

## RAPPORT

# Verkenningfase versterking IJsselmeerdijk

Uitwerking voorland Ontwerploop 2 (OL2)

Klant: Waterschap Zuiderzeeland

Referentie: BH5290-ZZ-XX-RP-Z-0030

Status: Definitief/ C03

Datum: 18 februari 2022



**HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.**

Jonkerbosplein 52  
6534 AB Nijmegen  
Industry & Buildings  
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**  
+31 24 323 93 46 **F**  
info@rhdhv.com **E**  
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Verkenningfase versterking IJsselmeerdijk

Ondertitel: IJMD uitwerking voorland OL2  
Referentie: BH5290-ZZ-XX-RP-Z-0030  
Status: C03/Definitief  
Datum: 18 februari 2022  
Projectnaam: Verkenningfase versterking IJsselmeerdijk  
Projectnummer: BH5290  
Auteur(s): Bente de Vries, Martin de Haan, Bas van Spronsen, Roel van de Laar, Bram Evers, Anne de Beer, Michiel Wolbers, Loek Schemmekes

Opgesteld door: Bente de Vries

Gecontroleerd door: Sander Post, Roel van de Laar

Datum: 18-02-2022

Goedgekeurd door: Odelinde Nieuwenhuis

Datum: 18-02-2022

Classificatie

Projectgerelateerd

*Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veelevoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.*

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1	Versterking IJsselmeerdijk	5
1.2	Het ontwerpproces in fasen	5
1.3	Uitwerking van het voorlandalternatief	6
1.4	Leeswijzer	8
<b>2</b>	<b>Gebiedsbeschrijving</b>	<b>9</b>
2.1	Functies nabij de dijk	10
2.2	Hydrodynamiek en morfologie op hoofdlijnen	11
2.3	Ruimtelijke kwaliteit van de dijk met een voorland	14
2.4	Aanvullend conditionerend onderzoek archeologie	15
2.5	Aanvullend conditionerend onderzoek kabels & leidingen	16
<b>3</b>	<b>Optimalisatie MKI (milieukostenindicator)</b>	<b>17</b>
3.1	Analyse van milieu-impact van voorlandalternatief	17
3.2	Optimalisaties om de MKI-waarde te verlagen	18
<b>4</b>	<b>Vergunbaarheid</b>	<b>19</b>
4.1	Projectplan Waterwet (per 1 juli 2022 Projectbesluit Omgevingswet)	20
4.2	Wet natuurbescherming / Natura2000	20
4.3	Wet ruimtelijke ordening (planologische inpassing)	20
4.4	Omgang met het windmolenpark en futenrustgebied	22
4.5	Visrechten	23
4.6	Aanbevelingen voor het vervolg	23
<b>5</b>	<b>Ontwerp</b>	<b>24</b>
5.1	De ontwerpogave	24
5.2	Ontwerpmogelijkheden voorland	25
5.3	Eerste selectie	28
5.4	Modelstudie	30
5.4.1	Systeemkennis	30
5.4.2	Methodologie morfologische modelstudie	34
5.4.3	Resultaten morfologische modelstudie	35
5.5	Uitwerking ontwerp	36
5.5.1	Ontwerp basisvariant	36
5.5.2	Ecologische plus variant	39
5.5.3	Ecologische meerwaarde basisvariant en ecologische plusvariant	42

5.5.4	Bijdrage van vooroever aan PAGW-doelen	48
<b>6</b>	<b>Mogelijkheden zandwinning</b>	<b>54</b>
6.1	Benodigd volume sediment	54
6.2	Beschikbaarheid materiaal	54
6.2.1	Bestaande zandwinput	54
6.2.2	Eigen zandwinput	57
6.2.3	Eigenschappen materiaal	58
6.2.4	Mogelijke stop zandwinning i.v.m. toenemende verzilting	58
6.3	Winning & transport van sediment	58
6.4	Kosten zandwinning	58
6.4.1	Uitgangspunten voor het inschatten van zandwinkosten	59
6.4.2	Zandwinscenarios	59
6.4.3	Berekende kosten	61
<b>7</b>	<b>Monitoring, beheer en onderhoud</b>	<b>62</b>
7.1	Monitoring, beheer en onderhoud basisvariant	62
7.1.1	Zandig profiel – waterveiligheid	62
7.1.2	Zandig profiel – ecologie	63
7.1.3	Langsdam	64
7.2	Monitoring, beheer en onderhoud plusvariant	64
7.2.1	Zandig profiel – waterveiligheid	65
7.2.2	Zandig profiel – ecologie	65
7.2.3	Langsdam	66
7.3	Monitoringsverplichtingen vanuit natuurwetgeving	66
7.4	Voorkomen van verstoring	67
7.5	Samenvatting activiteiten monitoring en beheer	67
<b>8</b>	<b>Groeivariant</b>	<b>69</b>
8.1	Faseringsscenario's	69
8.1.1	Voorbeeldscenario 1 – gefaseerde aanleg in dwarsrichting	69
8.1.2	Voorbeeldscenario 2 – gefaseerde aanleg in lengterichting	70
8.2	Waterveiligheid	70
8.3	Ecologie	70
8.4	Vergunbaarheid	71
8.5	Kosten	71
8.6	Conclusie groeivariant	72
<b>9</b>	<b>Samenvatting ontwerpen en aandachtspunten voor het vervolg</b>	<b>74</b>
9.1	Basisvariant	74
9.2	Plusvariant	76
9.3	Groeivariant	79



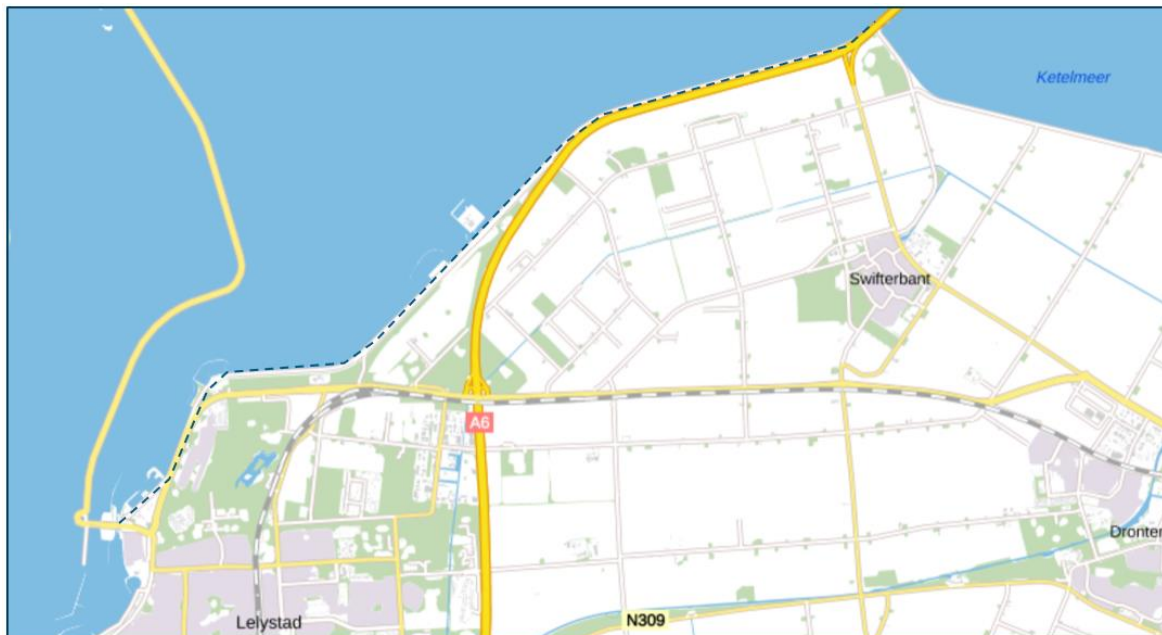
9.4	Aandachtspunten voor het vervolg	79
	<b>Bijlagen</b>	<b>82</b>
	Bijlage 1: Aanvullend archeologisch onderzoek voorland	
	Bijlage 2: Rapportage morfologische modelstudie en analyse voorland	
	Bijlage 3: Memo nadere zettingsanalyse voorland	

# 1 Inleiding

## 1.1 Versterking IJsselmeerdijk

De IJsselmeerdijk beschermt de diepe Flevopolder tegen het water van het IJsselmeer. De dijk voldoet niet meer aan de waterveiligheidsnormen en daarom is Waterschap Zuiderzeeland (hierna afgekort als: Zuiderzeeland) in 2019 gestart met het meerjarige project Versterking IJsselmeerdijk. De IJsselmeerdijk is 17,6 km lang en ligt aan de noordwestzijde van Oostelijk Flevoland. De waterkering loopt van de Ketelbrug in het noorden tot aan de Houtribdijk in Lelystad (zie Figuur 1-1).

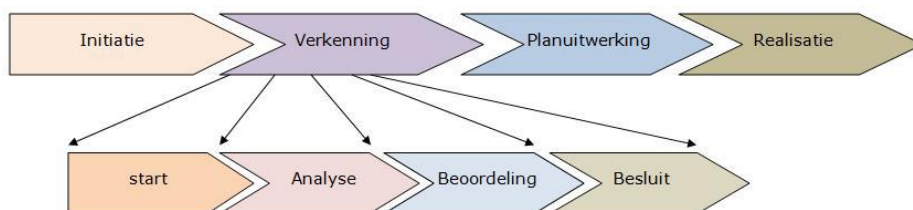
Het projectdoel is het realiseren van een veilige én toekomstbestendige dijk. De nieuwe dijk wordt goed ingepast in de omgeving met behoud van de huidige ruimtelijke kwaliteit en er wordt nadrukkelijk gezocht naar de mogelijkheden voor het inpassen van innovatieve en duurzame oplossingen. De dijk dient te worden gerealiseerd op basis van een bestuurlijk en maatschappelijk gedragen plan.



Figuur 1-1: Plangebied met tracé van de te versterken kering (zwart gestippelde lijn).

## 1.2 Het ontwerpproces in fasen

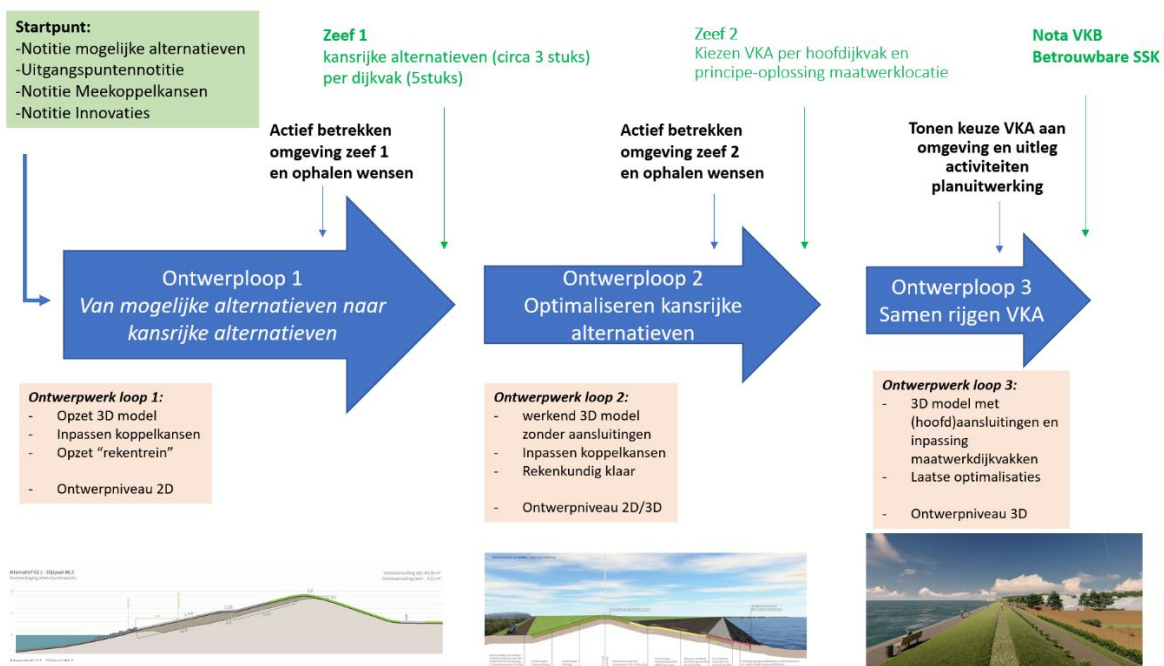
Momenteel bevindt het project de versterking van de IJsselmeerdijk zich in de verkenningsfase, volgens de fasering uit het landelijke Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). De planning is nu dat de verkenning halverwege 2022 wordt afgerond en resulteert in een Voorkeursbeslissing (VKB). De periode 2022- 2024 staat gepland voor de planuitwerkingsfase, in de periode hierna volgt de realisatiefase.



Figuur 1-2: Fasering HWBP dijkversterking project.

Het ontwerpproces wordt doorlopen conform de HWBP-systematiek. Om een goede afweging tot alternatieven en uiteindelijk het voorkeursalternatief te kunnen maken, wordt het ontwerp van de dijk door meerdere “zeven” gehaald. In elke zeef (ontwerpstep) gaan alleen de kansrijke bouwstenen/alternatieven door de zeef heen en blijven niet kansrijke bouwstenen/alternatieven achter. In de verkenningsfase zijn er drie zeef-momenten. Tussen de zeefmomenten wordt het ontwerp verder uitgewerkt. Hierbij onderscheiden we de volgende stappen:

1. Selectie kansrijke bouwstenen (zeef 0);
2. Samenstellen mogelijke alternatieven;
3. Selectie kansrijke alternatieven (zeef 1);
4. Uitwerking kansrijke alternatieven (voorliggend rapport);
5. Voorkeursbeslissing (zeef 2).



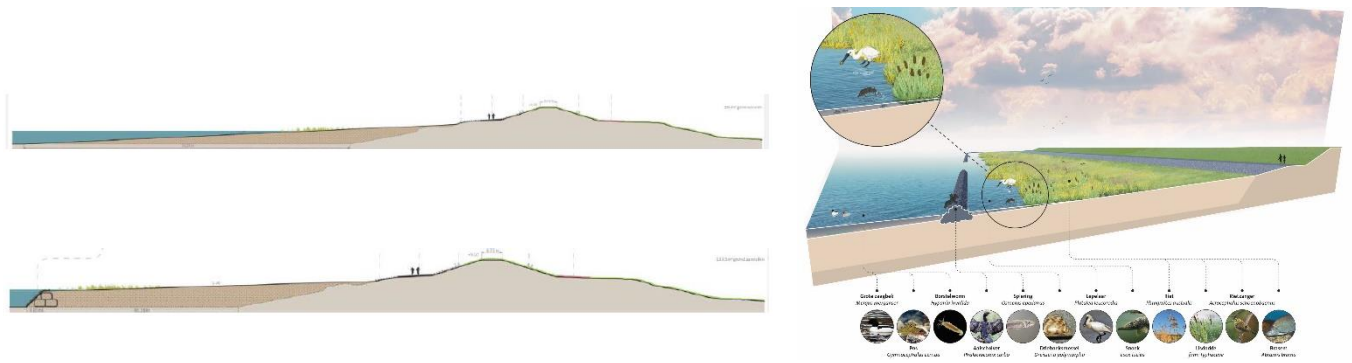
Figuur 1-3: Ontwerpproces verkenningsfase Dijkversterking IJsselmeerdijk.

Het huidige rapport maakt deel uit van stap 4, het uitwerken van de kansrijke alternatieven. In het rapport wat u nu leest wordt het voorlandalternatief (een gekozen kansrijk alternatief) verder uitgewerkt waarmee het geschikt wordt voor beoordeling in zeef 2 (onderdeel van stap 4). Hierbij worden de kansrijke alternatieven uitgewerkt tot het niveau waarop de effecten kunnen worden beoordeeld voor het plan-MER, de kansrijke alternatieven kunnen afwegen en deze met voldoende nauwkeurigheid kunnen ramen. Daarna kunnen de kansrijke alternatieven, inclusief de overgebleven meekoppelkansen en innovaties, worden beoordeeld in de zeef 2 waarbij resultaten worden vastgelegd in de eindrapportage voor de rapportage van de Voorkeursbeslissing (VKB).

### 1.3 Uitwerking van het voorlandalternatief

Voor de versterking van de IJsselmeerdijk is bij de selectie van kansrijke alternatieven (zogenoemde zeef 1) voor het deeltraject Meerdijk een voorlandalternatief gekozen als kansrijk alternatief. Het voorland alternatief betreft het aanleggen van een grondlichaam voor de huidige dijk met een golfremmende en -brekende werking (Figuur 1-4). Hierdoor neemt de hoogte- en bekledingsopgave af of vervalt deze zelfs volledig.

In de Notitie Kansrijke Alternatieven is geadviseerd om het alternatief in ontwerploop 2 dusdanig uitwerken dat deze betrouwbaar beoordeeld kan worden in zeef 2, onderbouwd in aanmerking kan komen voor de programma's PAGW/ KRW en geschikt is voor een MER-beoordeling. Verdere uitwerking is met name nodig op de thema's haalbaarheid, vergunbaarheid, beheer en kosten. Voor het in aanmerking komen voor de programma's PAGW/KRW dient de ecologische inrichting verder te worden uitgewerkt.



Figuur 1-4: Afbeeldingen van het geleidelijk aflopend voorland na zeef 1

De belangrijkste doelen van de nadere uitwerking van het voorlandalternatief zijn:

1. Het samenstellen van de benodigde (beslis)informatie voor Zuiderzeeland en RWS zodat het voorland volwaardig meegenomen kan worden in de selectie van het voorkeursalternatief uit geselecteerd kansrijke alternatieven;
2. Het verzorgen van de benodigde (beslis)informatie voor RWS voor de ecologische variant van het voorland zodat de afweging over subsidie vanuit KRW en eventueel ook PAGW om extra meerwaarde biodiversiteit te realiseren gemaakt kan worden.

Om bovenstaande doelen te bereiken werken we twee varianten van het voorland uit. De eerste variant is een basisvariant, die de waterveiligheidsopgave volledig oplost, vergunbaar is en gefinancierd kan worden via het HWBP. De tweede variant lost de waterveiligheidsopgave ook geheel op en daarnaast ligt de focus op het optimaal vergroten van de biodiversiteit. Naast deze twee varianten kijken we ook of het mogelijk is om een voorland in verschillende fases aan te leggen ('groeivariant') en wat de consequenties hiervan zijn voor haalbaarheid, vergunbaarheid en kosten.

Om de varianten uit te werken tot volwaardige kansrijke alternatieven zijn een aantal zaken in meer detail uitgezocht om de randvoorwaarden voor het ontwerp scherper te krijgen:

- Aanvullende conditionerende onderzoeken (archeologie, kabels & leidingen) zijn uitgevoerd;
- Mogelijkheden om de MKI-waarde (milieukosten) te optimaliseren zijn onderzocht, omdat het voorland ten opzichte van andere alternatieven slecht scoorde;
- De mogelijkheden en kosten van zandwinning zijn onderzocht;
- De vergunbaarheid van een voorland in het algemeen is onderzocht;
- De hoeveelheid sedimenttransport voor verschillende ontwerpvarianten is onderzocht met een modelstudie.

Na deze onderzoeken zijn een basisvariant en ecologisch optimale variant opgesteld. Vervolgens zijn voor deze varianten beheer, onderhoud en inspectieactiviteiten en kosten beschreven. Ten slotte is ook een groeivariant (gefaseerde uitvoering) uitgewerkt.

## 1.4 Leeswijzer

Dit rapport start met een gebiedsbeschrijving met een focus op functies bij de dijk, de hydrodynamiek en morfologie van het IJsselmeer, ruimtelijke kwaliteit en archeologie (nieuw conditionerend onderzoek) (H0). Vervolgens lichten we de eerder berekende MKI (milieukostenindicator) van het voorland toe en hoe deze kan worden verbeterd (H3). Dan gaan we in op de vergunbaarheid van het voorland (H4). Daarna komt de uitwerking van het ontwerp van het voorland, waarbij we met een modelstudie verschillende mogelijke ontwerpen onderzoeken en vervolgens een basisvariant en een variant met extra ecologische inrichting nader uitwerken (H5). Dan volgen mogelijkheden voor zandwinning (H6), een overzicht van monitorings-, beheer- en onderhoudsactiviteiten voor de twee ontwerpen (H7). Daarna gaan we beknopt in op de mogelijkheid van gefaseerde aanleg van een voorland (H8) en ten slotte vatten we de ontwerpen inclusief de belangrijkste aandachtspunten voor het vervolg samen (H9).

## 2 Gebiedsbeschrijving

Voor het ontwerp van het voorland is het van belang dat deze goed is ingepast in het gebied. Hieronder volgt een korte beschrijving van het gebied met daarbij een aantal aandachtspunten die vanuit ruimtelijke kwaliteit voor het ontwerp van de dijk zijn meegegeven.



Figuur 2-1: Onderverdeling traject dijkversterking en scope van studie

De IJsselmeerdijk is 17,6 km lang en ligt aan de noordwestzijde van Oostelijk Flevoland. De waterkering loopt van de Ketelbrug in het noorden tot aan de Houtribdijk in Lelystad. Het projectgebied is onder te verdelen in 2 trajecten, landelijk (traject 1) en stedelijk (traject 2) (Figuur 2-1). Voor het voorland focussen we op het landelijk traject.



De kruin van de dijk ligt op circa NAP +5m. Het is een lange rechte grasdijk met een steenbekleding aan de buitenzijde. Aan de waterzijde (buitendijks) liggen van noord naar zuid de onder andere de Maxima centrale, CTU Flevokust, en jachthaven Flevo Marina (zie Figuur 2-2). Aan de landzijde (binnendijks) ligt de snelweg A6, bedrijventerrein Flevokust en de provinciale weg N307.



Figuur 2-2: Overzichtskartaal van het plangebied met kenmerkende bouwwerken.

## 2.1 Functies nabij de dijk

De functies nabij de dijk van noord naar zuid die raken aan het voorland zijn (Figuur 2-2):

- Helemaal in het noorden bij de Ketelbrug ligt natuurgebied Kamperhoek.
- Buitendijks staan 28 windmolens in eigendom van Vattenfall. Deze worden in 2022 verwijderd. Langs dit deel van de dijk staan in het water fuiken voor beroepsvisserij. Het onderhoudspad buitendijks is opengesteld voor recreatief medegebruik en wordt met name door fietsers gebruikt. Het is onderdeel van de doorgaande fietsroute tussen de Flevopolder en de Noordoostpolder.
- Ongeveer halverwege het traject ligt buitendijks de Maxima Centrale van Engie.
- Ten zuiden van de Maxima centrale ligt een door de provincie Flevoland ontwikkeld buitendijks havengebied, CTU Flevokust. Tegenover deze haven ligt binnendijks een bedrijventerrein dat in ontwikkeling is.
- Net ten zuiden van Flevokust bij het voormalige hevelhuisje werd voorheen water ingelaten voor het binnendijks gelegen visvijvercomplex. De visvijvers zijn nu deels natuurgebied van Staatsbosbeheer en deels bedrijventerrein. Het Hevelhuisje is in eigendom bij Zuiderzeeland. Ter hoogte van het Houtribbos bevindt zich een werkende hevel in de dijk, hevel Lelystad Noord (eigendom van Zuiderzeeland). Deze voorziet onder andere het Houtribbos van IJsselmeerwater.
- Richting Lelystad ligt vervolgens de buitendijkse jachthaven Flevo Marina. Aan de zuidkant grenst de jachthaven aan het strand De Houtribhoek.
- Vaargeul bij CTU Flevokust en Ketelbrug en nieuwe vaarroute Molenrak.

Het IJsselmeer, aan de buitenzijde van de dijk is aangewezen als Natura2000 gebied, met uitzondering van de Maxima centrale, het Houtribhoekstrand, de Flevo Marina haven en de Parkhaven tot aan de Houtribsluis. Er gelden vogelrichtlijnen, maar geen habitatrictlijnen.

Qua recreatie op en langs de dijk is het gebied redelijk goed ontwikkeld. Er is sprake van een beheerpad langs dijk dat open is gesteld voor fietsrecreatie met bijzonder elementen, zoals het sluitsteenmonument Jan Wolkers en het Hevelhuisje. Vooral ter hoogte van de baai van Van Eesteren (in het westen) is sprake van een uitgestrekt waterrecreatiegebied, bestaande uit de Houtribhaven/Deko Marina en Flevo Marina. Naast verschillende soorten vaarrecreatie wordt er gezeild, gekitesurfd en is er een strandje (Figuur 2-3).

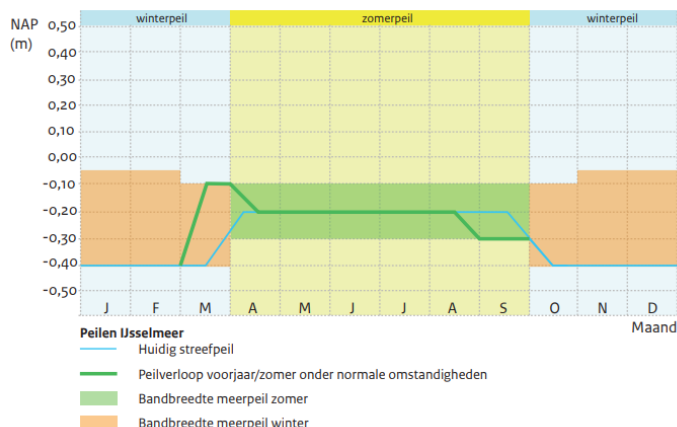


Figuur 2-3: Kaart met recreatie en natuur (Ruimtelijk kwaliteitskader, BoschSlabbers, 2020)

## 2.2 Hydrodynamiek en morfologie op hoofdlijnen

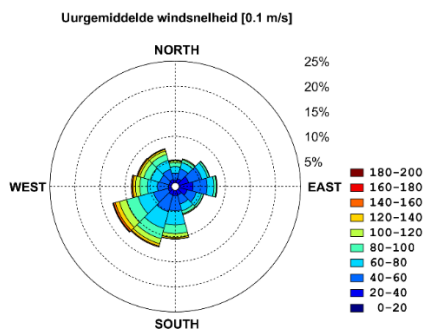
Het IJsselmeer kenmerkt zich door een redelijk uniforme “badkuip” bathymetrie, langs de randen wordt het snel dieper tot een diepte van ongeveer 5-6 meter wordt bereikt. Deze diepte is redelijk uniform over het grootste deel van het IJsselmeer.

Het waterpeil op het IJsselmeer wordt gereguleerd en is daardoor zeer constant. Het peilbesluit IJsselmeergebied is op 14 juni 2018 ondertekend door de minister van Infrastructuur en Waterstaat en in werking getreden vanaf 2019. Vanaf dat moment geldt dat het zomerpeil fluctueert binnen een bandbreedte tussen NAP -0,10 m en NAP -0,30 m (zie Figuur 2-4). Het winterpeil verandert niet: er wordt gestuurd op een ondergrens van NAP -0,40 m. Bij storm of een zware onweersbui kan de waterstand in het IJssel- en Markermeer snel veranderen. In korte tijd kan het (lokaal) tot wel 1,5 m stijgen, om vervolgens weer net zo hard te dalen. Ook bij extreme rivierafvoer kan een (langdurig) verhoogd IJsselmeerpeil optreden.



Figuur 2-4: Peil in het IJsselmeer gedurende het jaar (Rijkswaterstaat, 2018. Peilbesluit IJsselmeergebied)

Winddata is beschikbaar bij Stavoren (dataset van het KNMI, beschikbaar vanaf 1981) waaruit de overheersende windrichtingen af te leiden zijn (Figuur 2-5). De overheersende windrichting komt vanuit het zuidwesten, al komen alle richtingen voor.



Figuur 2-5: Windcondities bij Stavoren (1981-2021).

Golfcondities in het IJsselmeer zijn relatief kalm tijdens dagelijkse condities. Doordat het IJsselmeer een afgesloten meer betreft, is de strijklengte beperkt en komen er alleen lokaal gevormde golven voor. Extreme condities zijn aangeleverd door HKV voor de terugkeertijden 10 – 100.000 jaar en samengevat in Tabel 2-1. De waterstand varieert tussen NAP +1,11 en NAP +2,69 m, de significante golfhoogte tussen 1,71 en 3,7 m.

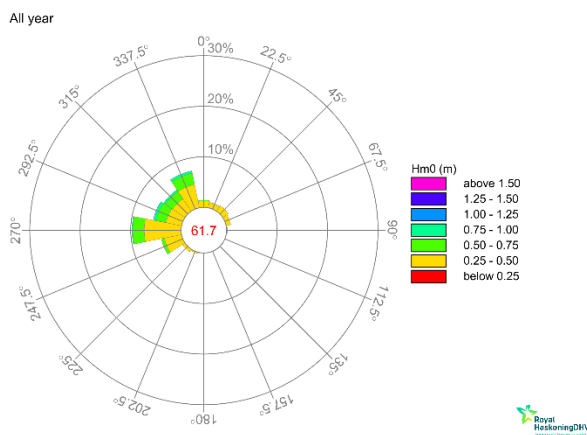
Tabel 2-1: Extreme condities

Parameter	Terugkeertijd					
	10 jaar	50 jaar	100 jaar	1000 jaar	10.000 jaar	100.000 jaar
IJsselmeerpeil [m+NAP]	0,08	0,07	0,08	0,11	0,08	0,12
Lokale waterstand [m+NAP]	1,11	1,24	1,39	1,88	2,21	2,69
Significante golfhoogte Hm0 [m]	1,71	2,29	2,45	2,97	3,3	3,7
Golfperiode Tm-1,0 [s]	4,82	5,28	5,45	5,94	6,9	7,25
Golfrichting [graden tov Noord]	315,4	315,6	315,6	315,6	315,4	315,4

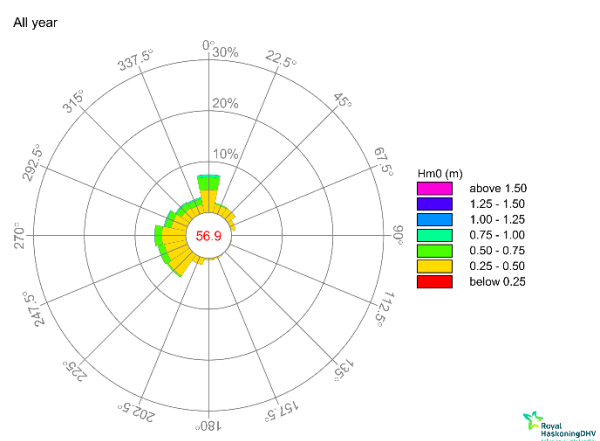
Dagelijkse golfcondities ter hoogte van de IJsselmeerdijk zijn niet beschikbaar. Deze zijn daarom met behulp van een SWAN model afgeleid aan de hand van de windcondities bij Stavoren. Resulterende golfrozen bij de verschillende dijkvakken zijn te zien in Figuur 2-6. Te zien is dat de dominante golfrichting varieert van noordwest bij dijkvak 1 tot noordnoordoost bij dijkvak 3. Let wel dat een SWAN model geen windopzet meeneemt, waardoor bij aanlandige wind er een onderschatting plaatsvindt van waterstand en golfhoogte en bij aflandige wind juist een overschatting. Het maximale IJsselmeerpeil is NAP -0,1 m, terwijl tijdens een storm of zware onweersbui het peil lokaal tot ca. 1,5m +NAP kan stijgen. Onder normale condities met een stevige wind kan de waterstand bij de dijk dus hoger zijn dan het maximale IJsselmeerpeil, waarmee het aangrijpingspunt hoger in het profiel ligt. Dit zal voornamelijk effect hebben wanneer dammen met bepaalde kruinhoogtes (waterstand net wel/net niet boven de dam) worden beschouwd, waarbij in werkelijkheid meer erosie van de vooroever kan optreden.

Door het stabiele waterpeil en de beperkte strijklengte is het IJsselmeer ten opzichte van een kuststelsysteem een typisch laag energetisch systeem zonder getijdewerking.

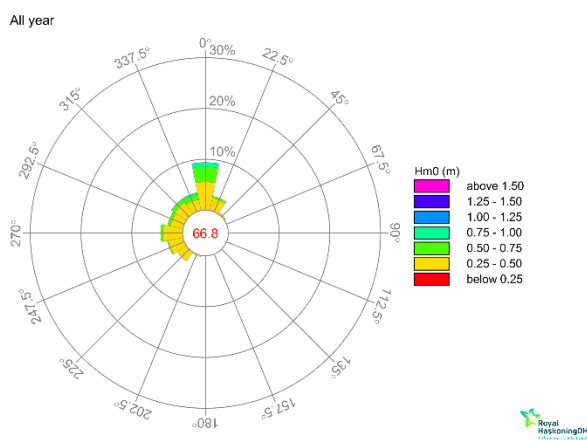
### Dijkvak 1



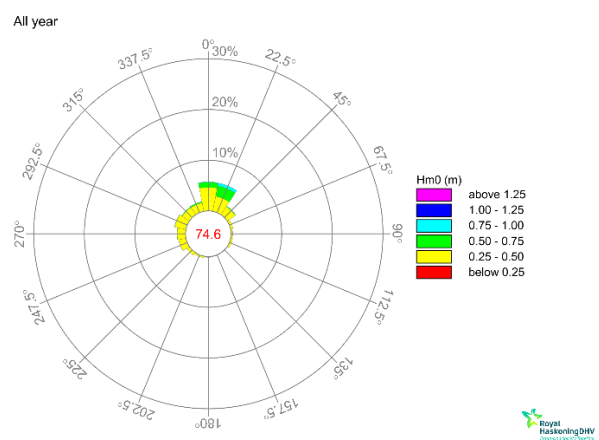
### Dijkvak 2-1



### Dijkvak 2-2



### Dijkvak 3



Figuur 2-6: Golfrozen bij de verschillende dijkvakken.

## 2.3 Ruimtelijke kwaliteit van de dijk met een voorland

In het ruimtelijk kwaliteitskader van de IJsselmeerdijk staan een aantal kenmerken en kwaliteiten van deze dijk benoemd. De dijk wordt gezien als een grootschalige, stoere dijk. De dijk heeft een eenduidige profielopbouw en het stoere karakter komt door de steenbekleding, hoogte en scherpe grens met het water. Het tracé van de IJsselmeerdijk bestaat uit een doorgaande lijn van lange rechtstanden met af en toe enkele ruime, vloeiende bochten met enkele verknoppingen. De hele buitendijkse zijde is aangewezen als Natura2000 gebied. Binnendijkse natuurgebieden zijn onder andere Kamperhoek, de bosstroken en bossen als het Houtribbos. De dijkzone is daarnaast een deel van een belangrijke vogeltrekroute waarbij vogels de dijken gebruiken als oriëntatielijnen. Hoewel de dijk als geheel stoer en uniform is, kent deze een subtiliteit en verfijning in de opbouw van het profiel. De dijkbekleding kent een karakteristieke overgang van hard (buitendijks) naar zacht (binnendijks).

Voor het ontwerp zijn vier leidende principes opgesteld:

### 1. De dijk als continue lijn

Behoud van stoerheid, grootsheid, eenduidige hoofdvorm en materialisering over de totale lengte, verfijnde detaillering van het dwarsprofiel, aansluiten bij tracé van lange rechtstanden en ruimte bochten.

### 2. De dijk als scherpe grens en zachte verbinder

Dijk als herkenbaar element door eenduidige opbouw van teen tot teen, scherpe aansluiting van de dijk op het maaiveld, verzachting direct buiten de dijk (buiten oeverlijn en kwelsloot), aangrenzende landschap heeft beperkte invloed op de vormgeving van de dijk (variatie vooral buiten de dijk)

### 3. De multifunctionele dijk

De dijk als landschappelijke drager voor (nieuwe) ruimtelijke ontwikkelingen (energiedijk, bedrijvige dijk, bewoonde dijk, recreatieve dijk, ecologische dijk).

### 4. De beleefbare dijk

De dijk als belevings-as. Behouden en versterken weidse panorama's, nadruk op zichtlijnen vanaf de dijk op de bakens in de omgeving, toevoegen verblijfsplekken en interessante punten, betekenis geven aan 'modern' (water)erfgoed zoals sluizen, gemaal, windturbines.

Een aantal adviezen voor de ontwikkeling van voorlanden vanuit het RKK zijn:

- Maak een buitendijkse ingreep passend bij de maat en schaal van de IJsselmeerdijk. Behandel grotere lengtes (500-1000m) op eenzelfde wijze, geen lokale incidenten;
- Laat buitendijkse harde maatregelen aansluiten met het rechthoekige en continue 'artificiële' karakter van de dijk;
- Laat buitendijkse zachte maatregelen aansluiten bij de natuurlijke vormen en het 'waddenkarakter' van het IJsselmeer;
- Laat de buitenteen van de dijk een zichtbare rechthoekige grens zijn met het water of het voorland
- Laat het voorland geen tot beperkt effect hebben op de (bestaande) dijk;
- Idealiter voegt de buitendijkse maatregel natuurwaarde toe;
- Het verzachten van de overgang tussen water en land en het aanleggen van meer dwarsverbindingen is gewenst om een bijdrage te leveren aan de natuur en biodiversiteit rondom de IJsselmeerdijk;
- Behoud het zicht op het open water: vegetatie dient beperkt in hoogte te zijn, geen hoge beplanting of oobos.

Naast behoud van zicht vanaf de dijk zou het ook mooi zijn als de dijk en vooroever zichtbaar zijn voor het vaarverkeer.





Figuur 2-7: Zoekrichting uitwerking van het voorland (RKK IJsselmeerdijk).

## 2.4 Aanvullend conditionerend onderzoek archeologie

Voor het voorland is aanvullend maritiem-archeologisch vooronderzoek verricht. Dit is beschreven in een aparte rapportage welke is toegevoegd in Bijlage 1 (Rapport Aanvullend maritiem-archeologisch vooronderzoek in het kader van het project Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten, 2021).

In principe kunnen binnen het gehele buitendijkse plangebied in de diepere ondergrond onder de waterbodem sporen van bewoning en gebiedsexploitatie voorkomen uit het Paleolithicum en het Mesolithicum. Indien aanwezig bevinden deze sporen zich in de top van het dekzand op overwegend 10m -NAP.

Op een aantal locaties binnen het buitendijkse plangebied zijn oude getijdenafzettingen afgezet in de vorm van oeverwallen waarop zich archeologische warden kunnen bevinden, daterend uit de midden fase van de Swifterbantcultuur (circa 5200-3800 v. Chr.). Sporen hiervan bevinden zich naar verwachting op 6-7m -NAP.

Op of direct onder de waterbodem kunnen binnen het gehele plangebied scheepswrakken of -wrakresten uit de Late Middeleeuwen tot en met de Nieuwe tijd worden aangetroffen. Gezien het grote oppervlak van het plangebied is het niet ondenkbeeldig dat dergelijke resten aanwezig zijn die door de ingrepen kunnen worden bedreigd. Tevens bestaat de mogelijkheid dat zich binnen het plangebied vliegtuigwrakken bevinden uit de Tweede Wereldoorlog. Hoewel er geen crashsites bekend zijn binnen het plangebied, kan dit ook niet geheel worden uitgesloten.

Grotere zones waar op basis van bekende landschappelijke gegevens/RIJP boringen het advies geldt om vervolgonderzoek te doen bij gravende werkzaamheden die dieper gaan dan 50 cm of waarbij bij grootschalige ophoging schade kan ontstaan aan archeologische resten uit de Swifterbant cultuur liggen rondom de Maxima Centrale. Het gaat om een strook van 300-400m tussen de Maxima Centrale en CTU Flevokust en een de strook vanaf de Maxima Centrale richting het noorden tot aan de knik in de dijk.



Vervolgonderzoek naar scheepswrakken wordt langs het gehele interessegebied voor een voorland aangeraden, waarbij in de gebieden rondom de Maxima Centrale (dezelfde als hierboven genoemd) slechts over een smallere strook onderzoek nodig is dan langs de rest van de dijk.

De resultaten van dit onderzoek leiden niet tot onmogelijkheden met betrekking tot het ontwerp van het voorland. Wel zal rekening moeten worden gehouden met de mogelijke aanwezigheid van archeologische waarden.

## **2.5 Aanvullend conditionerend onderzoek kabels & leidingen**

Uit de KLIC-melding komt er naar voren dat er geen extra kabels en of leidingen binnen het ruimtebeslag van het voorland vallen ten opzichte van wat bekend was uit ontwerploop 1. Aan de noordkant van het voorland liggen kabels van het bestaande windpark wat verdwijnt (het is nog onduidelijk of de kabels verwijderd worden). Bij de zuidkant van het voorland is er geen raakvlak met kabels en leidingen.

Tussen Windplanblauw en de Flevopolder zal een kabel worden aangelegd met een gestuurde boring. Verder moet bij dijkvak 3 rekening gehouden worden met de hevel Lelystad Noord. Raakvlakken tussen deze ontwikkelingen en het voorland dienen nader onderzocht te worden.

### 3 Optimalisatie MKI (milieukostenindicator)

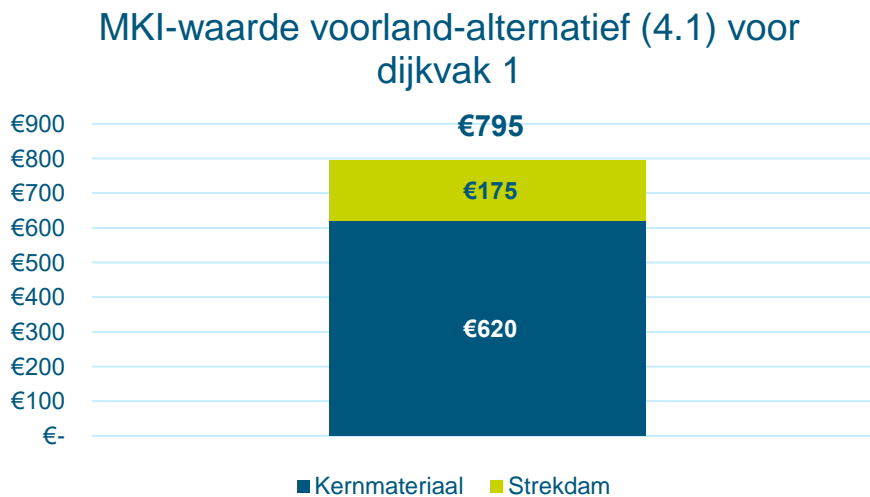
Voor alle mogelijke alternatieven voor de dijkversterking is, als onderdeel van zeef 1, een MKI-waarde (milieukosten) berekend. In deze analyse werd voor het voorlandalternatief de hoogste milieu-impact berekend. Er is onderzocht welke aspecten/uitgangspunten hebben geleid tot deze relatief hoge milieu impact en hoe deze impact beperkt kan worden bij verdere uitwerking van het voorland (ontwerploop 2).

