mS/cm. Bij dit EC-gehalte is het grensvlak strikt genomen een zoet-brak grensvlak. Deze grenswaarde wordt veel gebruikt bij onderzoeken naar verzilting vanuit het oogpunt van de landbouw omdat brak water nadelig is voor de meeste gewassen.

Er wordt van uitgegaan dat waar de diepte van het zoet-zout grensvlak onder de 10 m ligt, het verziltingsrisico beperkt is, uitgaande van onttrekking door middel van horizontale drains zoals voor deze routes beoogd is. Wanneer de onttrekking plaats vindt door middel van verticale filters en/of bronnen, zeker in combinatie met spanningsbemalingen, dan kan er wel een verziltingseffect optreden welke dieper reikt.

Voor de routes is nagegaan wat de diepte van het zoet-zout grensvlak is. Op de kaart in Figuur 5 is de diepte van het grensvlak gebaseerd op een chloridegehalte van 1,5 g/l, ongeveer gelijk aan een EC van 4,5 mS/cm. Deze kaart is gebaseerd op eerdere uitgevoerde geofysica metingen en peilbuisgegevens (van Staveren & Velstra 2012). Te zien is dat het overgrote deel van de routes zich in gebieden bevinden waar het zoet-zout grensvlak ondieper dan 5 m zit. Bij dergelijke dieptes is er een reële kans op verzilting wanneer er onttrokken wordt. Het dieper gelegen zout kan aangetrokken worden waardoor het zoet-zout grensvlak nog ondieper komt te liggen. Een aantal delen van de routes bevindt zich in gebieden waar het grensvlak zich tussen de 5 en 10 m diepte bevindt. Heel lokaal ligt het grensvlak tussen 10 en 25 m diepte in de route Schiermonnikoog A. Het blijkt echter dat de interpoleerde resultaat in de figuur sterk wordt beïnvloed door enkele meetpunten, die naar verwachting niet representatief zijn voor de directe omgeving. Om deze reden nemen we deze gebieden met een ogenschijnlijk dieper zoet-zout grensvlak toch mee in onze analyse. De oppervlakte van deze gebieden is ook zo klein vergeleken met de hele route dat de invloed van deze keuze op het eindresultaat van dit verkennend onderzoek verwaarloosbaar is.



Figuur 5. Diepte van het zoet-zout grensvlak. De routes zijn doormiddel van zwart omlijnde polygonen weergegeven.

3 Aanpak

3.1 Standaardprofielen

Zoals in Hoofdstuk 2 beschreven, zijn de bodemopbouw en kwelsituatie belangrijke variabelen voor het berekenen van het effect van onttrekking op verzilting. Voor het gebied dat de 9 routes omvat, zijn zogenaamde standaardprofielen gedefinieerd. Dit zijn combinaties van bodemopbouw en kwelsituatie die representatief zijn voor de variabiliteit binnen en tussen de routes.

Door het gebruik van standaardprofielen wordt rekening gehouden met die variabiliteit, terwijl het aantal berekeningen beperkt wordt. De verschillende routes kruisen namelijk 2400 percelen, waarvan een groot aantal hydrologisch vergelijkbaar zullen reageren en een aparte modelberekening niet noodzakelijk is. Ze zullen hydrologisch vergelijkbaar reageren omdat de opbouw van sommige bodems grofweg hetzelfde zal zijn net als de kwelsituatie. Door het gebruik van standaardsituaties wordt dus zorgvuldig afgewogen hoeveel berekeningen er nodig zijn om de variabiliteit in percelen en dus in verziltingsrisico goed in beeld te brengen. In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe deze standaardsituaties bepaald zijn.

Bodemopbouw

In een eerste stap zijn voor alle 2400 percelen die overlappen met de route, de lithoklassen van GeoTop opgehaald voor de eerste vijf meter onder maaiveld. De bodemtypen zavel, klei, zand en veen zijn meegenomen in de analyse. Ook de kwel gegevens van de drie verschillende kwelkaarten zijn voor al deze punten verzameld. Dit betekent dat aan ieder perceel dat overlapt met de routes een bodemprofiel en drie verschillende kwelfluxen zijn toegekend. In totaal is dit dus gedaan voor 2400 punten.

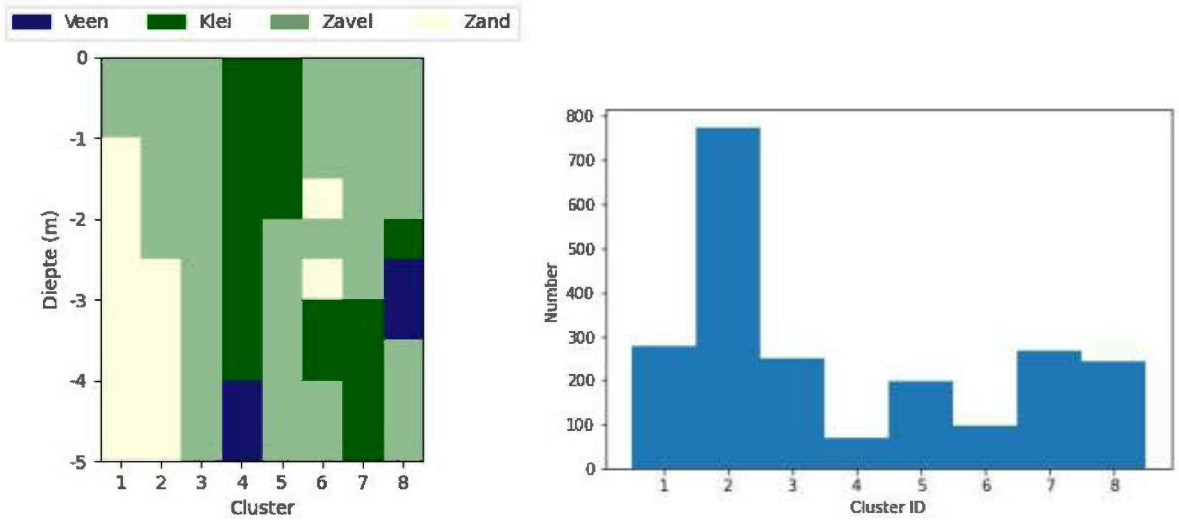
Het creëren van de representatieve bodemprofielen is gedaan door middel van een automatisch clustering algoritme, genaamd hiërarchische clusteranalyse, toegepast op de bodemopbouw van al deze punten. De clustering methode groepeert de onderzochte percelen op basis van de bodemopbouw van GeoTOP. Met het resultaat is het mogelijk om de punten te verdelen in groepen met vergelijkbare bodemopbouw (zie voorbeeld van groep vergelijkbare profielen in Figuur 6).