#### 3.1 Analyse van milieu-impact van voorlandalternatief

Als onderdeel van zeef 1 is de MKI-waarde berekend van het mogelijke alternatief voorland. Hierbij zijn dezelfde uitgangspunten gebruikt als voor de SSK- en LCC-ramingen van de kansrijke alternatieven. Voor het voorland gaat het op hoofdlijnen daarbij om de volgende uitgangspunten:

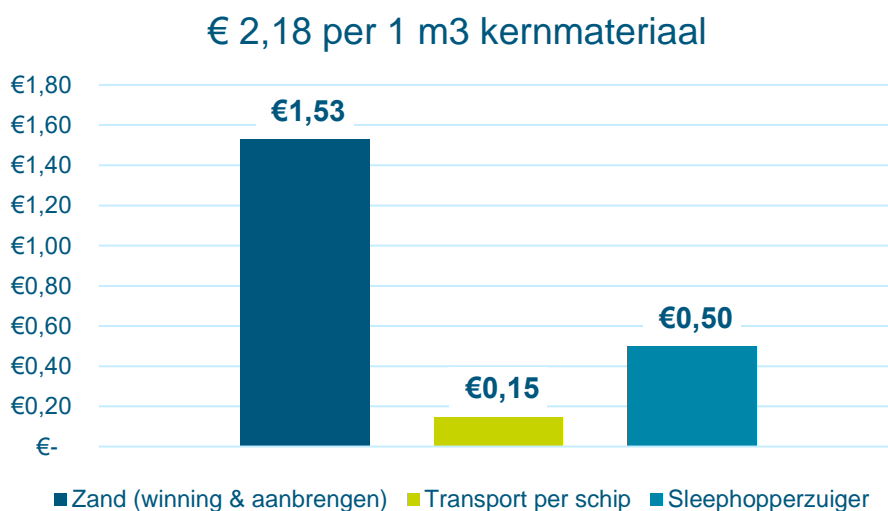
- Voor zandwinning is uitgegaan van 100% primair materiaal (zandwininput);
- Het talud heeft een aansluitpunt op NAP+1m en loopt door tot de bestaande bodem van het IJsselmeer;
- Voor dijkvak 1 en 2 een talud van 1:30 met aansluitpunt op NAP+1m (lengte 125m);
- Voor dijkvak 3 een talud van 1:10 met aansluitpunt op NAP+1m (lengte 53m);
- Strekdam om de 250m.

Uit de MKI-berekeningen die zijn uitgevoerd (met de uitgangspunten die zijn vastgesteld voor zeef 1) is naar voren gekomen dat het voorlandalternatief een hogere milieu-impact heeft. Voor dijkvak 1 is bijvoorbeeld een MKI-waarde van € 795,- per strekkende meter berekend, terwijl andere alternatieven voor dit dijkvak een MKI-waarde rond de € 400,- hebben.



Figuur 3-1: Zwaartepuntanalyse van de MKI-waarde voor het voorland-alternatief (4.1) voor dijkvak 1

Uit de nadere analyse blijkt dat de MKI-waarde voor een groot deel wordt veroorzaakt door het ‘element’ kernmateriaal en voor de rest door de strekdam/opsluitdam die moet worden aangelegd. Om de MKI-waarde te verlagen is het zinvol om eerst te kijken naar het kernmateriaal en wat daarbij mogelijk is. De MKI-waarde van het alternatief wordt aan de ene kant bepaald door de hoeveelheden die worden toegepast en anderzijds de milieu-impact per standaardhoeveelheid. Er kan dus worden gekeken of er minder materiaal kan worden aangepast, maar ook of de milieu-impact per eenheid kan worden verlaagd.



Figuur 3-2: Opsplitsing van MKI-waarde voor 1 m<sup>3</sup> kernmateriaal

Uit de nadere analyse blijkt dat de grootste impact komt door het 'zand', waarbij zowel winning als het aanbrengen op locatie is meegenomen. Ook de sleephopperzuiger heeft een aanzienlijke impact. Het transport van het zand is het kleinste aandeel.

### 3.2 Optimalisaties om de MKI-waarde te verlagen

Uit de analyse blijkt dat de grootste impact op het laagste detailniveau voortkomt uit het zand dat wordt toegepast. In de MKI-berekeningen voor de dijkversterking wordt uitgegaan van een conservatief scenario. In dit geval betekent dat, dat is aangenomen dat het zand wordt gezien als primair materiaal en dat het gewonnen moet worden met alle bijbehorende milieu-impact. Daarnaast is voor het materieel dat wordt ingezet uitgegaan van lage milieuklassen (stage IIIB en EURO 5) in combinatie met diesel als brandstof.

Om de MKI-waarde te verlagen van dit alternatief worden de volgende optimalisaties voorgesteld:

- Verlagen van de hoeveelheden van het alternatief, zowel m.b.t. het kernmateriaal als de opsluitdammen;
- Hergebruik van zand i.p.v. het winnen van 'nieuw' zand. Hierdoor hoeft er geen tot beperkte milieu-impact worden gerekend<sup>1</sup>;
- Hogere milieuklassen voor materieel hanteren: dit kan bijvoorbeeld stage V of EURO 6 zijn voor materieel op basis van fossiele brandstof, maar materieel op waterstof of elektriciteit behoort ook tot de mogelijkheden;
- De aanvoerafstand van het zand is nu vastgesteld op 18 km. In het geval van primair winnen van zand kan worden gekeken of er dichterbij kan worden gewonnen<sup>2</sup>;
- Voor de sleephopperzuiger is uitgegaan van 500 m<sup>3</sup>/uur. Bij een hogere productiesnelheid wordt de milieu-impact per m<sup>3</sup> en uur verlaagd, wat weer effect heeft op de totale MKI-waarde.

<sup>1</sup> Het winnen van zand heeft een MKI-waarde van netto € 1,44, wat neerkomt op 95% van de MKI-waarde voor dit onderdeel.

<sup>2</sup> Bij secundair zand is uiteraard het verlagen van de transportafstand ook een optie, maar er kan ook worden gekeken om in dit geval het zand van verder weg te halen als daar secundair materiaal beschikbaar is.

## 4 Vergunbaarheid

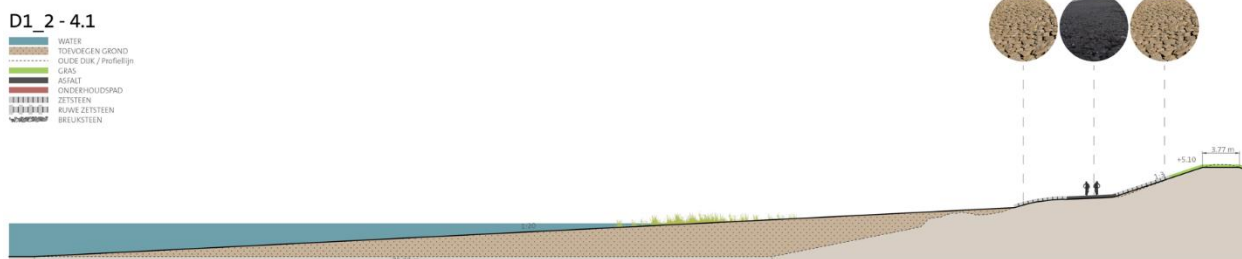
De vergunbaarheid voor het aanleggen van een voorland bij de IJsselmeerdijk is nader onderzocht om te bepalen of een voorland vergunbaar is en of er aanvullende randvoorwaarden zijn om het ontwerp vergunbaar te maken. De vergunbaarheid van zandwinning voor een voorland staat apart beschreven in Hoofdstuk 6.

Bij het nader bepalen van de vergunbaarheid is uitgegaan van de voorlanden zoals beschreven in de Notitie Kansrijke Alternatieven en getoond in Figuur 4-1 en Figuur 4-2. Hierbij is er sprake van een vooroever tegen de dijk aan. Bij dijkvakken 1 en 2 wordt een vooroever toegepast met een zeer flauw talud (orde 1:30) en een aansluitpunt op circa NAP+1m met de huidige dijk. Met dit ontwerp en deze dimensies vervalt de gehele hoogte- en bekledingsopgave van de dijk. Doordat het IJsselmeer relatief diep is, is er veel grond nodig (orde 300 m<sup>3</sup>/m) om de vooroever te realiseren. Een variant op de vooroever is een alternatief met geotubes als opsluitmiddel, hierdoor wordt het ruimtebeslag kleiner. Bij dijkvak 3 volstaat een steiler talud van 1:10, omdat hier de golven minder hoog en korter zijn.

Uit de vergunningenscan blijkt dat met name de Waterwet, Wet Natuurbescherming en de Wet ruimtelijke ordening relevant zijn voor de toets op vergunbaarheid. Uiteraard zijn voor de realisatie meerdere uitvoeringsvergunningen nodig, maar die zijn minder bepalend voor het aspect vergunbaarheid.



Figuur 4-1: Voorlopige locaties waar een voorlandalternatief overwogen wordt



Figuur 4-2: Visualisatie van het voorlandalternatief

## 4.1 Projectplan Waterwet (per 1 juli 2022 Projectbesluit Omgevingswet)

Vanuit de Waterwet dient getoetst te worden aan het Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren (BPRW) 2016-2021, Nationaal Waterplan (NWP) 2016-2021 en de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). Voor deze beleidskaders wordt een positieve toetsing verwacht. In de aanlegfase leidt de maatregel tot een zekere mate van vertroebeling. Dit is een tijdelijk effect zonder permanente gevolgen voor de biologische of chemische waterkwaliteit. De vooroever heeft na de aanlegfase een positief effect op de biologische kwaliteit van het IJsselmeer. Door ingrepen in de abiotiek (gradiënten in diepte, toename van luw areaal, groter areaal aan oeverzones en geleidelijke land-waterovergangen) wordt een impuls gegeven aan het voedselweb, waarvan bodemfauna- en visetende vogels profiteren. Tijdens de verdere uitwerking van het voorland-alternatief dient verkend te worden hoe vertroebeling beperkt kan worden tot een minimum.

## 4.2 Wet natuurbescherming / Natura2000

Gezien de reikwijdte van alle effecten is alleen beïnvloeding van beschermde vogelsoorten uit het Natura 2000-gebied IJsselmeer aan de orde. Significante effecten op instandhoudingsdoelstellingen van andere Natura 2000-gebieden kunnen vooralsnog worden uitgesloten. In beginsel kunnen alle soorten vogels waarvoor het IJsselmeer is aangewezen een binding hebben met het plangebied. Watervogels zoeken vaak de luwte op van dijken. Daarnaast kunnen veel soorten de dijken tijdens de vogeltrek gebruiken als route waarop ze zich kunnen oriënteren en waar uitgerust en gevoerd kan worden.

Buiten het plangebied lijken watervogels ook een sterke binding te hebben met het aan het plangebied grenzende natuurgebied Kamperhoek. Het gaat dan bijvoorbeeld om slobeend, snor, watersnip, wiewaal en wintertaling die jaarlijks tot broed komen in het gebied. Aandachtssoorten voor de geplande dijkversterking zijn de fuut en de kuifeend. In verband met de aanleg van Windpark Blauw is een zone langs de IJsselmeerdijk aangewezen als rustgebied voor futen (zie figuur 3). Futen ruien in augustus en september en komen verder met name in het winterhalfjaar voor in het plangebied. De kuifeend verblijft overdag langs de dijk om 's nachts op het open water te foerageren. De aantallen kuifeenden pieken in de nazomer (ruiers) en in de wintermaanden (overwinteraars).

Vooraf kan niet met 100% zekerheid worden voorspeld in hoeverre de verschillende opties vergunbaar zijn of niet. Dit hangt namelijk nog af van de uiteindelijke ontwerpen en diepgaander onderzoek naar de precieze effecten op doelsoorten zoals meestal staan beschreven in een Passende beoordeling. Wel kan worden geconcludeerd dat de meeste ontwerpopties dezelfde tijdelijke effecten zullen hebben en dat grote verstoringen kunnen worden voorkomen door een werkzaamhedenschema op te stellen waarin kritische periodes worden vermeden. Het voorland alternatief zal initieel (tijdelijke situatie) een relatief groot areaalverlies veroorzaken, maar levert op termijn een positieve bijdrage. Geleidelijk aflopend voorland sluit aan bij verschillende Natura 2000 doelen: verbetering voedselbeschikbaarheid voor visetende en bodemfauna etende watervogels en uitbreiding van een goede kwaliteit overjarig nat rietland voor moerasvogels. Resumerend wordt geconcludeerd dat met het tijdelijke grote areaalverlies het proces voor vergunningen complex wordt, maar niet onmogelijk.

## 4.3 Wet ruimtelijke ordening (planologische inpassing)

Op grond van de Wet ruimtelijke ordening (Wro) zijn voor het gebied waar de maatregelen zullen worden uitgevoerd meerdere plannen vastgesteld:

- Bestemmingsplan Randmeerzone, gemeente Dronten (2013, partieel herzien 2018);
- Beheersverordening IJsselmeer-Markermeer-Oostvaardersplassen, gemeente Lelystad (2013);
- Rijksinpassingsplan (RIP) Windplan Blauw (2019-).

Een zandige versterking past binnen de beheersverordening van de gemeente Lelystad en het bestemmingsplan van de gemeente Dronten. Wel dient voor de werkzaamheden een omgevingsvergunning te worden aangevraagd, omdat mogelijke sprake is van:

- Het winnen van zand en baggerspecie;
- Het verwijderen of inplanten van oevergewassen;
- Het verdiepen, verbreden, aanbrengen en/of het verleggen van vaargeulen;
- Het opspuiten of aanleggen van eilanden en voorlanden.

Een omgevingsvergunning kan slechts worden verleend indien geen onevenredige afbreuk wordt gedaan aan de natuurlijke en landschappelijke waarden. Dit aspect dient dus goed onderbouwd te worden bij de vergunningaanvragen.

Eveneens is er een raakvlak met het Rijksinpassingsplan Windplan Blauw, specifiek met de voorwaarden die gelden vanuit het rustgebied voor de fuut. Het rustgebied betreft een zone in het IJsselmeer langs de IJsselmeerdijk indicatief tussen de Maximacentrale en de Ketelbrug met een breedte van 300 m (zie Figuur 4-3).

De markering wordt aangebracht door twee ballenlijnen met een lengte van 300 m en betonning parallel aan de dijk op een afstand van 300 m over een lengte van 8,3 km. In deze zone is scheepvaart tussen 1 augustus en 31 maart niet toegestaan. Daarnaast worden door aanleg van onderwaterstructuren een additionele kwaliteitsimpuls aan het gebied gegeven waardoor de voedselbeschikbaarheid voor viseters en benthoseters wordt vergroot. Ten behoeve van een robuuste uitvoering van de mitigerende maatregel wordt deze impuls toegepast in de vorm van de toepassing van 200 rifballen die in clusters op een aantal locaties worden aangelegd (voor indicatieve locatie zie Figuur 4-3). Voor alsnog staat dit gepland in 2022. Effecten op dit rustgebied voor de fuut dienen nadrukkelijk in beeld gebracht te worden bij het Projectbesluit en het voorlandalternatief mag niet leiden tot significant negatieve effecten voor de fuut.



Figuur 4-3: Rustgebied voor de fuut vanuit RIP Windplan Blauw



## 4.4 Omgang met het windmolenpark en futenrustgebied

Zoals hiervoor beschreven is er een belangrijk raakvlak met het windmolenpark (Windplanblauw) en het bijbehorende futenrustgebied direct voor de dijk. Daarom is in meer detail bekeken welk effect dit heeft op de vergunbaarheid en hoe we hiermee om kunnen gaan.

### Futenrustgebied

Direct langs de dijk is een strook van het IJsselmeer aangewezen als 'futenrustgebied' (donkergroen in Figuur 4-3) om negatieve effecten van Windplan Blauw te mitigeren. Iedere buitendijkse ontwikkeling kan dus in theorie invloed hebben op de effectiviteit van deze mitigerende maatregel.

Het instellen en monitoren van het futenrustgebied is opgenomen in de Vergunning in het kader van de Wet natuurbescherming (Provincie Flevoland, 2018). Om te onderzoeken welke juridische ruimte beschikbaar is voor buitendijkse ontwikkelingen bij de IJsselmeerdijk is contact opgenomen met de vergunningverlener van de Provincie Flevoland. De Provincie Flevoland is zeer positief over ontwikkelingen in het IJsselmeer die de biodiversiteit vergroten. Inrichting van een vooroever met ondieper water heeft in de perceptie van de provincie vooral positieve effecten op de fuut. De provincie heeft aan aantal adviezen/voorwaarden aangegeven voor een buitendijkse ontwikkeling. Relevant daarbij is met name dat de functionaliteit van het futenrustgebied niet wordt aangetast. Buiten tijdelijke verstoringen tijdens de aanlegfase van de vooroever zal de functionaliteit van het futenrustgebied niet worden aangetast.

De omvang van het nu geplande futenrustgebied (8,3 km lang, 200 m breed met een 100 m brede buffer) biedt voldoende draagkracht voor 27 futen. Indien een vooroever in het futenrustgebied wordt aangelegd is er geen sprake meer van een aaneengesloten wateroppervlak langs de dijk. Afname van de draagkracht van het gebied voor futen is ongewenst maar ook onwaarschijnlijk door de kwalitatieve ecologische impuls die een vooroever biedt.

In een volgende fase kan nog gekeken worden naar het herschikken van de locatie van de rifballen en het mogelijk vergroten van het futenrustgebied (richting het IJsselmeer).

### Windmolens en vogels

Er zijn zorgen geuit over in hoeverre het aantrekken van vogels met een voorland leidt tot meer sterfte van vogels door de windmolens.

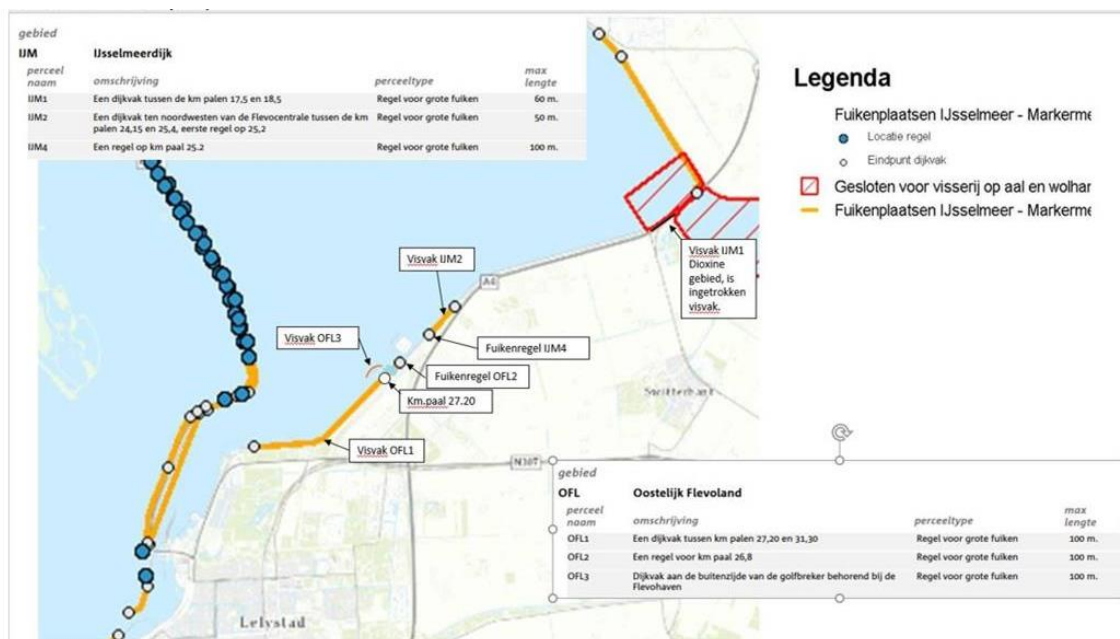
Vogels op seizoenstrek in voorjaar en najaar worden niet aangetrokken door de vooroever. Overigens vindt geen gestuwde trek plaats langs de IJsselmeerdijk en zijn de aanvaringsrisico's voor trekvogels dus toch al relatief laag. De vooroever heeft geen invloed op het aantal aanvaringssslachtoffers onder vogels op seizoenstrek.

Er bestaat een aanvaringsrisico voor vogels die binnendijs foerageren en naar het IJsselmeer vliegen om te rusten, dan wel die langs de oever rusten en op het IJsselmeer foerageren. Voor veel vogels maakt het niet uit of er tussen hun foerageergebied en het open water een vooroever ligt. Voor andere vogels kan de vooroever een aantrekkende werking hebben. Dat kan ertoe leiden dat zij juist niet verder het IJsselmeer op trekken en dus een lager risico lopen om aanvaringssslachtoffer te worden. Voor de meeste lokale vogels geldt dat zij vrij laag boven het water vliegen, onder de laagste tiplaagte van de turbines. Al met al wordt voor lokale vogels geen substantieel groter aanvaringsrisico verwacht. Dit zal nader moeten worden uitgewerkt in de Voortoets Natura 2000, die wordt opgeleverd bij de MER. Indien in de Voortoets significant negatieve effecten niet kunnen worden uitgesloten zullen de effecten nader worden beoordeeld in de Passende Beoordeling, die zal worden opgeleverd bij de MER.

Het is zaak om bij de verdere uitwerking van de buitendijkse ontwikkeling niet alleen de provincie als vergunningverlener mee te nemen, maar nadrukkelijk ook Windplan Blauw als verantwoordelijke partij voor de instelling van het futenrustgebied.

## 4.5 Visrechten

Op dit moment zijn visvergunningen verleend op de beoogde locatie van de vooroever (Figuur 4-4). Met RVO is besproken dat er onderzocht kan worden of de bestaande visrechten verplaatst kunnen worden en aan de nieuwe vooroeverdam kunnen gekoppeld.



Figuur 4-4 Fuikenregel en vakken aan de IJsselmeerdijk Lelystad – Ketelbrug, 11 december 2020, RVO.

## 4.6 Aanbevelingen voor het vervolg

Uit bovenstaande volgt dat vertroebeling (door het aanbrengen van zand) een belangrijk aspect is voor de Waterwet. De effecten op natuurwaarden (Wet natuurbescherming) gaan complex zijn, maar niet onmogelijk. In het ontwerp moeten deze aspecten daarom zorgvuldig uitgewerkt worden. Voor de inpassing is het van belang om inpassing in het landschap mee te nemen bij het ontwerpen.

Voor het futenrustgebied moeten we zo concreet mogelijk inzichtelijk maken dat de effectiviteit van het futenrustgebied niet wordt aangetast. Verder kan de inrichting van het futenrustgebied worden geoptimaliseerd. Bovendien is het belangrijk om Windplanblauw mee te nemen bij verdere uitwerking van het voorland.

In het vervolg zal net als bij een traditionele dijkversterking een Projectbesluit moeten worden opgesteld voor de vooroever. Met name het ruimtelijke spoor voor de vooroever verschilt ten opzichte van een traditioneel. Voorheen zou een Rijksinpassingsplan (RIP) moeten worden opgesteld (temeer er ook al een RIP ligt voor Windplan Blauw). Het Projectbesluit voor de vooroever zal daarom qua detailniveau gelijkwaardig moeten zijn aan een RIP. Ook het project-MER zal daarbij dus een hoger detailniveau

kennen. Als laatste zal ook een uitgebreide Passende Beoordeling i.h.k.v. de Wet Natuurbescherming moeten worden opgesteld. Resumerend zal de doorlooptijd dus niet zo veel onderscheid zijn met een reguliere dijkversterking, echter vereisen de stukken meer diepgang en zullen zienswijzen en beroepen waarschijnlijker zijn.

## 5 Ontwerp

Er zijn veel verschillende manieren om een voorland, een grondlichaam met een golfremmende en -brekende werking, voor de dijk aan te leggen. Op hoofdlijnen zijn er verschillende keuzes in de vorm/het hoogterelief van het dwarsprofiel, materiaal (zand/klei/anders) en de aanleg van strekdammen, langsdammen of andere golfbrekers.

In dit hoofdstuk geven wij eerst de verschillende ontwerpmogelijkheden (op hoofdlijnen) voor een voorland aan. Op basis van expert judgement maken we een voorselectie van kansrijke ontwerpopties welke we verder uitwerken met een modelstudie.

### 5.1 De ontwerpopgave

De vooroever heeft als primair doel om binnenkomende golven te breken en/of te dempen, en zo de energie uit de golven te halen. Dit resulteert in minder golfaanval op de dijk waardoor de huidige bekleding voldoet en de kruin niet opgehoogd hoeft te worden. Daarnaast is de vooroever een interessante optie omdat deze vanuit ecologie een meerwaarde kan bieden. De wensen vanuit zowel waterveiligheid als ecologie zijn hieronder weergegeven, deze bieden input aan de (minimale) afmetingen en vorm van het voorland.

Vanuit waterveiligheid zijn er verschillende opties mogelijk en kan er gevarieerd worden in de breedte en hoogte van het voorland (zie ook Figuur 5-1). Hierbij geldt dat een lager voorland breder moet zijn om hetzelfde golfbrekend en -dempend effect te hebben. Daarnaast is er onderscheid te maken tussen dijkvak 1 & 2 en 3. In onderstaande tabel zijn de **minimale** afmetingen van het voorland vanuit de waterveiligheid weergegeven. De minimale afmetingen van het voorland zijn zo bepaald dat de golfbelasting tijdens een maatgevende storm (voor deze dijk is dat een storm met een terugkeertijd van 1/68.181 per jaar) zo wordt geremd door het voorland, dat het water dat alsnog over de dijk heen slaat niet kan leiden tot een dijkdoorbraak. In vaktermen noemen we dat het faalmechanisme Gras Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB). Dit faalmechanisme is voor deze dijk dominant boven andere faalmechanismen (o.a. het bezwijken van de dijkbekleding). Voor dit dijktraject betekent dit dat er daardoor geen opgave meer is aan de zetsteenbekleding en teenbekleding van de huidige dijk.

Op het stuk dijk rondom de Maxima centrale is een vooroever geen optie. Daarom wordt in het vervolg van het rapport gekeken naar een vooroever op twee deeltrajecten: dijkvak 2-1 aan noordzijde van de Maxima centrale en dijkvak 2-2 aan zuidzijde van de Maxima centrale.

Tabel 5-1: Minimale afmetingen van het voorland in het kader van waterveiligheid

	Dijkvak 1	Dijkvak 2	Dijkvak 3
Optie A	Helling van 1:10, aansluiting op NAP +1 m	Helling van 1:10, aansluiting op NAP +1 m	Helling van 1:10, aansluiting op NAP +1 m
Optie B	20 m breed op NAP 0 m	20 m breed op NAP 0 m	20 m breed op NAP 0 m
Optie C	50 m breed op NAP -1 m	50 m breed op NAP -1 m	20 m breed op NAP -1 m

Vanuit ecologie geredeneerd biedt een ondiep plateau (luwe zone) het meeste voordeel. Deze luwe zone is te bereiken door inzet van een vooroeverdam: op een vooroeverdam breken de meeste golven. Een voorland van 20 m breed is te smal om een significante bijdrage te leveren, de 50 m brede variant is daarom wenselijker vanuit ecologisch perspectief.



Figuur 5-1: Dijkontwerp opties

## 5.2 Ontwerpmogelijkheden voorland

Hieronder volgen verschillende ontwerpmogelijkheden voor de aanleg van een voorland die geschikt zijn om de waterveiligheidsopgave (hoogteopgave) van de IJsselmeerdijk op te lossen. Onderstaande mogelijkheden zijn ontwerpmogelijkheden op hoofdlijnen. De precieze inrichting staat hierbij nog open. De beschrijvingen van de ontwikkeling zijn een eerste inschatting en dienen verder te worden onderzocht bij het uitwerken van het ontwerp.

### 1. Dijkversterking met zandprofiel tot aan de bestaande bodem

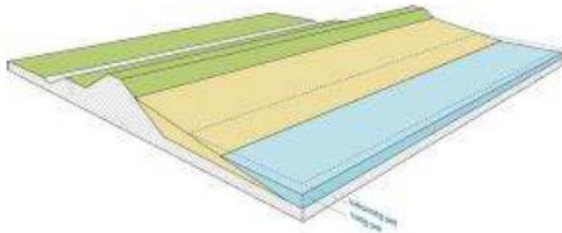
Een flauw oplopend zandig talud in de vorm van een open strand. In beschutte omstandigheden is bij dit inrichtingsprincipe enige natuurontwikkeling mogelijk: oever- en waterplanten kunnen profiteren van de geleidelijke land-waterovergang. Bodemfauna kan zich vestigen in laag-dynamisch substraat. Vissen en watervogels kunnen profiteren van waterplanten- en macrofaunarijke habitats. Als er sprake is van veel golfdynamiek (in een geëxponeerde situatie) zal op het zandlichaam slechts beperkt natuurontwikkeling kunnen plaatsvinden.

**Faalmechanisme:** onvoldoende hoogte of sterkte bekleding

**Ontwerp:** een flauw aflopend zandig talud in de vorm van een open strand

**Ontwikkeling in de tijd:** door de open ligging ontwikkelt zich in een onbeschutte situatie een kaal S-vormig profiel zonder oevervegetatie. Afhankelijk van de golfbelasting kan in luwe situaties oevervegetatie en op dieper water watervegetatie tot ontwikkeling komen.

**Variatie:** door middel van strekdammen kan het langstransport beperkt worden.



## 2. Dijkversterking met zandprofiel, afgekapt met geotubes

Een flauw oplopend zandig talud wat afgekapt wordt met geotubes. In beschutte omstandigheden is bij dit inrichtingsprincipe enige natuurontwikkeling mogelijk: oever- en waterplanten kunnen profiteren van de geleidelijke land-waterovergang. Bodemfauna kan zich vestigen in laag-dynamisch substraat. Vissen en watervogels kunnen profiteren van waterplanten- en macrofaunarijke habitats. Als er sprake is van veel golfdynamiek (in een geëxponeerde situatie) zal op het zandlichaam slechts beperkt natuurontwikkeling kunnen plaatsvinden.

**Faalmechanisme:** onvoldoende hoogte of sterkte bekleding

**Ontwerp:** een flauw aflopend zandig talud wat afgekapt wordt met geotubes

**Ontwikkeling in de tijd:** door de open ligging ontwikkelt zich in een kaal profiel zonder oevervegetatie.

Afhankelijk van de golfbelasting kan in luwe situaties oevervegetatie en op dieper water watervegetatie tot ontwikkeling komen.

**Variatie:** door middel van strekdammen kan het langstransport beperkt worden.



## 3. Dijkversterking met golfreducerende vooroeverdam

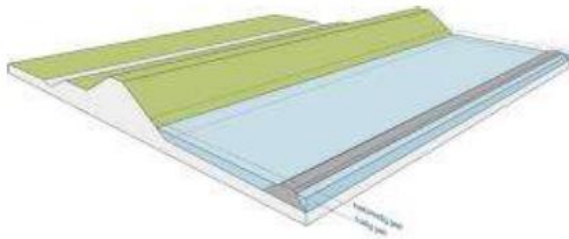
Een vooroeverdam zorgt ervoor dat de golven worden gereduceerd. Daarvan kunnen onder meer rustende en ruiende vogels profiteren. Bij een geringe diepte (en voldoende doorzicht) kunnen zich achter de dam ook waterplanten vestigen. De vooroeverdam zelf kan zodanig worden ingericht dat deze geschikt wordt voor kale grond broeders.

**Ontwerp:** een vooroeverdam die voldoende luwte biedt voor de ontwikkeling van waterplantvelden

**Faalmechanisme:** onvoldoende hoogte of sterkte bekleding

**Ontwikkeling in de tijd:** bij een ondiepe ligging kan door vegetatieontwikkeling en slibvang de waterbodem langzaam omhoogkomen.





#### 4. Dijkversterking met golfreducerende vooroverdam en verondieping

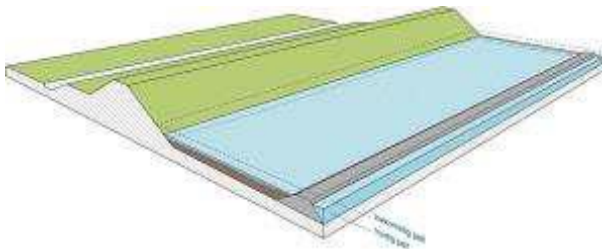
De vooroverdam beperkt de golfloop en biedt luwte voor waterplanten en ondiepte voor grondelende watervogels. Ook de vestiging van macrofauna is hier mogelijk. De vooroverdam zelf kan zodanig worden ingericht dat deze geschikt wordt voor kale grondbroeders.

**Ontwerp:** een vooroverdam die voldoende luwte biedt voor de ontwikkeling van waterplantvelden waarvoor de bodem is opgehoogd tot een diepte die voor grondelende eenden/zwanen nuttig is.

**Faalmechanisme:** onvoldoende hoogte of sterkte bekleding

**Ontwikkeling in de tijd:** bij een ondiepe ligging kan door vegetatieontwikkeling en slibinvang de waterbodembodem langzaam omhoogkomen.

**Variatie:** het is ook mogelijk om dit gebied geheel of gedeeltelijk op te vullen met sediment zodat het (op sommige gedeelten) boven water uitkomt.



#### 5. Dijkversterking met zand en golfreducerende vooroverdam

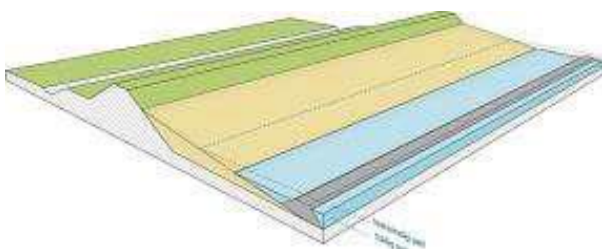
De vooroverdam beperkt de golfloop en biedt luwte voor waterplanten achter de dam en oevervegetatie op het talud. Ook de vestiging van macrofauna is hier mogelijk. De vooroverdam zelf kan zodanig worden ingericht dat deze geschikt wordt voor kale grond broeders.

**Ontwerp:** een vooroverdam die luwte biedt voor de ontwikkeling van waterplantvelden achter de dam en oevervegetatie op het luw gelegen talud.

**Faalmechanisme:** onvoldoende hoogte of sterkte bekleding

**Ontwikkeling in de tijd:** ondanks de beperkte golfbelasting ontwikkeld de oever naar verwachting een S-vormig profiel voordat de oevervegetatie volledig tot ontwikkeling komt met een ondiepe voorzone.

**Variatie:** het zandige talud kan ook al hogerop afgekapt worden.





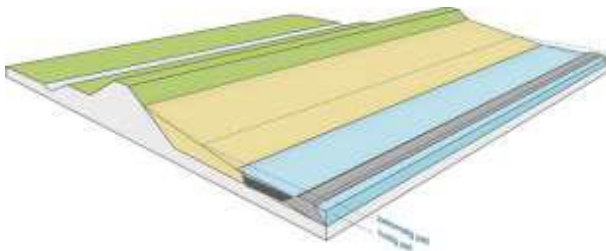
## 6. Dijkversterking met zand, golfreducerende vooroeverdam en verondieping

De vooroeverdam beperkt de golfloop biedt luwte voor waterplanten achter de dam, oevervegetatie op het talud en ondiepte voor grondelende watervogels. De inrichting combineert de eigenschappen van de voorgaande varianten.

**Ontwerp:** een vooroeverdam die luwte biedt voor de ontwikkeling van waterplantvelden achter de dam en oevervegetatie op het luw gelegen talud en watervegetatie op een verondiepte vooroever.

**Faalmechanisme:** onvoldoende hoogte of sterkte bekleding

**Ontwikkeling in de tijd:** vanwege de ondiepte is de golfbelasting gering zodat mogelijk geen S-vormig profiel ontwikkeld. Naar verwachting ontwikkelt zich moerasvegetatie die overgaat in oevervegetatie op het zandige profiel.



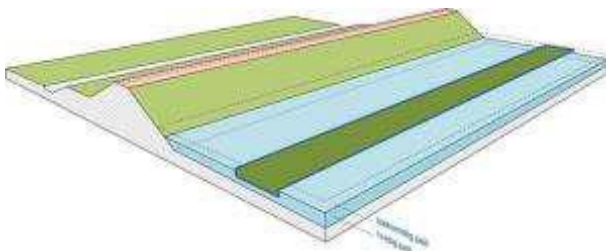
## 7. Drijvende golfbreker

Met een drijvende golfbreker wordt de golfhoogte en daarmee de kracht van de golfaanvallen op de dijk gereduceerd. Hiervan kunnen wellicht onder meer waterplanten en vogels profiteren. Op de golfbreker kan habitat worden gecreëerd voor kale grond broeders.

**Ontwerp:** een drijvende golfbreker die verankerd wordt op de bodem en voldoende golfreductie geeft. De afstand tot de dijk hangt af van de toelaatbare golfaangroei en de gewenste luwtezone voor natuurontwikkeling.

**Faalmechanisme:** onvoldoende hoogte of sterkte bekleding

**Ontwikkeling in de tijd:** op de diepe vooroever komen geen waterplanten voor; bij een ligging voor een ondieper voorland kan de golfuwte de groei van waterplanten mogelijk maken.



## 5.3 Eerste selectie

Hiervoor zijn verschillende ontwerpmogelijkheden voor een voorland beschreven. Voor ieder van die ontwerpmogelijkheden is hieronder (Tabel 5-1 beschouwd in hoeverre deze kansrijk wordt geacht voor het versterken van de IJsselmeerdijk. Op basis hiervan zijn de ontwerpen geselecteerd die we meenemen in de modelstudie.

Tabel 5-1: Overzicht van verschillende ontwerpmogelijkheden voor een voorland en hun geschiktheid voor de versterking van de IJsselmeerdijk

Type voorland	Verder onderzoeken als basisvariant?	Verder onderzoeken als ecologische plus - variant?
<p><b>1. Dijkversterking met zandprofiel tot aan de bestaande bodem</b></p> 	<p>Ja.</p> <p>Deze variant kan de gehele waterveiligheidsopgave oplossen en de kosten zijn vergelijkbaar met andere versterkingsopties.</p>	<p>Ja.</p> <p>Deze variant kan de gehele waterveiligheidsopgave oplossen en de kosten zijn vergelijkbaar met andere versterkingsopties.</p> <p>Aandachtspunt is de ecologische meerwaarde. Hiervoor is het aanbrengen van luwtestructuren noodzakelijk.</p>
<p><b>2. Dijkversterking met zandprofiel, afgekapt met geotubes</b></p>  <p>Voor de waterveiligheid dient dit voorland aan te sluiten op NAP +1m en door te lopen tot minimaal NAP - 2m met een talud van 1:30. Het voorland is daarmee minimaal 90m breed.</p>	<p>Ja.</p> <p>Deze variant kan de gehele waterveiligheidsopgave oplossen en de kosten zijn vergelijkbaar met andere versterkingsopties.</p>	<p>Ja.</p> <p>Deze variant kan de gehele waterveiligheidsopgave oplossen en de kosten zijn vergelijkbaar met andere versterkingsopties.</p> <p>Aandachtspunt is de ecologische meerwaarde. Hiervoor is het aanbrengen van luwtestructuren noodzakelijk.</p>
<p><b>3. Dijkversterking met golfreducerende vooroeverdam</b></p>  <p>Voor de waterveiligheid dient de langsdam een hoogte te hebben van minimaal NAP +2m met een kruinbreedte van minimaal 5m.</p>	<p>Nee.</p> <p>Dit ontwerp draagt slechts beperkt bij aan de waterveiligheidsopgave, waardoor het huidige dijklichaam alsnog versterkt moet worden. Voorkeur gaat daarom uit naar een zandprofiel of een combinatie van een rif met het aanbrengen van grond. Zie ook Nota Kansrijke Alternatieven.</p>	<p>Nee</p> <p>Dit ontwerp draagt slechts beperkt bij aan de waterveiligheidsopgave, waardoor het huidige dijklichaam alsnog versterkt moet worden. Voorkeur gaat daarom uit naar een zandprofiel of een combinatie van een rif met het aanbrengen van grond. Zie ook Nota Kansrijke Alternatieven.</p>
<p><b>4. Dijkversterking met golfreducerende vooroeverdam en verondieping</b></p>  <p>* Verondieping kan ook geheel plaatsvinden.</p>	<p>Ja.</p> <p>Deze combinatie is in ontwerploop 1 nog niet onderzocht maar kan de waterveiligheidsopgave geheel oplossen.</p>	<p>Ja.</p> <p>Deze combinatie is in ontwerploop 1 nog niet eerder onderzocht maar kan de waterveiligheidsopgave geheel oplossen.</p> <p>Veel kansen voor ecologische meerwaarde door de combinatie van een dam met een verondieping.</p>
<p><b>5. Dijkversterking met zand en golfreducerende vooroeverdam</b></p>	<p>Ja.</p> <p>Deze combinatie is nog niet eerder onderzocht en kan de</p>	<p>Ja.</p> <p>Deze combinatie is nog niet eerder onderzocht en kan de</p>

	waterveiligheidsopgave geheel oplossen.	waterveiligheidsopgave geheel oplossen.  Veel kansen voor ecologische meerwaarde door de combinatie van een dam met een verondieping.
<b>6. Dijkversterking met zand, golfreducerende vooroeverdam en verondieping</b> 	Ja  Deze combinatie is nog niet eerder onderzocht en kan de waterveiligheidsopgave geheel oplossen.	Ja.  Deze combinatie is nog niet eerder onderzocht en kan de waterveiligheidsopgave geheel oplossen.  Veel kansen voor ecologische meerwaarde door de combinatie van een dam met een verondieping.
<b>7. Drijvende golfbreker</b> 	Nee  De golven voor bij de IJsselmeerdijk zijn erg hoog zijn. Een drijvende golfbreker is daarvoor onvoldoende werkzaam.	Nee  De golven voor bij de IJsselmeerdijk zijn erg hoog zijn. Een drijvende golfbreker is daarvoor onvoldoende werkzaam.