In de analyse is extra nadruk gelegd op 1 tot 3 meter diepte, de diepte waarin de meeste zoetwaterlenzen zich bevinden en die daardoor bepalend is voor de dikte van de zoetwaterlenzen. Het feit dat de bodemopbouw tussen 1 en 3 meter extra nadruk krijgt, betekent dat verschillen in bodemopbouw in dit bereik eerder zullen leiden tot toekenning aan verschillende groepen dan verschillen in bodemopbouw in diepere of ondiepere lagen. Het aantal groepen dat nodig is, is bepaald aan de hand van statistieken die bij de groepering gegenereerd worden en *'expert judgement'*. Dit laatste wordt vooral gebruikt om te beoordelen vanaf hoeveel groepen het extra inzicht verkregen door het toevoegen van een extra groep, beperkt is. Dus het punt waarop een extra toegevoegde groep hydrologisch gezien sterk lijkt op een bestaande groep.



Figuur 6. Voorbeeld van alle bodemprofielen (links) die worden vertegenwoordigd door cluster 1 (rechts).

De representatieve bodemprofielen zijn weergegeven in Figuur 7; dit zijn dus de acht clusters die uit de clustering zijn voortgekomen. Hieruit blijkt dat zavel het meest voorkomt, daarna klei en zand. Veen komt ook voor maar duidelijk in mindere mate. Ook valt op dat een groot aantal van de profielen in cluster 2 is ingedeeld. Een bodemprofiel met de combinatie zavel op zand lijkt dus het meest voor te komen in het gebied.



Figuur 7. De acht clusters die zijn voortgekomen uit de hiërarchische clusteranalyse (links) en het frequentie van voorkomen van de clusters (rechts).

Kwel

De kwelfluxen van de drie verschillende kwelkaarten zijn geanalyseerd. De variabiliteit in kwel per representatief cluster is groot, waardoor ervoor gekozen is om voor ieder bodemprofiel meerdere kwelsituaties door te rekenen. Op basis van eerdere ervaringen in vergelijkbare verziltingsstudies is gebleken dat vooral het verschil tussen kwel-neutrale (hele lage kwelfluxen) situaties en kwel situaties belangrijk zijn voor model berekeningen van effecten. Het verschil tussen lage en hoge kwelfluxen is minder belangrijk.

Dit kan verklaard worden doordat in gebieden met kwelsituaties sprake is van zoetwaterlenzen. Over het algemeen geldt ook hoe hoger de kwelflux, hoe dunner de zoetwaterlens (Acacia Institute 2019). Deze gebieden zijn al relatief zout vergeleken met gebieden met zeer lage kwelfluxen of kwel neutrale situaties. Daar is eerder sprake van een dikke zoetwaterlens, of zelfs een zoetwaterzone tot enkele meters onder maaiveld zonder duidelijke lensvorming. Bij een ondiepe onttrekking, zoals bij de aanleg van de waterstofleidingen gepland is, zal naar verwachting meer zoet water worden onttrokken waar meer zoetwater aanwezig is. Dit betekent dat het verziltingsrisico en eventuele effecten juist in relatief zoete gebieden groter zijn dan in relatief zoute gebieden.

In dit onderzoek is uitgegaan van een zeer lage (0,05 mm/d) en een lage tot gemiddelde (0,3 mm/d) kwelflux. De zeer lage kwelflux is representatief voor kwel neutrale gebieden. Een kwelflux van 0,3 mm/d komt overeen met een relatief hoge kwelflux voor het studiegebied.

Resultaat aanpak

Uiteindelijk resulteert deze aanpak van de bodemclustering en analyse van de kwel situatie in 16 standaardprofielen: 8 verschillende bodemclusters en voor elk van deze twee verschillende kwelsituaties. Verder is voor alle standaardsituaties uitgegaan van een drainafstand van 10 m en een draindiepte van 1,2 m. Dit zijn gangbare drainafstanden en -diepten in noord Nederland.

3.2 Model

Voor elk standaardprofiel is een 2D dwarsdoorsnedemodel opgezet in MODFLOW6. MODFLOW6 is een software programma voor grondwatermodellering waarmee grondwaterstroming en transport van opgeloste stoffen berekend kan worden in 2D of 3D. In dit project is gebruik gemaakt van de optie om dichtheidsafhankelijke stroming te simuleren, wat nodig is om stroming te simuleren waar zoet en zout grondwater aanwezig is. De dichtheid van zout of brak water is namelijk hoger dan van zoet water.

Door de keuze voor een 2D model is het niet mogelijk om de verziltingseffecten van gestuurde boringen te simuleren. De effecten van de bemalingen voor gestuurde boringen bij de in-en uittrede punten worden daarom kwalitatief beoordeeld op basis van de modelresultaten van de open ontgravingen, rekening houdend met de grotere ontwateringsdiepte.

Uitgangspunten

De diepte van het dwarsdoorsnede model is 10 m. De breedte van het model moet zo gekozen worden dat de randen minimaal effect hebben op de modelresultaten. Daarom is uitgegaan van een breedte van 10 keer de drainafstand van 10 m, of 100 m totaal. Op basis van verkennende modelberekeningen, is gebleken dat deze afstand voldoende is.

Aan de bovenrand van de modellen is een neerslagoverschot gebaseerd op de gemiddelde verdamping en neerslagreeksen van een periode van 30 jaar (1993–2022) met een chloridegehalte van 0,01 g/l toegekend. Aan de zijkanten is uitgegaan van een ‘zero flux’ randvoorwaarde. De onderrandvoorwaarde is een opgelegde stijghoogte. De stijghoogte zorgt samen met een weerstandslaag tussen 8–9 m-mv voor een

tijdsafhankelijke kwelflux met een aangenomen chloridegehalte van 10 g/l. De tijdsafhankelijke kwelflux is in het model gesimuleerd door middel van een vaste stijghoogte onder in het model en een slecht doorlatende (kleiige) laag in de bodem (i.e. een weerstandslaag). Het verschil in stijghoogte onder in het model en een fluctuerende grondwaterstand als gevolg van de seizoenaliteit van neerslag en verdamping resulteert in een drukverschil tussen het diepere en ondiepere grondwater, dat ook door de tijd verschilt. De eigenschappen (dikte en doorlatendheid) van de slecht doorlatende laag bepalen hoe groot de kwelflux is bij een bepaalde drukverschil. Een dikkere of lagere doorlatendheid van deze laag zal leiden tot een lagere kwelflux dan bij een dunnere laag of hogere doorlatendheid. De stijghoogte en eigenschappen van de slecht doorlatende laag zijn zo gekozen, dat de gemiddelde jaarlijkse kwelflux overeenkomt met de hierboven genoemde kwel neutrale (0,05 mm/d) en lage tot gemiddelde kwelflux (0,3 mm/d).

De bodemopbouw is gebaseerd op de lithologie van het standaardprofiel, met de bovengenoemde weerstandslaag eraan toegevoegd. Bodemeigenschappen zoals porositeit en doorlatendheden zijn gebaseerd op de Staring reeks (Wösten et al. 2013). De doorlatendheden van de Staringreeks zijn echter gebaseerd op metingen met kleine bodemmonsters en zijn doorgaans te laag vergeleken met praktijksituaties. Dit komt bijvoorbeeld door scheuren en macroporiën, vooral in zavel- en kleigronden, en geldt zowel voor boven- en ondergronden (Wösten et al. 2001). Daarom zijn hogere doorlatendheden gehanteerd op basis van expert judgement en Bot (2016)[1]. De bodemeigenschappen per lithologische klasse worden in Tabel 1 weergegeven en komen overeen met een 'best guess' benadering.

Tabel 1 Bodemeigenschappen voor de verschillende lithoklasses in de representatieve bodemprofielen

	Porositeit [ ]	Horizontale doorlatendheid [m/d]
Zand	0,38	5,0
Zavel	0,46	0,50
Klei	0,56	0,15
Veen	0,89	0,30

In het model is perceeldrainage aanwezig. Gegevens over de perceeldrainage zijn opgehaald via een drainage enquête, uitgevoerd tijdens een eerdere studies in dit gebied[2][3]. Er is een drainage diepte van 1,20 m en een onderlinge drainage afstand van 10 m aangenomen. Deze drains zijn parallel aan de routes geplaatst, waarbij de routes midden tussen de drains liggen. Dit betekent dat het hart van de sleuf ter hoogte ligt van de hoogste grondwaterstanden in de routes, waardoor relatief meer water moet worden

[1] Bot, B. (2016). Grondwaterzakboekje Gwz2016, Bot Raadgevend Ingenieur.
[2] Acacia Water (2023). Verziltingsonderzoek Eemshaven-Delfzijl, Gouda, the Netherlands.
[3] Acacia Water (2019). Spaarwater 2 – versterken zoetwaterlens, Technische rapportage, Gouda, the Netherlands.

onttrokken vergeleken met als de routes dwars op de drains liggen. Daarmee is de berekening iets meer worst case, al zal het verschil in debiet zeer klein zijn.

In de praktijk kan drainage ook dwars of schuin over het leiding-tracé liggen. Verwacht wordt echter dat de invloed van de ligging van de drains op het berekende verziltingsrisico beperkt is. De kweldruk en bodemopbouw zijn namelijk bepalend voor de dikte van de zoetwaterlenzen, en daarmee ook het verziltingsrisico en mate van verzilting. Daardoor zijn bandbreedtes van en onzekerheden in deze gegevens veel belangrijker voor de resultaten van dit onderzoek dan de ligging van de drainage.