## 5.4 Modelstudie

Een morfologische modelstudie is uitgevoerd om te bepalen welke vorm, breedte en hoogteligging het voorland moet hebben en in hoeverre opsluitconstructies (langsdammen / strekdammen) nodig zijn om het zand op zijn plaats te houden. De uitgebreide beschrijving van de morfologische modelstudie is opgenomen in Bijlage 2. In deze paragraaf zijn de gevolgde aanpak en voornaamste bevindingen samengevat.

Onderzoeksvragen zijn:

1. Hoe ziet het evenwichtsprofiel van het voorland eruit? (dwarstransport)
2. Hoeveel erosie van het voorland treedt op bij dagelijkse en bij stormcondities? (zowel in dwars- als langsrichting) Wat moet de overdimensionering van het voorland zijn om de waterveiligheid op langere termijn te garanderen en wat zijn de beheerkosten?
3. Hoeveel sediment wordt er richting Maximacentrale getransporteerd? (langstransport)<sup>3</sup>
4. Hoe hangen deze aspecten af van het voorlandontwerp (vorm/opsluitconstructies)?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden is allereerst een overzicht gemaakt van beschikbare systeemkennis. Vervolgens zijn met een model verschillende scenario's doorgerekend.

### 5.4.1 Systeemkennis

Bij de aanleg van zandige oplossing (zoals een vooroever) moet er rekening gehouden worden met de morfologische activiteit van deze oplossing. Over de tijd zal de vooroever veranderen als gevolg van stroming en golven, zowel tijdens de dagelijkse condities als tijdens storm. Waar we langs kusten een vrij goed beeld hebben van hoe een vooroever zich ontwikkelt, is dit voor een meer onzekerder, want in een meer ontbreekt namelijk een van de drijvende factoren getij. Het IJsselmeer is dan ook een vrij uniek

<sup>3</sup> Deze vraag is opgenomen, omdat er zorgen zijn geuit over mogelijke overlast van sediment bij het innamepunt van de Maximacentrale.

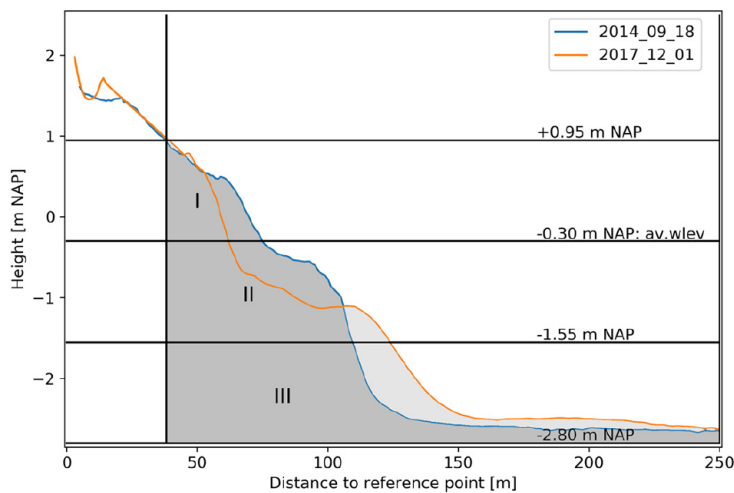
systeem om een vooroever in aan te leggen. Om een goede inschatting te kunnen maken van de te verwachten morfologische activiteit kijken we daarom vooral naar de bestaande kennis van het systeem waarin de pilot Houtribdijk een waardevolle informatiebron is. Algemene systeemkennis over hydrodynamiek en golven in het IJsselmeer is al besproken in de gebiedsbeschrijving (Hoofdstuk 0). Hieronder gaan we in meer detail in op de stabiliteit en ontwikkeling van bestaande vooroevers en het belang van golfgedreven stroming.

### 5.4.1.1 Stabiliteit en ontwikkeling van bestaande vooroevers

Het IJsselmeer wordt gescheiden van het Markermeer door de Houtribdijk. Hier wordt momenteel een pilot uitgevoerd waarin een zandige oplossing is toegepast (zie Figuur 5-2). In 2014 is hier een vooroever aangelegd welke sindsdien goed gemonitord wordt om te bepalen wat de ontwikkeling is. De lessen uit deze pilot geven inzicht in welk type vooroever het meest stabiel is. Uit de pilot blijkt dat er tot op heden nog geen evenwichtsprofiel is gevormd, de vooroevers blijven in ontwikkeling en herschikken zich zowel tijdens dagelijkse omstandigheden als tijdens stormcondities. Bij de vooroever van de Houtribdijk is geen vooroeverdam toegepast. Wel is er een duidelijke herschikking van het sediment zichtbaar over de afgelopen jaren (zie Figuur 5-3)



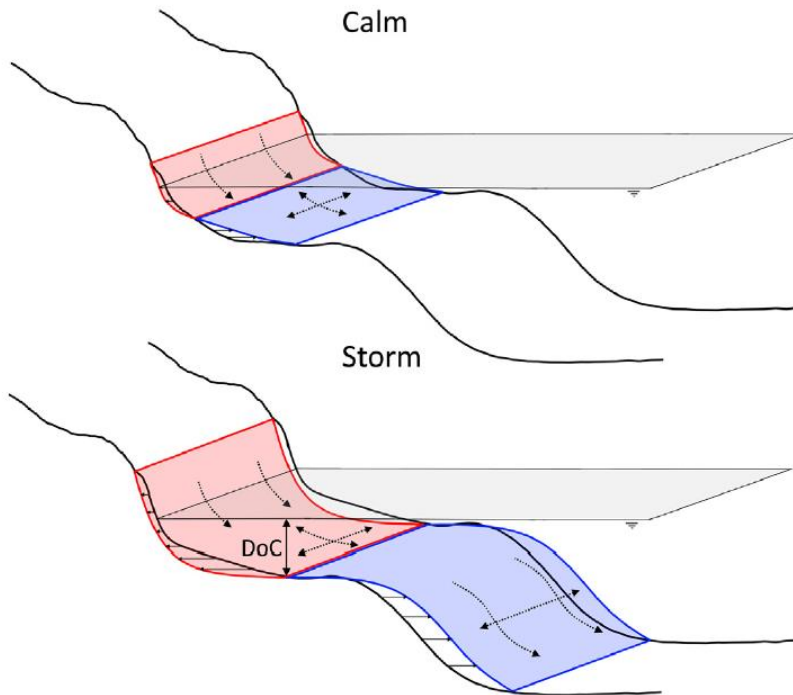
Figuur 5-2: Locatie van de zandige vooroever van de Houtribdijk



Figuur 5-3: Vervorming van het dwarsprofiel van de vooroever bij de pilot Houtribdijk tussen 2014 en 2017, Ton et al., 2020)

Onder invloed van golven wordt sediment in beweging gebracht in zowel de langs- als dwarsrichting. In de ontwikkeling is duidelijk zichtbaar dat er zich een plateau vormt op een hoogte van ongeveer NAP -1 m. Bovenin het profiel vindt er erosie plaats rondom de waterlijn en beneden in het profiel is aangroei zichtbaar: het sediment herschikt zich. Dit is ook conceptueel weergegeven in Figuur 5-4. De hoogte van het plateau is afhankelijk van het waterpeil en golfhoogte en hangt samen met de zogenaamde 'depth of

closure': de overgang tussen het deel van het kustprofiel waar de invloed van golven op sediment transport niet meer significant is. In dit verhaal bepaalt de waterstand waar de golven aangrijpen op het kustprofiel: bij een hogere waterstand kunnen hogere golven ontstaan en grijpen deze hoger in het profiel aan.



Figuur 5-4: Grafische weergave van de vervorming van het profiel van een vooroever in laag-energetisch en zandig milieu onder dagelijkse (calm) en extreme (storm) condities (Ton et al., 2020)

Binnen het profiel dat zich vormt, zijn er een aantal dingen belangrijk:

- Het plateau zal zich rond NAP -1 m vormen als gevolg van het waterpeil in het IJsselmeer en golfcondities;
- De breedte van het plateau hangt af van het langtransport en de aanvoer van sediment van hoger in het profiel;
- Er is geen herstel van het profiel, door de relatief diepe bodem van het IJsselmeer is elk verlies een permanent verlies. Het is dan ook verstandig te rekenen met bruto transporten in plaats van netto;
- Erosie vindt plaats rond de waterlijn, dit sediment vult het plateau aan, wanneer er geen erosie kan plaatsvinden en er dus geen aanvoer is, diept het plateau uit.

#### 5.4.1.2 Invloed van windgedreven stroming

In het IJsselmeer treedt er naast de golfgedreven stroming ook een windgedreven stroming op. Deze is het gevolg van opzet van het waterpeil waardoor er een horizontale circulatiestroom ontstaat. De stroming is afhankelijk van de windrichting, bathymetrie en eventuele objecten. Uit metingen langs de Houtribdijk blijkt dat de stroming uniform is qua snelheid over de diepte en een maximale snelheid van zo'n 0,3 m/s kent.

In Figuur 5-5 is de verwachte stroming op basis van gebiedskennis en expert judgement ingetekend voor de situatie met aanlandige wind (overige condities zijn verderop beschreven). Deze situatie is gekozen omdat in deze situatie de waterstand het hoogst is op de locatie van het voorland en een stroming het

meeste effect zal hebben op een voorland. De stroming ontstaat langs de kust als gevolg van opzet van het waterpeil, de terugstroom volgt de contour van de kustlijn. Dit wordt bevestigd door meetpalen bij de Houtribdijk, deze laten stroming langs de kust zien. Bij objecten of dammen (zoals de Maxima centrale) is de verwachting dat er een lokale stroming in tegengestelde richting ontstaat dicht bij de kust.

#### **Aanlandige wind**

De opzet is groot door de relatief lange strijklengte. Hierdoor is er een groot waterstandsverschil waardoor er een relatief hoge stroomsnelheid verwacht wordt. De waterstand ter plaatse van het voorland is ook hoog, veel opwoeling vindt daardoor plaats hoog in profiel doordat de golven een hoog aangrijpingspunt hebben. Het zandtransport is daardoor naar verwachting ook relatief hoog als gevolg van de combinatie van opwoeling met een sterke stroming. De richting van de stroming is in het noordelijke gedeelte richting noord en in het zuidelijke gedeelte richting zuid.

#### **Aflandige wind**

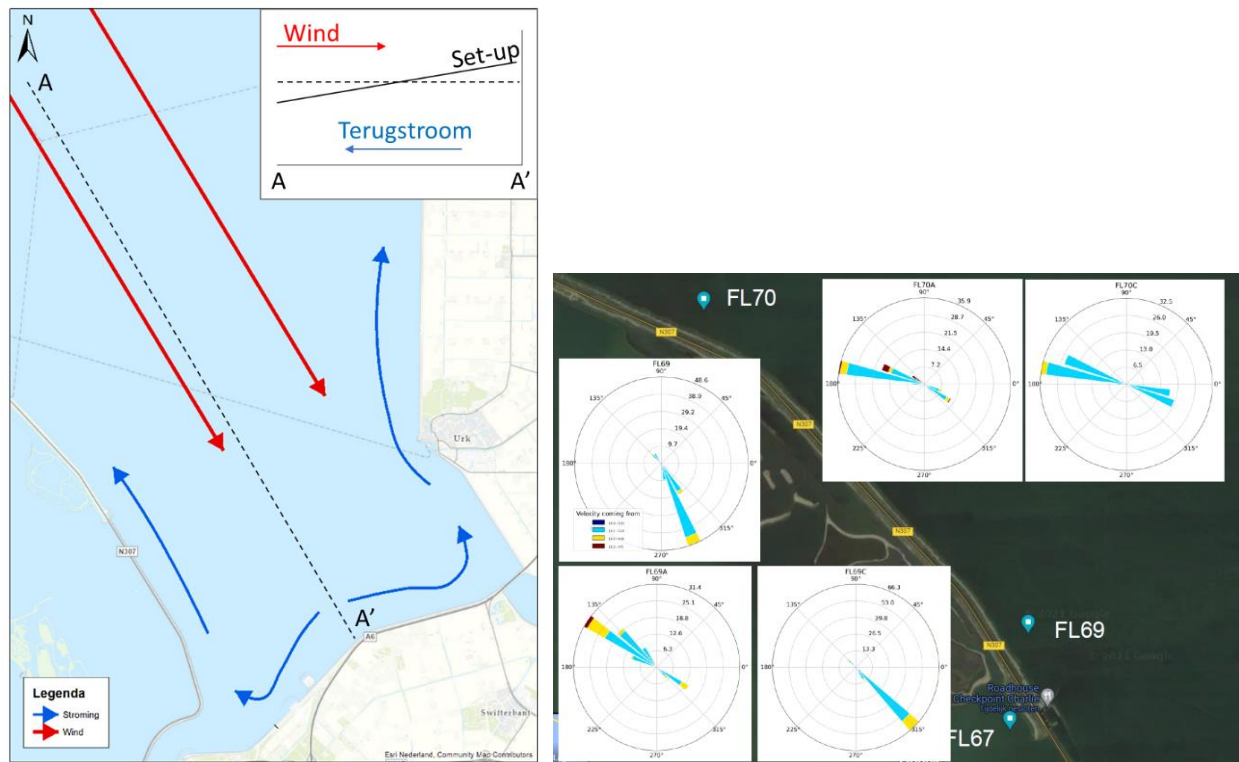
De waterstand bij de IJsselmeerdijk is laag en er zijn geen golven. Er zal weinig opwoeling plaatsvinden, het sedimenttransport is daardoor naar verwachting ook beperkt. Windgedreven stroming zal tegengesteld zijn aan de situatie bij aanlandige wind.

#### **Wind uit NO/ZW (parallel)**

De opzet is kleiner door de relatief korte strijklengte, hierdoor is er een klein waterstandsverschil en een lage stroomsnelheid. De waterstand en golfhoogte ter plaatse van het voorland is gemiddeld, enige opwoeling vindt plaats in het profiel. Het transport is daardoor in verwachting ook gemiddeld als gevolg van de combinatie van enige opwoeling met een kleine stroming. De stroomrichting is richting het noorden voor NO wind en richting het zuiden voor ZW wind.

N.B. dit is slechts een conceptuele weergave van de mogelijke stroming op basis van gebiedskennis en ervaringen van de Houtribdijk. Stromingspatronen zijn van veel variabelen afhankelijk en moeten bevestigd worden aan de hand van metingen of modellering.





Figuur 5-5: Verwachte stroming langs de IJsselmeerdijk tijdens aanlandige wind (links) en gemeten stroming langs de Houtribdijk (rechts, ongepubliceerde metingen uit onderzoek van Ton., 2021)

De lessen en generieke conclusies uit de Houtribdijk pilot zijn goed toepasbaar op de vooroever oplossing van de IJsselmeerdijk, het gaat om een soortgelijke zandige oplossing in hetzelfde systeem. Bij de Houtribdijk is er echter niet gewerkt met een vooroeverdam, waar dit voor de IJsselmeerdijk wel een realistische oplossing lijkt. Het effect van constructies op de morfologie moet daarom in acht genomen worden.

### 5.4.2 Methodologie morfologische modelstudie

Op basis van de systeemkennis vanuit de Houtribdijk, zijn verschillende alternatieven voor de vooroever van de IJsselmeerdijk beschouwd. Vanuit de waterveiligheid voldoen verschillende profielen als minimum profiel (het minimale profiel wat vanuit waterveiligheid aanwezig moet zijn ten tijde van de maatgevende storm):

- Een helling van 1:10, die aansluit op het huidige dijkprofiel op NAP +1 m;
- Een plateau van 20 m breed op NAP 0 m;
- Een plateau van 50 m breed op NAP -1 m.

Deze verschillende alternatieven worden in dit hoofdstuk morfologisch beschouwd.

Voor de modelsimulaties is gebruik gemaakt van LITPACK-software. Er zijn verschillende modelscenario's onderzocht, waarbij gevarieerd is in:

- Hoogte van het horizontaal plateau;
- Aanwezigheid, vorm en volume van een zandbuffer;
- Aanwezigheid en hoogte van een vooroeverdam;
- Aanwezigheid van strekdammen.

Meer gedetailleerde informatie over aanpak van de modelstudie staat beschreven in Bijlage 2.

### 5.4.3 Resultaten morfologische modelstudie

Om aan de waterveiligheidseisen te voldoen, zijn er drie mogelijke minimale profielenvormen: een talud wat aansluit op de huidige dijk op NAP +1 m (1), een horizontaal plateau van 20 m breed op NAP 0 m (2) en een horizontaal plateau van 50 m breed op NAP -1 m (3). Vanuit ervaringen bij het zandige voorland van de Houtribdijk blijkt dat zich natuurlijk een plateau op ongeveer NAP -1 m gaat instellen, waarbij de breedte en exacte hoogteligging bepaald worden door de aanvoer van sediment in langs- en dwarsrichting. De bovenstaande ervaringen vanuit de Houtribdijk worden bevestigd door conceptuele LITPROF-simulaties. Een plateau wat op NAP -1 m wordt aangelegd laat minder vervorming zien dan de andere twee opties.

Zowel de aanleg van een buffer rond de waterlijn en vooroeverdam zijn noodzakelijk. Een buffer is nodig aangezien zand wat richting het meer getransporteerd wordt, snel in relatief diep water terechtkomt en daarmee verloren gaat voor de vooroever. Deze buffer erodeert en vult het plateau op circa NAP -1 m aan. De modelsimulaties laten zien dat bij afwezigheid van een buffer rond de waterlijn het plateau zich verder uitdiept. Echter, ook bij aanwezigheid van een buffer rond de waterlijn laat het profiel teveel vervorming zien onder dagelijkse condities om de waterveiligheid te kunnen garanderen. Het toepassen van een vooroeverdam is hiermee noodzakelijk.

Een vooroeverdam met een kruinhoogte van NAP 0 m in combinatie met een plateau op NAP -1 m van 50 m breed blijkt de meest stabiele optie. Onder stormcondities treedt lichte uitholling van het plateau op en daarom wordt toepassing van een buffer rond de waterlijn (aansluiting op NAP +1 m, helling van 1:15) geadviseerd. Door de aanwezigheid van de buffer is het mogelijk om enige dynamiek van het voorland toe te staan wat wenselijk is vanuit ecologisch perspectief en wenselijk om onzekerheden in morfologisch gedrag op te vangen. Een hogere dam is wellicht vanuit waterveiligheid een interessante optie, maar haalt alle dynamiek uit het systeem en is daarom vanuit ecologisch perspectief niet interessant.

De buffer kan het best tegen de dijk aangelegd worden. Onder stormcondities zal deze buffer deels eroderen en zich over het plateau gaan verplaatsen. Een buffer die aansluit op NAP +1 m en een helling heeft van 1:15 zorgt ervoor dat uitdieping van het plateau wordt verminderd. Bij een 1/10 jaar storm erodeert de buffer maar blijft het sediment binnen de vooroeverdam. Bij een 1/67.000 jaar storm treedt ook verlies over de vooroeverdam op.

Sedimentverlies in de langsrichting zal voornamelijk optreden waar het langstransport wordt onderbroken, aan de kopse eindes van de vooroever of bij bochten. Op basis van de modellering gaat aan de kopse eindes van de vooroever circa 2000 m<sup>3</sup> per jaar verloren. Zonder verdere opsluitconstructies moeten hiervoor buffers aan de kopse eindes van de vooroever worden aangebracht. Verliezen in de langsrichting kunnen worden beperkt door de toepassing van strekdammen op de kopse eindes van de vooroever. Daarnaast beperkt dit de hoeveelheid zand die richting de Ketelbrug, Maxima centrale en Flevo Marina wordt getransporteerd. Eventuele tussenliggende constructies zoals palenrijen, kunnen in een latere fase worden toegevoegd om het sedimenttransport in langsrichting verder te beperken.

Voor de ecologische plusvariant is de wens om meer variatie toe te voegen in bodemhoogte en de langsdam getrapd aan te leggen om de uitwisseling met het IJsselmeer te vergroten. De verwachting is dat de variaties in bodemhoogte zich na verloop van tijd uiteffenen en de vooroever teruggaat naar een evenwicht. Bij aanleg van een getrapte langsdam zal er naar verwachting meer sedimentverlies optreden in dwars- en langsrichting.

De afmetingen van de vooroever zijn te zien in Figuur 5-6 en Figuur 5-7.

Het maken van een goede inschatting van het sedimenttransport is moeilijk door beperkingen van de software en het unieke laag-energetische milieu van het IJsselmeer. Aandachtspunten en onzekerheden staan beschreven in de bijlage Morfologische analyse vooroever IJsselmeerdijk (2021). Bij uitwerking van het voorland in volgende fase zal er uitgebreider gemodelleerd moeten worden, zowel op het golfgedreven transport als het windgedreven transport (3D). Aandachtspunten hierbij zijn ook de ruimtelijke variatie langs de IJsselmeerdijk en de keuze voor stormcondities.

## 5.5 Uitwerking ontwerp

### 5.5.1 Ontwerp basisvariant

Het ontwerp op hoofdlijnen bestaat uit een vooroeverdam met een kruin op circa 0m NAP met daarachter een zandig plateau/voorland (zie, Figuur 5-7 en Figuur 5-8). Het voorland bestaat uit een noordelijk deel en een zuidelijk deel (zie Figuur 5-9 en Figuur 5-10). Het noordelijke deel ligt in dijkvak 1 en 2, is circa 60m breed en loopt van de Ketelbrug tot de Maximacentrale. Het zuidelijke deel ligt in dijkvak 3, is circa 40m breed en loopt Flevo Marina tot CTU Flevokust.

Het zandige deel van het voorland ligt horizontaal op -1m NAP. De verwachting is dat het voorland bij deze vorm relatief stabiel is. Iets hoger, direct voor de dijk wordt een buffer aangebracht van waaruit zand kan eroderen en zandverliezen door dwarstransport richting het IJsselmeer kan compenseren. Aan het begin en eind van beide voorlanden worden strekdammen geplaatst om verlies van sediment door langstransporten zoveel mogelijk te beperken.

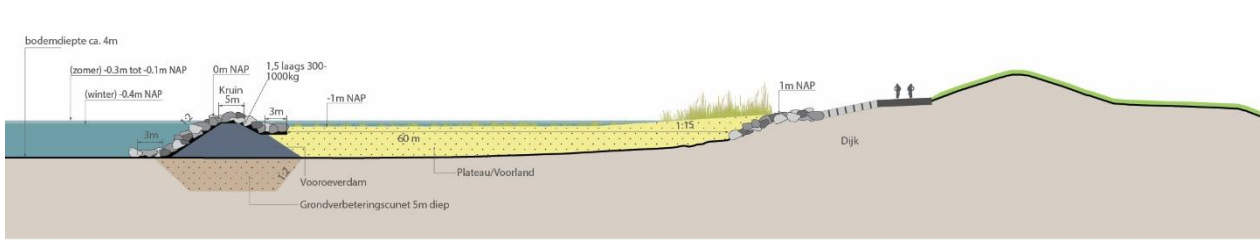
Op basis van de modelsommen valt niet uit te sluiten dat er significant langstransport plaats gaat vinden op het voorland achter de langsdam. Daarom gaan we voor nu uit van de aanleg van palenrijen om de 250 meter. Dit beperkt de stroming, terwijl uitwisseling van water en sediment tussen de compartimenten mogelijk blijft. Het voorland wordt op afstand van de Maximacentrale aangelegd om sedimenttransporten richting de centrale zoveel mogelijk te beperken.

De langsdam komt op een zandcunet en voor het ontwerp gaan we ervanuit dat de kern bestaat uit grind welke wordt beschermd door een toplaag van stortsteen met een sortering van 300-1000kg.

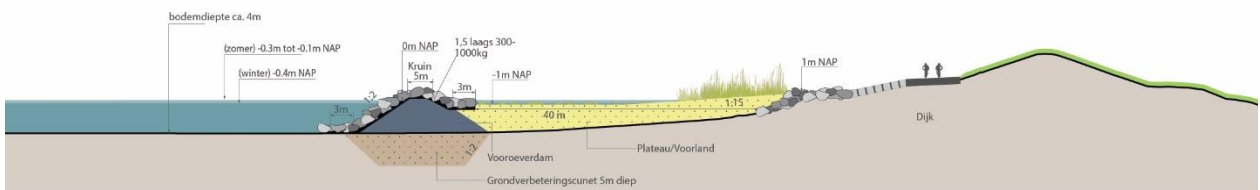
Om verstuiven van zand te voorkomen op het gedeelte van het voorland wat boven het waterpeil ligt leggen we een teellaag aan met een dikte van circa 30cm. Naast dat de teellaag direct zandverstuiving tegengaat bevordert de teellaag ook vegetatiegroei wat verstuiven van zand verder beperkt. Aandachtspunt hierbij is dat erosie door golfaanval mogelijk moet blijven zodat de buffer zijn werking behoudt.

Regelmatige verversing van het water achter de langsdam is belangrijk voor een goede waterkwaliteit. Om de doorstroming te bevorderen worden op een aantal locaties duikers in de langsdam geplaatst. Voor nu gaan we uit van elke 250m een duiker met een dwarsdoorsnede van 1m<sup>2</sup>. Het gedeelte van het voorland wat boven water ligt wordt schuin aangelegd wat plasvorming tegengaat.

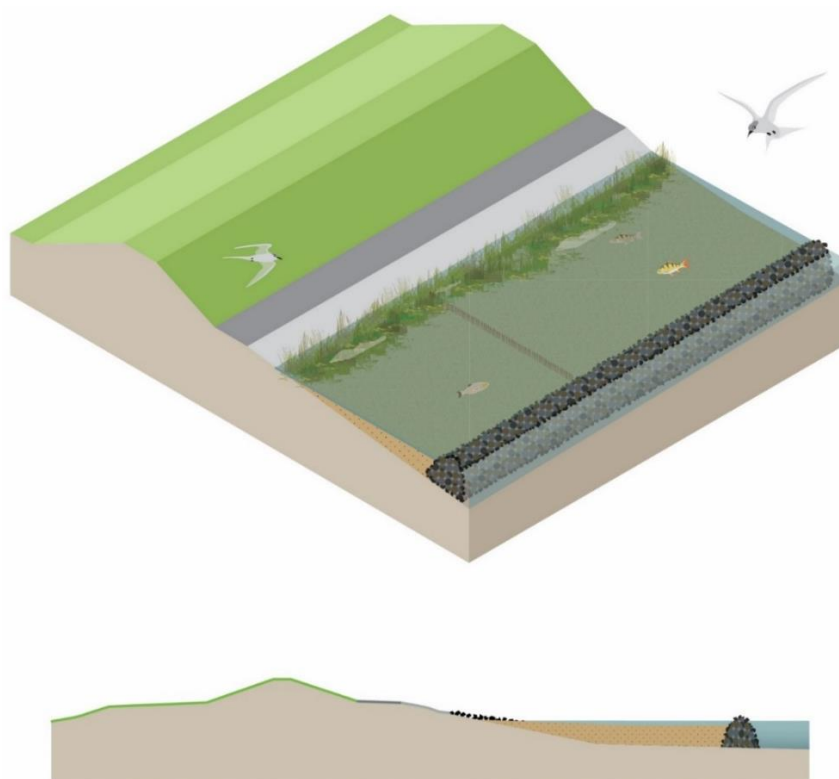
Het ontwerp van het voorland sluit aan bij adviezen vanuit het RKK. Het is een grootschalig, rechtlijnig ontwerp die natuurwaarde toevoegt en waarbij het zicht op het open water vanaf de dijk blijft bestaan.



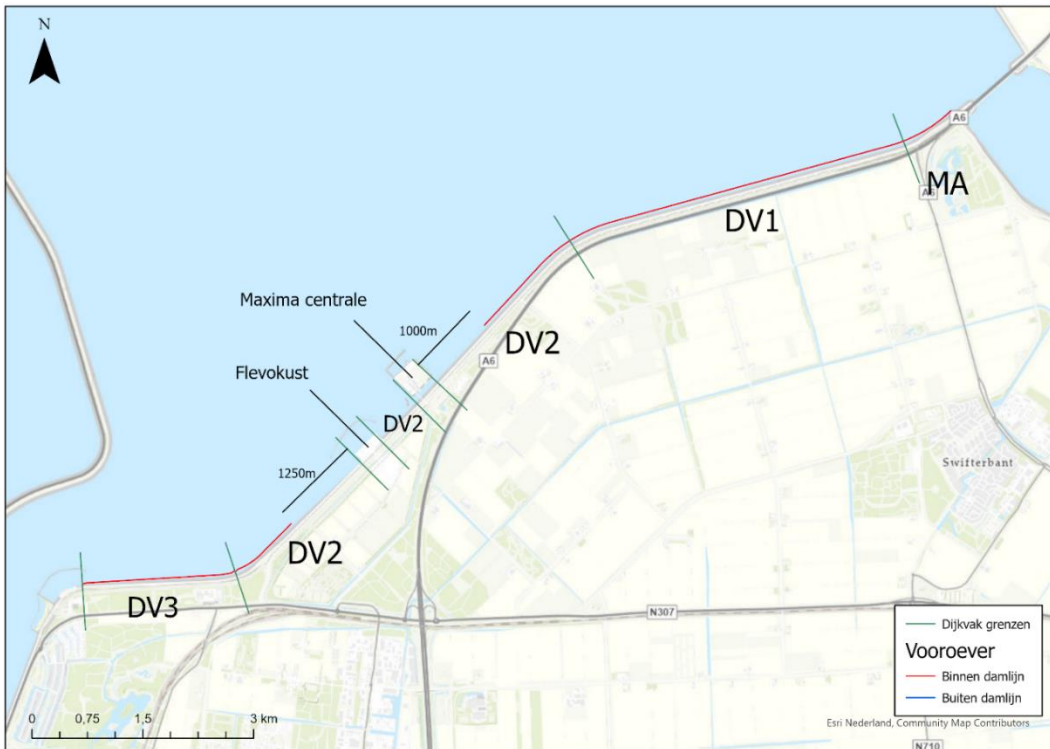
*Figuur 5-6: Profiel van het voorland bij dijkvak 1 en 2, basisvariant*



*Figuur 5-7: Profiel van het voorland bij dijkvak 3, basisvariant.*



*Figuur 5-8: Impressie vormgeving basisontwerp voorland op hoofdlijnen.*



Figuur 5-9: Ligging van de vooroever bij de verschillende dijkvakken.



Figuur 5-10: Voorland in bovenaanzicht

Belangrijk voor de vergunbaarheid van het ontwerp is dat deze niet leidt tot een verminderde draagkracht van het futenrustgebied. Om de volgende redenen leidt de langsdam met vooroever niet tot een afname van de draagkracht:



- Het daadwerkelijk verlies van wateroppervlak van de langsdam met een kruin van 5 m breed is gering en kan eenvoudig worden gecompenseerd door de buitenbegrenzing van het futenrustgebied 5 m op te schuiven.
- Buiten de langsdam is (bij een voorlandbreedte van 60 m) een brede strook van 235 m beschikbaar voor futen; dit gebied is waardevoller dan zonder de langsdam omdat de futen minder beweging op de dijk kunnen waarnemen; daardoor neemt buiten de langsdam de draagkracht voor futen per hectare toe.
- Binnen de langsdam ontstaat een 60 m breed grotendeels ondiep luw watersysteem dat een gevarieerdere vissamenstelling en een hogere visdichtheid zal kennen dan het IJsselmeer. Dat biedt betere rust- en foerageermogelijkheden voor futen. De draagkracht per hectare voor futen per hectare binnen de langsdam neemt daarom aanmerkelijk toe.

Bij verdere uitwerking van de buitendijkse ontwikkeling behoort optimalisatie van de inrichting van het futenrustgebied tot de mogelijkheden. Daarbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan gewijzigde plaatsing van de ribballen.

### 5.5.2 Ecologische plus variant

Naast het slim en doelmatig ontworpen basisontwerp is een voorlandvariant ontwikkeld die extra meerwaarde biedt voor ecologie en recreatie. Deze ecologische plus variant is op hoofdlijnen gelijk aan het ontwerp van de basisvariant. In een ontwerpatelier met deskundigen op het gebied van onder meer ecologie, landschap en morfologie zijn in een creatief proces elementen toegevoegd. De ecologische plus variant bevat de volgende extra's om meer habitatvariatie te creëren:

- Afwisseling in hoogte van het zandige voorland;
- Grotere openingen tussen de langsdammen in plaats van duikers;
- Toevoegen dood hout;
- Toepassen van eco-vriendelijke stortsteen (holtes, grote ruwheid t.b.v. afwisseling in habitat) in langsdam.

Daarnaast voegen we een aantal extra's toe ten behoeve van recreatiemogelijkheden:

- Wandelpad over de langsdam;
- Uitkijktoren;
- Onderwaterzichtpunt.

#### Afwisseling in hoogte

Vanuit ecologisch oogpunt is het interessant om binnen het zandige deel van het voorland variatie in hoogte te creëren zodat meerdere habitats ontstaan: wat dieper water (1-2 m diep), ondiep water (< 1m diep) en delen die bij gemiddeld waterpeil net boven water uitkomen. Dit biedt kansen voor de ontwikkeling van verschillende (ondergedoken) waterplanten. Delen die boven water uitkomen worden voorzien van een schelpenlaag, zodat zij kunnen worden gebruikt als broedgebied voor visdief en bontbekplevier. Voor het creëren en instandhouden van de hoogteverschillen zijn extra luwtestructuren in het voorland nodig. De verwachting is dat zonder deze luwtestructuren de golven en stroming ervoor zorgen dat variaties in hoogte na aanleg na verloop van tijd kleiner zullen worden of zelfs geheel zullen verdwijnen. De gemiddelde bodemhoogte moet op -1m NAP of hoger blijven liggen (we gaan voor nu uit van een gelijke breedte van het voorland als bij de basisvariant) om de waterveiligheid te garanderen.

#### Uitwisseling voor en achter de langsdam

Het is belangrijk dat uitwisseling plaats kan vinden tussen het water voor en achter de langsdam. Daarvoor zijn openingen tussen elkaar overlappende delen van de langsdam voorzien. De mate van uitwisseling en het effect daarvan op ecologie dient in de volgende fase verder te worden onderzocht en gekwantificeerd.



Voor het ontwerp gaan we voor nu uit van elke kilometer een opening tussen de langsdammen. De langsdammen overlappen over een afstand van 50 meter waarbij de dammen 10 meter uit elkaar liggen. In het noordelijke deel wordt het voorland daarmee 60 en nabij de opening 70 meter breed en in het zuidelijk deel 40 en nabij de opening 50 meter breed.

### Ecologische inrichting dam

Vanuit ecologisch oogpunt is het belangrijk dat de buitenkant van de langsdam en strekdammen bestaat uit ruwe stenen waarop flora en fauna zich kunnen bevestigen. Onder meer driehoeksmosselen (quaggamosselen) gebruiken harde substraten voor aanhechting. Mossel-etende vogels zoals kuifeenden kunnen hiervan profiteren. De langsdam steekt boven gemiddelde waterpeil uit zodat op de kale grond broedplaatsen voor visdief en bontbekplevier ontstaan. Dit kan de draagkracht van het gebied voor deze voor het Natura 2000-gebied IJsselmeer aangewezen broedvogelsoorten verhogen. De afwerking van de langsdam doen we dusdanig dat bepaalde delen geschikt zijn voor groei van vegetatie. Ook hiervan kunnen vogels profiteren.

### Aanplanten vegetatie

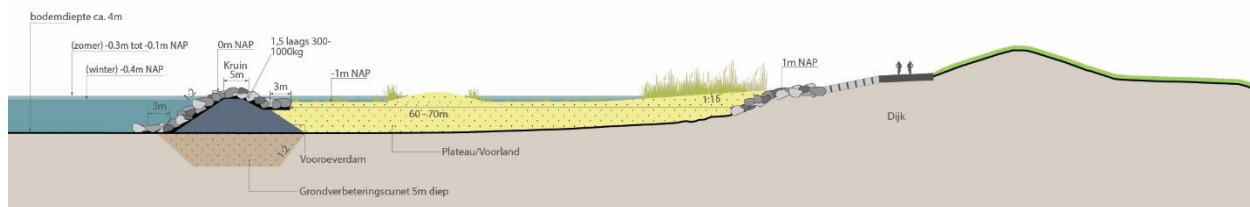
Vegetatie zal zich spontaan ontwikkelen op een aantal plaatsen. In het ondiepe water achter de langsdam komen ondergedoken waterplanten tot ontwikkeling. In de oeverzones op de overgangen van land naar water gaan oeverplanten groeien. Op enkele natte plekken kunnen wilgenbosjes ontstaan. Aanplanten van vegetatie is niet nodig. De vegetatieontwikkeling moet wel worden gemonitord en indien nodig actief worden beheerd. Dat laatste geldt met name voor oevervegetatie en wilgenopslag.

### Dood hout

Om extra diversiteit in habitattypen te verkrijgen brengen we dood hout in de luwe zone aan. De ruimtelijke structuur van de takken zal geschikt habitat zijn voor meerder macrofauna soorten, meer expositie creëren voor filterfeeders zoals de quaggamossel en schuilgelegenheid bieden voor jonge vis van soorten als Baars en Blankvoorn<sup>4</sup>. Daarnaast zal dood hout door de aanwezigheid van filterfeeders, macrofauna en vis een aantrekkelijke plek worden als foerageergebied voor verschillende vogelsoorten. Om te voorkomen dat het dode hout met stroming wordt meegenomen is het aanbevolen om het hout te verankeren aan de bodem.

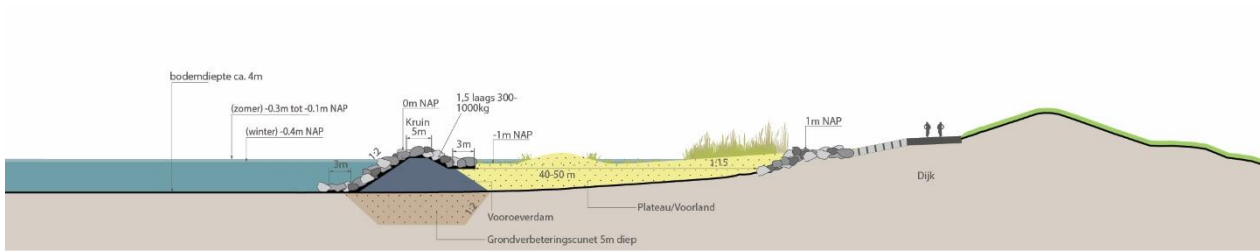
### Recreatie

Er zijn veel verschillende manieren om meerwaarde te creëren voor recreatie. Voor nu gaan we in het ontwerp uit van de aanleg van een wandelpad over een gedeelte van de langsdam. Ook maken we een uitkijktoren en een onderwaterzichtpunt.

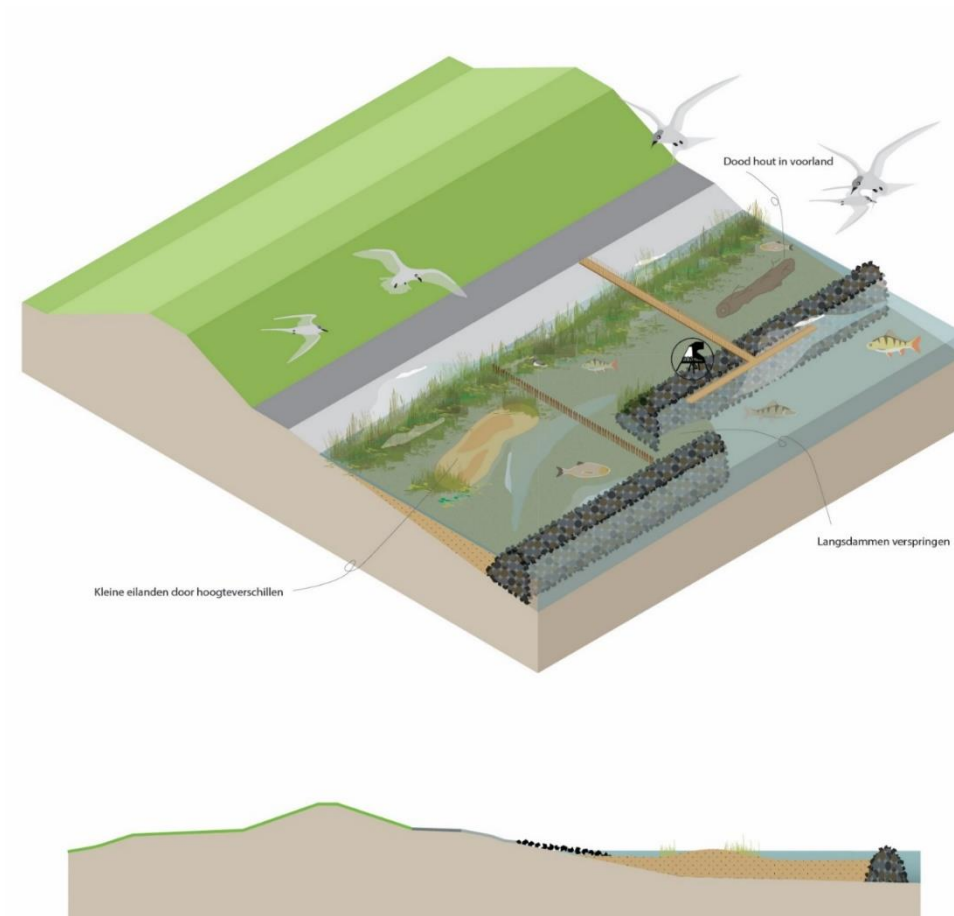


Figuur 5-11: Profiel van het voorland bij dijkvak 1 en 2, ecologische plus variant.

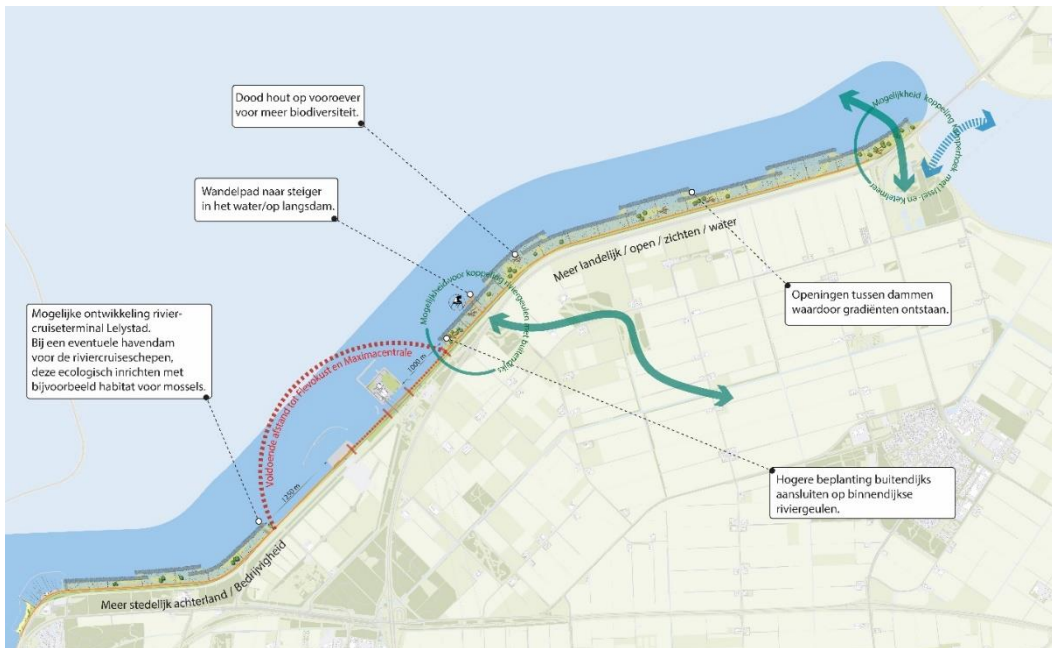
<sup>4</sup> Noordhuis, R. & Roskam, G, Hout als substraat in IJsselmeergebied: meerwaarde van dood hout in meren, Rijkswaterstaat 2017.



Figuur 5-12: Profiel van het voorland bij dijkvak 3, ecologische plus variant.



Figuur 5-13: Impressie vormgeving ontwerp voorland inclusief ecologische inrichting, zijaanzichten.



Figuur 5-14 Impressie vormgeving ontwerp voorland inclusief ecologische inrichting, bovenaanzicht.

### Geen kunstmatig fluctuerend peil

Voor het ontwerp van de ecologische plusvariant is in een eerdere fase ook geopperd om een kunstmatig een fluctuerend peil te creëren ten behoeve de ecologische waarde. Er zijn verschillende redenen waardoor dit niet is opgenomen in de ecologische plusvariant;

1. Voor maatregelen die in het IJsselmeergebied worden genomen gelden de keuzes voor het flexibel peilbeheer zoals vastgelegd in het Nationaal Waterplan als uitgangspunt. Dat geldt voor KRW-maatregelen, Natura 2000-maatregelen en ook voor PAGW-maatregelen (referentie: RWS, 2017. Memo factsheet verkenning grote wateren. IJsselmeergebied. Het grootste zoetwatergebied van West-Europa).
2. Voor flexibel peilbeheer is een feitelijke afsluiting van de vooroever van het IJsselmeer benodigd met een waterdichte dam en pompen om het peil vast te houden. De inzet van pompen kost energie (minder duurzaam) en is kostbaar. Daarnaast zijn de kosten van het waterdicht maken van de langsdam ook hoog.
3. Het 'opsluiten' van de vooroever betekent een groter risico voor de waterkwaliteit. Juist door open verbindingen met het IJsselmeer en voldoende verversing achter de langsdam wordt de kans op een slechtere waterkwaliteit geminimaliseerd.

### 5.5.3 Ecologische meerwaarde basisvariant en ecologische plusvariant

De vooroever basisvariant maakt een aantal positieve ecologische ontwikkelingen mogelijk. Door deze basisvariant verder 'op te waarderen' tot ecologisch plusvariant neemt het aantal positieve effecten toe. In deze paragraaf is toegelicht welke ecologische voordelen/ meerwaarde de beide varianten hebben en zijn de verschillen op een rij gezet. Eerst zijn de ecologische effecten van luwte, diepte en wateruitwisseling voor de huidige situatie, de basisvariant en de ecologische plusvariant beschreven. Daarna zijn de effecten van de 'extra' maatregelen uit de ecologische plusvariant benoemd. Ten slotte is voor de belangrijkste soorten(groepen) aangegeven in hoeverre zij zullen profiteren van de verschillende varianten. Deze effecten en de meerwaarde van de ecologische plusvariant ten opzichte van de basisvariant zijn in een vergelijkende tabel samengevat.

## Luwte

**Huidige situatie.** Het IJsselmeerwater grenzend aan de IJsselmeerdijk is ruw. Bij harde wind, met name uit noordoostelijke hoek, ontstaan er hoge golven die op de dijk beuken en voor veel beweging van water en sediment zorgen. Het gevolg daarvan is dat de dichtheid van macrofauna op de dijk en op de bodem er laag is, omdat er nauwelijks soorten zijn die zich bij een dergelijke hoge dynamiek kunnen vestigen. Langs de dijk is door de golfslag ook nauwelijks begroeiing met oeverplanten te vinden.

**Basisvariant.** Door de aanleg van een langsdam worden de hoge golven gedempt en neemt de dynamiek aanmerkelijk af. Daardoor is vestiging van macrofauna op het binnentalud van de langsdam en in de bodem van het voorland mogelijk. Op het flauwe talud van het zandlichaam tegen de dijk zal zich een oeverplantenvegetatie kunnen ontwikkelen. Door de geringe peilwisselingen en de geringe diversiteit van de inrichting zal een smalle strook oevervegetatie ontstaan die zich niet zal uitbreiden.

**Ecologische plusvariant.** De ecologische plusvariant kent dezelfde voordelen van het ontstaan van luwte achter de langsdam als de basisvariant. Daarbovenop ontstaan er door de ecologische inrichting van het voorland veel meer geleidelijke land-waterovergangen en meer diepteverschillen, waardoor het aantal verschillende habitats in het voorland hoger is dan in de basisvariant. Hiervan profiteren meer verschillende soorten macrofauna. Ook de oevervegetatie profiteert van de variatie die door de ecologische inrichting wordt gecreëerd.

## Diepte

**Huidige situatie.** Het IJsselmeerwater grenzend aan de IJsselmeerdijk is diep. De bodem loopt vanaf de dijk steil af, waardoor het al snel 4 meter diep is. Op deze diepte bereikt niet voldoende licht de bodem, zodat er geen waterplanten kunnen ontkiemen. Het zoeken naar voedsel op deze plek is voor bodemfauna-etende vogels nauwelijks rendabel, omdat de dichtheid van de bodemdieren laag is en de vogels 4 meter diep moeten duiken.

**Basisvariant.** Door de sterke verondieping tot circa 1 meter onder het gemiddeld waterniveau kan voldoende licht tot op de bodem doordringen. Omdat er achter de langsdam bovendien luwe omstandigheden ontstaan (zie hierboven) zal zich in het voorland een waterplantenvegetatie ontwikkelen. De geringere diepte zorgt ervoor dat bodemfauna etende vogels hun prooidieren makkelijker bereiken.

**Ecologische plusvariant.** Ook bij de ecologische plusvariant zullen waterplanten kunnen groeien. De grotere variatie in habitats als gevolg van de meer gevarieerde inrichting met dieptevariatie leidt tot meer mogelijke standplaatsen voor verschillende soorten en daarmee tot een hogere biodiversiteit. Voor bodemfauna etende vogels biedt de gemiddeld geringere diepte voordelen, net als in de basisvariant.

## Wateruitwisseling

**Huidige situatie.** Er is geen barrière tussen de strook water langs de IJsselmeerdijk en de rest van het IJsselmeer: er vindt vrije uitwisseling van water en organismen plaats.

**Basisvariant.** De langsdam ligt op een hoogte van 0m NAP. Dat betekent dat bij een hoge waterstand een vrije uitwisseling van water mogelijk is tussen vooroever en IJsselmeer. Om de uitwisseling verder te bevorderen worden op een aantal locaties duikers in de langsdam geplaatst.

**Ecologische plusvariant.** Ook bij de ecologische plusvariant is vrije uitwisseling tussen vooroever en IJsselmeer mogelijk. In deze variant wordt dat gerealiseerd door openingen tussen elkaar overlappende delen van de langsdam.

De mate van uitwisseling en stroming en het effect daarvan op ecologie dient in de volgende fase verder te worden onderzocht en gekwantificeerd.

## Extra plussen Ecologische plusvariant.

**Dood hout.** Door het aanbrengen van dood hout (dode bomen inclusief takken en wortels) wordt een voor deze locatie nieuw habitattypen geïntroduceerd. In en op het hout vinden allerlei ongewervelde organismen, zoals mosdiertjes, sponzen, kokerjuffers, slakken, mosselen en insectenlarven) geschikte leefomstandigheden. Deze organismen vormen weer voedsel voor vissen, die ook profiteren van de

schuilgelegenheid die de wortels en takken bieden. De aanwezigheid van macrofauna (zoals quaggamosselen) en vissen trekt ook foeragerende vogels aan.

**Eilandjes.** In de ecologische plusvariant is de grond achter de langsdam niet overal gelijkmatig aangebracht, maar juist met veel variatie. Dat leidt niet alleen tot diepteverschillen van het water, maar hier en daar ook tot eilandjes die een groot deel van het jaar boven water uitsteken. Een deel van deze eilandjes wordt bedekt met schelpen, zodat een geschikt broedhabitat voor kale-grondbroeders zoals visdiefje en kluut ontstaat. Op een ander deel van de eilandjes krijgt vegetatie de kans zich spontaan te ontwikkelen. Dat leidt tot een hoge diversiteit; hier en daar kunnen ook wilgenbosjes ontstaan. Ook de eilandjes met vegetatie bieden in potentie broed- en rustgelegenheid voor diverse vogelsoorten. Door de aanleg van eilandjes neemt ook het areaal land-waterovergang substantieel toe, waardoor water- en oeverplanten meer potentiële groeiplekken hebben.

#### ***Inrichting van de langsdam.***

Door het toepassen van eco-vriendelijke stortsteen kunnen flora en fauna zich makkelijker bevestigen. Onder meer driehoeksmosselen (quaggamosselen) gebruiken harde substraten voor aanhechting. Mossel-etende vogels zoals kuifeenden kunnen hiervan profiteren. Door de afwerking waarbij delen geschikt zijn voor groei van vegetatie kunnen vogels profiteren.

#### **Effecten op verschillende soort(groep)en**

De realisatie van een langsdam met vooroever en de inrichting daarvan zorgt voor een verandering van de aanwezige habitats en heeft zo gevolgen voor de diverse plant- en diersoorten die in het IJsselmeer kunnen voorkomen. De effecten van de basisvariant en de ecologische plusvariant zijn hieronder op een rij gezet.

**Waterplanten.** In de basisvariant ontstaat achter de langsdam een luwe, één meter diepe, watervlakte. Deze biedt groeimogelijkheden voor ondergedoken waterplanten als kranswieren en fonteinkruiden. Vanwege de homogene inrichting van de vooroever is er weinig variatie in waterplantensamenstelling te verwachten.

In de ecologische plusvariant zorgt de variatie in diepte (in combinatie met de luwte) ervoor dat er verschillende habitats voor meerdere soorten ondergedoken waterplanten aanwezig zijn. De vegetatiesamenstelling is daarom meer gevarieerd dan bij de basisvariant.

**Oeverplanten.** In de basisvariant zal langs de IJsselmeerdijk op de landwaterovergang een strook oeverplanten, zoals riet en lisdodde, groeien. Vanwege de geringe peilvariatie zal deze strook relatief smal blijven.

De ecologische plusvariant biedt door de aanleg van eilandjes meer land-waterovergangen en daardoor ook meer groeilocaties voor oeverplanten. Daardoor zal een meer gevarieerde oeverplantengemeenschap ontstaan.

**Macrofauna (hard substraat).** In zowel de basisvariant als de ecologische plusvariant verdwijnt het harde substraat van de IJsselmeerdijk onder een laag zand, maar daar komt het harde substraat van de langsdam voor in de plaats. Omdat de langsdam twee zijden heeft (een golfgeëxposeerde 'hoogdynamische' buiten zijde en een luwe 'laagdynamische' binnenzijde) nemen de potenties voor de aanhechting van hard-substraat-soorten als quaggamosselen toe.

**Macrofauna (bodem).** In zowel de basisvariant als de ecologische plusvariant verdwijnt de bestaande bodem met daarin bodemfauna onder een dikke laag zand. De nieuwe waterbodem zal echter snel worden gerekoloniseerd door diverse bodemfaunasoorten. Vanwege de luwe ligging achter de langsdam

is er een hogere bodemfaunadichtheid en een meer gevarieerde bodemfaunasamenstelling te verwachten dan in de huidige situatie.

**Macrofauna (planten en hout).** Doordat zich in de vooroever meer water- en oeverplanten zullen ontwikkelen dan in de huidige situatie nemen de aanhechtings- en foerageermogelijkheden voor plantenafhankelijke macrofaunasoorten toe. Dat geldt vanwege het groter aantal groeiplaatsen en de hogere diversiteit voor de ecologische plusvariant in nog sterkere mate dan voor de basisvariant. In de ecologische plusvariant wordt bovendien dood hout geplaatst, waardoor nog meer gunstige leefomstandigheden voor ongewervelden aanwezig zijn.

**Vissen.** In de huidige situatie zijn de omstandigheden voor veel vissoorten niet gunstig: veel waterbeweging, geen waterplanten en lage bodemfaunadichtheden. Door de langsdam ontstaat luwte, er ontwikkelen zich water- en oeverplanten en de macrofaunadichtheden nemen toe. Daardoor ontstaan gunstigere schuil-, paai- en foerageermogelijkheden voor vissen als snoek, baars en blankvoorn. Dat geldt vanwege het groter aantal groeiplaatsen voor planten, de hogere dichtheid van macrofauna en de plaatsing van dood hout in nog sterkere mate voor de ecologische plusvariant dan voor de basisvariant.

**Vogels (plantenetend).** Voor plantenetende vogels als kleine zwaan en wilde eend nemen de foerageermogelijkheden toe doordat er meer ondergedoken waterplanten op een beter bereikbare diepte aanwezig zijn. Dat geldt voor de basisvariant, maar (vanwege het grotere voedselaanbod door de meer gevarieerde samenstelling van de plantengemeenschap) in nog sterkere mate voor de ecologische plusvariant.

**Vogels (macrofauna-etend).** Foeragerende bodemfauna-etende vogels als topper, kuifeend en brilduiker vinden gunstige condities in de vooroever: hogere dichtheden aan bodemfauna op makkelijker bereikbare dieptes. Mosseletende vogels kunnen ook profiteren van de quaggamosselen die op het harde substraat aan de binnenzijde van de langsdam groeien. In de ondiepe delen kunnen foeragerende vogels als bergeend, pijlstaart, kluut en wilde eend voedsel vinden. Dit geldt voor de basisvariant, maar (vanwege het groter aandeel aan ondiep water, geschikt voor o.a. bergeend) in nog sterkere mate voor de ecologische plusvariant.

#### **Vogels (visetend)**

Viseters als aalscholver, zwarte stern visdief en fuut, zijn allemaal gebaat bij de hogere visdichtheden achter de langsdam. Ook de lepelaar, die foerageert op kleine vis in de ondiepe delen van het gebied, profiteert. Visetende soorten als grote zaagbek en nonnetje zullen waarschijnlijk het open water blijven prefereren als jachtgebied. De positieve effecten gelden vanwege de hogere visdichtheden voor de ecologische plusvariant in nog sterkere mate dan voor de basisvariant. Voor die variant geldt bovendien dat met schelpen bedekte eilandjes voor extra broedhabitat zorgen voor kale-grondbroeders zoals het visdiefje.

In de onderstaande samenvattende tabel zijn de beoordelingen van de positieve effecten van een vooroever op de diverse plant- en diersoortgroepen samengevat en is de meerwaarde van de ecologische plusvariant ten opzichte van de basisvariant kort samengevat.



Tabel 5-2: Effectbeoordeling van de Basisvariant en de Ecologische plusvariant op diverse soortgroepen (score t.o.v. huidige situatie, in toelichting meerwaarde ecologische plusvariant t.o.v. basisvariant).

	Basisvariant	Ecologisch plusvariant	Meerwaarde ecologische plusvariant t.o.v. basisvariant
Waterplanten	+	++	Meer variatie in groeiplaatsen, hogere biodiversiteit
Oeverplanten	+	++	Meer land-waterovergangen, meer groeiplaatsen, hogere biodiversiteit
Macrofauna hard substraat	+	+	Geen extra meerwaarde
Macrofauna bodem	+	+	Geen extra meerwaarde
Macrofauna planten/hout	+	++	Groter aantal groeiplaatsen voor planten, beschikbaarheid van dood hout, gunstigere omstandigheden
Vissen	+	++	Meer voedsel, meer schuilgelegenheid, meer paaigebied, hogere biodiversiteit en hogere aantallen
Vogels planteneters	+	++	Groter voedselaanbod, meer variatie in waterplanten
Vogels macrofauna-eters	+	++	Groter voedselaanbod, op hard substraat en in ondiep water
Vogels viseters	+	++	Meer prooivissen beschikbaar, hogere aantallen visetende vogels; broedhabitat kale-grondbroeders

In deze paragraaf is de ecologische meerwaarde in beeld gebracht die wordt gegenereerd door de realisatie van een vooroever in de vorm van de basisvariant respectievelijk de ecologische plusvariant. De meerwaarde is daarbij op kwalitatieve en niet op kwantitatieve wijze aangegeven. Wat op dit moment in het ontwerpproces al wel kan worden gekwantificeerd is de oppervlakte van het gebied dat van kwaliteit verandert: van ecologisch weinig waardevol in de huidige situatie tot waardevoller in de situatie na aanleg van een vooroever. Het areaal dat van kwaliteit verbetert is voor beide varianten ongeveer gelijk, circa 60 ha. Het verschil tussen de basisvariant en de ecologische plusvariant zit hem met name in de kwaliteit van de ontwikkelde habitats voor specifieke soort(groep)en. Kwantificering van die kwalitatieve verbetering per individuele Natura 2000-soort is in deze fase van het ontwerpproces niet zinvol. Pas nadat voor specifieke dijktrajectdelen wordt gekozen voor de basisvariant of voor de ecologische plus variant is een nadere beoordeling van de effecten, met name op de Natura 2000-soorten, in de vorm van een Voortoets of Passende Beoordeling relevant. Een dergelijke beoordeling is vereist voor het aanvragen van een vergunning in het kader van de Wet natuurbescherming.

Om toch duidelijker in beeld te krijgen in hoeverre een vooroever kan bijdragen aan het realiseren van Natura 2000-doelen is de mogelijke invloed van de beide varianten hieronder nader beschouwd.

In het Natura 2000-Beheerplan IJsselmeer (RWS, 2017b) zijn ruimtelijke eenheden onderscheiden. Per ruimtelijke eenheid zijn aangewezen soorten benoemd die gebruik maken van die eenheden. Verder is aangegeven voor welke soorten knelpunten bestaan die het halen van de instandhoudingsdoelstellingen belemmeren.

In open water (dieper dan 100 cm) is een tekort aan voedsel een probleem voor dwergmeeuw, fuut en zwarte stern (viseters) en voor kuifeend en topper (bodemfauna-eters). Ook aalscholver, brilduiker, grote zaagbek, meerkoet, nonnetje, reuzenster, slobeend en tafeleend maken gebruik van het open water. In ondiep water (20-100 cm) worden de doelaantallen niet gehaald voor bergeend, smient en wilde eend. Kleine zwaan, kluit, krakeend, lepelaar en pijlstaart houden zich ook graag op in ondiep water. In de oeverzone (0-20 cm) haalt de kleine rietgans de doelaantallen niet. De oeverzone is ook van belang voor grauwe gans, toendrietgans en wintertaling. De broedvogels bontbekplevier en visdief kampen met een afnemende kwaliteit van hun broedhabitat op kale en schaars begroeide gronden als gevolg van

vegetatiesuccessie. Voor bruine kiekendief, porseleinhoen en roerdomp is onvoldoende broed- en leefgebied beschikbaar in de ruimtelijk eenheid moeras. Voor eveneens in moerassen broedende aalscholvers is (toekomstig) gebrek aan voedsel eerder een probleem. Lepelaar, rietzanger en snor broeden ook in moerasgebied.

Realisatie van een vooroever langs de IJsselmeerdijk zorgt voor een toename van de ruimtelijke eenheid ondiep water. Daardoor (ondersteund door de luwte die wordt veroorzaakt door de vooroeverdam) neemt het areaal waterplanten toe, mogelijk ook leidend tot een toename van het habitatype 'meren met krabbenscheer en fonteinkruiden'. Het gevolg is een toename van paaigelegenheid voor vis en een uitbreiding van leefgebied voor macrofauna en jonge vis. Voor de plusvariant geldt dit in hogere mate dan voor de basisvariant, omdat de plusvariant meer ruimte biedt voor een grotere variatie aan habitats met meer ondergedoken waterplanten. Daarvan profiteert het hele ecosysteem, inclusief de in ondiep water rustende en foeragerende vogels kleine zwaan, krakeend, bergeend, wilde eend, pijlstaart, lepelaar en kluut. Ook de fuut, die het in diep open water moeilijk heeft om voldoende vis te vangen, heeft profijt van de verhoogde beschikbaar van vis in het ondiepe water. Door de extra paaigelegenheid neemt de visstand toe, waarvan ook vogels die bij voorkeur in het open water blijven vissen, zoals de grote zaagbek, profiteren.

De stortstenen waarmee de vooroeverdammen worden aangelegd vormen een aanhechtingsplaats voor mosselen. Daarvan profiteren kuifeend en topper.

De zone langs de oever, die begroeid zal raken met riet en andere moerasplanten, zorgt voor een (beperkte) toename van het moerasareaal. Mogelijk zullen broedvogels als lepelaar, rietzanger en snor alsmede (minder waarschijnlijk) bruine kiekendief, porseleinhoen en roerdomp daarvan profiteren.

Tabel 5-3 Effectbeoordeling van de Basisvariant en de Ecologische plusvariant op Natura 2000-soorten die zijn aangewezen voor het IJsselmeer (score t.o.v. huidige situatie, met toelichting)

	Basisvariant	Ecologisch plusvariant	Toelichting
Ondiep water soorten - bergeend - smient - wilde eend - kleine zwaan - kluut - krakeend - lepelaar - pijlstaart	+	++	Beperkte toename van ondiep water in basisvariant door geleidelijk aflopende bodem nabij de oever. Grotere toename van geschikte foerageerplekken voor vogels in de plusvariant doordat de grotere variatie in diepteverdeling op meer plekken leidt tot ondiep water.
Kale grond soorten - visdief - bontbekplevier	o	+	Door de hoogtevariatie zijn er in de plusvariant droge delen van de vooroever die door kale groundbroeders kunnen worden benut.
Diep water soorten (1) - fuut - grote zaagbek	+	++	Fuut en grote zaagbek foerageren in de huidige situatie vooral in diep water. Bij een groter voedselaanbod in het ondiepe water achter de langsdam zullen zij ook hier in het ondiepe water voedsel kunnen vinden. Dit geldt voor de plusvariant in hogere mate dan voor de basisvariant.

Diep water soorten (2) - kuifeend - topper	+	++	De bekleding van de langsdam zorgt voor (extra) hard substraat waarop driehoeksmosselen groeien. Door de geringere diepte is bodemfauna in de zachte bodem beter bereikbaar voor foeragerende vogels. Dit geldt voor de plusvariant in hogere mate dan voor de basisvariant.
Oeverzone/moeras soorten - lepelaar - rietzanger - snor	+	+	Hoewel de strook oever-/moerasplanten (mede door het onnatuurlijke peilbeheer) niet breed zal worden zijn er mogelijk toch vogels die in de vegetatie tot broeden kunnen komen. Dit geldt in gelijke mate voor de basisvariant en de plusvariant.

Aantrekking van (extra) hoefdieren (met name reeën en herten) is ter hoogte van dijkvak 3 niet gewenst i.v.m. de onderzoeksfunctie van het 'Bioveterinary Reserarch' instituut. Door de natte inrichting van de vooroever zal deze echter niet als ecologische verbindingzone voor hoefdieren gaan fungeren en zullen hoefdieren niet (extra) worden aangetrokken. Als blijkt dat er ter hoogte van dijkvak 3 toch hoefdieren worden aangetrokken door de vooroever kan deze alsnog worden afgerasterd.

#### 5.5.4 Bijdrage van vooroever aan PAGW-doelen

In de vorige paragraaf is de ecologische meerwaarde van de plusvariant ten opzichte van de basisvariant beschreven en is op kwalitatieve wijze beoordeeld in hoeverre beide varianten van een vooroever kunnen bijdragen aan de realisering van Natura 2000-doelen. Aanvullend op maatregelen die (zullen) worden uitgevoerd in het kader van de Natura 2000-beheerplannen en de KRW wil de overheid via een 'programmatische aanpak grote wateren' (PAGW) verdergaande maatregelen treffen om een robuust en veerkrachtig ecosysteem te realiseren. Redenen daarvoor zijn de onder druk staande biodiversiteit, mede als gevolg van ruimtelijke ontwikkelingen en de gevolgen van klimaatverandering. Voor het IJsselmeer zijn PAGW-maatregelen gepland voor de Wieringerhoek, Friese Kust, Noordoostpolder, IJssel-Vecht-monding en Houtribdijk. Hoewel de locatie van de IJsselmeerdijk in eerste instantie niet was geselecteerd liggen er goede kansen om de status van PAGW-maatregel toe te kennen aan een vooroever langs de IJsselmeerdijk. De locatie biedt bovendien een unieke kans om de veiligheidsopgave en de natuurontwikkeling hand in hand te laten gaan. In deze paragraaf is de bijdrage van de vooroever aan de PAGW-doelen nader beschreven, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de basisvariant en de plusvariant.

#### Knelpunten (RWS, 2017A)

Een belangrijk knelpunt voor het IJsselmeergebied is dat de oevers op veel plaatsen steil en verhard zijn. Het ontbreekt aan natuurlijke oeverhabitats: ondiep water (0 tot 60 cm diep) dat geleidelijk overgaat in laaggelegen gebieden die regelmatig overstromen. Die gebieden zijn van belang voor voedsel (watervlooiën), paaiplaats voor vis en broedplek voor vogels. Door dammen en dijken ontbreken geleidelijke overgangen tussen land en water.

#### ***Wat betekent dat voor de vooroevervarianten IJsselmeerdijk?***

Met een vooroever langs de IJsselmeerdijk ontstaat er (1) een meer geleidelijke overgang tussen land en water én wordt (2) natuurlijk habitat van ondiep water gecreëerd.

**(1) Geleidelijke land-waterovergang.** Door de aanleg van een zandlichaam met flauw talud wordt een geleidelijke overgang tussen land en water gecreëerd. Hoewel er in het IJsselmeer geen sprake is van een natuurlijk waterpeilregiem zijn er als gevolg van windopzet en afwaaiing wel peilwisselingen die

ertoe leiden dat de landwatergrens niet continu vastligt. Dat gegeven in combinatie met de relatieve luwte die wordt veroorzaakt door de vooroeverdam zorgt in zowel de basisvariant als de plusvariant voor bevordering van de ontwikkeling van oevervegetatie.

- (2) **Ondiep water.** Tussen de langsdam en de dijk met zandlichaam wordt grond aangebracht waardoor het areaal ondiep water aanmerkelijk toeneemt. De gemiddelde diepte van dit gebied is circa 1 meter. Voor de basisvariant is de diepte (afgezien van de geleidelijk aflopende bodem vanaf de dijk) relatief homogeen, maar voor de plusvariant kan de diepte variëren van 2 meter diep tot enkel decimeters boven het gemiddelde waterpeil. De ecologische waarde van het gecreëerde ondiepe water is daarmee voor de plus variant hoger dan voor de basisvariant.

### **Randvoorwaarden (RWS, 2017A)**

PAGW-maatregelen moeten bijdragen aan de realisatie van het ecologisch streefbeeld van het IJsselmeergebied. Kernbegrippen daarbij zijn diversiteit, verbinding, robuustheid en natuurlijke processen. PAGW-maatregelen moeten daarbij voldoen aan de volgende randvoorwaarden:

1. De Afsluitdijk blijft een (grotendeels) gesloten dijk.
2. De dijken in het IJsselmeergebied voldoen aan de veiligheidsnormen.
3. Er komt geen permanent open verbinding door de Houtribdijk.
4. Er komt geen verdere grootschalige compartimentering van de meren. Kleine compartimenten, zoals ondiepe zones achter vooroeverdammen, blijven mogelijk.
5. Er komen geen nieuwe grootschalige inpolderingen.
6. De afvoerverdeling van de rivieren wordt niet ter discussie gesteld.
7. De keuzes voor flexibel peilbeheer, zoals vastgelegd in het Nationaal Waterplan, zijn het uitgangspunt.
8. Er wordt voldaan aan de Europese verplichtingen inzake de Kaderrichtlijn Water, Natura 2000 en de Vogel- en Habitatrichtlijn. De bovengrenzen voor nutriëntengehalten in de meren van het IJsselmeergebied uit de Kaderrichtlijn Water blijven leidend, evenals een gezonde productiviteit van het systeem.
9. De normen voor de waterbodemkwaliteit staan niet ter discussie.

### ***Wat betekent dat voor een Vooroever IJsselmeerdijk?***

Een vooroever langs de IJsselmeerdijk voldoet aan al deze randvoorwaarden. Dat geldt zowel voor de basisvariant als voor de plus variant.

Ad 1. De vooroevers hebben geen invloed op de Afsluitdijk.

Ad 2. Met de vooroevers wordt voldaan aan de veiligheidsnormen; zo levert de vooroever zelfs een zeer grote bijdrage aan de veiligheidsopgave.

Ad 3. De vooroevers hebben geen invloed op de Houtribdijk.

Ad 4. De vooroevers zorgen niet voor grootschalige compartimentering. Achter de vooroevers ontstaan relatief kleine, ondiepe compartimenten.

Ad 5. Er is geen sprake van inpoldering.

Ad 6. De vooroevers hebben geen invloed op de afvoerverdeling van de rivieren.

Ad 7. De gebieden achter de vooroevers krijgen geen eigen peilbeheer; het peilbeheer zoals vastgesteld voor het IJsselmeer geldt dus ook hier.

Ad 8. Door het creëren van een geleidelijke land-waterovergang en ondiepe zones langs de dijk wordt niet alleen voldaan aan deze randvoorwaarde, maar de maatregel draagt ook bij aan realisatie van KRW- en Natura 2000-doelen. Dit geldt voor de plusvariant in sterkere mate dan voor de basisvariant. Dit is hieronder in twee kaders nader uitgewerkt.

Ad 9. Gebruik wordt gemaakt van gebiedseigen materiaal. Voor de vooroeverdam wordt stortsteen dat vrijkomt bij de versterking van de IJsselmeerdijk zoveel mogelijk hergebruikt. Verder worden de mogelijkheden voor het toepassen van lokaal vrijkomend zand/klei/slib uit bij het graven van het cunet en bij andere projecten onderzocht.

### **Oplossingsrichtingen (RWS, 2017A)**

Voor het IJsselmeergebied staan drie oplossingsrichtingen centraal om de natuur robuuster te maken:

1. Kwaliteit van leefgebieden verbeteren en ontbrekende leefgebieden toevoegen.
2. Diversiteit vergroten (bijvoorbeeld met gradiënten zoet-zout en land-water).
3. Ontsnippen.

### ***Wat betekent dat voor een Vooroever IJsselmeerdijk?***

Ad 1. In de huidige situatie vormt de zone langs de dijk een leefgebied met geringe waarde voor vissen, bodemfauna en watervogels. Door de vooroever wordt leefgebied ontwikkeld waaraan het in het IJsselmeer ontbreekt: een geleidelijke overgang van land naar water met ondiep water en waterplanten. Dit geldt voor de plusvariant vanwege de hogere diversiteit aan habitats in sterkere mate dan voor de basisvariant.

Ad 2. In de huidige situatie is het water langs de dijk diep, er is geen luwte, er staan dus geen waterplanten en er is sprake van een arm ecosysteem. Na aanleg van de vooroever is er meer ondiep water met voldoende luwte voor de ontwikkeling van waterplanten. Door de hogere diversiteit aan habitats geldt dit voor de plusvariant in sterkere mate dan voor de basisvariant. Van de ondiepten met waterplanten profiteren diverse macrofaunasoorten en vissoorten, die de waterplanten gebruiken om te paaien in te schuilen en vanuit te kunnen jagen. Meer vis betekent ook meer voedselbeschikbaarheid voor visetende vogels. Toepassing van stortsteen van de dijk voor (onderwater)dammen en randen van de vooroever zorgt voor meer habitat voor mosselen, waarvan mosseletende vogels profiteren. Dit alles leidt tot een hogere diversiteit van het ecosysteem en een hogere biodiversiteit, waarbij de plusvariant beter scoort dan de basisvariant.

Ad 3. De vooroever zorgt in beide varianten niet voor verbindingen tussen meren in de vorm van vispassages of aanverwante constructies. De vooroever zorgt door de geografische positie wél voor extra vestigings- en migratiemogelijkheden tussen het Ketelmeer en de oeverzone van de Noordoostpolder enerzijds en de oeverzone langs de Houtribdijk en het Markermeer anderzijds. De vooroever kan worden beschouwd als stepping stone tussen deze gebieden. Op deze wijze draagt het project bij aan ontsnippering. De relatie met de op die locaties uit te voeren PAGW-projecten is hieronder toegelicht.

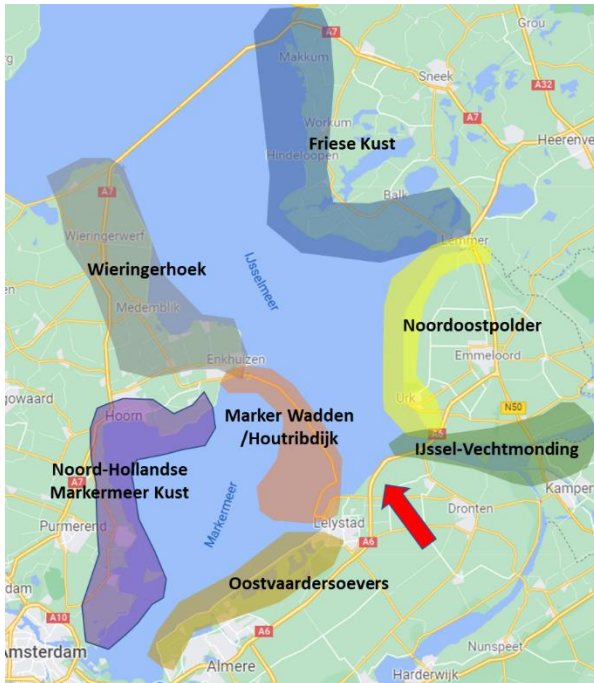
### **Relatie met voorgenomen maatregelen tot 2050 (RWS, 2017A)**

Er is een aantal PAGW-maatregelen waarmee een vooroever langs de IJsselmeerdijk een fysieke verbinding kan leggen. Genoemd worden (zie ook onderstaande figuur):

- Nieuw onderwaterland: Oevers Noordoostpolder. Het verzachten van de harde overgang van cultuurland naar diep water in een gebied met weinig bestaande natuurwaarden. Maatregelen bestaan uit de aanleg van onderwaterstructuren, achteroevers, vooroevers en een luwtedam. Hierdoor ontstaat geschikt gebied voor zoetwatervissen en andere onderwaterorganismen. De ontbrekende schakel in de noord-zuidverbinding van oevergebonden planten en dieren wordt opgeheven.
- Poort naar de Rivier: IJssel-Vechtmonding. Versterking van de relatie tussen IJsselmeer en IJssel-Vechtmonding door de aanleg van moerasland, vooroevers en luwtedammen in het westelijk deel van het Ketelmeer. De maatregelen leiden tot een zachtere grens tussen water en achterland in de polders en versterken het effect van al uitgevoerde en gestarte maatregelen in het stroomopwaarts gelegen mondingsgebied.
- Markerwadden 2050: Houtribdijk. Uitbreiding van de eilandjes in het Markermeer (opschaling Markerwadden) en het aangrenzende IJsselmeer met een bijbehorende verbinding door de Houtribdijk. Op deze manier ontstaat een gebied dat door schaal en diversiteit een unieke bijdrage levert aan de robuustheid van het ecosysteem. De uitwisseling van water en nutriënten tussen IJsselmeer en Markermeer verbetert. De Houtribdijk wordt een minder harde barrière voor vis en ook de aanzienlijke toename van ondiepten leidt tot gunstige omstandigheden voor een



gezonde vispopulatie. Met eilanden aan weerszijden van de dijk hebben vogels bij verschillende windrichtingen een beschut foerageergebied.



Figuur 5-15 PAGW-projecten in IJsselmeer-Markermeer.

### ***Wat betekent dat voor een vooroever IJsselmeerdijk?***

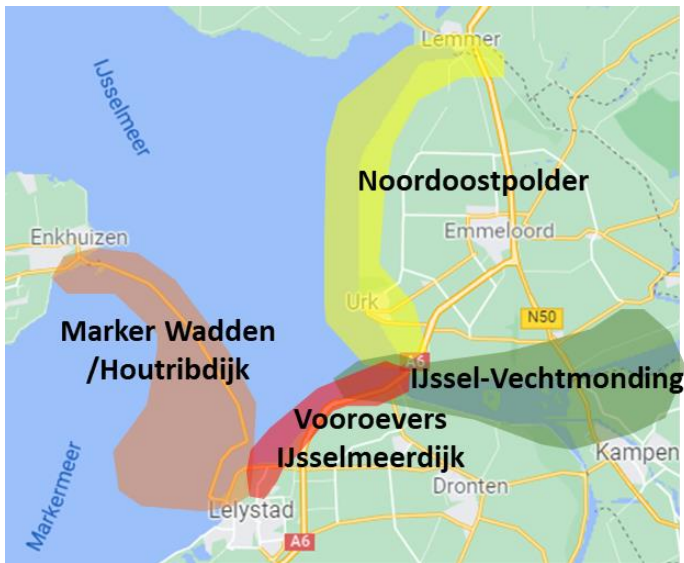
Een vooroever langs de IJsselmeerdijk betekent een uitbreiding van het areaal dat langs de oevers van de Noordoostpolder wordt gecreëerd en daarmee een verbetering van de noord-zuidverbinding van oevergebonden planten en dieren. Net als voor de dijk om de Noordoostpolder wordt met een vooroeverdam luwte gecreëerd en ontstaan geschikte habitats voor waterplanten, bodemfauna en vissen. De plusvariant scoort daarbij hoger dan de basisvariant.

Een vooroever langs de IJsselmeerdijk sluit ook direct aan bij het moerasland, de vooroevers en de luwtedammen in het westelijk deel van het Ketelmeer (Poort naar de Rivier: IJssel-Vechtmonding). Daarmee zorgen de Vooroevers voor extra verbinding tussen de ecosystemen van IJssel-Vecht en IJsselmeer. Ook hier geldt dat de plusvariant met meer variatie in habitats beter aansluit op de verbinding naar de IJssel-Vechtmonding dan de basisvariant.

Ten slotte leidt ook een aansluiting bij de eilanden aan de IJsselmeerzijde van de Houtribdijk (Markerwadden 2050: Houtribdijk) tot een verbetering van het ecologische netwerk in het IJsselmeergebied. Daarmee vergroot het leefgebied voor soorten die baat hebben bij ondiepten en luwte. De plusvariant scoort vanwege een grotere habitatvariatie en de daarbij verwachte hogere biodiversiteit beter dan de basisvariant.

Op de kaart valt het PAGW-project Vooroevers IJsselmeerdijk als een verbindend puzzelstuk tussen de andere PAGW-projecten in de omgeving (zie Figuur 5-16).





Figuur 5-16 Plek van vooroever IJsselmeerdijk tussen de andere PAGW-projecten in IJsselmeer-Markermeer.

### Criteria voor PAGW-maatregelen (RWS, 2017A)

Van de voorgenomen maatregelen is getoetst in hoeverre deze voldoen aan één of meerdere van de volgende criteria:

1. Bestrijdt achteruitgang ecologische kwaliteit;
2. Draagt bij aan de behoudsopgave N2000;
3. Draagt bij aan de verbeteropgave N2000;
4. Vergroot klimaatrobustheid;
5. Vergroot waterveiligheid;
6. Schept kansen voor economische ontwikkeling;
7. Opgenomen in formele besluiten van het Rijk.

### Wat betekent dat voor een vooroever IJsselmeerdijk?

Een vooroever langs de IJsselmeerdijk is goed voor de ecologische kwaliteit. Ook zorgt een vooroever voor een verbetering van het leefgebied en de foerageermogelijkheden voor diverse Natura 2000 soorten, met name vogels. Door de vooroevers nemen de klimaatrobustheid en de waterveiligheid toe. Dat betekent dat het project Vooroevers IJsselmeerdijk voldoet aan de eerste vijf criteria en daarmee zeer goed scoort, ook in vergelijking met de meeste andere voorgenomen maatregelen.

In de onderstaande tabel zijn de varianten van de vooroevers IJsselmeerdijk getoetst en is per criterium een korte toelichting gegeven.

Criteria	basis	plus	Toelichting
1. Bestrijdt achteruitgang ecologische kwaliteit	+	++	Door toevoeging essentiële elementen aan ecosysteem
2. Draagt bij aan de behoudsopgave N2000	+	++	Ondersteunt voedselbeschikbaarheid voor diverse vogels
3. Draagt bij aan de verbeteropgave N2000	+	++	Verbeterd voedselbeschikbaarheid voor diverse vogels

4. Vergroot klimaatrobustheid	+	++	Variatie in leefgebieden draagt bij aan robuuste natuur
5. Vergroot waterveiligheid	++	++	Geeft oplossing van de veiligheidsopgave
6. Schept kansen voor economische ontwikkeling	o	o	Maatregel met name gericht op waterveiligheid en natuur
7. Opgenomen in formele besluiten van het Rijk	o	o	Tot dusverre buiten beeld gebleven als optie omdat de golfaanvallen en de waterdiepte nabij de dijk te groot werden geacht voor vooroeveroplossing

### Conclusies

Het project Vooroever IJsselmeerdijk draagt bij aan robuuste natuur en een veerkrachtig ecosysteem. Daarbij scoort de plusvariant beter dan de basisvariant.

Geen van de randvoorwaarden/uitgangspunten voor PAGW-maatregelen vormt een bezwaar voor realisatie van de vooroevers. Dat geldt zowel voor de basisvariant als voor de plusvariant.