Aanleg leidingen

De aanleg van de waterstofleiding is gemodelleerd als vervorming van het maaiveld, veroorzaakt door het graven van de sleuf. Onder het midden van de sleuf is een horizontale drain geplaatst om de grondwaterstand tijdens de werkzaamheden te verlagen. De breedte van de sleuf op het maaiveld is vastgesteld op 7,5 m, met een 1:1 talud. De diepte van de sleuf staat gelijk aan 3 m onder maaiveld. De onderkant van de sleuf heeft een breedte van 1,4 meter en de onttrekking vindt plaats op 3,8 m onder maaiveld en is gemodelleerd d.m.v. een DRN package (drainage) met een zeer lage weerstand. Er is een bemalingsduur van 10 dagen per meter sleuf aangehouden. In de praktijk staat de bemaling voor een strekking aan die in één keer wordt aangelegd en maximaal 10 dagen wordt bemalen. Daarna wordt de volgende strekking van bijvoorbeeld 100 of 200 m aangelegd. Daardoor is het waarschijnlijk dat in de buurt van de uiteindes van een strekking cumulatieve effecten worden ervaren. Dit kan het geval zijn waar de invloedszone van de onttrekking voor aanleg van de eerste strekking overlapt met die van de tweede strekking.

Er wordt uitgegaan van aanleg tijdens de natte periode, de GHG situatie. Onder deze omstandigheden zal relatief veel water onttrokken moeten worden om het ontwateringsniveau te halen en daardoor is het verziltingsrisico relatief hoog. In de praktijk wordt gestreven naar aanleg tijdens de droge periode.

Modelberekeningen

De modellen zijn eerst voor 30 jaar doorgerekend met een sinus gebaseerd op het 30-jaarlijkse daggemiddelde neerslagoverschot. Het neerslagoverschot is daarmee in de winter het grootst, en in de zomer is er sprake van een neerslagtekort. Resultaat van deze stap, is een inschatting van de dikte van de zoetwaterlenzen in de huidige situatie. Deze resultaten geven de evenwichtstoestand weer. Vervolgens is de sleuf en onttrekking aan het model toegevoegd en zijn berekeningen uitgevoerd die een 10-daagse onttrekking representeren.

De effecten van de onttrekking op het zoet-zout grensvlak in de percelen, is beoordeeld aan de hand van de grondwaterstand en de diepte van het zoet-zout grensvlak op het moment dat de onttrekking stop wordt gezet.

3.3 Indicatoren van verzilting

In dit onderzoek wordt het effect op de zoetwatervoorraad bekeken direct na afloop van de werkzaamheden, zowel direct onder als op afstand van de routes. De vertaling naar

risicoklassen wordt echter gebaseerd op het effect op de zoetwatervoorraad ter hoogte van de routes. Aangenomen is dat waar het effect op de zoetwatervoorraad relatief groot is, het herstel van de oorspronkelijke zoet-zout situatie ook relatief lang zal duren vergeleken met plekken waar het effect op de zoetwatervoorraad relatief klein is. Herstel is immers afhankelijk van neerslag, en hoe meer zoet water aangevuld moet worden, hoe groter het neerslagoverschot moet zijn om dat te bereiken. Uitgegaan is dat als het effect op de zoetwatervoorraad kleiner is dan 1 m, het risico relatief laag is. Bij een effect van groter dan 1 m, is het verziltingsrisico relatief hoog.

Het effect op de zoetwatervoorraad is echter sterk afhankelijk van de kwelsituatie, terwijl de onzekerheid in kwelgegevens groot is (Figuur 2 – Figuur 4). Door de klasse 'onzeker' risico toe te voegen, wordt rekening gehouden met deze onzekerheid. De locaties waar op basis van alle drie de kwelkaarten het berekende effect op de zoetwatervoorraad kleiner is dan 1 m, zijn toegekend aan de 'beperkt risico' klasse. De locaties waar op basis van alle drie de kwelkaarten het berekende effect op de zoetwatervoorraad groter is dan 1 m, zijn toegekend aan de 'hoog' risico klasse. Op de rest van de locaties is het effect soms kleiner en soms groter dan 1 m, afhankelijk van de gebruikte kwelkaart. Deze locaties zijn toegekend aan de 'onzeker risico' klasse.

De onderzoek corridors van routes VII Schiermonnikoog Wantij landroute A, alsook de daarbinnen gelegen varianten Oostpolder en Roodeschool, zijn breder dan de overige routes. Een correctiefactor wordt toegepast om te vermijden dat deze routes hogere verziltingsrisico krijgen toegekend puur door de bredere onderzoek corridor, zodat daarmee alle routes eerlijk vergeleken kunnen worden. Aan de hand van de oppervlaktes van de corridors en de aangeleverde lengte van de routes is berekend, dat de breedte van VII Schiermonnikoog Wantij landroute A 4,2 keer groter is dan de overige routes. Voor de varianten Oostpolder en Roodeschool is dat een factor 3. In de analyse worden de berekende oppervlaktes aan percelen met beperkt/onzeker/hoog risico met deze factor verkleind om daarmee de invloed van de grotere breedte te corrigeren.

3.4 Overzicht belangrijke uitgangspunten

Een overzicht van belangrijke aannames en uitgangspunten in de modellering staat in Tabel 2. Daarbij wordt aangegeven of deze beter overeenkomen met een 'best guess' of 'worst case' benadering.

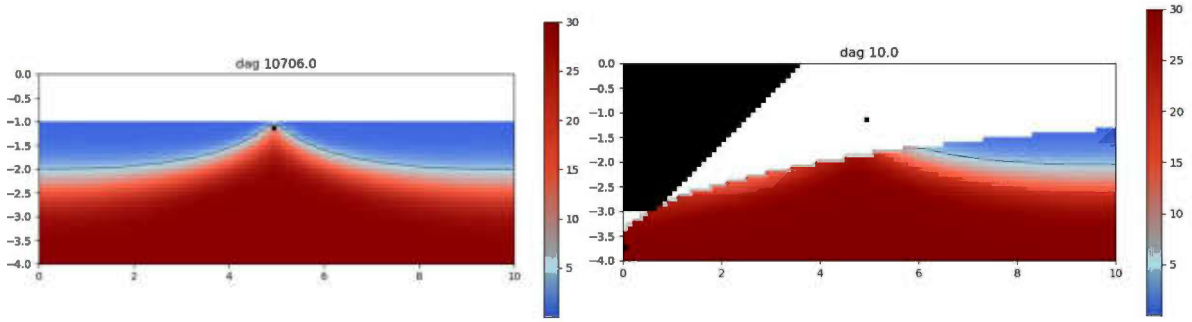
Tabel 2. Overzicht van model uitgangspunten en aannames en of die overeenkomen met een 'best guess' of 'worst case' benadering