Het project vooroever IJsselmeerdijk scoort als PAGW-maatregel goed (de basisvariant) tot zeer goed (de plusvariant) op de voor PAGW-projecten geformuleerde criteria.

## 6 Mogelijkheden zandwinning

Om een voorland te kunnen aanleggen is het belangrijk dat er voldoende geschikt sediment beschikbaar is en waarvan gebruik vergunbaar en betaalbaar is. Voor het voorland gaan we op dit moment uit van aanleg met zand. Daarom is een inventarisatie gemaakt van mogelijkheden voor zandwinning uit bestaande winputten of een eigen zandwinput met aandacht voor het type materiaal wat vrijkomt, vergunbaarheid en kosten.

### 6.1 Benodigd volume sediment

Het volume sediment dat nodig is voor het voorland bestaat uit het materiaal voor het plateau (de vooroever zelf), de (erosie)buffer en het zandcunet onder de dam. Het totale volume grond wat nodig is voor het ontwerp is ca.  $0,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  voor het cunet en ca.  $1,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  voor het plateau en de buffer. Hierbij is voor het plateau en de buffer rekening gehouden dat er 25% extra volume nodig is door zetting.

De totaal benodigde hoeveelheid sediment wat gewonnen moet worden is lager dan het totaal benodigde volume sediment, namelijk  $1,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Dit komt doordat we het materiaal wat vrijkomt bij het graven van het cunet gebruiken in het plateau.

Buiten het materiaal voor de aanleg is er ook materiaal voor het onderhoud nodig. De verwachting is dat de buffer iedere 5 tot 10 jaar opnieuw moet worden aangebracht (zie H7). Deze hoeveelheid sediment is niet meegenomen in de analyse over de haalbaarheid van de zandwinning.

### 6.2 Beschikbaarheid materiaal

Er zijn verschillende mogelijkheden om aan materiaal te komen: gebruik van een bestaande winput, aanleg van een eigen zandwinput en het gebruik direct uit andere projecten. Omdat het gebruik direct uit andere projecten gepaard gaat met meer onzekerheid ligt de focus hier op het gebruik van een bestaande zandwinput of eigen zandwinput. Aangezien de dijkversterking op z'n vroegst begint in 2024 kijken we bij de beschikbaarheid van materiaal ook naar beschikbaarheid vanaf 2024 en verder.

#### 6.2.1 Bestaande zandwinput

In het IJsselmeer en Markermeer zijn verschillende concessies/vergunningen voor zandwinning verleend aan grondstoffenhandelaren en aannemers. Deze vergunningen worden door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat verstrekt.

Aan de hand van de Staatscourant is een tabel samengesteld met alle huidige aannemers die zand winnen of gewonnen hebben in het Marker- en/of IJsselmeer (Tabel 6-1). De locaties van de zandwingebieden zijn te zien in Figuur 6-1 (recente concessies ontbreken op deze kaart uit 2011).

Bij normale concessies moet eerst een deklaag van holoceen materiaal omgeput worden voordat de zandlaag beschikbaar komt. De deklaag in het IJsselmeer varieert van circa 4 tot 7 m. Het holoceen materiaal kan toegepast worden in natuurontwikkelingsprojecten zoals Markerwadden/ Trintelzand en is mogelijk ook geschikt als toplaag voor de vooroever voor het stimuleren van ecologie en het tegengaan van erosie.

In het gebied IJsselmeer en Markermeer zijn diverse aannemers/grondstoffen handelaren actief. De verkregen partijen die vergunningen hebben voor zandwinning in de omgeving van de projectlocatie zijn:

- De Vries en Van de Wiel (VAL 6)
- Mineralis (VAL 2-3)
- Boskalis (VAL 1)

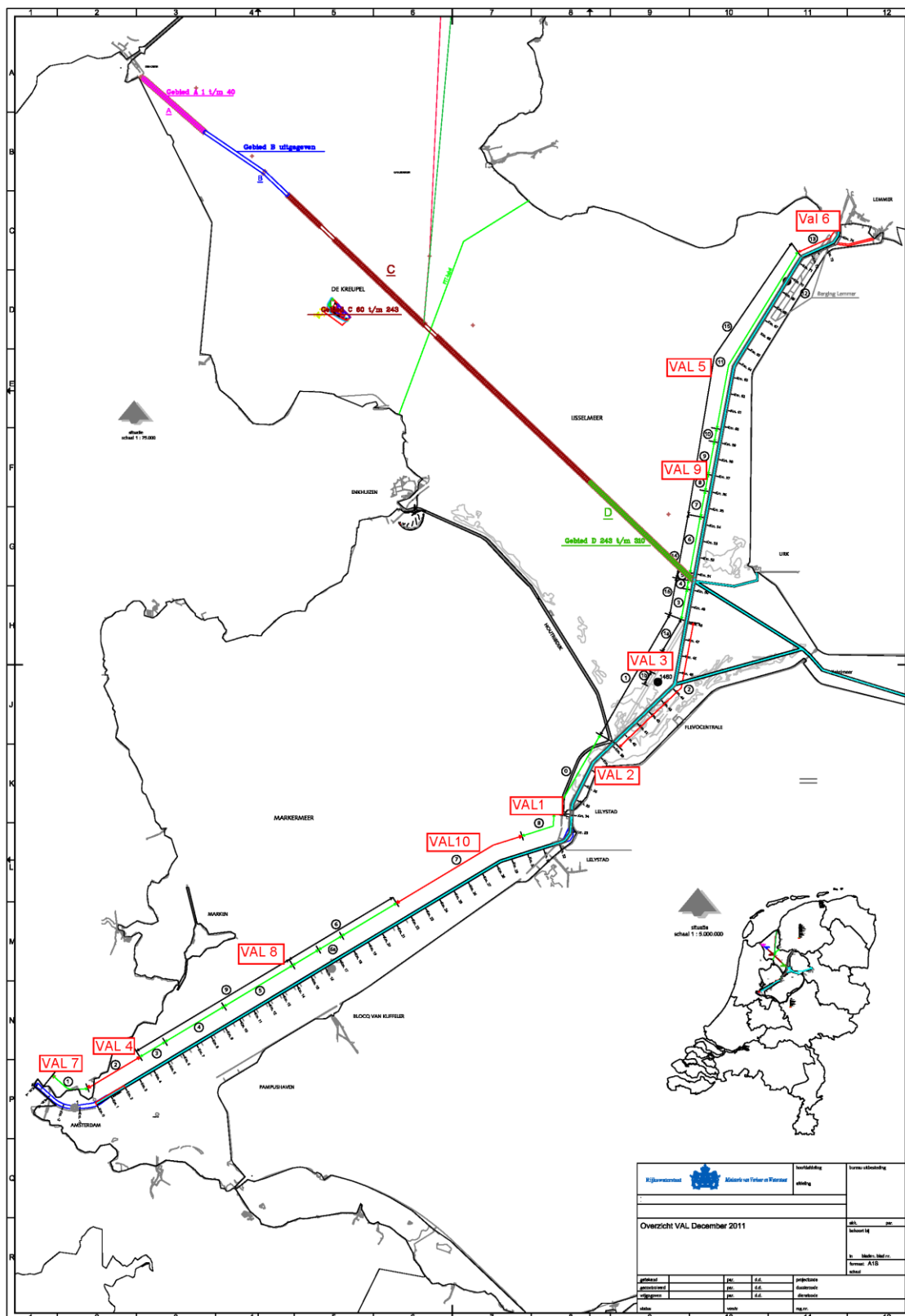
- Eeltink (Molenrak (Vaargeul voor dijkvak 1 en 2 naar ketelbrug))

Naast deze zandwinningslocaties is er nog een grote zandwinlocatie genaamd Markerzand, gelegen in het Markermeer. Het plan is om over een periode van 30 jaar 65 miljoen m<sup>3</sup> zand te gaan winnen. Markerzand is een samenwerkingsverband tussen Mineralis, Van Oord, De Vries en van de Wiel en Boskalis. In 2018 zijn de vergunningen afgerond.

Al met al blijkt dat veel aannemers zand winnen in de omgeving en dat er jaarlijks zandwinlocaties bijkomen. De beschikbaarheid van zand in de nabije omgeving van het project lijkt daarom geen probleem.

Tabel 6-1: Overzicht van aannemers die zand winnen en het Marker- en IJsselmeer vanaf 2017 (Bron: Staatscourant)

Jaar	Aanvrager	Locatie	Deelgebied	Aanvraag	Periode	Volume Zand	Volume Holocene
2017	Zandhandel, Overslagbedrijf Feenstra BV	Vaargeul Urk-Den Oever	C	Besluit	niet bekend	niet bekend	niet bekend
2017	Provincie Flevoland	Vaargeul Amsterdam-Lemmer	Lelystad	Besluit	niet bekend	2.000.000	niet bekend
2017	Eeltink Nijkerk BV	Diepe Ontgroning / Vaargeul	Dronten	Besluit	niet bekend	niet bekend	niet bekend
2017	Boskalis BV	Vaargeul Amsterdam-Lemmer	VAL 10	Besluit	2025	niet bekend	niet bekend
2018	Markerzand BV	Markermeer		Besluit	2050	65.000.000	niet bekend
2018	J. van Vliet BV	Vaargeul Urk-Den Oever	C	Besluit	niet bekend	niet bekend	niet bekend
2018	Boskalis BV	Vaargeul Amsterdam-Lemmer	VAL 1	Besluit	niet bekend	4.000.000	2.200.000
2019	Boskalis BV	Vaargeul Amsterdam-Lemmer	VAL 4 en 8	Besluit	niet bekend	6.000.000	7.500.000
2019	Ooms Producten BV	Vaargeul Urk-Den Oever	C Vak 205-208	Besluit	niet bekend	niet bekend	niet bekend
2020	De Vries & van der Wiel	Vossemeer	B	Besluit	niet bekend	niet bekend	niet bekend
2020	Boskalis BV	Vaargeul Urk-Den Oever	niet bekend	Ontwerpbesluit	niet bekend	6.000.000	niet bekend
2020	RWS	Vaargeul Urk-Den Oever	niet bekend	Intrekking	2010-2020	niet bekend	niet bekend
2021	Mineralis BV	Vaargeul Amsterdam-Lemmer	km 37,5 - 43	Besluit	niet bekend	niet bekend	niet bekend



Figuur 6-1: Zandwinlocaties Marker- en IJsselmeer (2011) (N.B. nieuwe locaties niet toegevoegd).

## 6.2.2 Eigen zandwinput

Een zandige of zachte versterking van enige omvang kan vaak alleen concurreren met een conventionele oplossing als het hiervoor benodigde zand relatief goedkoop beschikbaar is. Gebruik van een eigen zandwinput kan daaraan bijdragen. Bij eerdere projecten (Marker Wadden, Pilot Houtribdijk, zandige versterking Houtribdijk) is ervaring opgedaan met het vergunningenproces bij zandige versterkingen in het Markermeer-/IJsselmeergebied. Hieruit blijkt dat er bij gebruik van een eigen zandwinput enkele beleidsmatige uitgangspunten gelden die van grote invloed zijn op de vergunningsvoorwaarden die bij de zandwinning gelden<sup>5</sup>:

- Het multifunctionaliteitsbeginsel;
- Beperkingen winningsgebied;
- Ontgrondingsvergunning.

### Het multifunctionaliteitsbeginsel

Winnings in het IJsselmeer en Markermeer worden alleen toelaatbaar geacht als uit het grondstromenplan blijkt dat ook andere functies naast de directe winning hierbij gebaat zijn (het multifunctionaliteitsbeginsel). Voor het Markermeer zijn dat o.a. vaargeulverdieping en het realiseren van Toekomst Bestendig Ecologisch Systeem (TBES)- doelstellingen, zoals de aanleg van land-water overgangen. Voor het IJsselmeer ontbreekt een TBES-kader.

Bij de zandige versterking Houtribdijk bleek dat in het IJsselmeer buiten de vaargeulen geen winning mogelijk is die voldoet aan het principe van multifunctionaliteit, ondanks dat ook in KRW en Natura 2000 verband gewezen is op de ambitie om meer land-water overgangen te realiseren. Er is in het kader van de versterking van de Houtribdijk daarom geen zand gewonnen aan de IJsselmeerszijde.

Bij gebruik van een eigen zandwinput moet dus gekeken worden of deze kan worden ingezet voor meerdere projecten (bijvoorbeeld dijkversterking in combinatie met onderhoud Houtribdijk of het verdiepen van de bestaande vaargeul).

### Beperkingen winningsgebied

De winning van zand is gebonden aan die delen van het IJsselmeer/Markermeer die maar beperkte betekenis hebben als foerageergebied van vogels. Zo kan aan de zandwinning ten behoeve van een versterkingswerk als aanvullende eis gesteld worden dat de aannemer vooraf aan de winning (gelijk met bijvoorbeeld het overige onderzoek dat hij moet uitvoeren) aantoont dat er maar beperkt benthos in het wingebed aanwezig is.

### Aanvraag ontgrondingsvergunning

Bij de aanvraag voor een ontgrondingsvergunning voor een eigen zandwinput is vaak een passende beoordeling, bodemonderzoek ecologisch onderzoek nodig. Als de winplaats een oppervlakte heeft van 500 ha of meer, of als de zandwinning groter is dan 10 miljoen m<sup>3</sup>, dan is een MER-zandwinning nodig ter onderbouwing van de vergunningaanvraag. Op een ontgrondingsvergunning is altijd de uitgebreide procedure (maximaal 26 weken) van toepassing. Aangezien voor het voorland het benodigde volume circa 2 miljoen m<sup>3</sup> is (zie H6.1), is de verwachting dat dit voor de IJsselmeerdijk niet van toepassing is.

Over het algemeen is er in het IJsselmeer veel weerstand tegen de aanleg van een eigen put, maar het komt wel voor.

---

<sup>5</sup> De hieronder genoemde aandachtspunten zijn overgenomen uit RWS/EcoShape Pilot Voorlandoplossing Houtribdijk Guideline vergunningen (2016). 078680109:A – Definitief C03041.003128.0100.



### 6.2.3 Eigenschappen materiaal

De eigenschappen van het materiaal verschillen per winlocatie. Aan de hand van boringen in Dinoloket is gekeken naar de opbouw van de ondergrond in het IJsselmeer. In de natuurlijke situatie ligt er een holocene afdeklaag op het zand. Voor gestart kan worden met het winnen van het zand zal de afdeklaag dus verwijderd moeten worden.

Bij aanleg van een voorland kan gewerkt worden met een mix aan verschillende korrelgroottes materiaal. Het heeft de voorkeur om aannemers hierin zoveel mogelijk vrijheid te geven. Op basis van de inventarisatie vormen de eigenschappen van het te winnen materiaal in het IJsselmeer geen beperking voor de haalbaarheid van de aanleg van een voorland.

### 6.2.4 Mogelijke stop zandwinning i.v.m. toenemende verzilting

RWS acht het mogelijk dat zandwinning op het IJsselmeer invloed heeft op de toenemende verzilting. Er wordt daarom gekeken of zandwinning in het IJsselmeer stopgezet kan worden om verdere verzilting te voorkomen. Het lijkt onrealistisch dat een eventuele stopzetting van zandwinning voor het gehele IJsselmeer gaat gelden. Gezien de grote afstand van het projectgebied tot de zee lijkt stopzetting in de nabijheid van de IJsselmeerdijk onrealistisch. Indien zandwinning deels wordt stopgezet kan dit wel effect hebben op de schaarsheid van zand wat kan leiden tot hogere prijzen.

## 6.3 Wining & transport van sediment

Het winnen van zand vindt plaats met winzuigers of sleephoppers, die het gewonnen materiaal met een sproei-installatie overladen in beunschepen. Afhankelijk van de logistieke keten (eigen beheer of niet) kan bij een eigen winput naar verwachting een productie van 9000-10.000 m<sup>3</sup> per dag worden behaald. Bij het winnen van zand uit een bestaande vaargeul kan een productie van 5000-6000 m<sup>3</sup> per dag behaald worden. Deze lagere productie wordt veroorzaakt door de geringe laagdikte en het profiel van de vaargeul.

Transport van het gewonnen materiaal kan worden gedaan met beunschepen. Beunschepen zijn binnenvaartschepen die het gewonnen materiaal kunnen vervoeren naar de plek van bestemming. Het lossen van beunschepen kan op verschillende manieren plaats vinden. Bij grootschalige toepassing zal een bakkenzuiger met leidingwerk en sproeiponton een voor de hand liggende optie zijn.

Een andere optie is het vervoeren van het gewonnen materiaal via een hydraulische pijpleiding. Bij een hydraulische werkafstand van 3 km kan ca. 5 km van de IJsselmeerdijk worden bediend vanuit een enkele put. Het is ook mogelijk om ook over een grotere afstand hydraulisch te werken. In de praktijk komen ook afstanden tot 25 km voor, maar dit is vooral bij transport over land, omdat dit aantrekkelijker is dan per as. Een hydraulische werkafstand van 6 km is nog goed te doen met een extra tussengelegen boosterstation. Dit leidt wel tot extra kosten, vanwege de grotere leidinglengte en het boosterstation.

## 6.4 Kosten zandwinning

Met de SSK-methode is een inschatting gemaakt van de kosten van zandwinning. Eerst beschrijven we de uitgangspunten die zijn gebruikt voor het bepalen van de kosten. Daarna volgen verschillende scenario's voor zandwinning en ten slotte de inschattingen van de kosten.

### 6.4.1 Uitgangspunten voor het inschatten van zandwinkosten

Om een inschatting te kunnen maken van de kosten van zandwinning zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

1. Bij het winnen van zand is een afdracht van domeinvergoeding aan de Staat van toepassing, tenzij de Staat opdrachtgever is van het project;
2. De vaarafstanden zijn in een zo direct mogelijke lijn opgenomen;
3. Er is geen marktwerking meegenomen.
4. In de prijsonderbouwing is onderscheid gemaakt in het aanleggen van het onderwaterprofiel, met vooral drijvende leidingen en sproeiponton, en het bovenwaterprofiel met vooral landleidingen en een walploeg;
5. Aangenomen is dat zand op de winlocatie direct beschikbaar is en er geen verplaatsing van deklagen meer nodig is met het oog op verlies van tijd in de cyclus, maar de kosten voor omputten is wel verdisconteerd in de prijs per m<sup>3</sup> (schatting);
6. In de zandprijs is geen peilboot en zijn geen peilingen opgenomen (voor monitoring aanlegpeil);
7. Er zijn geen kosten opgenomen voor schaftvoorzieningen, gasolietank, verlichting en hotelkosten;
8. De prijs is gebaseerd op directe kosten, zonder aannemersopslagen;
9. Het toepassen van een booster is niet nodig vanwege relatief korte persafstanden;
10. Mobilisatie en demobilisatie materieel en leidingwerk zijn gerekend onder Eenmalige Kosten in RAW-systematiek, dus niet in directe kosten zandprijs;
11. Ligging van bakkenzuiger op ca. 300 m van aan te leggen vooroever;
12. Sproeien op bestaande bodem, zonder aanvullende voorzieningen/maatregelen;
13. Voor divers varend materieel CIRIA als basis/bron gebruikt in combinatie met interne kennis RHDHV;
14. Verliezen zijn niet meegerekend: zand blijft binnen profiel, er wordt een vooroeverdam aangelegd;
15. In de hele berekeningen zijn veel variabelen opgenomen: het is een benadering van de kosten met de nodige bandbreedtes aan onzekerheid.

### 6.4.2 Zandwinscenarios

Voor het berekenen van de kosten van zandwinning worden 5 verschillende scenario's doorgerekend. Hieronder is in Tabel 6-2 de eigenschappen van de verschillende scenario's beschreven. Er zijn 5 verschillende scenario's doorgerekend omdat op dit moment in het project nog niet duidelijk is bij welke locatie het zand gewonnen kan gaan worden. De scenario's bevatten een mix van winning uit Markermeer en IJsselmeer, verschillende vaarafstanden, verschillende verwerking en een optie zonder domeinvergoeding om zo een bandbreedte te kunnen bepalen voor de kosten.

Tabel 6-2: Eigenschappen scenario 1

Scenario 1	
Locatie	Markermeer - VAL 8
Afstand	33 km inclusief 1 sluispassage
Via	Consessie/vergunninghouder Boskalis
Transport	Beunschepen
Verwerking	Bakkenzuiger met leidingwerk naar oever: sproeiponton/walploeg
Domeinheffing	Ja

Tabel 6-3: Eigenschappen scenario 2

<b>Scenario 2</b>	
Locatie	Markermeer - VAL 1
Afstand	12 km inclusief 1 sluispassage
Via	Consessie/vergunninghouder Boskalis
Transport	Beunschepen
Verwerking	Bakkenzuiger met leidingwerk naar oever: sproeiponton/walploeg
Domeinheffing	Ja

Tabel 6-4: Eigenschappen scenario 3

<b>Scenario 3</b>	
Locatie	IJsselmeer - VAL 2 en 3
Afstand	4km
Via	Consessie/vergunninghouder Mineralis
Transport	Beunschepen
Verwerking	Bakkenzuiger met leidingwerk naar oever: sproeiponton/walploeg
Domeinheffing	Ja

Tabel 6-5: Eigenschappen scenario 4

<b>Scenario 4</b>	
Locatie	IJsselmeer – Molenrak (Vaargeul naar Ketelbrug)
Afstand	1 km
Via	Consessie/vergunninghouder Eeltink
Transport	Leiding direct vanaf vaargeul
Verwerking	Sproeiponton/Walploeg
Domeinheffing	Ja

Tabel 6-6: Eigenschappen scenario 5

<b>Scenario 5</b>	
Locatie	IJsselmeer – Verlengde UDO
Afstand	5 km
Via	Eigen put
Transport	Beunschepen
Verwerking	Bakkenzuiger met leidingwerk naar oever: sproeiponton/walploeg
Domeinheffing	Nee, aanname RWS OG voor vooroever

### 6.4.3 Berekende kosten

In Tabel 6-7 zijn de kosten voor zandwinning per scenario weergegeven. Er is onderscheid gemaakt in onder water lossen, onder water sproeien en boven water walploeg omdat in dit stadium van het project nog niet bekend is voor welke methode gekozen gaat worden.

Tabel 6-7: Kosten per m<sup>3</sup> zand voor verschillende scenario's

Scenario	Locatie	Locatie	Afstand (km)	Kosten per vaste m <sup>3</sup>			
				Onder water lossen	Onder water sproeien	Boven water walploeg	Gemiddeld
1	Markermeer	Val 8	33	€7,62	€8,17	€8,27	€8,02
2	Markermeer	Val 1	12	€6,38	€7,80	€7,91	€7,36
3	IJsselmeer	Val 2/3	4	€5,33	€7,77	€7,88	€6,99
4	IJsselmeer	Val 3	1	n.v.t.	€5,74	€5,85	€5,80
5	IJsselmeer	UDO	5	€2,51	€4,54	€4,64	€3,90

In Tabel 6-8 is een inschatting gemaakt per scenario wat de kosten voor het zand zouden zijn als de gehele vooroever aangelegd zou worden (let op: dit is een inschatting). In Tabel 6-8 is uitgegaan van de gemiddelde kosten per m<sup>3</sup> en nog niet van een specifieke afzetmethode.

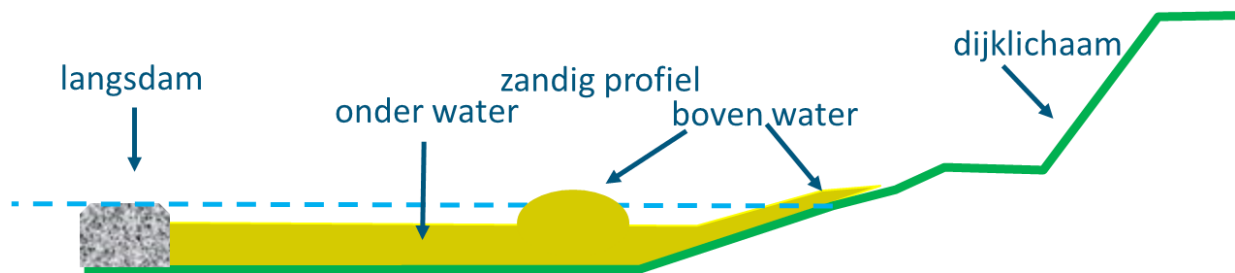
Tabel 6-8: Totale kosten voor zand per scenario bij aanleg van de totale vooroever (1,9\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) gebruik makend van de gemiddelde kosten per m<sup>3</sup>

Scenario	Gemiddelde kosten per vaste m <sup>3</sup>	Totale kosten zand *10 <sup>6</sup>
1	€8,02	15
2	€7,36	14
3	€6,99	13
4	€5,80	11
5	€3,90	7

## 7 Monitoring, beheer en onderhoud

Beheer en onderhoud moeten zorgen dat het voorland functioneert als onderdeel van een (primaire) kering, wat vooral vereist dat voldoende zand aanwezig is om de vereiste golfreductie te leveren. Daarnaast is natuur ook een belangrijk doel van het beheer en onderhoud.

Het beheer en onderhoud dat nodig is voor het voorland wijkt af van het regulier beheer en onderhoud van de huidige, traditionele, dijk. Hieronder volgt een overzicht van benodigd beheer, onderhoud en inspectie, aandachtspunten en een kosteninschatting. Onderscheid is gemaakt in de verschillende onderdelen: langsdam, zandig lichaam (onder en boven water) en dijklichaam (zie onderstaande figuur).



### 7.1 Monitoring, beheer en onderhoud basisvariant

#### 7.1.1 Zandig profiel – waterveiligheid

Om de waterveiligheid te garanderen dient het zandvolume voldoende te zijn om eventuele erosie tijdens een maatgevende storm te kunnen bufferen. Het sediment in het zandige profiel mag zich verplaatsen mits de dynamiek dusdanig beperkt is dat het waterveiligheidsprofiel ten alle tijden gehandhaafd blijft.

##### Monitoring

De ontwikkeling van het zandig profiel moet gemonitord worden. Onder water kan dit met lodingen en boven water met GPS en een loopwagen en door visuele inspectie.

Het uitvoeren van lodingen met een jetski kan tussen 0,5 meter diepte en dieper gelegen water. Het is naar verwachting mogelijk om in een enkele dag de dijk in kaart te brengen.

Het profiel boven de waterlijn verandert naar verwachting maar weinig. De eerste jaren kan zetting nog een rol spelen. Dit kan gemonitord worden met GPS en een loopwagen met representatieve raaien, bijvoorbeeld om de 100m. Bij een tempo van 2 km per uur, kan 1 km traject per dag worden gedaan. Na enige jaren zal blijken dat men met minder raaien toe kan omdat er geen zetting of klink meer optreedt.

De meetgegevens dienen verwerkt te worden om te zien of nog voldoende kuubs zand aanwezig zijn in het profiel. Dit kan met een eenvoudige gestandaardiseerde spreadsheet en kost hooguit enkele dagen. Bij afwijkende profielen kan ervoor worden gekozen om aanvullend een berekening te doen.

## **Beheer en onderhoud**

Het inschatten van sedimenttransport is erg lastig. De morfologische veranderingen van de vooroever zullen daarom goed gemonitord moeten worden. Op basis van de morfologische modelstudie is de basisvariant naar verwachting redelijk stabiel onder dagelijkse omstandigheden. Bij een 1/10 jaar storm erodeert de buffer deels. Naar verwachting moet de buffer na 5 tot 10 jaar worden aangevuld. Na een extreme storm kan mogelijk een extra beheersinspanning nodig zijn.

De palenrijen moeten onderhouden worden. Het gaat daarbij om het herstellen van scheve palen en vervanging van de palen na ca. 20-30 jaar.

In het ontwerp gaan we ervanuit dat de huidige teenconstructie wordt begraven zodat daar geen onderhoud meer aan gepleegd hoeft te worden.

Indien na aanleg de hoeveelheid erosie groter blijkt dan gewenst zijn er verschillende maatregelen waarmee dit kan worden bijgestuurd. Bij een grote hoeveelheid langtransport kunnen buffers geplaatst worden aan beide zijden van het voorland. Om de hoeveelheid erosie van zand onder water te beperken kan bij een volgende suppletie groffer materiaal (zand met grotere korrelgrootte zand of schelpenlaag) worden aangebracht op het voorland. Verstuiving van zand wordt in het ontwerp al tegengegaan door het aanbrengen van teelaarde. Maaibeheer is nodig om dit in stand te houden. In geval van nood kan vegetatie worden ingezaaid, kunnen windschermen worden geplaatst of kan zand afgedekt worden met papierpulp.

## **7.1.2 Zandig profiel – ecologie**

### **7.1.2.1 Onder water**

In het luwe verondiepte water achter de langsdam zijn onder water goede omstandigheden voor ondergedoken waterplanten aanwezig. Deze zullen zich na verloop van tijd vanzelf vestigen. In het ondiepste deel nabij het zandig profiel tegen de dijk kunnen oeverplanten zoals riet, lisdodde en biezen tot ontwikkeling komen. Als deze zich kunnen uitbreiden ontstaat er een (smalle) moeraszone.

### **Monitoring**

Monitoring van de vegetatie (soortensamenstelling en bedekkingsgraad) is gewenst.

Door vegetatieve verspreiding vanuit bestaande waterplantenvelden of door transplantatie van specifieke waterplanten kan met voldoende zekerheid worden gesteld dat groei van waterplanten zal plaatsvinden. De snelheid waarmee het nieuw gecreëerde luwe gebied wordt gekoloniseerd is echter niet exact te voorspellen. De mate waarin de waterplanten 'aanslaan' in het nieuw gecreëerde luwe gebied moet daarom worden gevolgd. Vanuit het voorzorgbeginsel en om te volgen of de voorspelde ontwikkelingen daadwerkelijk plaatsvinden en – wanneer dat niet het geval is – bij te kunnen sturen dient door of in opdracht van de initiatiefnemer een aantal ontwikkelingen goed te worden gemonitord:

- De ontwikkeling van de helderheid van het water achter de vooroeverdammen na uitvoering van de mitigerende maatregelen;
- De ontwikkeling van de nieuwe én de te behouden waterplantenvegetatie achter de vooroeverdammen/ riffen (dichtheid, soortensamenstelling).

De uitkomsten van de monitoring kunnen te zijner tijd aanleiding geven tot bijsturing, bijvoorbeeld in het geval dat de ontwikkeling van waterplanten in ruimte en/of tijd achterblijft bij de verwachtingen. In dat geval zal moeten worden bijgestuurd, bijvoorbeeld in de vorm van het aanbrengen van extra ondieptes met voor waterplanten geschikte uitgangskondities.



### **Beheer en onderhoud**

Als de ondergedoken vegetatie zich heeft gevestigd is geen onderhoud nodig.

Ook in de moeraszone is in beginsel geen onderhoud nodig. Desgewenst kan het riet periodiek worden gemaaid en afgevoerd. Monitoring van de vegetatie zal input geven voor eventueel extra benodigd beheer. Als er sprake is van (ongewenste) wilgenopslag moet deze actief worden tegengegaan.

#### **7.1.2.2 Boven water**

De ontwikkelingsmogelijkheden voor vegetatie op de hogere delen, die bij een gemiddeld waterpeil boven water liggen, zijn afhankelijk van de afwerking. Om te voorkomen dat het zand op deze delen bij een hogere waterstand wegspoelt (én het zand bij harde wind wegwaait) is een min of meer gesloten vegetatiedek gewenst. Daarvoor moet een laag aarde op het zand worden aangebracht en worden ingezaaid met zaden van planten die periodieke inundatie kunnen weerstaan

### **Monitoring**

Monitoring van de vegetatie (soortensamenstelling en bedekkingsgraad) is gewenst.

Jaarlijks moet worden vastgesteld of er sprake is van een goede bedekking met vegetatie en of er opgaande begroeiing aanwezig is. In het broedseizoen moet worden gemonitord of er gebruik wordt gemaakt van de gecreëerde broedgelegenheid. Voor het broedseizoen moet worden gecontroleerd of er nog een schelpendek ligt. Monitoring zal noodzakelijk zijn om de groei van ongewenste begroeiing op het rif in kaart te brengen.

### **Beheer en onderhoud**

Op het hoger gelegen deel bestaat het beheer en onderhoud uit zo nodig jaarlijks bijhouden van de vegetatie: kale plekken moeten worden ingezaaid en te hoog opschietende vegetatie (struiken, bosschages en wilgen) moeten desgewenst worden verwijderd. Om natuurontwikkeling te faciliteren moet de ingezaaide vegetatie middels een natuurlijk maaibeheer worden bijgehouden. Dat betekent extensief beheer. Als wordt gekozen voor extensief begrazen (niet aan te bevelen in verband met bemesting en beperkte stuurbaarheid in tijd), dan moet een afrastering worden geplaatst.

#### **7.1.3 Langsdam**

Doordat de dam boven het waterniveau uitkomt is er kans dat er vegetatie gaat groeien op de kruin. De breedte van de langsdam en hoogte van de langsdam zal invloed hebben op de soorten vegetatie die zich kunnen vestigen.

### **Monitoring**

De langsdam dient geïnspecteerd te worden. Hierbij moet gelet worden op wegslaan van stenen en evt. verzakking van de dam (met name in het begin).

### **Beheer en onderhoud**

De langsdam dient onderhouden te worden. We gaan ervanuit dat elke vijf jaar tien procent van het volume stortsteen moet worden aangevuld (dit is een conservatieve aanname). Ongewenste begroeiing moet worden verwijderd.

## **7.2 Monitoring, beheer en onderhoud plusvariant**

Als ervoor wordt gekozen om zoveel zand in het voorland te brengen dat delen het grootste deel van de tijd boven water komen te liggen ontstaan 'eilandjes'. Voor deze eilandjes kan worden gekozen voor

afwerking met schelpen. Als deze blijven liggen zal er geen vegetatie op de eilandjes tot ontwikkeling komen. Vogels als visdief en bontbekplevier kunnen op dergelijke schelpeneilandjes tot broeden komen. Desgewenst kunnen bepaalde soorten actief worden getransplanteerd, zodat er een snellere ontwikkeling van gewenste soorten plaatsvindt en de kans op dominantie van ongewenste soorten verminderd.

## **7.2.1 Zandig profiel – waterveiligheid**

### **Monitoring**

De monitoringswerkzaamheden aan het zandig profiel voor de waterveiligheid zijn vergelijkbaar met die van de basisvariant (zie Paragraaf 7.1.1).

### **Beheer en onderhoud**

Beheer en onderhoudsactiviteiten zijn vergelijkbaar met de basisvariant (zie Paragraaf 7.1.1), maar de beheerinspanning zal naar verwachting groter zijn. Er zullen grotere zandverliezen optreden door de grotere openingen in de vooroeverdam. Daarnaast zal er meer morfodynamiek zijn doordat aangebrachte hoogteverschillen zich gaan uiteffenen. Naar verwachting zal vaker lokaal bij de openingen de buffer moeten worden aangevuld.

Het inschatten van het daadwerkelijke sedimenttransport is erg lastig. De morfologische veranderingen van de vooroever zullen daarom goed gemonitord moeten worden.

## **7.2.2 Zandig profiel – ecologie**

### **7.2.2.1 Onder water**

Net als bij de basisvariant zijn er in het luwe, ondiepe water achter de langsdam goede omstandigheden voor ondergedoken waterplanten aanwezig. Deze zullen zich na verloop van tijd vanzelf vestigen. In het ondiepste deel nabij het zandig profiel tegen de dijk kunnen oeverplanten zoals riet, lisdodde en biezen tot ontwikkeling komen. Als deze zich kunnen uitbreiden ontstaat er een (smalle) moeraszone.

### **Monitoring**

De monitoringswerkzaamheden zijn vergelijkbaar met die van de basisvariant (zie Paragraaf 7.1.2).

### **Beheer en onderhoud**

De beheer en onderhoudsinspanning is voor de plusvariant naar verwachting groter dan voor de basisvariant.

Als de ondergedoken vegetatie zich heeft gevestigd is geen onderhoud nodig. Om de biodiversiteit verder te stimuleren kunnen bepaalde soorten, zoals kranswiersoorten, actief worden 'getransplanteerd', zodat er een snellere ontwikkeling van gewenste soorten plaatsvindt en de kans op dominantie van bijvoorbeeld fonteinkruid wordt verminderd.

Ook in de moeraszone is in beginsel geen onderhoud nodig. Desgewenst kan het riet periodiek worden gemaaid en afgevoerd. Monitoring van de vegetatie zal input geven voor eventueel extra benodigd beheer. Als er sprake is van (ongewenste) wilgenopslag moet deze actief worden tegengegaan. Als uit monitoring blijkt dat de ontwikkeling van oevervegetatie achterblijft door ganzenvraat moet de jonge vegetatie daartegen worden beschermd om de biodiversiteit verder te stimuleren. Dit kan met behulp van afrastering van delen van de opkomende vegetatie.

### **7.2.2.2 Boven water**

De ontwikkelingsmogelijkheden voor vegetatie op bij gemiddeld waterpeil boven water gelegen delen van het zandig profiel zijn afhankelijk van de afwerking. Om te voorkomen dat het zand op deze delen bij een

hogere waterstand wegspoelt (én het zand bij harde wind wegwaait) is een min of meer gesloten vegetatiedek gewenst. Daarvoor moet een laag aarde op het zand worden aangebracht en worden ingezaaid met zaden van planten die periodieke inundatie kunnen weerstaan.

### **Monitoring**

De monitoringswerkzaamheden zijn vergelijkbaar met die van de basisvariant (zie Paragraaf 7.1.2).

### **Beheer en onderhoud**

De beheer en onderhoudsinspanning is voor de plusvariant naar verwachting groter dan voor de basisvariant.

Als beheerscenario boven de waterlijn gaan we uit van natuurontwikkeling: inzaaien in gras maar vervolgens beheer als natuur. Het beheer is extensief en zal kunnen bestaan uit extensief begrazen, in welk geval ook een afrastering moet worden geplaatst, of incidenteel kappen van opgaande begroeiing.

Wanneer in het voorland zelf hoger gelegen gedeeltes worden gecreëerd dienen schelpenranden zo nodig periodiek te worden aangevuld en moet vegetatie zo nodig (buiten het broedseizoen) verwijderd worden.

## **7.2.3 Langsdam**

Doordat de dam boven het waterniveau uitkomt is er kans dat er vegetatie gaat groeien op het rif. De breedte van het rif en hoogte van het rif zal invloed hebben op de soorten vegetatie die zich kunnen vestigen.

### **Monitoring**

De langsdam dient geïnspecteerd te worden.

### **Beheer en onderhoud**

De langsdam dient onderhouden te worden. We gaan ervanuit dat elke tien jaar tien procent van het volume stortsteen moet worden aangevuld. Ongewenste begroeiing kan worden verwijderd.

## **7.3 Monitoringsverplichtingen vanuit natuurwetgeving**

Als er geen bewezen effectieve maatregelen voorhanden zijn, bijvoorbeeld bij maatwerk of kritische soorten waar nog onvoldoende bewijs is dat zij voorzieningen accepteren, blijkt uit diverse ontheffingen dat bevoegde gezagen ervoor kiezen om in ontheffingen een monitoringsverplichting op te leggen. Deze monitoringsverplichting strekt zich vaak uit over meerdere jaren en heeft als doel om een antwoord te krijgen op twee vragen: (1) worden de gerealiseerde voorzieningen geaccepteerd? En (2) kan hiermee de gunstige staat van instandhouding van de betreffende beschermde soorten worden gewaarborgd? In een enkel geval heeft het bevoegd gezag in de voorschriften opgenomen dat, afhankelijk van de monitoringsresultaten, nadere eisen kunnen worden gesteld. Voor dit laatste is het voor het bevoegd gezag een aandachtspunt dat deze nadere eisen dienen te worden geformuleerd binnen de looptijd van de ontheffing<sup>6</sup>.

Daarnaast zijn monitoringsgegevens nodig om te beoordelen of de effecten van voorgenomen nieuwe activiteiten of uitbreiding van bestaande activiteiten gevolgen kunnen hebben voor de

---

<sup>6</sup> Worden mitigatie en compensatie voldoende juridisch gewaarborgd in Wnb-ontheffingen? Sander Hunink (Ecologica) en Dimphina Riemer (ECOquickscan). Gepubliceerd in september 2019 in Tijdschrift Natuurbeschermingsrecht.

instandhoudingsdoelstellingen van natuurgebieden. Dit biedt ook de mogelijkheid om tussentijds bij te sturen door de mate of wijze van beheer en onderhoud aan te passen aan de situatie.

Over de verantwoordelijkheid voor de monitoring zijn de volgende afspraken te maken:

- Elke partij is verantwoordelijk voor de monitoring in het eigen beheergebied passend bij de eigen beleidstaak, tenzij hier andere afspraken over zijn gemaakt.
- Voor de monitoring van maatregelen geldt dat de partij die maatregelen neemt, ook verantwoordelijk is voor de monitoring hiervan.
- Elke beheerder is verantwoordelijk voor de monitoring van de eigen activiteiten en de daarbij behorende mitigerende maatregelen.
- Voor monitoring van gebruik door derden niet zijnde beheerders (onder meer recreatie) is het bevoegd gezag voor vergunningverlening verantwoordelijk, ook indien de betreffende activiteit van vergunningplicht is vrijgesteld in het beheerplan, tenzij hier andere afspraken over zijn gemaakt.

### Futenrustgebied

Om verstoring door de bouw en het gebruik van een nieuw windmolenpark in het IJsselmeer van Windplan Blauw te mitigeren is een futenrustgebied aangewezen dat parallel loopt aan het dijklichaam. Door middel van monitoring wordt nagegaan of de afspraken die zijn gemaakt in het kader van de Rust- en recreatiebenadering worden nagekomen, of de rust daarmee voldoende geborgd is en of de aantallen vogels op niveau blijven. De recreatie- en natuursector worden door de voortouwnemer betrokken bij de monitoring. Deze organisaties hebben ook handhavers. De tussentijdse uitkomsten worden regelmatig besproken met de recreatie- en natuursector.

Na aanleg van de langsoever met voorland verandert het karakter van het leefgebied van de fuut. De aanwezigheid van futen zal aan weerszijden van de langsdam moten worden gemonitord.

## 7.4 Voorkomen van verstoring

Recreatieactiviteiten kunnen de rust verstoren in het nieuwe aangelegde natuurgebied. Daardoor zou de ecologische meerwaarde van een vooroever verminderen en zou er minder sprake zijn van een verbetering van de biodiversiteit. Het voorland is bereikbaar vanaf de dijk. Door een gedeelte van het ontwerp specifiek in te richten voor recreatie, verbodsborden te plaatsen en af te stemmen over handhaving kan verstoring van de rust worden beperkt.

## 7.5 Samenvatting activiteiten monitoring en beheer

Tabel 7-1 vat de activiteiten voor monitoring en beheer van de basisvariant en ecologische variant van het voorland samen. Voor de globale kosten van beheer- en onderhoud zie de rapportage kostenraming kansrijke alternatieven OL2 (met kenmerk BH5290-ZZ-XX-NT-Z-0041).

Tabel 7-1: Overzicht van activiteiten voor monitoring en beheer van het voorland

Activiteiten	Frequentie
<u>Monitoring - Basisvariant</u>	
Lodgingen jetski (metingen + personele uren)	1d/j
Raaien GPS + loopwagen	2d/j
Verwerken monitoringsgegevens morfologie	5d/j
Monitoring helderheid water achter de langsdam	6d/j

Monitoring algensamenstelling achter de langsdam	6d/j
Monitoring vegetatiebedekking onder water (dichtheid, soortensamenstelling)	2x 2d/j
Monitoring vissamenstelling	1d/j
Monitoring vegetatiebedekking boven water (dichtheid, soortensamenstelling)	2x 2d/j
Monitoring broedgebied vóór broedseizoen (aanwezig, voldoende hoog, voldoende beschutting)	1d/j
Monitoring broedvogels in broedseizoen	10d/j
Verwerken monitoringsgegevens ecologie	5d/j
Inspectie langsdam (waterveiligheid)	
<b>Beheer en onderhoud - Basisvariant</b>	
Suppletie buffer (ca. 30m <sup>3</sup> /m)	1x per 5-10 jaar
Onderhoud langsdam (10% stortsteen aanvullen)	1x per 5 jaar
Onderhoud + vervangen palenrijen	1x per 25 jaar (vervangings)
Extensief, natuurlijk, maaibeheer	2x per jaar
Onderhoud rietkraag	1x per 2 jaar
Inzaaien waar nodig	1x
Optie: tegengaan (ongewenste) wilgenopslag	1x per jaar
<b>Monitoring – Ecologische plus variant (extra t.o.v. basisvariant)</b>	
Monitoring macrofauna dood hout	1x per jaar
<b>Beheer en onderhoud – Ecologische plus variant (extra t.o.v. basisvariant)</b>	
Extra suppletie buffer (ca. 30m <sup>3</sup> /m)**	1x per 5-10 jaar
Optioneel: transplantatie van waterplanten	1x bij aanleg
Optioneel: plaatsen gaas over het riet om overbegrazing door ganzen tegen te gaan	1x bij aanleg en 1x bij verplaatsen/weghalen
Optioneel: onderhoud schelpenranden	1x per jaar
<b>Mogelijk aanvullende beheer- en onderhoudsactiviteiten (risico)</b>	
Extra suppletie	-
Aanbrengen (extra) schelpenlaag of groffer zand	-
Plaatsen en onderhouden van windschermen	1x bij aanleg
Extra vegetatiebeheer afhankelijk van resultaten monitoring	-
Graven van geulen om plasvorming tegen te gaan	-
Plaatsen gaas langs het voorland om te voorkomen dat dieren de weg op gaan*	1x bij aanleg

\* Op dit moment gaan we gezien de ligging en de omgeving ervan uit dat het aantal dieren dat vanaf het voorland de weg op gaat beperkt is. Indien uit nader onderzoek of monitoring blijkt dat dit wel het geval is dienen rasters langs het voorland geplaatst te worden om dit tegen te gaan.

\*\* Extra suppleties nodig vanwege openingen in langsdammen. Exact transport bij de openingen op dit moment niet te bepalen. Huidige inschatting is waarschijnlijk een ruime overschatting van benodigd sediment voor de suppleties.

## 8 Groeivariant

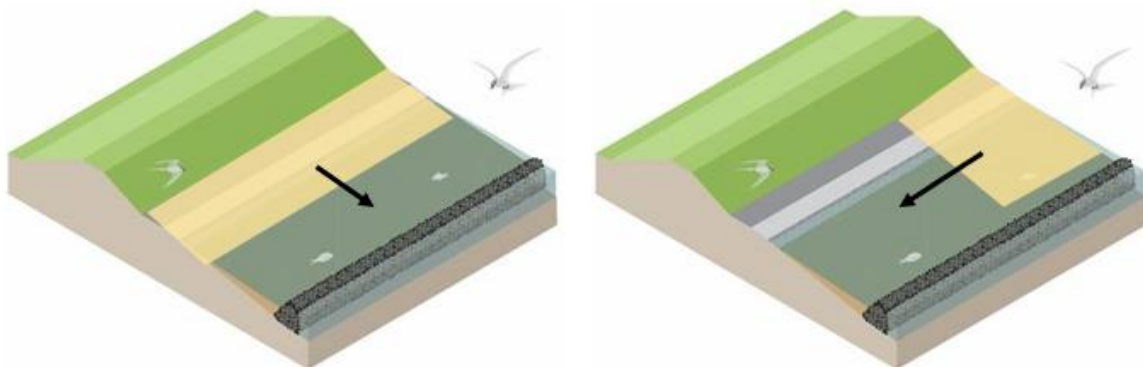
Het voorland zou ook in meerdere fases worden aangelegd in de vorm van een groeivariant. Er zijn verschillende redenen waardoor een gefaseerde aanleg de voorkeur kan hebben. Zo kan dit beter passen bij de beschikbaarheid van zand, kan geleerd worden van aanleg in eerdere fases en kan dit ook leiden tot een kostenbesparing.

Het doel van het HWBP is dat in 2050 alle primaire keringen op een slimme en doelmatige manier zijn versterkt, zodat ze voldoen aan de wettelijke normen zoals die zijn vastgelegd in de Waterwet. De dijkversterking moet dus uiterlijk in 2050 gereed zijn wat ruimte geeft om voor een gefaseerde aanleg te kiezen.

Hieronder zijn verschillende aspecten uitgewerkt in een quickscan om te bepalen of een groeivariant voor de IJsselmeerdijk de voorkeur zou hebben boven aanleg in één keer. Daarna volgt nog een korte beschouwing of de groei van een basisvariant naar een plusvariant van de vooroever mogelijk is.

### 8.1 Faseringsscenario's

De aanleg van een voorland in verschillende fases kan op verschillende manieren. Hier zijn twee voorbeeldscenario's uitgewerkt. Bij beide scenario's wordt eerst een langsdam aangelegd. Vervolgens wordt bij scenario 1 het voorland in fases richting het IJsselmeer uitgebreid (dwars op de dijk), terwijl bij scenario 2 het voorland in fases in langsrichting wordt uitgebreid (Figuur 8-1).



Figuur 8-1: Schematische weergave scenario's voor groeivariant. Links: scenario 1, uitbouw van het voorland in fases in dwarsrichting- Rechts: scenario 2, uitbouw van het voorland in fases in langsrichting

#### 8.1.1 Voorbeeldscenario 1 – gefaseerde aanleg in dwarsrichting

##### Fase 1

- **Aanleg dam.** De dam, die ook aangelegd wordt bij een voorland wat in één keer wordt aangelegd, moet direct aangelegd worden. De dam zorgt voor het breken van de golven (minder golfaanval op de dijk) en het vasthouden van het zand.
- **Aanleg eerste deel voorland.** Aanleg van circa 60 tot 80% van het totale volume van het voorland tegen de dijk aan. Hierdoor draagt het voorland al snel bij aan de waterveiligheid. Daarnaast heeft flora en fauna de ruimte om zich te vestigen en ontwikkelen. Het precieze volume kun je onder andere laten afhangen van het beschikbare volume zand.
- **Aanleg buffer.** Een buffer is nodig om zand wat erodeert van het voorland aan te vullen. Het zand uit de buffer zal zich verspreiden uit de buffer om op een natuurlijke wijze (deels) te kunnen compenseren voor het verlies door erosie.



## Fase 2

- Aanleg tweede deel vooroever. Hierbij wordt er afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar zand het tweede deel van het voorland aangelegd (10-20%).
- Bijvullen buffer. Om het voorland weer toekomstbestendig te maken moet de buffer bijgevuld worden.

## Fase 3 (uiterlijk in 2050)

- Aanleg derde deel voorland. Hierbij wordt er afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar zand het derde deel van het voorland aangelegd (10-20%).
- Bijvullen buffer. Om het voorland weer toekomstbestendig te maken moet de buffer bijgevuld worden.

### 8.1.2 Voorbeeldscenario 2 – gefaseerde aanleg in lengterichting

#### Fase 1

- Aanleg dam. De langsdam wordt direct over de gehele lengte aangelegd. De dam zorgt voor het breken van de golven en het vasthouden van het zand.
- Aanleg eerste deel voorland. Het eerste deel van het voorland wordt aangelegd van de dijk tot aan de dam. De breedte die aangelegd wordt is afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar zand. Het ligt voor de hand om te starten bij dijkvak 1 of dijkvak 2 noord, waar de veiligheidsopgave groter is dan bij dijkvak 2 zuid en dijkvak 3.

#### Fase 2(+)

- Aanleg volgend deel voorland. Hierbij wordt er afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar zand het volgende deel van het voorland aangelegd. Deze fase kan worden herhaald tot het volledige voorland is aangelegd.

## 8.2 Waterveiligheid

De waterveiligheidsnorm voor de IJsselmeerdijk hoeft pas in 2050 gehaald zijn. Dit geeft voldoende tijd voor een gefaseerde aanleg van het voorland. Het nadeel van een gefaseerde aanleg is wel dat de dijk dus minder snel aan de veiligheidsnormen voldoet. Daarnaast blijft ook onderhoudsopgave groter doordat golven minder geremd worden. Dit laatste effect is echter beperkt doordat in beide scenario's de langsdam meteen in zijn geheel wordt aangelegd.

## 8.3 Ecologie

Voor een goed ontwikkelde ecologie in het systeem moet het gebied zo min mogelijk verstoord worden en moeten er geleidelijke gradiënten gecreëerd worden. Bij een gefaseerde aanleg zal op meerdere momenten in de tijd verstoring plaatsvinden van het reeds ontwikkelde ecosysteem. Ophoging door zand over een gebied te gooien kan leiden tot een grote afname van de biodiversiteit in het gebied. Ook kan dit vertroebeling van het water veroorzaken. vertroebeling heeft een minder negatieve invloed dan bedekking met zand.

De mate van verstoring hangt sterk samen met het gekozen scenario voor gefaseerde aanleg. Het heeft de voorkeur om niet op verschillende momenten in de tijd in dezelfde gebieden werkzaamheden te verrichten (voorkeur voor fasering in lengterichting boven dwarsrichting dus scenario 2 boven scenario 1). Daarnaast kan kennis die wordt ontwikkeld gedurende een gefaseerde aanleg worden ingezet om latere delen zo efficiënt mogelijk aan te leggen en op die manier de mate van verstoring te beperken en

ontwikkeling van natuur beter te stimuleren. Een gefaseerde aanleg hoeft op die manier niet slechter te zijn voor ecologie dan aanleg in één keer: regulier onderhoud zou ook leiden tot verstoring.

Zowel voor regulier onderhoud als voor een gefaseerde aanleg dien je op voorhand met Bevoegd Gezag afspraken te maken zodat niet telkens opnieuw een ontheffing hoeft te worden aangevraagd bij verstoring.

## **8.4 Vergunbaarheid**

De vergunbaarheid van de groeivariant is complexer dan de vergunbaarheid bij aanleg in één keer. Normaal gesproken moet je negatieve effecten op Natura 2000 soorten op voorhand compenseren. Bij een groeivariant duurt het langer voordat je het benodigde positieve effect bereikt. Concreet zul je dus moeten onderbouwen dat in de tijdelijke situatie er geen significant negatieve effecten zijn. Met name voor rustgebied futen is dat heel lastig aan te tonen. Daarnaast dienen er, zoals eerder beschreven, op voorhand met het Bevoegd Gezag afspraken gemaakt te worden zodat bij herhaaldelijke verstoring niet opnieuw ontheffingen hoeven te worden aangevraagd.

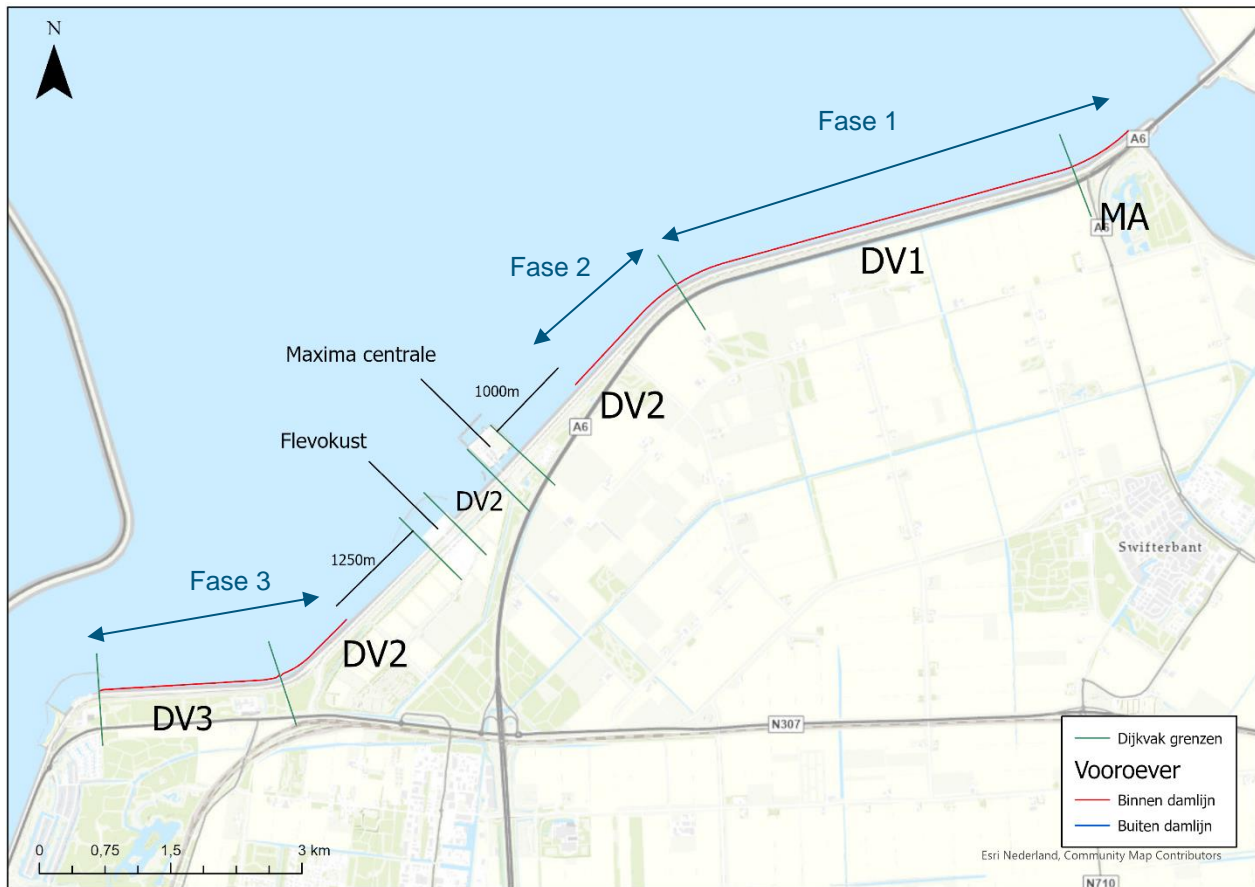
## **8.5 Kosten**

Indien het voorland in fases wordt aangelegd heeft scenario 2 de voorkeur boven scenario 1. Hierbij kan het aangelegde voorland optimaal dienen voor kennisontwikkeling en is er naar verwachting minder verstoring van ontwikkelde natuur. Bij het berekenen van kosten is er daarom voor gekozen om alleen scenario 2 uit te werken.

Voor de kostenraming is aangenomen dat de aanleg gebeurt in 3 fases (gerelateerd aan de grootte van de versterkingsopgave) (zie ook Figuur 8-2):

- Fase 1: aanleg van langsdam langs gehele voorland + aanleg zandig profiel, deel 1 (~5,5 km);
- Fase 2: aanleg zandig profiel, deel 2 (~1,6 km);
- Fase 3: aanleg zandig profiel, deel 3 (~3,15 km).

Om voldoende tijd te hebben om de ontwikkeling van het voorland te monitoren en in latere fases bij te kunnen sturen én om de dijk in 2050 aan de waterveiligheidsopgave te laten voldoen is voor de planning aangenomen dat fase 1 start vanaf 2024, de aanleg van fase 2 vanaf 2034 en de aanleg van fase 3 vanaf 2044.



Figuur 8-2: Scenario aanlegfases voorland voor kostenraming. In fase 1 wordt langs de gehele lengte van het voorland een langsdam aangelegd, maar alleen bij het blauwe deel wordt ook het zandig profiel aangelegd. In fase 2 en 3 volgt aanleg van het zandig profiel op het rode en groene deel. NB de lijnen geven een globale indicatie van de ligging van de verschillende fases, niet de precieze locaties voor start en eind van het voorland.

Het berekende kostenverschil tussen een gefaseerde aanleg en aanleg in één keer is beperkt. De investeringskosten van een gefaseerde aanleg zijn circa 6% lager ten opzichte van aanleg in één keer. De instandhoudingskosten zijn juist hoger. Uiteindelijk zijn de LCC kosten (contante waarde) 2% lager.

Een voordeel van gefaseerd aanleggen is dat het geld voor de aanleg niet in één keer hoeft te worden uitgegeven. De rente die dit oplevert zorgt voor een kostenbesparing. Daarentegen zijn er extra kosten als een aannemer moet terugkeren in een volgende fase. De meerkosten daarvan zijn echter beperkt als de faseringscyclus vergelijkbaar is met de onderhoudscyclus van het in één keer aanleggen.

Er zijn voldoende mogelijkheden voor zandwinning, waardoor dit geen reden is om een groeivariant toe te moeten passen. Het gebruik van Holoceen materiaal zou wel een kostenbesparing kunnen opleveren. Dan kunnen partijen die van hun Holoceen materiaal af willen dit storten tussen de dijk en de langsdam.

## 8.6 Conclusie groeivariant

Hiervoor zijn verschillende aspecten uitgewerkt in een quickscan om te bepalen of een groeivariant voor de IJsselmeerdijk de voorkeur zou hebben boven aanleg in één keer. Fasering in lengterichting heeft de voorkeur boven fasering in dwarsrichting. Op deze manier kan het aangelegde voorland optimaal dienen voor kennisontwikkeling en is er naar verwachting minder verstoring van natuur. Tabel 8-1 geeft een

samenvatting van de uitkomsten van de quickscan. Al met al heeft aanleg in één keer een lichte voorkeur boven gefaseerde uitleg op de aspecten waterveiligheid, ecologie en met name vergunbaarheid. De levensduurkosten zijn bij aanleg in één keer naar verwachting wel iets hoger dan bij een gefaseerde aanleg.

Tabel 8-1 Samenvatting uitkomsten quickscan groeivariant basisvariant.

Aspect	Uitkomsten quickscan
Waterveiligheid	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voldoende tijd voor gefaseerde aanleg.</li> <li>- Bij fasering duurt het langer voordat de waterveiligheidsopgave volledig is opgelost.</li> </ul>
Ecologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bij fasering (met name bij scenario 1, fasering in dwarsrichting) vaker verstoring ecologie.</li> <li>- Bij fasering kans op kennisontwikkeling om natuurontwikkeling te stimuleren.</li> </ul>
Vergunbaarheid	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vergunbaarheid bij gefaseerde aanleg complex. Lastig om aan te tonen dat er in de tijdelijke situatie geen significant negatieve effecten zijn.</li> </ul>
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investeringskosten lager bij gefaseerde aanleg in lengterichting.</li> <li>- Instandhoudingskosten hoger bij gefaseerde aanleg in lengterichting.</li> <li>- Levensduurkosten (over 100 jaar) ca. 2 procent lager bij gefaseerde aanleg in lengterichting.</li> </ul>

## 8.7 Groeien van basisvariant naar plusvariant

Naast dat de basisvariant van het voorland in fases kan worden aangelegd zou er ook voor kunnen worden gekozen om eerst de basisvariant aan te leggen en in een latere fase de inrichting aan te passen zoals bij de ecologische plusvariant.

De meeste inrichtingsonderdelen van het ontwerp van de ecologische plusvariant kunnen na aanleg van de basisvariant relatief makkelijk worden aangepast. Het gaat dan bijvoorbeeld om het aanbrengen van afwisselingen in hoogte van het voorland zelf, toevoegen dood hout en de aanleg van een vlonder, uitkijktoren of onderwaterzichtpunt. Fasering op deze manier is wel minder efficiënt dan aanleg in één keer. Bovendien vindt vaker verstoring van natuur plaats.

Een aanpassing die niet makkelijk achteraf gedaan kan worden is het aanbrengen van grote openingen tussen de langsdammen. Deze openingen naderhand aanbrengen leidt tot extra en hoge kosten en brengt grote uitvoeringsrisico's met zich mee. Zo moet bijvoorbeeld een nieuw cunet gegraven worden vlak voor een reeds aangelegde langsdam, dat zal gepaard gaan met een groot risico op schade aan de bestaande langsdammen (o.a. risico op afschuiving). Dit maakt het groeien van de basisvariant naar de plusvariant qua uitvoering complex en duur.

Het later aanbrengen van verlagingen in een reeds aangelegde langsdam in plaats van het aanbrengen van grote openingen tussen de langsdam t.b.v. wateruitwisseling en ecologische variatie is vooralsnog niet opgenomen in het ontwerp. Een lagere langsdam leidt tot substantieel minder golfremming en voldoet -zonder aanpassing aan het dijkprofiel- niet aan de waterveiligheidseisen voor zichtjaar 2080 (vastgesteld uitgangspunt). Bovendien zal er naar verwachting veel extra zandverlies optreden, omdat de langsdam dan veel minder effectief functioneert als opsluitdam. Deze optie kan in de planuitwerkingsfase nog wel nader worden onderzocht.

## 9 Samenvatting ontwerpen en aandachtspunten voor het vervolg

In 2019 is Waterschap Zuiderzeeland gestart met de versterking van de IJsselmeerdijk vanaf de Ketelbrug tot aan de Houtribdijk bij Lelystad. De planning is dat de verkenning halverwege 2022 wordt afgerond en resulteert in een Voorkeursbeslissing (VKB), een ontwerp voor de dijk op hoofdlijnen.

Voor de versterking van de IJsselmeerdijk is bij de selectie van kansrijke alternatieven voor het deeltraject Meerdijk een voorlandalternatief gekozen als kansrijk alternatief. Het voorlandalternatief is verder uitgewerkt met als belangrijkste doelen:

1. Het samenstellen van de benodigde (beslis)informatie voor Zuiderzeeland en RWS zodat het voorland volwaardig meegenomen kan worden in de selectie van het voorkeursalternatief uit geselecteerd kansrijke alternatieven;
2. Het verzorgen van de benodigde (beslis)informatie voor RWS voor de ecologische variant van het voorland zodat de afweging over subsidie vanuit KRW en eventueel ook PAGW om extra meerwaarde biodiversiteit te realiseren gemaakt kan worden.

Om bovenstaande doelen te bereiken zijn twee varianten van het voorland uitgewerkt. De eerste variant is een basisvariant, die de waterveiligheidsopgave volledig oplost, vergunbaar is en gefinancierd kan worden via het HWBP. De tweede variant lost de waterveiligheidsopgave ook geheel op en daarnaast ligt de focus op het optimaal vergroten van de biodiversiteit. Naast deze twee varianten is ook gekeken of het mogelijk is om een voorland in verschillende fases aan te leggen ('groeivariant') en wat de consequenties hiervan zijn voor haalbaarheid, vergunbaarheid en kosten.

In deze samenvatting beschrijven we de verschillende ontwerpen voor het voorland op hoofdlijnen en zetten we de belangrijkste aandachtspunten voor het vervolg op een rij.

### 9.1 Basisvariant

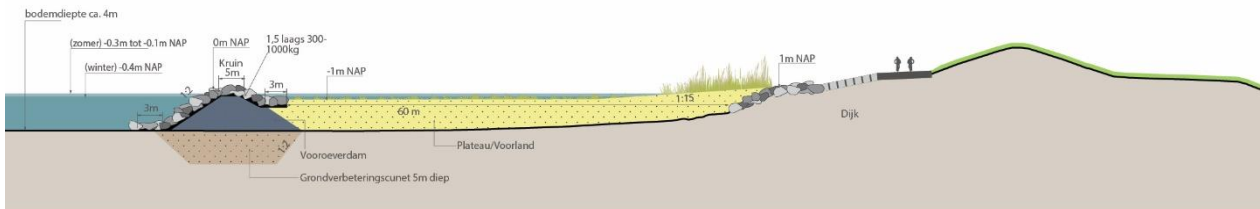
Het ontwerp van de basisvariant op hoofdlijnen bestaat uit een vooroeverdam met een kruin op circa 0m NAP met daarachter een zandig plateau/voorland (Figuur 9-1; Figuur 9-2; Figuur 9-3; Figuur 9-4). Het noordelijke deel van het voorland ligt in dijkvak 1 en 2, is circa 60m breed en loopt van de Ketelbrug tot de Maximacentrale. Het zuidelijke deel ligt in dijkvak 3, is circa 40m breed en loopt Flevo Marina tot CTU Flevokust.

Het zandige deel van het voorland ligt horizontaal op -1m NAP. Iets hoger, direct voor de dijk wordt een buffer aangebracht van waaruit zand kan eroderen en zandverliezen door dwarstransport richting het IJsselmeer kan compenseren. Aan het begin en eind van beide voorlanden worden strekdammen geplaatst om verlies van sediment door langstransporten zoveel mogelijk te beperken. Palenrijen om de 250m beperken de stroming verder, terwijl uitwisseling van water en sediment tussen de compartimenten mogelijk blijft. Het voorland wordt op afstand van de Maximacentrale aangelegd om sedimenttransporten richting de centrale zoveel mogelijk te beperken.

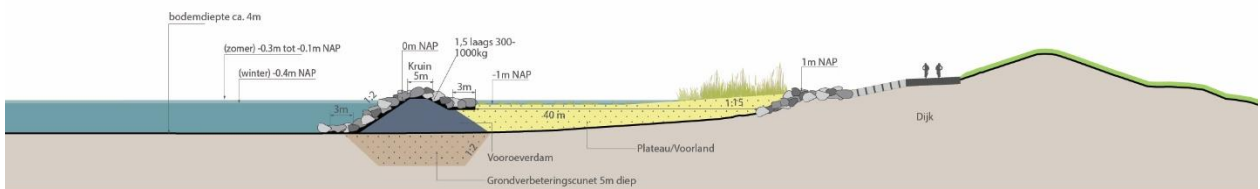
Om verstuiwen van zand te voorkomen op het gedeelte van het voorland wat boven het waterpeil ligt leggen we een teellaag aan met een dikte van circa 30cm. Aandachtspunt hierbij is dat erosie door golfaanval mogelijk moet blijven zodat de buffer zijn werking behoudt. Om de doorstroming te bevorderen worden op een aantal locaties duikers in de langsdam geplaatst.

Als de basisvariant is gerealiseerd kan relatief eenvoudig worden gekozen om later meer ecologische inrichtingselementen toe te voegen. Dit geldt echter *niet* voor aanpassingen aan de langsdam. Het creëren van meer openingen in de langsdam (gewenst voor het stimuleren van biodiversiteit en minder

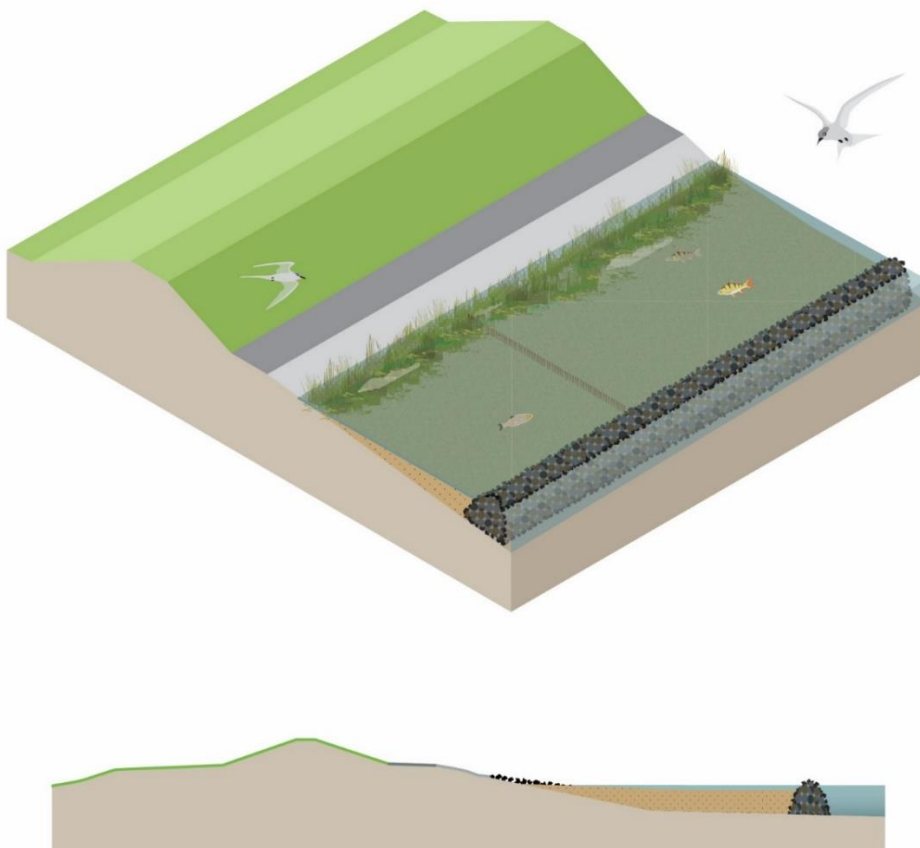
risico op een slechte waterkwaliteit) is namelijk technisch zeer complex en de kosten zullen relatief erg hoog zijn.



Figuur 9-1: Profiel van het voorland bij dijkvak 1 en 2, basisvariant.



Figuur 9-2: Profiel van het voorland bij dijkvak 3, basisvariant.



Figuur 9-3: Impressie vormgeving basisontwerp voorland op hoofdlijnen.





Figuur 9-4: Voorland in bovenaanzicht.

## 9.2 Plusvariant

De ecologische plus variant (Figuur 9-5; Figuur 9-6; Figuur 9-7; Figuur 9-8) is op hoofdlijnen gelijk aan het ontwerp van de basisvariant. De ecologische plus variant bevat een aantal extra's om meer habitatvariatie te creëren:

### Afwisseling in hoogte

Vanuit ecologisch oogpunt is het interessant om binnen het zandige deel van het voorland variatie in hoogte te creëren zodat meerdere habitats ontstaan: wat dieper water (1-2 m diep), ondiep water (< 1m diep) en delen die bij gemiddeld waterpeil net boven water uitkomen. De gemiddelde bodemhoogte moet op -1m NAP of hoger blijven liggen (we gaan voor nu uit van een gelijke breedte van het voorland als bij de basisvariant) om de waterveiligheid te garanderen.

### Uitwisseling voor en achter de langsdam

Het is belangrijk dat uitwisseling plaats kan vinden tussen het water voor en achter de langsdam. Daarvoor zijn openingen tussen elkaar overlappende delen van de langsdam voorzien. De mate van uitwisseling en het effect op ecologische variatie dient in de volgende fase verder te worden onderzocht en gekwantificeerd.

Voor het ontwerp gaan we voor nu uit van elke kilometer een opening tussen de langsdammen. In het noordelijke deel wordt het voorland 60 en nabij de opening 70 meter breed en in het zuidelijk deel 40 en nabij de opening 50 meter breed.

### Ecologische inrichting dam

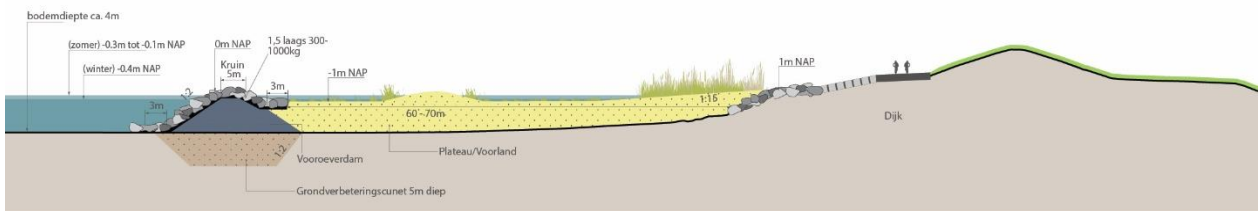
Vanuit ecologisch oogpunt is het belangrijk dat de buitenkant van de langsdam en strekdammen bestaat uit ruwe stenen waarop flora en fauna zich kunnen bevestigen. De langsdam steekt boven gemiddelde waterpeil uit zodat op de kale grond broedplaatsen voor visdief en bontbekplevier ontstaan. De afwerking van de langsdam doen we dusdanig dat bepaalde delen geschikt zijn voor groei van vegetatie. Ook hiervan kunnen vogels profiteren.

## Vegetatie en dood hout

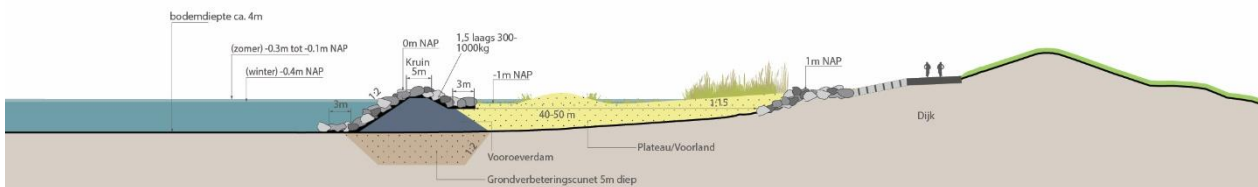
Vegetatie zal zich spontaan ontwikkelen op een aantal plaatsen. In het ondiepe water achter de langsdam komen ondergedoken waterplanten tot ontwikkeling. In de oeverzones op de overgangen van land naar water gaan oeverplanten groeien. Op enkele natte plekken kunnen wilgenbosjes ontstaan. Aanplanten van vegetatie is niet nodig. De vegetatieontwikkeling moet wel worden gemonitord en indien nodig actief worden beheerd. Om te voorkomen dat het dode hout met stroming wordt meegenomen is het aanbevolen om het hout te verankeren aan de bodem.

## Recreatie

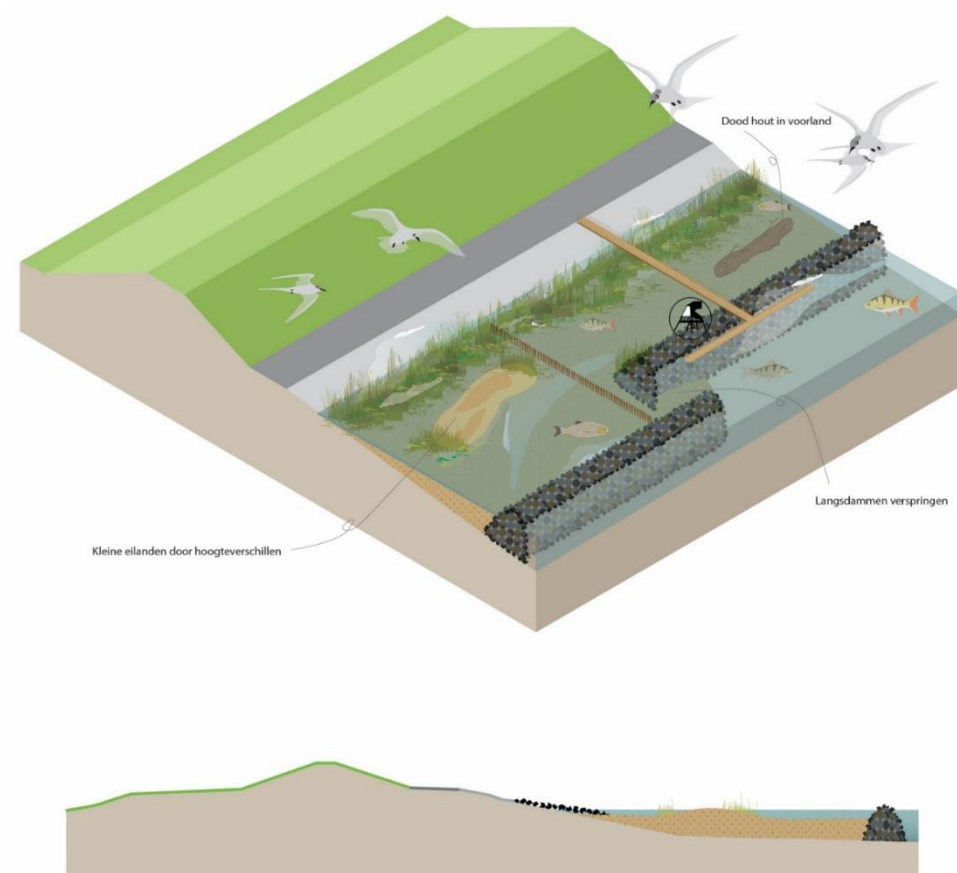
Er zijn veel verschillende manieren om meerwaarde te creëren voor recreatie. Voor nu gaan we in het ontwerp uit van de aanleg van een wandelpad over een gedeelte van de langsdam. Ook maken we een uitkijktoren en een onderwaterzichtpunt.



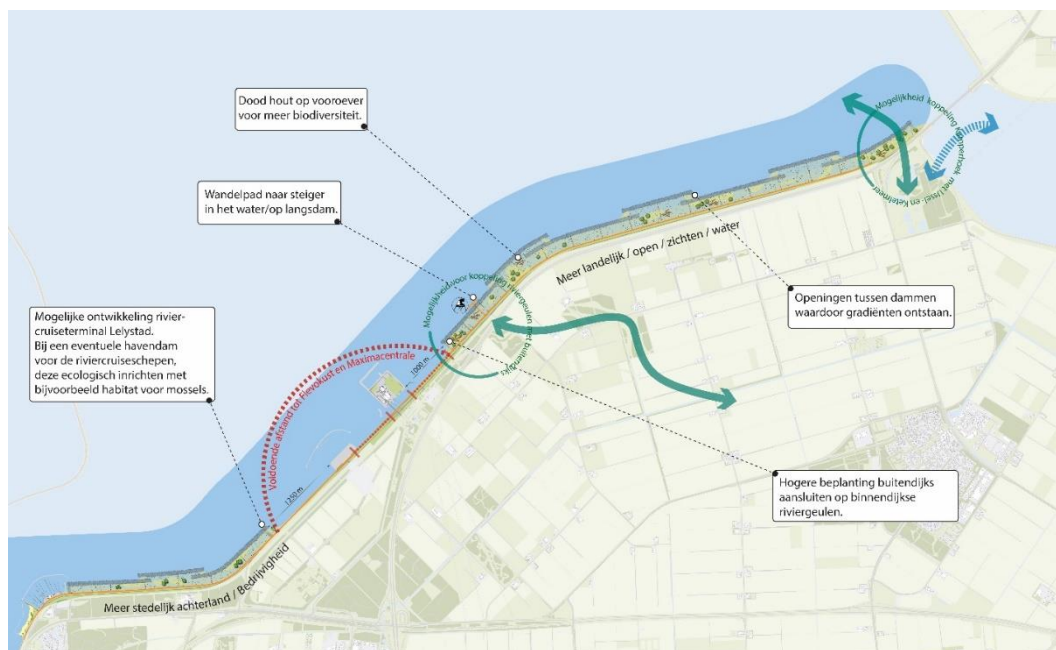
Figuur 9-5: Profiel van het voorland bij dijkvak 1 en 2, ecologische plus variant.



Figuur 9-6: Profiel van het voorland bij dijkvak 3, ecologische plus variant.



Figuur 9-7: Impressie vormgeving ontwerp voorland inclusief ecologische inrichting, zijaanzichten.



Figuur 9-8 Impressie vormgeving ontwerp voorland inclusief ecologische inrichting, bovenaanzicht.

### 9.3 Groeivariant

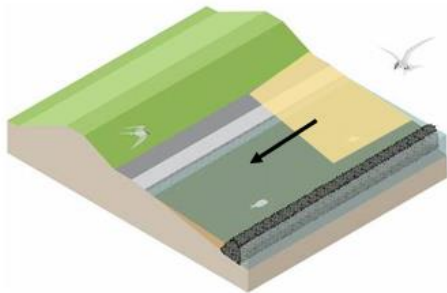
Het voorland zou ook in meerdere fases worden aangelegd in de vorm van een groeivariant. In een quickscan is onderzocht of een groeivariant voor de IJsselmeerdijk de voorkeur zou hebben boven aanleg in één keer. Uit de quickscan blijkt dat voor een groeivariant het scenario met gefaseerde aanleg in lengterichting de voorkeur heeft boven fasering in dwarsrichting. Dit scenario houdt het volgende in:

#### Fase 1

- Aanleg dam. De langsdam wordt direct over de gehele lengte aangelegd. De dam zorgt voor het breken van de golven en het vasthouden van het zand.
- Aanleg eerste deel voorland. Het eerste deel van het voorland wordt aangelegd van de dijk tot aan de dam. De breedte die aangelegd wordt is afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar zand. Het ligt voor de hand om te starten bij dijkvak 1 of dijkvak 2 noord, waar de veiligheidsopgave groter is dan bij dijkvak 2 zuid en dijkvak 3.

#### Fase 2(+)

- Aanleg volgend deel voorland. Hierbij wordt er afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar zand het volgende deel van het voorland aangelegd. Deze fase kan worden herhaald tot het volledige voorland is aangelegd.



Figuur 9-9: Schematische weergave groeivariant scenario 2: uitbouw van het voorland in fases in langsricting.

Op basis van de onderzochte scenario's heeft aanleg in één keer een lichte voorkeur boven gefaseerde uitleg op de aspecten waterveiligheid, ecologie en met name vergunbaarheid. De levensduurkosten zijn bij aanleg in één keer naar verwachting wel iets hoger dan bij een gefaseerde aanleg.