Uitgangspunt/aanname	Waarde	Benadering
Huidige situatie zoetwaterlenzen	Model op basis van regionale datasets, representatieve drainage eigenschappen en gemiddelde neerslagoverschot	Best guess
Ligging drainage	Parallel aan leiding-tracé	Worst case
Aanlegperiode	Natte periode (GHG)	Worst case
Bemalingsduur	10 dagen	Best guess
Indicator verzilting moment	Effect direct na aanleg tracé	Worst case

Indicator verzilting locatie	Effect direct onder midden sleuf	Worst case

4 Berekende verziltingseffecten

In Figuur 8 zijn resultaten van het dwarsdoorsnedemodel voor bodemcluster 1 (eerste meter zavel, volgende vier meter zand) met een lage kwelflux (0.05 mm/d) ter illustratie weergegeven. In het linker figuur wordt de evenwichtssituatie van voor de onttrekking weergegeven. In het midden van de doorsnede is een (perceel)drainagebuis zichtbaar. Voor dit onderzoek is het zoet-zout grensvlak gebaseerd op een chlorideconcentratie van 1,5 g/l, wat overeenkomt met een EC van ongeveer 4,5 mS/cm. Het zoute grondwater wordt aangetrokken naar de drain, en vormt daarmee zoetwaterlenzen. In de begin situatie voor deze cluster is er een zoetwaterlens aanwezig van ongeveer 2 meter diep.



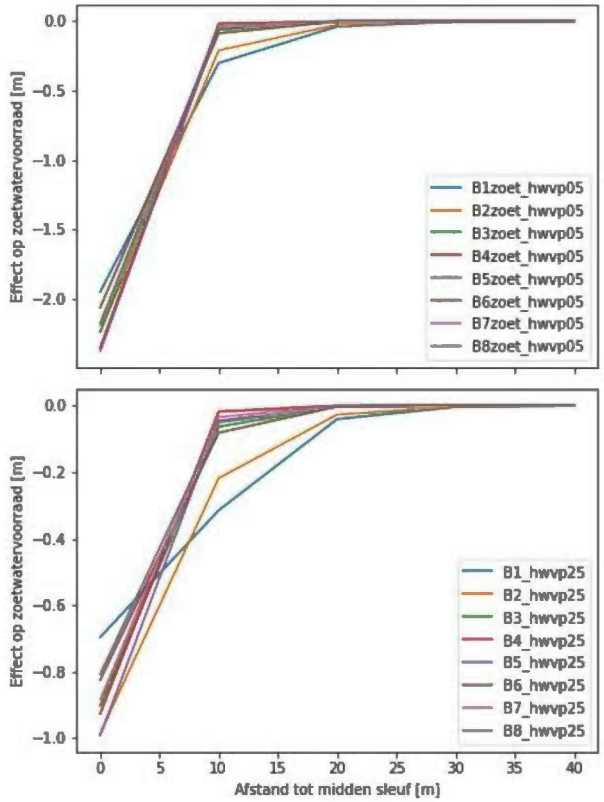
Figuur 8. Evenwichtssituatie zonder onttrekking na 30 jaar doorrekenen (links) en situatie na 10 dagen onttrekking (rechts). De kleuren geven de EC van het grondwater weer in mS/cm. De drain in het midden van het figuur is een drain in een perceel. Links in het rechter figuur is de sleuf zichtbaar, met daaronder op een diepte van 3.8 meter de drain in de sleuf.

In het rechter deel van Figuur 8 wordt de situatie op dag 10 (aan het einde) van de onttrekking weergegeven. Links in de figuur is de sleuf te zien met op een diepte van 3.8 meter de drain van de sleuf. Te zien is dat op dag 10 van de onttrekking het grondwater duidelijk wordt aangetrokken in de richting van de drain in de sleuf. Nabij de drain treedt er een verlaging van de grondwaterstand op en links van de perceel drainage is de zoetwaterlens volledig verdwenen. Rechts van de drain in het perceel, is de dikte van de zoetwaterlens verkleind ten opzichte van de situatie voor de onttrekking (Figuur 8).

De modelresultaten van deze en de andere standaardsituaties worden in dit hoofdstuk samengevat en vertaald naar de onderzochte waterstofroutes.

4.1 Standaardprofielen

In Figuur 9 worden de ruimtelijke effecten op de zoetwatervoorraad direct na aanleg weergegeven voor alle standaardprofielen zoals die berekend zijn door de modellen. Te zien is dat de afname van de zoetwatervoorraad ter hoogte van de sleuf (afstand = 0 m) voor situaties waarin de kwelflux zeer laag is, het grootst is. Dit komt mede doordat in deze gevallen er al een grotere zoetwatervoorraad aanwezig was en er dus logischerwijs ook een grotere afname van de lens kan plaatsvinden. In het geval van de lage kwelflux was er al een kleinere zoetwatervoorraad aanwezig en dus is de afname ook kleiner.



Figuur 9. Ruimtelijke effect op de zoetwatervoorraad direct na aanleg voor alle standaardprofielen met een zeer lage (boven) en lage (onder) kwelflux.