Het groeien van de basisvariant naar een ecologische plusvariant is in theorie ook mogelijk. Het is relatief eenvoudig om later meer ecologische inrichtingselementen toe te voegen. Aanpassingen na aanleg aan de langsdam zijn echter zeker niet eenvoudig. Het creëren van meer openingen in de langsdam (gewenst voor het stimuleren van biodiversiteit en betere waterkwaliteit) is technisch zeer complex met grote uitvoeringsrisico's. Daarnaast zal een dergelijke aanpassing ook hoge kosten met zich meebrengen.

### 9.4 Aandachtspunten voor het vervolg

Als het voorland onderdeel wordt van de voorkeursvariant dan dient deze verder te worden uitgewerkt.

Een aantal aandachtspunten voor de basisvariant daarbij zijn:

- Om voor wateruitwisseling met het IJsselmeer te zorgen zijn duikers voorzien in de basisvariant en grotere openingen in de ecologische plusvariant. In het vervolg dienen de voorzieningen voor wateruitwisseling verder uitgewerkt te worden. Er dient kwantitatief gekeken te worden naar de hoeveelheid wateruitwisseling die plaats zal vinden. Daarnaast moeten de morfologische effecten (bodempligging en sedimenttransport) verder worden onderzocht. Hierbij dient gekeken te worden naar de mate van erosie nabij de duikers/openingen, het risico op verstopping van de duikers en

de maatvoering van de duikers. Ook dient het effect van de openingen op ecologie verder te worden onderzocht.

- Het ontwerp van het voorland heeft invloed op de mate van sedimenttransport en dus de benodigde suppleties. Met uitgebreidere modellering en/of expert judgement kunnen sedimenttransporten verder worden onderzocht (zie ook aandachtspunten in Bijlage 2, er zal echter altijd een relatief grote onzekerheidsmarge blijven bij de voorspellingen van sedimenttransport). Een adaptieve aanpak, waarbij het voorland wordt gemonitord en waar nodig aanvullende maatregelen worden getroffen om de mate van erosie te beperken, of juist meer dynamiek toe te staan (bijv. de aanleg/verwijdering van palenrijen/schelpenranden), is nodig. Deze adaptieve aanpak dient verder te worden uitgewerkt.
- Een buffer wordt aangebracht om zandverliezen te compenseren. Aandachtspunt is dat de buffer wel voldoende moet kunnen eroderen (voldoende golfaanval, geen te grote belemmering door teellaag) om als buffer te functioneren. Tegelijkertijd mag het zand niet te veel opwaaien. Dit dient nader te worden uitgewerkt. Eventuele extra buffers aan de kopse einden van het voorland dienen in een volgende fase ook te worden uitgewerkt.
- Achter de langsdam verzamelt zich mogelijk vuil. Er dient gekeken te worden in hoeverre optimalisatie van het ontwerp hiertegen mogelijk is of dat hier beheermaatregelen voor worden getroffen.
- Op basis van de verkenning van de groeivariant/gefaseerde aanleg kwam geen duidelijk sterke voorkeur voor wel of niet gefaseerd aanleggen van de basisvariant. Het kostenvoordeel was klein, terwijl een gefaseerde uitleg complexer is op het gebied van ecologie en vergunningen. In een volgende fase dient in de gaten te worden gehouden of de groeivariant door nieuwe inzichten alsnog de voorkeur heeft.
- In de vervolgfase moet nader gekeken worden naar de raakvlakken van het voorland met functies en ontwikkelingen in de omgeving, o.a.: het futenrustgebied, de visfuisen, de vaargeul bij Ketelbrug, de aanleg van de kabel tussen Windplanblauw en de Flevopolder en de hevel Lelystad Noord.
- Bij het verder uitwerken van het ontwerp dienen de richtlijnen van het RKK steeds meegenomen te worden. Voor de zichtlijnen is het daarbij mooi als de dijk en het voorland ook zichtbaar zijn voor vaarverkeer.
- In het vervolg dient rekening gehouden te worden met mogelijke aanwezigheid van archeologische waarden. Bovendien wordt vervolgonderzoek naar scheepswrakken langs het gehele interessegebied voor het voorland aangeraden.
- Effecten van de vooroever op het aanvaringsrisico voor vogels met windmolens lijken beperkt, maar dienen nader te worden uitgewerkt in de Voortoets Natura 2000 en eventueel Passende Beoordeling.
- Indien de ambitie bestaat om van een basisvariant te groeien naar de ecologische plus variant verdient het aanbeveling om hier bij de aanleg van de langsdam rekening mee te houden. Aanpassingen aan de langsdam zijn technisch complex en duur.
- Ten behoeve van vergunbaarheid dienen aspecten met betrekking tot natuur zorgvuldig uitgewerkt te worden, ook is het van belang om inpassing in het landschap verder mee te nemen. Voor het futenrustgebied moet zo concreet mogelijk inzichtelijk gemaakt worden dat de effectiviteit hiervan niet wordt aangetast. Verder kan de inrichting van het futenrustgebied worden geoptimaliseerd. Bovendien is het belangrijk om Windplanblauw mee te nemen bij verdere uitwerking van het voorland. Voor de procedures zal de diepgang van de stukken groter moeten zijn dan een traditionele dijkversterking en is er een verschil te verwachten betreft mogelijke zienswijzen en beroepen.

Voor de ecologische plusvariant zijn er nog aanvullende aandachtspunten:

- Aandachtspunt bij de openingen is de overgang van het ondiepe voorland naar het diepere IJsselmeer.
- Een groeivariant/gefaseerde aanleg is voor de ecologische variant nog niet onderzocht. Dit kan nog verder worden onderzocht.
- Groeien van de basisvariant naar de ecologische plusvariant is lastig (zie H8.7). Hier moet rekening mee worden gehouden bij het vervolg van het project.
- Bij de inrichting van de ecologische variant dient voor constructies/paden die worden aangelegd ten behoeve van recreatie in de gaten gehouden worden dat deze de golfcondities aan kunnen en dat zich geen vuil verzameld bij wisselende waterstanden.

Verdere aandachtspunten op verschillende thema's staan benoemd in de betreffende hoofdstukken.



# Bijlagen

## **Bijlage 1: Aanvullend archeologisch onderzoek voorland**

## Aanvullend maritiem-archeologisch vooronderzoek in het kader van het project Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

*Ruimtelijk advies op basis van bureauonderzoek (waterbodem)*



Rapportnummer: V2178  
Projectnummer: V21-4845  
Status en versie: Definitief  
In opdracht van: RHDHV  
Rapportage: W.J. Weerheijm, R. Schrijvers, N. Schoute, W.A.M. Hensing  
Plaats en datum: Amersfoort, 22 februari 2022

*Niets uit dit werk mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie of op welke andere wijze dan ook, daaronder mede begrepen gehele of gedeeltelijke bewerking van het werk, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Vestigia BV*



Documentbeheer				
Versie	Status	Datum	Toelichting	Autorisatie
1.0	Concept	25 oktober 2021	Eerste concept ter goedkeuring opdrachtgever	W.A.M. Hessing
1.1	Concept	4 februari 2022	Tweede concept na verwerking opmerkingen opdrachtgever	W.A.M. Hessing
1.2	Concept	15 februari 2022	Derde concept na verwerking opmerkingen opdrachtgever	W.A.M. Hessing
2.0	Definitief	22 februari 2022	Definitief na verwerking opmerkingen opdrachtgever	W.A.M. Hessing
Projectgegevens (LS06)				
Initiatief		Dijkversterking		
Toponiem / locatie		IJsselmeerdijk		
Plaats		Lelystad/Dronten		
Gemeente		Lelystad/Dronten		
Provincie		Flevoland		
Opdrachtgever		Royal HaskoningDHV		
Contactpersoon		Dhr. Ing. J. Valk MSc		
Oppervlakte plangebied		ca. 931,7 ha (Lengte ca. 18,4 km)		
Oppervlakte onderzoeksgebied		Plangebied +100 meter		
Geplande ingrepen		Onbekend / waarschijnlijk sprake van ophoging met zand		
Huidig grondgebruik		Waterbodem, dijklichaam		
Zaakidentificatie (Archis3)		5125212100		
Soort onderzoek		Bureauonderzoek		
RD-coördinaten van het plangebied		Xmin: 158211 Ymin: 504354	Xmax: 172770 Ymax: 514218	
Kaartblad (1:25.000)		20D Lelystad West/20G Lelystad Oost/20F Nagele		
Uitvoerder		Vestigia Archeologie & Cultuurhistorie		
Autorisatie rapport		Drs. W.A.M. Hessing, Senior KNA Archeoloog / Senior KNA prospector (97049866)		
Projectleider		mr. W.J. Weerheijm MA, sr. KNA BO archeoloog/ Prospector MA (38767204)		
Projectmedewerkers		Drs. W.A.M. Hessing, Senior KNA Archeoloog / Senior KNA prospector (97049866) N. Schoute, KNA archeoloog in opleiding Drs. R. Schrijvers, sr. KNA Prospector (74734349) mr. W.J. Weerheijm MA, sr. KNA BO archeoloog/ Prospector MA (38767204)		
Beheer en documentatie		Vestigia Archeologie & Cultuurhistorie		
Bevoegd gezag		Gemeenten Lelystad Postbus 91 8200 AB Lelystad Gemeente Dronten Postbus 100 8250 AC Dronten Provincie Flevoland (Ontgrondingen) Postbus 55 8200 AB Lelystad		

Contactpersoon	Gemeente Lelystad: mevr. E. Rozema Gemeente Dronten: Dhr. E. Heldoorn Provincie Flevoland: Mevr. M.-C. Houkes
----------------	---

## Inhoudsopgave

Samenvatting en advies (LS06).....	5
Onderbouwing advies.....	7
1 Projectomgeving .....	7
1.1 Inleiding .....	7
1.2 Afbakening plangebied en huidig gebruik .....	7
1.3 Toekomstig gebruik .....	8
1.4 Onderzoeksdoel en -methode .....	10
2 Beleidskader.....	11
2.1 Wettelijk kader .....	11
2.2 Provinciaal beleid.....	11
2.3 Gemeentelijk beleid.....	13
3 Verwachtingsmodel .....	15
3.1 Natuurlijk landschap (LS04) .....	15
3.2 Historisch landschap (LS02, LS03, LS04) .....	18
3.3 Archeologische waarden (LS04).....	21
3.4 Archeologie en zetting .....	29
3.5 Gespecificeerde archeologische verwachting (LS05).....	31
4 Effectbeoordeling mogelijke ingrepen.....	32
5 Advies vervolgonderzoek (LS06) .....	33
Literatuur.....	34
Digitale bronnen .....	35
Lijst van afbeeldingen, kaarten en bijlagen .....	36
Afbeeldingen .....	36
Tabellen .....	36



## Samenvatting en advies (LS06)

Vestigia B.V. *Archeologie & Cultuurhistorie* heeft in opdracht van Royal HaskoningDHV een aanvullend maritiem-archeologisch bureauonderzoek uitgevoerd ten behoeve van het project Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten (*afbeelding 1, kaart 1* achterin het rapport).

In het kader van dit project heeft Vestigia reeds een archeologisch bureauonderzoek uitgevoerd, voor de huidige dijk en een smalle strook landinwaarts.<sup>1</sup> Het onderhavige maritiem-archeologische bureauonderzoek heeft betrekking op een aanvullend plangebied dat buitendijks is gelegen in het IJsselmeer, over een lengte van ca. 18,4 kilometer en met een oppervlakte van ca. 931,7 ha.

In het kader van de dijkversterking zal mogelijk sprake zijn van een buitendijkse ophoging door middel van zand. Momenteel is een tweetal maatregelen/ontwerpen voorzien, die nog nader moeten worden uitgewerkt. Het gaat om een Ontwerp basisvariant en een Ecologische plus variant. Bij de ontwerp basisvariant bestaat het ontwerp op hoofdlijnen uit een vooroeverdam met een kruin op ca. 0 m NAP, met daarachter een zandig plateau/voorland. Bij de Ecologische plus variant is het ontwerp op hoofdlijnen gelijk aan de basisvariant, maar is er een afwisseling in hoogte van het zandige voorland en zijn er openingen tussen de langsdammen. Het onderhavige bureauonderzoek heeft nog een inventariserend karakter, met een advies op hoofdlijnen (waar is sprake van eventuele bekende of verwachte archeologische waarden, en bij welke oppervlakte en diepte/hoogte van de ingreep dient al dan niet vervolgonderzoek plaats te vinden).

In principe kunnen binnen het gehele buitendijkse plangebied in de diepere ondergrond onder de waterbodem sporen van bewoning en gebiedsexploitatie voorkomen uit het Paleolithicum en het Mesolithicum. Indien aanwezig bevinden deze sporen zich in de top van het dekzand op overwegend 10 m - NAP. De archeologische sporen en resten kunnen bestaan uit paalkuilen, haardkuilen, houtskoolconcentraties, (vuur)stenen werktuigen en productieafval.

Op een aantal locaties binnen het buitendijkse plangebied zijn oude getijdenafzettingen afgezet in de vorm van oeverwallen en beddingafzettingen. Op de oeverwallen kunnen zich archeologische waarden bevinden, daterend uit de midden fase van de Swifterbantcultuur (circa 5200-3800 v. Chr.). Het niveau waarop deze sporen te verwachten zijn bevindt zich binnen 6-7 m -NAP, met daarbinnen mogelijke opduikingen. De archeologische sporen en resten kunnen bestaan uit een archeologische bewoningslaag, paalkuilen, haardkuilen, houtskoolconcentraties, (vuur)stenen werktuigen en productieafval en (evt.) aardewerk.

Op of direct onder de waterbodem kunnen binnen het gehele plangebied scheepswrakken of -wrakresten worden aangetroffen uit de Late Middeleeuwen tot en met de Nieuwe tijd worden aangetroffen. Deze resten kunnen bestaan uit houten of metalen (delen van) scheepsrampen, tuigage, lading en andere objecten. De kans op het aantreffen van scheepsrampen binnen het plangebied wordt weliswaar als laag geschat, maar gezien het grote oppervlak van het plangebied is het echter niet denkbeeldig dat er toch dergelijke resten aanwezig zijn die door de ingrepen kunnen worden bedreigd. Tevens bestaat de mogelijkheid dat zich binnen het plangebied vliegtuigwrakken bevinden uit de Tweede Wereldoorlog. Hoewel er geen crashsites bekend zijn binnen het plangebied, kan dit ook niet geheel worden uitgesloten.

### Advies

Op Kaart 8a zijn op basis van de bekende landschappelijke gegevens/RIJP boringen zones aangegeven waarvoor het advies vervolgonderzoek geldt bij gravende werkzaamheden die dieper gaan dan 50 cm in de waterbodem, vanwege het risico op archeologische vindplaatsen uit de Swifterbant cultuur. Tevens zijn dit locaties waar bij grootschalige ophoging schade kan ontstaan aan deze archeologische resten. Een mogelijk vervolgonderzoek kan bestaan uit het uitvoeren van een inventariserend veldonderzoek door middel van verkennende boringen (opwater), zoals bij de onderzoeken voor het project Flevokust. Op Kaart 8a is rekening gehouden met het gebied bij terminal Flevokust waar al eerder booronderzoek heeft plaatsgevonden. Geadviseerd wordt om zodra het definitief ontwerp bekend is (in planuitwerking), hiervoor een Archeologieplan op te stellen in overleg met het bevoegd gezag. In dit plan kan nader worden

---

<sup>1</sup> Weerheijm et al. 2021.

uitgewerkt binnen welke delen van het buitendijkse plangebied door welke geplande ingrepen mogelijke archeologische resten worden bedreigd, en welke onderzoeksstrategie het beste kan worden toegepast.

Kaart 8b is een advieskaart voor vervolgonderzoek ten aanzien van mogelijke scheepswrakken op of direct onder de waterbodem. Hierbij zijn gebieden uitgezonderd waar zandwinning heeft plaatsgevonden (waarbij mogelijke scheepswrakken waarschijnlijk reeds zijn meegezogen), en waar al eerder sidescan sonar en multibeam onderzoek is uitgevoerd. Scheepswrakken kunnen zowel door gravende als al door meer of minder grootschalige ophogingen worden bedreigd. De meest geëigende onderzoeksmethode voor het onderzoek naar scheepswrakken en andere objecten op of direct onder de waterbodem is onderzoek door middel van sidescan sonar en multibeam. Geadviseerd wordt om zodra het definitief ontwerp bekend is (in planuitwerking), hiervoor een Archeologieplan op te stellen in overleg met het bevoegd gezag. In dit plan kan nader worden uitgewerkt binnen welke delen van het buitendijkse plangebied door welke geplande ingrepen mogelijke archeologische resten worden bedreigd, en welke onderzoeksstrategie het beste kan worden toegepast.

Tenslotte wordt geadviseerd om voorafgaand aan de uitvoering een Werkprotocol Archeologische Toevalsvondsten op te laten stellen, waarbij de taken en verantwoordelijkheden van alle betrokken partijen uiteen worden gezet in geval bij de civiele werkzaamheden een scheeps- of vliegtuigwrak (of een andersoortige archeologische vondst) wordt aangetroffen. Op deze manier kunnen de civiele werkzaamheden met zo min mogelijk risico op stagnatie en bijkomende kosten worden uitgevoerd. Tevens verdient het de voorkeur om op voorhand al een standaard PvE op te stellen in geval er een scheeps- of vliegtuigwrak wordt aangetroffen, uitgaande van een waardering in geval mogelijke wrakresten worden aangetroffen (in navolging op een dergelijk PvE ten behoeve van de verbreding van de A6).

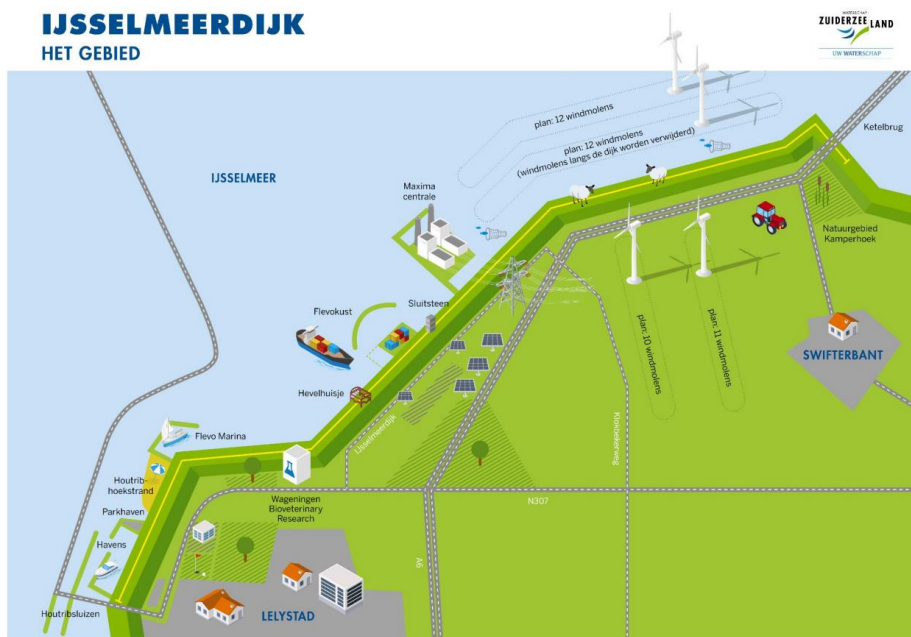
Het bevoegd gezag, de provincie Flevoland en de gemeenten Lelystad en Dronten, dienen eerst over het advies in dit rapport een besluit te nemen (wel/geen vervolgonderzoek en zo ja, in welke vorm). Wanneer het bevoegd gezag besluit dat vervolgonderzoek niet noodzakelijk is en het plangebied wordt vrijgegeven voor de voorgenomen ontwikkelingen, blijft de meldingsplicht archeologische toevalsvondst of waarneming van kracht (Erfgoedwet, artikel 5.10 Archeologische toevalsvondst). Aangezien het nooit volledig is uit te sluiten dat tijdens eventueel grondverzet een archeologische 'toevalsvondst' wordt gedaan, is het wenselijk de uitvoerder van het grondwerk te wijzen op de plicht om hiervan zo spoedig mogelijk melding te doen bij het Provinciaal Depot voor Bodemvondsten Flevoland (Mevr. P.P.A. Heise-Roovers, beheerder PDB Flevoland, tineke.roovers@batavialand.nl, tel. 0320-225939/ 06-13243987).

## Onderbouwing advies

### 1 Projectomgeving

#### 1.1 Inleiding

Vestigia B.V. Archeologie & Cultuurhistorie heeft in opdracht van Royal HaskoningDHV een aanvullend maritiem-archeologisch bureauonderzoek uitgevoerd ten behoeve van het project Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten (afbeelding 1, kaart 1 achterin het rapport).



Afbeelding 1 Vereenvoudigde weergave plangebied. Bron: Waterschap Zuiderzeeland.

In het kader van dit project heeft Vestigia reeds een archeologisch bureauonderzoek uitgevoerd, voor de huidige dijk en een smalle strook landinwaarts.<sup>2</sup> Het onderhavige maritiem-archeologische bureauonderzoek heeft betrekking op een aanvullend plangebied dat buitendijks is gelegen in het IJsselmeer, over een lengte van ca. 18,4 kilometer en met een oppervlakte van ca. 931,7 ha.

In het kader van de dijkversterking zal mogelijk sprake zijn van een buitendijkse ophoging door middel van zand. Momenteel is een tweetal maatregelen/ontwerpen voorzien, die nog nader moeten worden uitgewerkt. Het gaat om een Ontwerp basisvariant en een Ecologische plus variant. Bij de ontwerp basisvariant bestaat het ontwerp op hoofdlijnen uit een vooroeverdam met een kruin op ca. 0 m NAP, met daarachter een zandig plateau/voorland. Bij de Ecologische plus variant is het ontwerp op hoofdlijnen gelijk aan de basisvariant, maar is er een afwisseling in hoogte van het zandige voorland en zijn er openingen tussen de langsdammen. Het onderhavige bureauonderzoek heeft nog een inventariserend karakter, met een advies op hoofdlijnen (waar is sprake van eventuele bekende of verwachte archeologische waarden, en bij welke oppervlakte en diepte/hogte van de ingreep dient al dan niet vervolgonderzoek plaats te vinden).

#### 1.2 Afbakening plangebied en huidig gebruik

Het plangebied bestaat uit de IJsselmeerdijk, zoals vermeld over een lengte van ca. 18,4 km (globaal tussen dijkpaal 35,0 en 17,5), aan de noordwestzijde van Oostelijk Flevoland. De waterkering loopt van de

<sup>2</sup> Weerheijm et al. 2021.

Ketelbrug in het noorden tot aan de Houtribdijk in Lelystad. De kruin van de dijk ligt op circa NAP +5,2 m in het noorden en circa NAP +3,5 m in het zuiden. Het is een lange rechte grasdijk met een steenbekleding aan de buitenzijde. Het onderhavige plangebied is de strook buitendijks aan de kant van het IJsselmeer.

### 1.3 Toekomstig gebruik

Momenteel is zoals vermeld nog niet exact bekend wat de geplande ingrepen zijn ten behoeve van de dijkversterking. De twee bovengenoemde ontwerpen worden hieronder nader toegelicht.

#### Ontwerp Basisvariant

Het ontwerp op hoofdlijnen bestaat uit een vooroeverdam met een kruin op circa 0m NAP met daarachter een zandig plateau/voorland. Het voorland bestaat uit een noordelijk deel en een zuidelijk deel. Het noordelijke deel ligt in dijkvak 1 en 2, is circa 60m breed en loopt van de Ketelbrug tot de Maximacentrale. Het zuidelijke deel ligt in dijkvak 3, is circa 40m breed en loopt Flevo Marina tot CTU Flevokust. Zie Afbeelding 2a.

- Het zandige deel van het voorland ligt horizontaal op -1m NAP.
- Iets hoger, direct voor de dijk wordt een buffer van zand aangebracht.
- Aan het begin en eind van beide voorlanden worden strekdammen geplaatst.
- De langsdam komt op een zandcunet en voor het ontwerp gaan we ervanuit dat de kern bestaat uit grind welke wordt beschermd door een toplaag van stortsteen met een sortering van 300-1000kg.
- Palenrijen dwars op de dijk om de 250 meter.
- Teellaag met een dikte van circa 30cm op het gedeelte boven water.

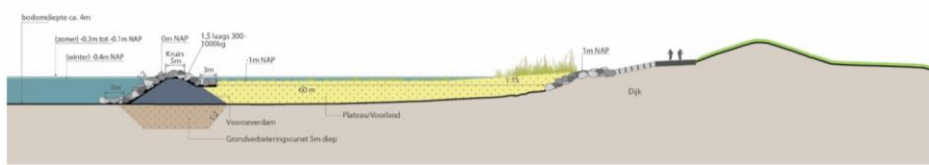
#### Ecologische plusvariant

Naast het slim en doelmatig ontworpen basisontwerp is een voorlandvariant ontwikkeld die extra meerwaarde biedt voor ecologie en recreatie. Deze ecologische plus variant is op hoofdlijnen gelijk aan het ontwerp van de basisvariant, zie Afbeelding 2b. De ecologische plus variant bevat de volgende extra's om meer habitatvariatie te creëren:

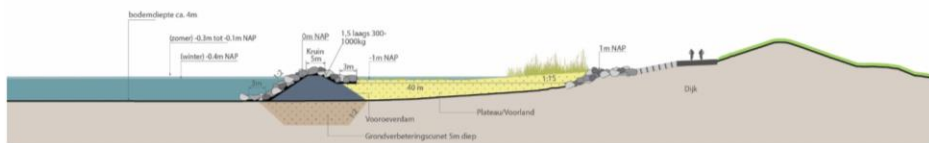
- Afwisseling in hoogte van het zandige voorland;
  - Afwisseling in hoogte: wat dieper water (1-2 m diep), ondiep water (< 1m diep) en delen die bij gemiddeld waterpeil net boven water uitkomen.
  - De gemiddelde bodemhoogte blijft op -1m NAP of hoger liggen
- Grotere openingen tussen de langsdammen om meer doorstroming te creëren;
- Toevoegen dood hout;
- Toepassen van eco-vriendelijke stortsteen (holtes, grote ruwheid t.b.v. afwisseling in habitat) in langsdam.

Daarnaast voegen we een aantal extra's toe ten behoeve van recreatiemogelijkheden:

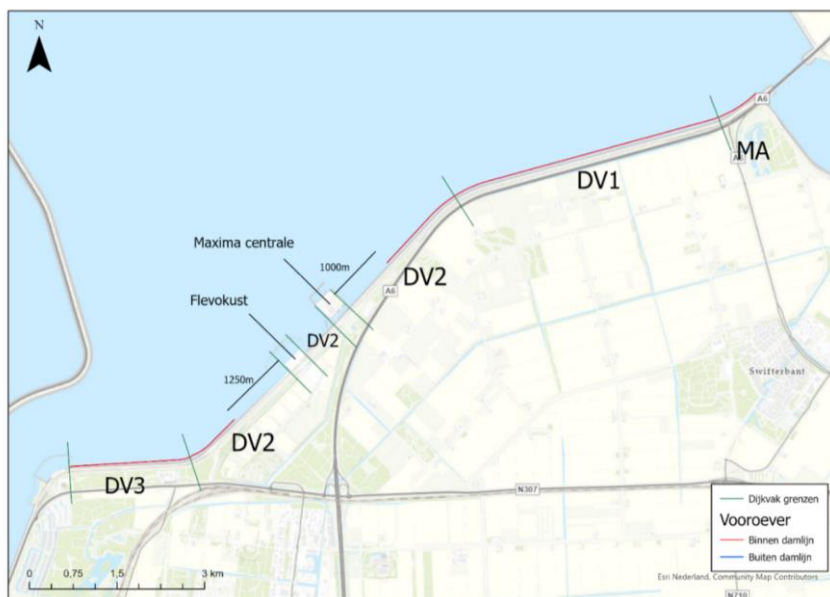
- Wandelpad over de langsdam / vlonder;
- Uitkijktoren;
- Onderwaterzichtpunt.



Figuur 1-1: Profiel van het voorland bij dijkvak 1 en 2, basisvariant

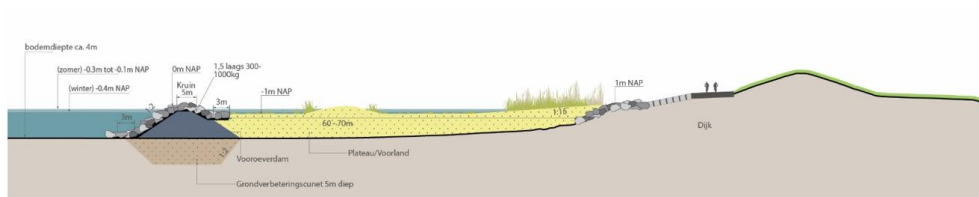


Figuur 1-2: Profiel van het voorland bij dijkvak 3, basisvariant.

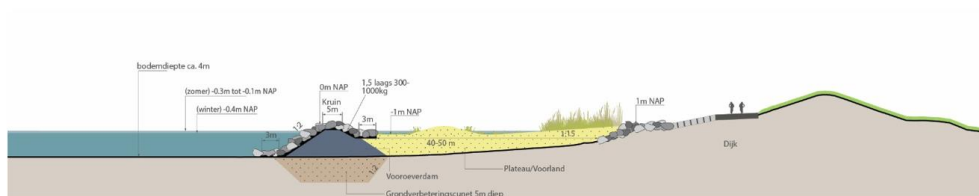


Figuur 1-4: Ligging van de voorroever bij de verschillende dijkvakken

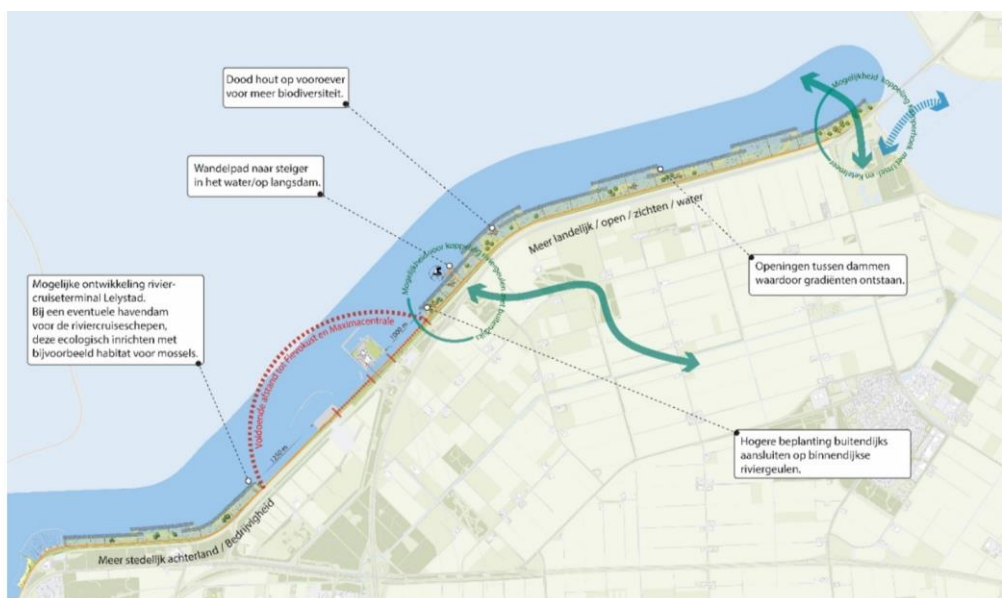
Afbeelding 2a Impressie ontwerp Basisvariant. Bron: RHDHV Verkenningfase IJsselmeerdijk, uitwerking voorland ontwerp 2, 2022.



Figuur 2-1: Profiel van het voorland bij dijkvak 1 en 2, ecologische plus variant.



Figuur 2-2: Profiel van het voorland bij dijkvak 3, ecologische plus variant.



Figuur 2-4 Vormgeving ontwerp voorland inclusief ecologische inrichting, bovenaanzicht.

Afbeelding 3b Impressie ontwerp ecologische plusvariant. Bron: RHDHV Verkenningfase IJsselmeerdijk, uitwerking voorland ontwerp 2, 2022.

#### 1.4 Onderzoeksdoel en -methode

Doel van het archeologisch bureauonderzoek was vast te stellen of er in het plangebied sprake is (of kan zijn) van archeologische resten die door de ingrepen verstoord dreigen te worden. Hiertoe is een bureauonderzoek verricht, waarbij voor het plangebied een specifiek archeologisch verwachtingsmodel is opgesteld. Vervolgens is een advies geformuleerd in het kader van de cyclus van de Archeologische Monumentenzorg (AMZ). Het onderzoek is uitgevoerd conform de Kwaliteitsnorm Nederlandse Archeologie (KNA, versie 4.1), protocol 4002 Bureauonderzoek (waterbodembodem).



## 2 Beleidskader

### 2.1 Wettelijk kader

De zorgplicht voor het archeologisch erfgoed is uitgewerkt in de Monumentenwet 1988 en in de wijziging hierop; de Wet op de archeologische monumentenzorg (Wamz, 2007). Een deel van de Monumentenwet is per 1 juli 2016 opgegaan in de Erfgoedwet. Het overige deel zal ter zijner tijd opgaan in de Omgevingswet. Tot die tijd blijven die artikelen die niet zijn overgegaan naar de Erfgoedwet van kracht zoals ze in de Monumentenwet van 1988 zijn benoemd.

De Wamz vormde de implementatie van het Verdrag van Malta dat in 1992 door diverse Europese lidstaten is ondertekend. Hierin wordt gesteld dat het streven is archeologisch erfgoed in de bodem te beschermen en daarmee te behouden. Om dit te kunnen doen moet archeologisch erfgoed ingepast worden in de ruimtelijke ordening. Een ander uitgangspunt is dat indien behoud in de bodem (in situ) niet mogelijk is, de verstoorder onderzoek naar de archeologische waarden moet betalen. In de praktijk zijn dit de kosten voor de archeologische monumentenzorg cyclus (AMZ-cyclus).

Met de invoering van de Wamz werden gemeenten verplicht om archeologiebeleid te ontwikkelen omdat artikel 38a van de Monumentenwet 1988 bepaalde dat de gemeenteraad bij de vaststelling van een bestemmingsplan en bij de bestemming van de in het plan begrepen grond rekening houdt met de in de grond aanwezige dan wel te verwachten monumenten. Met invoering van de nieuwe Wet ruimtelijke ordening (Wro, 2008) werd de archeologie definitief verankerd in de ruimtelijke ordening. Bepaald werd dat gemeenten na maximaal 10 jaar een bestemmingsplan moeten herzien of vernieuwen (daarbij rekening houdend met de archeologie op grond van de Monumentenwet 1988).

Op grond van de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo, 2010) zijn burgemeester en wethouders bevoegd gezag in het kader van de omgevingsvergunning. Op grond van de Ontgrondingenwet zijn Gedeputeerde Staten bevoegd gezag in het kader van de ontgrondingsvergunning, voor andere gronden dan bij ministeriële regeling aan te wijzen rijkswateren. De minister van Infrastructuur en Waterstaat is bevoegd gezag ten aanzien van de bodem en oevers van rijkswateren op grond van de Waterwet.

Opgemerkt kan worden dat het plangebied grenst aan een inpassingsplan van de Rijksoverheid: Windplan Blauw.<sup>3</sup> Binnen dit inpassingsplan zijn de locaties van de turbines van het windplan aangegeven met een dubbelbestemming Waarde – archeologie 5. Voor zowel het gedeelte van het IJsselmeer binnen de gemeente Lelystad als de gemeente Dronten geldt de zelfde vrijstellingsgrens van 1,7 hectare, waarbij zowel ophogen als ontgraven als een vergunningplichtige activiteit is aangemerkt.

### 2.2 Provinciaal beleid

Het omgevingsbeleid van de provincie Flevoland is vastgelegd in het Omgevingsprogramma 2019. De volgende kaarten maken onderdeel uit van het omgevingsprogramma:

- Landschappelijke en cultuurhistorische kernkwaliteiten;
- Landschappelijke en cultuurhistorische basiskwaliteiten;
- Nationaal Landschap IJsseldelta;
- Archeologische beleidskaart.

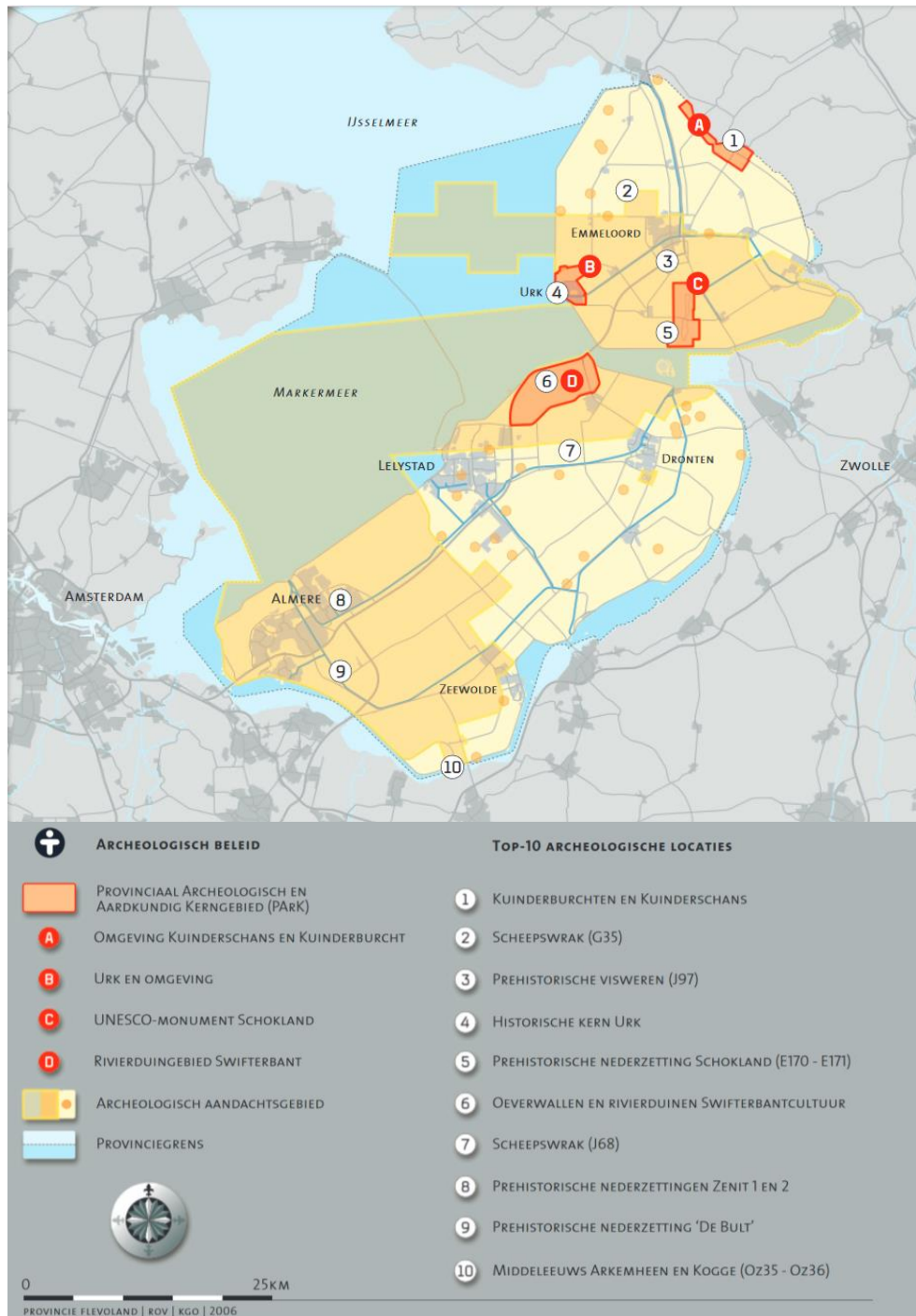
Op de archeologische beleidskaart (*afbeelding 4*) wordt een onderscheid gemaakt tussen Provinciaal Archeologische en Aardkundige Kerngebieden (PARK'en), de Top-10 archeologische locaties en archeologische aandachtsgebieden. Deze gebieden en locaties acht de provincie van provinciaal belang.

Voor het buitendijkse plangebied is vooral van belang dat deze in een provinciaal archeologisch aandachtsgebied is gelegen, het aandachtsgebied 'Markermeer'. Archeologische aandachtsgebieden zijn

---

<sup>3</sup> NL.IMRO.0000.EZKIP18WPBLAUW-3002.

gebieden met een relatief hoge dichtheid aan goed geconserveerde archeologische waarden. Zij omvatten delen van de prehistorische stroomgebieden van de Vecht, IJssel en Eem, waarin onder andere nederzettingen van de Swifterbantcultuur liggen. De uitwerking van de archeologische aandachtsgebieden is een gemeentelijke verantwoordelijkheid.



Afbeelding 4 Archeologische beleidskaart Provincie Flevoland. Bron: Provincie Flevoland.

### 2.3 Gemeentelijk beleid

De gemeente Lelystad beschikt over een vastgestelde gemeentelijke archeologische beleidskaart, opgesteld door Vestigia.<sup>4</sup> Volgens deze kaart ligt het aanvullende plangebied in een zone 'water' (afbeelding 5). De beleidsnota archeologie van de gemeente zegt hierover: "Een groot deel van het IJsselmeer en Markermeer heeft de status van aandachtsgebied. Ter voorbereiding van bodemversturende activiteiten is altijd een milieu-effectrapportage (MER) noodzakelijk. Een archeologisch onderzoek maakt deel uit van een MER. Aan de hand van de informatie uit het MER wordt het betreffende bestemmingsplan vastgesteld. Overig archeologisch onderzoek is dan niet meer nodig. Bij bodemversturende activiteiten in het watergebied zijn verdere planologische maatregelen ten behoeve van archeologie niet nodig."



Afbeelding 5 Uitsnede archeologische beleidskaart gemeente Lelystad. Vanwege de zichtbaarheid is het plangebied niet aangegeven. Rood = hoge verwachting; oranje = middelhoog; geel = laag; grijs = geen verwachting; lichtgrijs = archeologische waarde. Het grote grijze vlak is het PARK gebied Rivierduinen Swifterbant, met het grondgebied van de gemeente Dronten als het witte vlak. Het overige deel van het plangebied tot aan de Houtribdijk heeft een lage verwachting. Bron: gemeente Lelystad 2008.