Op enige afstand van de sleuf is de absolute afname in zoetwatervoorraad is voor beide kwelsituaties vergelijkbaar, maar door de vooraf kleinere zoetwaterlenzen in de lage kwelsituatie is de procentuele afname groter dan voor de zeer lage kwelsituatie. Op afstand (rond de 5 tot 15 m) van de waterstofleiding is het effect op de zandige profielen B1 en B2 voor beide kwelsituaties iets groter dan voor de andere profielen. Dit komt door de hogere doorlatendheid van zand. Voor alle standaardprofielen zijn berekende verziltingseffecten op een afstand van 20 m van het midden van de sleuf kleiner dan 5 cm, en op meer dan 30 m van het midden van de sleuf verwaarloosbaar klein. Dit betekent dat de zone waarin cumulatieve effecten verwacht kunnen worden bij aanleg van een volgende strekking beperkt is tot deze afstanden. Cumulatieve effecten door aanleg van aangrenzende strekkingen kunnen onderzocht worden in een volgende fase als een route gekozen is.

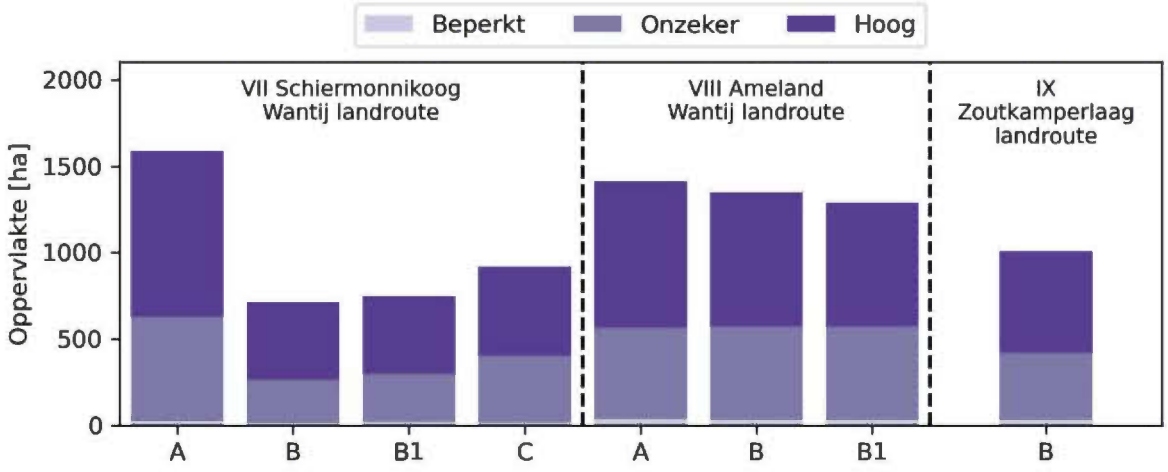
Het effect op de zoetwatervoorraad is een combinatie van verlaging van de grondwaterstand en verandering van het zoet-zout grensvlak. Dit onderscheid is belangrijk omdat uit eerder onderzoek blijkt, dat herstel van de grondwaterstand relatief snel is (dagen) terwijl het herstel van het zoet-zout grensvlak langer duurt (maanden tot jaren). De duur van herstel is afhankelijk van de grootte van het effect (i.e. hoeveel zoetwater moet worden aangevuld) en het neerslagoverschot. Op basis van de modelresultaten blijkt dat de verhoging van het zoet-zout grensvlak vanaf 10 m van het midden van de sleuf kleiner is dan 5 cm. Dit betekent dat het effect op de zoetwatervoorraad vooral wordt bepaald door de verlaging in de grondwaterstand op deze afstanden.

Naar verwachting zal in de periode na de werkzaamheden de grondwaterstand zich herstellen met het water dat in de omgeving beschikbaar is. In de eerste dagen na afloop van de werkzaamheden zal het grondwater ter hoogte van de routes vooral aangevuld worden met grondwater uit de directe omgeving. Dat is op basis van Figuur 8 voornamelijk zout grondwater. Bij dikkere zoetwaterlenzen is er kans dat het zoute diepere grondwater gemengd wordt met restanten van de zoetwaterlenzen aan beide kanten van de sleuf bij grondwateraanvulling. Op langere termijn wordt het neerslagoverschot belangrijk. Hoe hoger het neerslagoverschot, hoe sneller het herstel. Het is daardoor waarschijnlijk dat herstel sneller zal plaatsvinden als de werkzaamheden na het groeiseizoen worden uitgevoerd, dan bij aanleg in de lente of zomer. Het is aannemelijk dat de duur van herstel ook afhankelijk is van of de neerslag in de herstelperiode lager dan, gelijk aan, of hoger dan gemiddeld is.

4.2 Routes

Ieder van de 2400 percelen binnen het studiegebied is gekoppeld aan de meest vergelijkbare standaardsituatie op basis van de bodemopbouw en de kwelsituatie. Er is rekening gehouden met de onzekerheid in kwelsituatie door in eerste instantie drie risicokaarten te maken, ieder gebaseerd op een verschillende kwelkaart. Deze zijn vervolgens samengevat in een enkele risicokaart zoals in hoofdstuk 3.3 is uitgelegd.

In Figuur 10 is per route weergegeven hoeveel oppervlakte perceel zich in elk van deze drie klassen bevindt. De resultaten van VII Schiermonnikoog Wantij landroute A zijn gecorrigeerd voor de grotere breedte van de route ten opzichte van de andere (zie Figuur 1 en hoofdstuk 3.3). Wat opvalt is dat voor alle mogelijke routes het meeste oppervlak in de klasse 'hoog risico' valt (54–61%). Ongeveer 2–3% van het oppervlak is toegekend aan de 'beperkte risico' klasse. De overige 36–43% valt onder de 'onzeker risico' klasse.

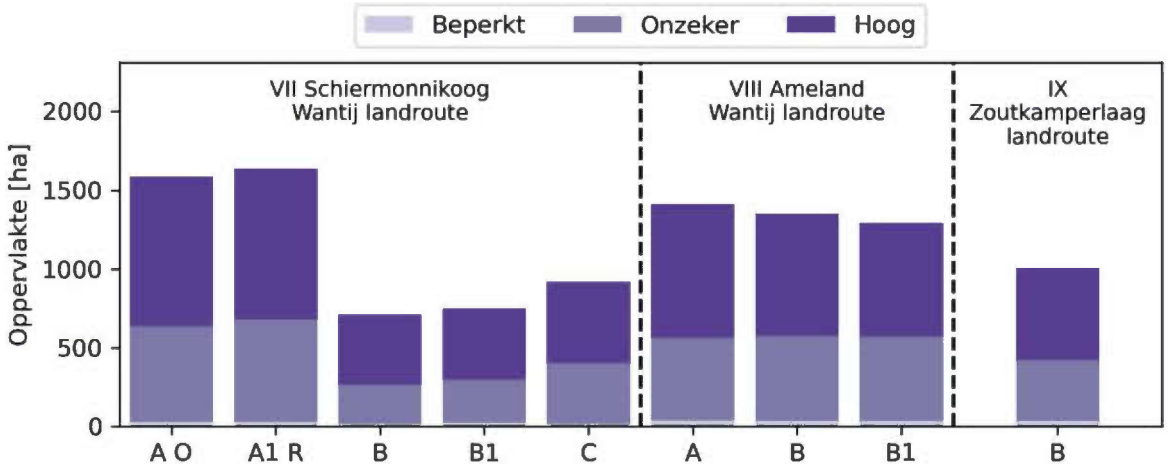


Figuur 10. De staven geven de totale oppervlakte weer van de percelen die overlappen met de originele routes weer. Deze totale oppervlakte is op te delen in drie klassen die het verziltingsrisico door onttrekking weergeven: beperkte kans op verzilting, hoge kans en onzekere kans.

De routes van de land routes verschillen echter in het totale oppervlakte van hoog/onzeker/laag berekende verziltingsrisico. Volgens de analyse is de route met de

kleinste oppervlakte aan percelen waarbij verziltingsrisico's verwacht worden VII Schiermonnikoog Wantij landroute variant B. Ook VII Schiermonnikoog Wantij landroute B1 heeft een relatief klein oppervlakte aan percelen met hoog en/of onzeker risico. Ondanks de correctie voor de bredere corridor van route VII Schiermonnikoog Wantij landroute A is de oppervlakte hoog en/of onzeker risico relatief groot vergeleken met de andere routes. De berekende verziltingrisico's van de VIII Ameland Wantij landroute varianten zijn ook relatief hoog.

Voor de MER is route VII Schiermonnikoog Wantij landroute A als geheel beschouwd. Voor de omgeving is het echter van belang om de twee varianten van deze route, Roodeschool en Oostpolder, te kunnen vergelijken. De vergelijking van de routes waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen deze varianten staat in Figuur 11. Hieruit blijkt dat de twee varianten in grote lijnen vergelijkbaar zijn. De oppervlakte van percelen die in de klasse onzeker risico vallen, van variant Roodeschool, is ongeveer 7% groter dan die van variant Oostpolder. Het verschil in de oppervlaktes beperkt/hoog risico is kleiner dan 1%.



Figuur 11. De staven geven de totale oppervlakte weer van de percelen die overlappen met de originele routes weer. Deze totale oppervlakte is op te delen in drie klassen die het verziltingsrisico door onttrekking weergeven: beperkte kans op verzilting, hoge kans, en onzekere kans (A O = Oostpolder, A1 R = Roodeschool).

5 Conclusies en aanbevelingen

In het verkennend verziltingsonderzoek zijn de kansen op en mate van verzilting onderzocht bij aanleg van mogelijke waterstofroutes in Noord Groningen en Noord Friesland. Het doel van het onderzoek is om de verschillen in risico op en de mate van verzilting te vergelijken tussen de voorgestelde routes. De verziltingseffecten zijn aan de hand van een grondwatermodel met dichtheidsafhankelijke stroming gesimuleerd voor 16 standaardsituaties die representatief zijn voor de variabiliteit in bodem en kwel langs de routes. De bodem en kwel zijn gebaseerd op beschikbare gegevens van regionale en landelijke schaal. Deze databronnen geven op regionale schaal een goed beeld van de variabiliteit, maar op het niveau van individuele percelen kan de data afwijken van de werkelijkheid. Dit betekent dat de resultaten van dit onderzoek het verziltingsrisico op het niveau van de routes beter weergeeft dan op het niveau van individuele percelen.

De berekeningen tonen aan dat verziltingseffecten te verwachten zijn als gevolg van de onttrekkingen bij aanleg van de waterstofroutes. Volgens de berekeningen verdwijnt de zoetwaterbel ter hoogte van de horizontale drain midden onder de sleuf. Op afstand van de sleuf zijn berekende effecten voor zandige profielen groter dan voor zavelige of kleiige profielen vanwege de hogere doorlatendheid. Op 20 m van de waterstofleiding is het effect op de zoetwatervoorraad beperkt tot kleiner dan 5 cm. De verandering op deze afstand is echter voornamelijk in de grondwaterstand, de verandering in het zoet-zout grensvlak is verwaarloosbaar. Dat is belangrijk omdat naar verwachting herstel van de grondwaterstand relatief snel is, vergeleken met het herstel van het zoet-zout grensvlak.

Het verziltingsrisico van de verschillende routes is verdeeld in klassen: laag, onzeker, en hoog risico. De routes VII Schiermonnikoog Wantij landroute varianten B en B1 bevatten in vergelijking met de andere routes een relatief kleine oppervlakte aan percelen waar onzeker tot hoge verziltingsrisico's verwacht worden op basis van de berekeningen. De VII Schiermonnikoog Wantij landroute variant A en VIII Ameland Wantij landroute varianten hebben van de onderzochte routes een relatief groot oppervlak aan percelen waar onzeker tot hoge verziltingsrisico's verwacht worden. Het verschil tussen de routes is voornamelijk gerelateerd aan de lengte van de routes, de verhouding tussen de verschillende risicoklassen is voor alle routes vergelijkbaar.

5.1 Aanbevelingen

In dit onderzoek zijn verziltingseffecten in kaart gebracht. Of berekende effecten daadwerkelijk tot schade leiden, en dan in welke mate, is buiten de scope van dit onderzoek. Aanvullende onderzoeken zouden inzicht kunnen geven in de gevolgen en tijdsduur van berekende verziltingseffecten.

In dit onderzoek zijn geen veldonderzoeken uitgevoerd, waardoor het onderzoek volledig is gebaseerd op beschikbare data. Gezien de onzekerheden in bijvoorbeeld de kwelkaarten, maar ook de aangenomen bodemeigenschappen, kunnen verziltingseffecten op een specifiek perceel anders uitvallen dan hier berekend is. Het is bijvoorbeeld aannemelijk dat als de doorlatendheid hoger uitvalt dan de aangenomen waarde, de afstand tot waar verziltingseffecten zichtbaar zijn, zal toenemen. De

doorlatendheid kan gemeten worden door middel van Hooghoudt proeven en/of een korrelanalyse (zeefkromme methode). De kwelflux kan het best gemeten worden door het plaatsen van twee peilbuizen, één freatisch en één direct onder de deklaag. Door het verschil in stijghoogte in de peilbuizen en een geschatte weerstand op basis van de bodemopbouw kan de kwelflux worden bepaald. In een latere fase kunnen veldonderzoeken inzicht geven in de waardes van belangrijke parameters, zoals doorlatendheid en kwelflux. Aan de hand van deze gegevens kan het verziltingsonderzoek verfijnd worden in een volgende fase, als een route gekozen is.

In deze studie is uitgegaan van aanleg volgens de standaard open ontgravingsmethode. Het is echter mogelijk om mitigerende maatregelen te nemen om daarmee het verziltingsrisico en/of de verziltingseffecten te verkleinen. Naar verwachting geldt: hoe meer een mitigerende maatregel het totale onttrokken debiet kan verkleinen, hoe groter de verwachte effectiviteit van de maatregel. In de komende jaren komen mogelijk nieuwe aanlegtechnieken beschikbaar, denk aan zgn. grondverdringende techniek (ook wel Inploegen genoemd) of ondiepe gestuurde boringen. Dergelijke technieken hebben als voordeel dat grondwateronttrekking kan worden beperkt maar helaas niet uitgesloten. Daarnaast kan het totale onttrokken debiet verkleind worden door de onttrekkingsduur te verkorten en/of het debiet te verkleinen. De onttrekkingsduur kan verkort worden door bijvoorbeeld langere dagen te maken of door aanpassingen in de bemalingsstrategie. Het debiet kan verkleind worden door bijvoorbeeld gebruik van damwanden. Daarmee wordt ook het effect van de bemaling op afstand van de sleuf beperkt. Het is echter belangrijk dat maatregelen technisch haalbaar en uitvoerbaar zijn. Kansrijke maatregelen om verziltingsrisico te verkleinen die ook technisch haalbaar zijn kunnen het best verkend worden in overleg met onder andere de uitvoerende partijen in een volgende fase.

Referenties

Acacia Institute (2019). *Spaarwater 2 – versterken zoetwaterlens*, Technische rapportage, Gouda, the Netherlands.

Doorn, A. van, Velstra V. (2021). *Validatie en toetsing LHM 4.1 – Deelrapport 4: Verzilting*, PR4313.10.

Kuijer, P.C., Steur, G.G.L., Heijink, W., Bakker, H. de, Boersma, O.H., Hamming, C. (1987) Bodemkaart van Nederland schaal 1:50,000, STIBOKA.

Staveren, G. van, Velstra, J. (2012) *Verzilting van landbouwgronden in Noord-Nederland in het perspectief van de effecten van klimaatsverandering* Klimaat voor Ruimte rapport KvR 058/12, ISBN: 978-90-8815-050-0.

WENR (2022). Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000 (versie 2022).

Wösten, H., Vries, F. de, Hoogland, T., Massop, H., Veldhuizen, A., Vroon, H., Wesseling, J., Heijkers, J., Bolman, A. (2013). *BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland*. Alterra-rapport 2387. Wageningen, the Netherlands, 88 p.

Wösten, J.H.M, Veerman, G.J., Groot, W.J.M., de, Stolte, J. (2001). *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*, Alterra-rapport. Wageningen, the Netherlands, 86 pp.

Hoofdkantoor

Van Hogendorpplein 4
2805 BM Gouda

Regiokantoor
Noord-Nederland

Watercampus
Agora 4
8934 CJ Leeuwarden

Regiokantoor
Oost-Afrika

Woreda 03, Bole Sub city
House No. 4/020
Addis Abeba

www.acaciawater.com