Het additionele buitendijkse plangebied valt binnen de beheersverordening IJsselmeer-Markermeer-Oostvaardersplassen (vastgesteld 28-5-2013).<sup>5</sup> De toelichting vermeldt: "Een groot deel van het IJsselmeer en Markermeer heeft de status van archeologisch aandachtsgebied. Wanneer er sprake is van (nieuwe) bodemversturende activiteiten is altijd een effectbeoordeling nodig. Dit blijkt uit het gemeentelijk archeologisch beleid. Voor het IJsselmeer en Markermeer geeft het aspect archeologie geen uitgangspunten. Deze beheersverordening maakt in die gebieden geen (nieuwe) bodemversturende activiteiten mogelijk. In het plandeel Oostvaardersplassen is de ligging van enkele scheepswrakken bekend. In het gemeentelijk archeologisch beleid zijn deze aangewezen als monument. De bescherming ervan vindt plaats via de Monumentenwet, dit is daarom in deze verordening niet meer nodig. Het verordeningengebied kent geen cultuurhistorische elementen, zoals gebouwen. Dit geeft voor het plan dan ook geen uitgangspunten, omdat de verordening geen grootschalige nieuwe ontwikkelingen mogelijk maakt."

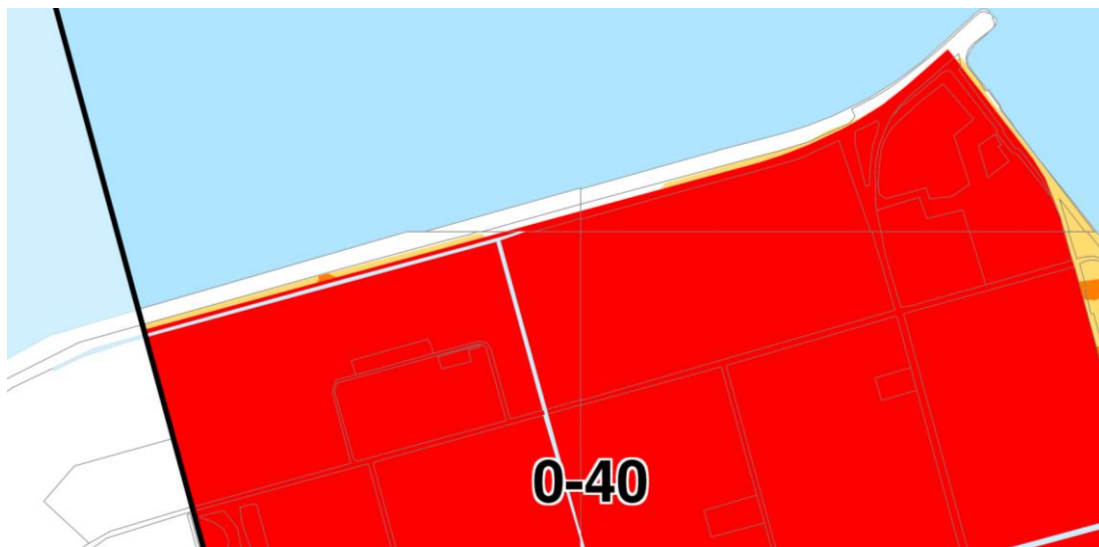
De gemeente Dronten heeft eveneens een vastgestelde archeologische beleidskaart, opgesteld door Vestigia.<sup>6</sup> Het buitendijkse gedeelte is aangemerkt als Archeologisch waardevol gebied 5 (afbeelding 6).

<sup>4</sup> Archeologische Monumentenzorg in Lelystad 2008; [http://www.samflevoland.nl/files/arch\\_beleidskaart\\_lelystad\\_volgens\\_Geodataviewer.pdf](http://www.samflevoland.nl/files/arch_beleidskaart_lelystad_volgens_Geodataviewer.pdf)

<sup>5</sup> NL.IMRO.0995.BHV01-VG01.

<sup>6</sup> Eimermann *et al.* 2009.

Voor deze zone geldt een verhoogde archeologische verwachting op het aantreffen van scheepswrakken. De beleidsdoelstelling voor deze categorie is om in het geval van grootschalige bodemverstoringen onderzoek uit te laten voeren om de archeologische verwachting verder te specificeren. Afhankelijk hiervan kunnen nadere onderzoeks- en behoudsmaatregelen worden overwogen.



Afbeelding 6 Uitsnede archeologische beleidskaart gemeente Dronten. Vanwege de zichtbaarheid is het plangebied niet aangegeven. Rood = archeologisch waardevol gebied 2; oranje = archeologisch waardevol gebied 3; oker = archeologisch waardevol gebied; blauw = archeologisch waardevol gebied 5. De dijk zelf heeft geen aanduiding. Bron: Eimermann *et al.* 2009..

Het buitendijkse gedeelte van het plangebied valt binnen het bestemmingsplan Randmeerzone (geconsolideerde versie 27-06-2013).<sup>7</sup> In het bestemmingsplan is opgenomen dat voor bouwwerken of het uitvoeren van werken, geen bouwwerken zijnde, een vrijstellingsgrens geldt van 1,7 hectare, waarbij staat aangegeven dat onder vergunningplichtige werkzaamheden o.a. zowel ophogen als ontgraven van de bodem wordt verstaan.

---

<sup>7</sup> NL.IMRO.0303.8060-GC01.

### 3 Verwachtingsmodel

#### 3.1 Natuurlijk landschap (LS04)

Onder de bodem van de voormalige Zuiderzee bevindt zich een gelaagd landschap. Tijdens de laatste ijstijd – het Weichselien (aan het eind van het Pleistoceen) – lag veel water opgeslagen in een ijskap die grote delen van de Britse eilanden en Scandinavië bedekte, maar Nederland niet bereikte. Het klimaat kreeg (naarmate de ijstijd vorderde) gedurende het Weichselien een steeds continenter karakter. Op het ‘hoogtepunt’ lag de zeespiegel maar liefst 110 meter lager en de kustlijn honderden kilometers verder westelijk dan nu. Over het algemeen bestaat de top van het pakket pleistocene afzettingen uit zogenaamd dekzand, dat de (nog) oudere rivierafzettingen in het gebied afdekt (slechts zeer plaatselijk vormen in ons land rivierafzettingen het bovenste deel van het pleistocene pakket). Plaatselijk kan het oppervlak aanzienlijk in hoogte variëren door de aanwezigheid van rivierduinen en dekzandruggen/–koppen uit het Laat-Pleistoceen/Vroeg Holoceen. Langs de randen bevinden zich dekzandruggen/rivierduinen met een verhoogde kans op archeologie in de vorm van verblijfplaatsen van jager-verzamelaars uit het Laat-Paleolithicum en/of Mesolithicum. Ook dieper in de Pleistocene afzettingen kunnen artefacten worden aangetroffen.

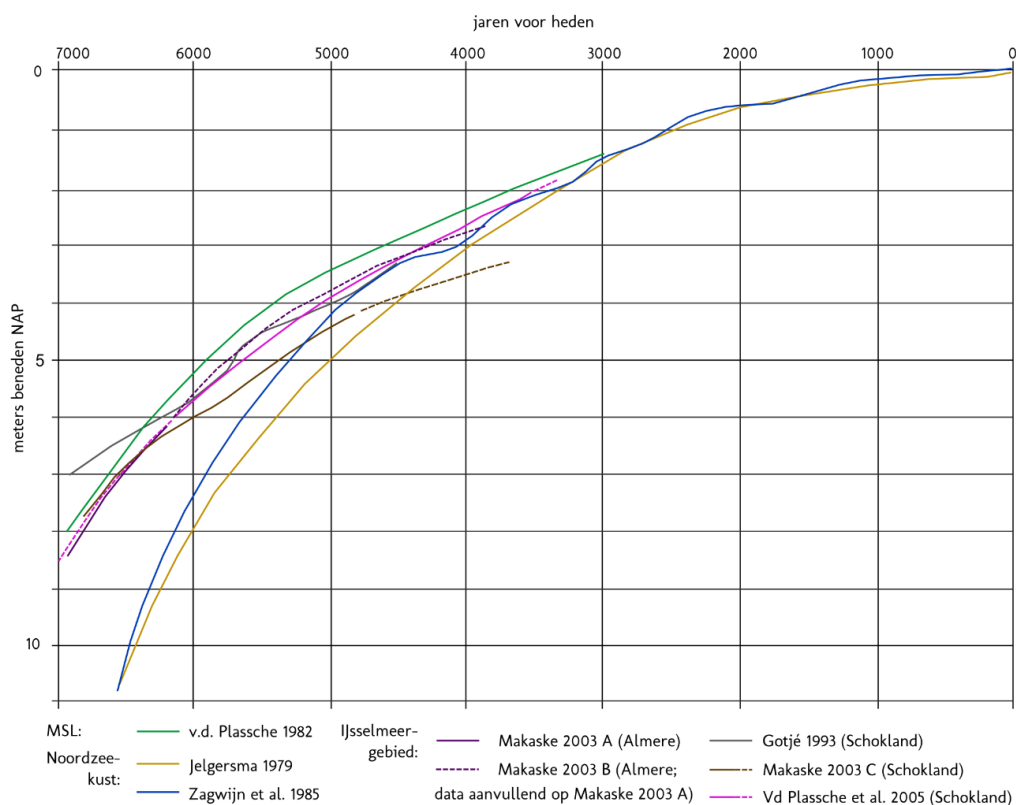
Vanaf circa 9700 v. Chr., dat wil zeggen vanaf het begin van het Holoceen, steeg het zeewater, als gevolg van het afsmelten van het landijs. Hierdoor begon onder invloed van de door de daarmee gepaard gaande stijging van de grondwaterspiegel veen te vormen op het pleistocene zand. De vorming van dit ‘basisveen’ is, op basis van de tijd-diepte curven die zijn opgesteld voor het Noordoostpolder-gebied en voor Zuidelijk Flevoland, reeds rond 6500 v. Chr. in en rond het plangebied op gang gekomen. Doordat de invloed van de zee steeds groter werd (met name door de stijgende zeespiegel), ontstond er een landschap waarin een stelsel van kreken voor de afwatering van het achterland zorgde. Direct langs deze kreken, die ook onder getijdeninvloed stonden, kwamen oeverwallen van klei tot ontwikkeling die bij verdere aangroei gedurende steeds langere perioden droog kwamen te liggen. Vanuit de droge gedeeltes konden donken (zandduintjes) zich ontwikkelen. Hierdoor werden delen van het landschap geschikt als (lente/zomer)verblijfplaats waar in principe sporen van menselijke bewoning of activiteiten kunnen worden aangetroffen uit de periode vanaf het Mesolithicum/Neolithicum. Kort na 5000 v. Chr. begonnen zich in de lagere delen van het huidige Markermeer- en IJsselmeergebied moerassen te ontwikkelen. Afgestorven planten kwamen op de waterbodem terecht. Omdat er geen zuurstof bij kon komen, bleven zij geconserveerd. Hierdoor hoopte dood plantmateriaal zich op de waterbodems op, waardoor (laag-)veen ontstond. Tegen 3000 v. Chr. raakten ook de hoger gelegen delen van het pleistocene dekzand met veen bedekt.

Vanaf 1200 v. Chr. tot rond het begin van onze jaartelling vormde zich het Flevomeer. De zee had inmiddels zijn grip op het huidige IJsselmeergebied verloren, omdat langs de westkust van Nederland zich een aaneengesloten strandwallengebied had gevormd. Toch bleef er sprake van ‘wateroverlast’, omdat het water dat via de IJssel vanuit het achterland werd aangevoerd ook niet meer, dan wel minder gemakkelijk, richting zee kon worden afgevoerd. Het gevolg hiervan was het ontstaan van een uitgestrekt meer: het Flevomeer. Recent onderzoek op de locatie Kotterbos bij Almere heeft aangetoond dat ook in de dynamische omgeving van dit meer sporen uit de Romeinse tijd kunnen worden aangetroffen. De uitbreiding van het Flevomeer leidde tot de afbraak van een deel van het, inmiddels uitgestrekte, veengebied. Op de bodem van dit meer werden zogenaamde Flevomeer-afzettingen gevormd, de jonge detritus-gyttja; in feite verspoeld veenlandschap.

De verdergaande vorming van het waddengebied en de tegelijkertijd verlopende afbraak van het veen leidden uiteindelijk tot een open verbinding tussen de Noordzee en wat in de Vroege Middeleeuwen het Almere wordt genoemd. Die verbinding nam in omvang toe: door stormvloeden in de Late Middeleeuwen (met name in de 12<sup>e</sup> en 13<sup>e</sup> eeuw) groeide het water uit tot een heuse binnenzee, de Zuiderzee. In 1932 is de Afsluitdijk aangelegd en werden onder zoetwater omstandigheden de zogenaamde IJsselmeer Afzettingen gevormd.

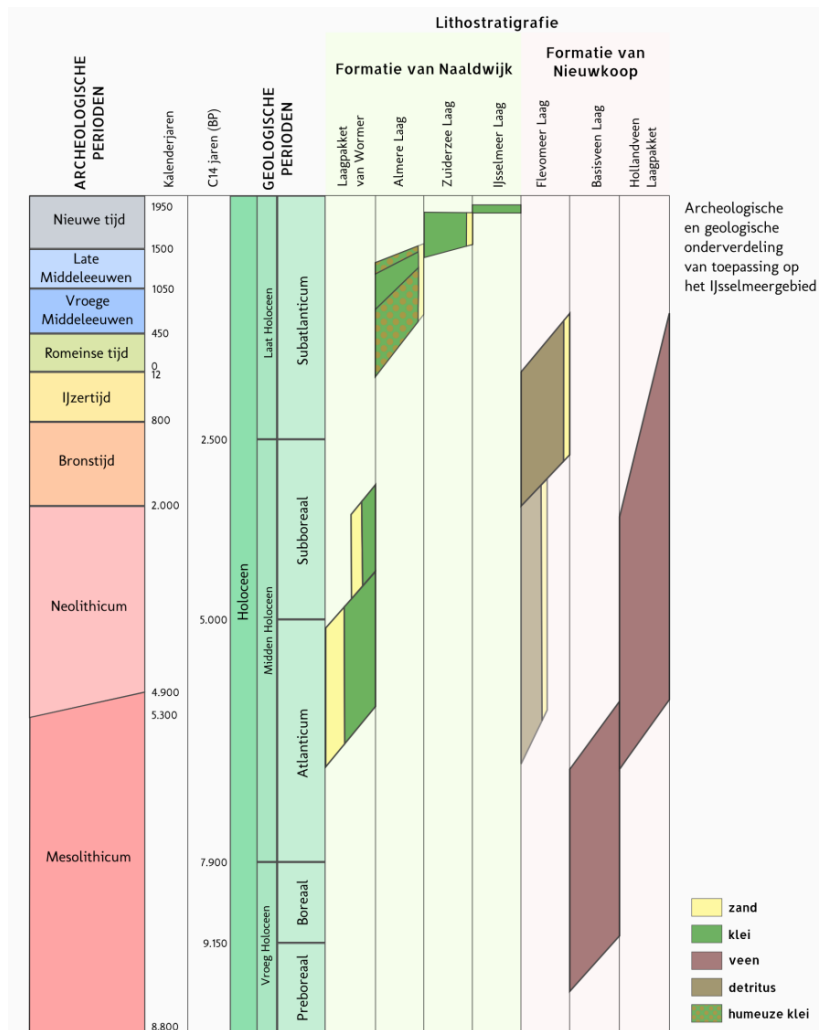
Lithostratigrafie		Lithologie	Ouderdom	Code
Formatie van Naaldwijk, Laagpakket van Walcheren	IJsselmeer Laag	Zoetwater kleiafzettingen	Vanaf 1932 na Chr.	NAWAIJ
	Zuiderzee Laag	Kalkrijke klei en zand (marien)	Tot 1932 na Chr.	NAWAZU
	Almere Laag	Humeuze kleien, siltige/zandig/detritus gelaagd (brak)	Tot ongeveer 1250 na Chr.	NAWAAL
Formatie van Nieuwkoop	Flevomeer Laag	Verslagen veen, detritus (meerafzettingen)	Begin jaartelling-VME	NIFL
	Hollandveen Laagpakket	Veen	Vanaf ongeveer 3300 v. Chr.	NIHO
	Basisveen Laag	Veen	Voor 5000 v. Chr.	NIBA
Formatie van Naaldwijk	Laagpakket van Wormer	(humeuze) klei (marien)	Vanaf ongeveer 4500 v. Chr.	NAWO
Formatie van Boxtel	Laagpakket van Wierden	Zand (dekzand)	Tot ongeveer 10.000 v. Chr.	BXWI

Tabel 1 In Overzicht van de afzettingen in de directe omgeving van het plangebied (bron: TNO 2011; Westerhoff *et al.* 2003; Weerts *et al.* 2003; Eimermann *et al.* 2009).



Afbeelding 7 Ontwikkeling van zee- en grondwaterspiegel aan de Noordzeekust en in het IJsselmeer-gebied (Van Heeringen *et al.* 2014).





Afbeelding 8 Schema met de perioden van vorming van de in het IJsselmeergebied voorkomende lithostratigrafische eenheden, in relatie tot de archeologische periodisering. Bron: Schrijvers/Waugh 2015; naar Westerhoff et al. 1987, Menke et al. 1998.

Uit de boringen die in en in de directe omgeving van het plangebied geplaatst zijn<sup>8</sup>, valt af te leiden dat de top van het pleistocene materiaal vrijwel overall dieper dan 10 meter beneden NAP te verwachten is. Alleen in het uiterste noordelijke deel van het onderzoeksgebied, in de nabijheid van de Ketelbrug, bevindt de top van het pleistoceen zich op een diepte tussen de 8 en de 10 meter beneden NAP, zoals in boring B20F0089 en B20F0099 aan weerszijden van de Ketelbrug, op een diepte van 8,40 m / 8,45 m -NAP, en boring B20F0049, ter hoogte van de aansluiting van de N711 op de A6, op een diepte van 9,70 m -NAP.

Dit houdt in dat, gezien de flinke zeespiegelstijging in het gebied in het vroeg- en midden-Holoceen, het pleistocene landschap binnen de grenzen van het plangebied aan het eind van het Mesolithicum reeds is verzonken. De archeologische verwachting op basis van de landschappelijke kenmerken blijft voor het pleistocene landschap binnen het plangebied beperkt tot het Paleolithicum en Mesolithicum. Rond 4000 v. Chr., in het Laat-Neolithicum, is de zeespiegel gestegen tot een hoogte van ongeveer 6 meter beneden NAP. De periode van vorming en niveau van het Wormer-krekenstelsel is hiermee bereikt. Dit laagland-systeem bestaat uit drassige/moerassige gebieden en (ondiepe) watervlaktes met daartussendoor watervoerende geulen geflankeerd door oeverwallen. Vooral de gerijpte iets zandige en minder lutumhoudende afzettingen van de oeverwallen zijn interessante locaties voor gebruik en bewoning door

<sup>8</sup> Zowel de boringen van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP) als later geplaatste boringen, beide sets zoals opvraagbaar in DINoloket ([www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl)).

de mens in het Vroeg- en Midden-Neolithicum. Vindplaatsen van de Swifterbantcultuur (5200 – 3800 voor Chr.) zijn in deze landschappelijke context aangetroffen in de buurt van het plangebied, met name op plaatsen waar kleinere vertakkingen aansluiten op de grotere geulen (onder andere vindplaatsen S2 en S4).<sup>9</sup> De nog voortdurende zeespiegelstijging zorgde ervoor dat het landschap in het plangebied daarna weer verdronk.

Tenslotte dient te worden opgemerkt dat in de jaren 50 van de vorige eeuw op grote schaal zandwinputten zijn aangelegd, waardoor een aanzienlijk deel van de waterbodem binnen het plangebied is verstoord.

### 3.2 Historisch landschap (LS02, LS03, LS04)

#### Historisch-geografische ontwikkeling (LS03)

De bewoningsgeschiedenis van Flevoland gaat terug tot in de laatste fase van het Paleolithicum (ca. 12.000-9.600 voor Chr.). Het betreft dan menselijke activiteit op het dekzand in het gebied van het dalsysteem van de Eem, Vecht en IJssel (Laagpakket van Wierden).<sup>10</sup> In Flevoland zijn echter tot op heden alleen in de Noordoostpolder daadwerkelijk archeologische sporen van menselijke activiteit uit deze periode aangetroffen (op kavels M131 en M132 10 en op Schokland). Sterkere aanwijzingen voor menselijke bewoning in Flevoland dateren uit het Mesolithicum (9.600-4.900 v. Chr.).<sup>11</sup> Door het veranderende klimaat en de hieruit voortvloeiende diversiteit in flora en fauna kon de mens leven van de jacht, de visvangst en het verzamelen van vruchten (zoals bramen en wilde appels), noten (hazelnooten en waternoten) en wortels van planten. De jager-verzamelaars-gemeenschappen hadden nog een nomadische bestaanswijze, waarbij het omliggende gebied vanuit verschillende typen kampen geëxploiteerd werd. Een goed voorbeeld van een dergelijk kampement is de vindplaats De Bult aan het Zwaanpad in Almere Hout waar op een dekzandrug op ca. 6,5 meter beneden NAP een jachtkampje met vrijwel uitsluitend micro spitsen/pijlpunten (met een lengte van 0,5 - 1,5 cm) uit omstreeks 7.000 voor Chr. is aangetroffen.<sup>12</sup> Vanaf het Neolithicum (4.900-2.000 voor Chr.) ging men geleidelijk over op landbouw en werd men, in plaats van rond te trekken, sedentair. In Zuidelijk Flevoland zijn, bij archeologisch karterend veldonderzoek langs de Rassenbeektocht in 1996, aanwijzingen gevonden voor de aanwezigheid van een groot aantal mesolithische en neolithische nederzettingen.<sup>13</sup> Deze liggen op dekzandruggen langs een voormalige hoofdgeul van de Eem. Een voorbeeld van wat men zich bij een dergelijke vindplaats voor moet stellen is in 1994-1996 opgegraven bij de 'Hoge Vaart' in het kader van de aanleg van de A27.<sup>14</sup> Hier werden prehistorische nederzettingsresten opgegraven, waaronder drie viswieren met fuiken uit de Swifterbantcultuur. De naam Swifterbantcultuur (5.200-3.800 voor Chr.) is genoemd naar de gelijknamige rijke vindplaats in Oostelijk Flevoland. Vindplaatsen zijn bekend uit het Rivierduingebied Swifterbant tussen Lelystad en Swifterbant (onder andere vindplaatsen S2 en S4) en op een rivierduin nabij Urk (kavel E4).<sup>15</sup> Naast de rivierduinen en dekzandruggen werden nu ook de oeverwallen langs de kreken in het getijdengebied (Laagpakket van Wormer) voor bewoning gebruikt. Viswieren met visfuiken uit de Swifterbantcultuur, maar ook uit het Laat Neolithicum tot en met de Midden Bronstijd, werden aangetroffen ter hoogte van het Bedrijventerrein A6 nabij Emmeloord. De viswieren waren gelegen in een geul in het voormalig stroomgebied van de Vecht.<sup>16</sup> Langzamerhand ontstond een sedentaire levenswijze die gepaard ging met het bouwen van huizen (bijvoorbeeld op kavel P14 bij Schokland)<sup>17</sup> en het aanleggen van grafveldjes in de buurt van de nederzetting (bijvoorbeeld S2 bij Swifterbant).<sup>18</sup> Als gevolg van de relatieve zeespiegelstijging vernatte het

<sup>9</sup> Zie ook De Roever 2004.

<sup>10</sup> Zie voor landschapsreconstructies bijvoorbeeld Gotjé 1997; Makaske et al. 2003; Peeters 2007.

<sup>11</sup> Zie Hogestijn/Peeters 2001; Hamburg/Müller/Quadflieg (red.) 2012.

<sup>12</sup> Niekus/Smit 2006; Niekus et al. 2012; Van Smeerdijk 2003. Zie ook bijvoorbeeld de vindplaats in het tracé van de N23/N307: Hamburg/Müller/Quadflieg 2012.

<sup>13</sup> Van der Heijde/van Eijk 1996.

<sup>14</sup> Hogestijn/Peeters 2001.

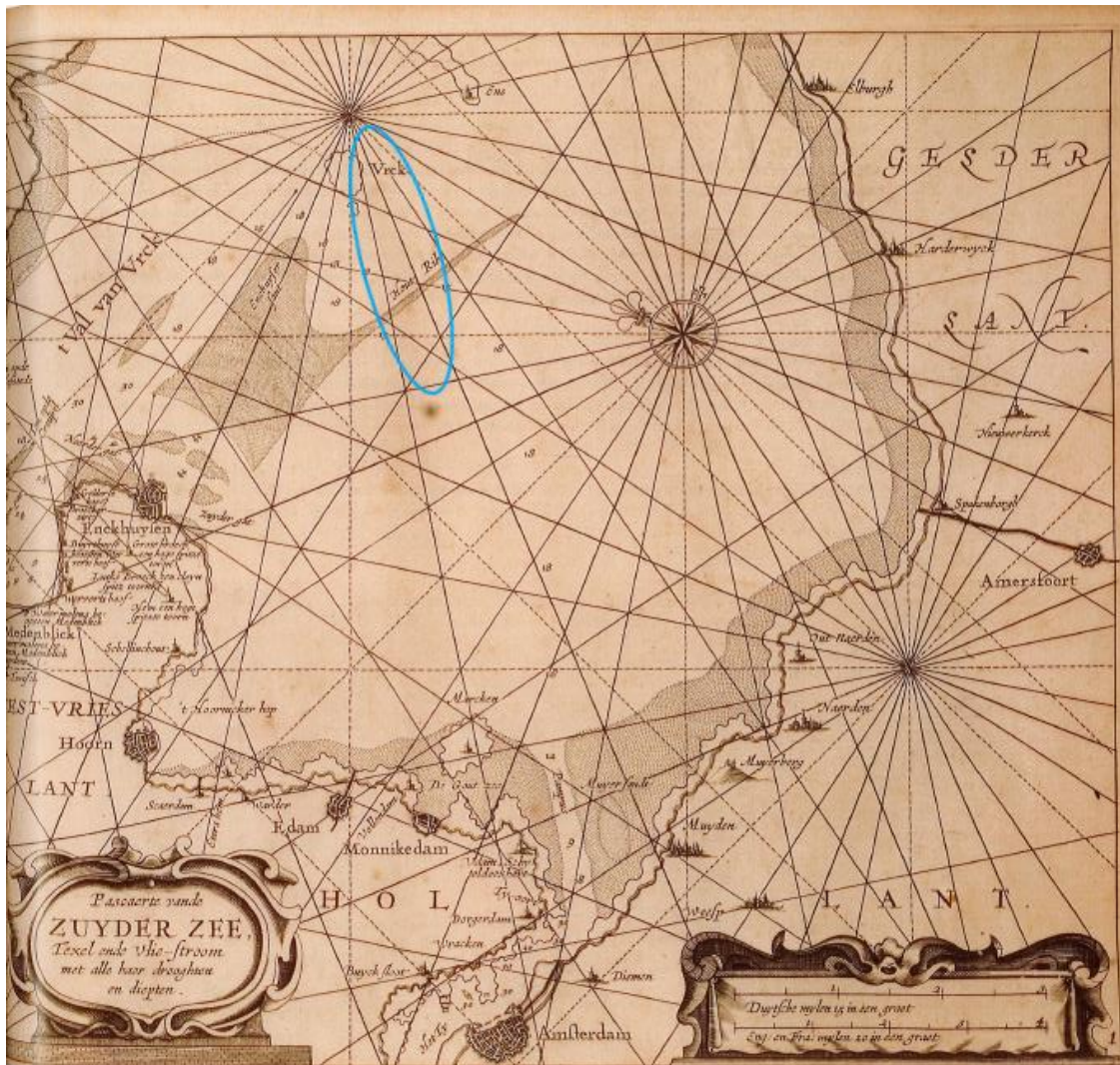
<sup>15</sup> Peters/Peeters (red.) 2001.

<sup>16</sup> Bulten/Van der Heijden/Hamburg 2002.

<sup>17</sup> Ten Anscher 2012.

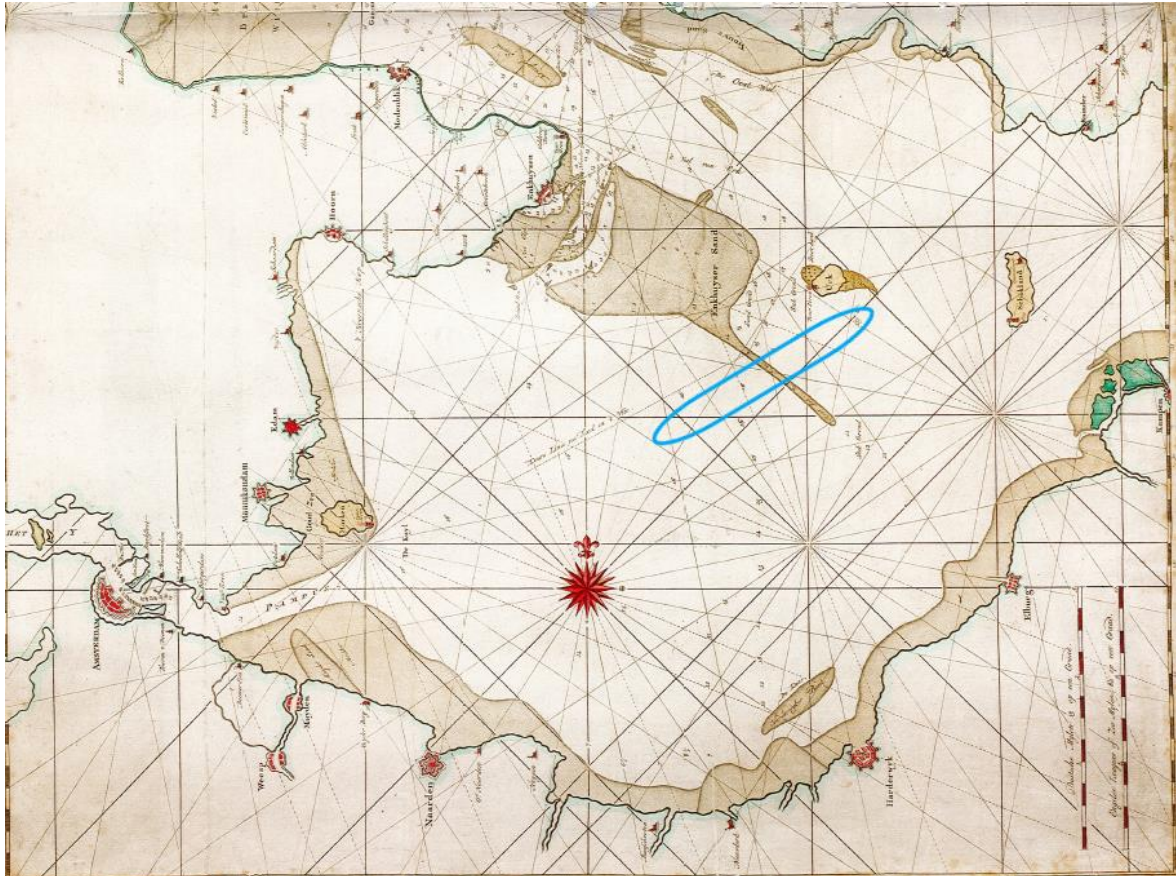
<sup>18</sup> Raemakers et al. 2005.

gebied gaandeweg vanaf de IJertijd. In de Romeinse Tijd ontstond een open merengebied, dat zich steeds verder uitbreidde en na verloop van tijd in verbinding met de Noordzee kwam te staan. In de Vroege Middeleeuwen werd dit het Almere genoemd. Op verschillende plaatsen in de Noordoostpolder, Oostelijk Flevoland (veenrug Schokland-Elburg) en Zuidelijk Flevoland (polder en dorp Arkemheen) zijn verspoelde middeleeuwse bewoningssporen bewaard gebleven. De eilanden Urk en Schokland kenden oorspronkelijk een veel grotere omvang dan op het moment van inpoldering en de kustlijn ten zuiden van Lemmer, ten westen van Kuinre-Blankenham en ten westen van Vollenhove (Kraggenburg), lag veel verder terug in de zee. Schokland en Elburg waren verbonden door een veenrug en bij Nijkerk strekte de polder Arkemheen zich een eind westwaarts uit, de zee in.



Afbeelding 9 Uitsnede historische kaart Johannes Janssonius (ca. 1650). Het plangebied is globaal in blauw aangegeven. Bron: Walsmit *et al.* 2009.





Afbeelding 10 Uitsnede historische kaart Gerard Hulst van Keulen (ca. 1780). Het plangebied is globaal in blauw aangegeven. Bron: Walsmit et al. 2009.

Door aanhoudende stormvloed en in de Middeleeuwen breidde het Almere zich uit tot de Zuiderzee. De zee zorgde voor visserij en de een verbindingsroute voor transport en handel. Wel heeft de zee zijn tol geëist, getuige het grote aantal scheepswrakken dat sinds de droogmaking en inrichting van Flevoland is ontdekt. In totaal gaat het voor Flevoland om 430 bekende scheepswraklocaties.<sup>19</sup> Veel van deze wrakken zijn direct na de inpoldering geruimd. Op kaarten uit de 17<sup>e</sup> eeuw van Johannes Janssonius (afbeelding 9) en uit de 18<sup>e</sup> eeuw van Gerard Hulst van Keulen (afbeelding 10) is te zien dat het plangebied bij een ondiepte ligt, de Houtrib, een uitsteeksel van het Enkhuyzerzand, op enige afstand van de eilanden Urk en Schokland. Voor het buitendijkse plangebied is het vooral van belang dat het plangebied bij de scheepvaart routes ligt tussen Amsterdam en Kampen, en met een omweg rond het Enkhuyzerzand, richting de Noord- en Waddenzee; daarnaast lag het plangebied op de route vanuit Harderwijk en Elburg richting het noorden.

De eerste plannen voor het afsluiten van de Zuiderzee van de Noordzee dateren – voor zover bekend – uit de 17e eeuw. Pas in 1916 kwam een voorlopig wetsontwerp tot stand waarin onder andere de instelling van de Zuiderzeeraad (1918) en de Dienst Zuiderzeewerken (1919) vastgelegd. In de daarop volgende jaren werd de Afsluitdijk aangelegd. Het laatste gat, het westelijke sluitgat van de Vlieter, werd op 28 mei 1932 gesloten. De Noordoostpolder was de eerste van de vier geplande IJsselmeerpolders. De eilanden Schokland en Urk kwamen binnen de polder te liggen. Na enkele planwijzigingen werd in 1937 begonnen met de aanleg van de dijken waaraan tot eind 1940 werd gewerkt. In 1941 begon – onder Duitse bezetting - de ontginning en legde men de eerste wegen aan. Op 9 september 1942 viel de polder droog. In 1949 werd besloten de droogleggingswerken te hervatten door met de zogeheten Oostpolder (Oost Flevoland) te beginnen. Uit de Marshallhulp kwam in 1950 een bedrag beschikbaar voor de inpoldering. Om economische redenen werd besloten de inpoldering in twee etappes uit te voeren, eerst Oostelijk

<sup>19</sup> Van Popta 2012, 6.

Flevoland, daarna Zuidelijk Flevoland. De dijk aanleg ging van start op 2 juni 1952. Door de watersnoodramp van 1953 lag het werk noodgedwongen bijna een jaar stil, omdat het zware materieel bij het Zeeuwse dijkherstel moest worden ingezet. In het voorjaar 1954 kon het werk worden hervat, waarna de dijk op 13 september 1956 gesloten werd.<sup>20</sup> Op 29 juni 1957 viel Oostelijk Flevoland droog en begon het cultuurrijp maken. Allereerst werd de polder vanuit een helikopter met rietzaad ingezaaid omdat riet veel water aan de ondergrond onttrekt en het onkruid verstikt. Vervolgens kwam vanuit het noordoosten de ontginning op gang. De nieuwe polder zou vooral ook de bevolking van de inmiddels overvolle Randstad moeten gaan opvangen. In de nieuw aan te leggen polder kreeg dan ook uiteindelijk 25 procent van de grond geen landbouwbestemming meer.<sup>21</sup> Het werk aan Zuidelijk Flevoland begon aan de oorspronkelijk als oostelijke dijk van de Markerwaard gedachte dijk van Lelystad richting Pampus. In 1959 kwam deze Oostvaardersdiepdijk gereed, waarna het nog enige jaren zou duren alvorens de resterende dijken langs de randmeren gesloten werden. Dit gebeurde op 25 oktober 1967, waarna de polder op 29 mei 1968 droogviel. Na verdere aftrek van gronden voor stadsontwikkeling en andere bestemmingen (zoals de Oostvaardersplassen) bleef ten slotte minder dan de helft van de polder over voor de landbouw.<sup>22</sup>

#### Cultuurhistorie / Bouwhistorische waarden (LS04)

Voor de inventarisatie van de cultuurhistorische en bouwhistorische waarden zijn de volgende bronnen geraadpleegd:

- het rijksmonumentenregister;<sup>23</sup>
- de Cultuurhistorische Waardenkaart van de provincie Flevoland;<sup>24</sup>
- de lijst van gemeentelijke monumenten in de gemeente Lelystad;<sup>25</sup>
- de lijst van gemeentelijke monumenten in de gemeente Dronten;<sup>26</sup>
- Cult-GIS;<sup>27</sup>
- de MIP-objecten;<sup>28</sup>

Binnen het buitendijkse plangebied bevinden zich geen Rijks- of gemeentelijke monumenten of andere gewaardeerde objecten. Binnen het gedeelte van de landbodem (bureauonderzoek V2031) bevinden zich eveneens geen cultuurhistorische waarden in de vorm van Rijksmonumenten of gemeentelijke monumenten. Binnen de contouren van het plangebied landbodem bevinden zich drie cultuurhistorisch waardevolle elementen; het dijklichaam zelf (tevens aangegeven op de provinciale cultuurhistorische waardenkaart), het kunstwerk Hevelhuisje en de sluitsteen Lelystad – IJsselmeerdijk. In het rapport V2031 voor de landbodem is geadviseerd het kunstwerk en de sluitsteen terug te laten komen in het nieuwe ontwerp, zodanig dat dit herkenbaar blijft in het landschap. In feite geldt het zelfde voor het dijklichaam, al zullen de geplande ingrepen geen wezenlijke veranderingen aanbrengen aan het karakter en uiterlijk van de dijk, en zullen deze alleen maar de cultuurhistorische waarde van de dijk behouden en versterken. Tenslotte kan worden vermeld dat delen van het plangebied door de provincie als Aardkundig waardevol aangemerkt zijn (Kaart 7).

### 3.3 Archeologische waarden (LS04)

Voor de archeologische gegevens omtrent het plangebied is het Archeologisch Informatiesysteem (Archis) geraadpleegd, dat alle geregistreerde archeologische monumenten, onderzoeken, en waarnemingen/vondstlocaties bevat (kaart 4). Voor de beschrijving van de bekende archeologische waarden is gekozen voor een relatief smalle buffer van 100 meter, omdat de binnen deze buffer aanwezige

<sup>20</sup> Stenvert/Kolman 36-37.

<sup>21</sup> Stenvert/Kolman 2006, 37.

<sup>22</sup> Stenvert/Kolman 2006, 39-41.

<sup>23</sup> <https://monumentenregister.cultureelerfgoed.nl/>.

<sup>24</sup> <http://kaart.flevoland.nl/cultuurhistorie/>.

<sup>25</sup> [https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst\\_van\\_gemeentelijke\\_monumenten\\_in\\_Lelystad](https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst_van_gemeentelijke_monumenten_in_Lelystad).

<sup>26</sup> [https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst\\_van\\_gemeentelijke\\_monumenten\\_in\\_Dronten](https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst_van_gemeentelijke_monumenten_in_Dronten).

<sup>27</sup> <https://rce.webgispublisher.nl/Viewer.aspx?map=CultGIS#>.

<sup>28</sup> <https://www.cultureelerfgoed.nl/publicaties/publicaties/2019/01/01/mip-objecten>.

meldingen in Archis representatief zijn voor de binnen het plangebied mogelijk aanwezige archeologische waarden (resten uit het Mesolithicum/Neolithicum, en scheepswrakken uit de Late Middeleeuwen/Nieuwe tijd).

AMK-nr.	Waarde	Toponiem	Complex en periode	Opmerkingen
12500	Terrein van hoge archeologische waarde	Rivierduingebied Swifterbant	Nederzetting, onbepaald (Mesolithicum-Neolithicum vroeg), Nederzetting, onbepaald (Neolithicum midden)	Terrein met enkele rivierduinen waarop naast Mesolithische resten ook Swifterbantresten uit het Vroeg-Neolithicum zijn aangetroffen.
12510	<b>Terrein van hoge archeologische waarde</b>	<b>Rivierduingebied Swifterbant</b>	<b>Nederzetting, onbepaald (Mesolithicum-Neolithicum vroeg), Nederzetting, onbepaald (Neolithicum midden), Scheepvaart (Middeleeuwen laat B-Nieuwe tijd)</b>	<b>Terrein met enkele rivierduinen waarop naast Mesolithische resten ook Swifterbantresten uit het Vroeg-Neolithicum zijn aangetroffen. Ook zijn binnen het gebied volgens de toelichting enkele scheepswrakken aangetroffen.</b>

Tabel 2 AMK-terreinen binnen 100 m van het plangebied. Vetgedrukt = binnen plangebied. Bron: Archis3.

Binnen een straal van 100 m rondom het plangebied liggen twee AMK-terreinen; AMK-terrein 12500 binnen de gemeente Lelystad en AMK-terrein 12510 binnen de gemeente Dronten (die ook net binnen het plangebied valt). In beide gevallen gaat het om het Rivierduingebied Swifterbant; terreinen met daarin sporen van enkele rivierduinen waarop naast Mesolithische resten ook Swifterbantresten uit het Vroeg-Neolithicum worden verwacht. Naast rivierduinen liggen ook enkele geulen met bij behorende oeverwallen in het gebied. Op de onderzochte oeverwallen zijn resten van Swifterbantnederzettingen en begravingen gevonden. Bij AMK-nr. 12510 wordt tevens melding gemaakt van de aanwezigheid van scheepswrakken.

Zaak ID	Periode begin	Periode eind	Materiaal	Opmerkingen
3119823100	<b>Middeleeuwen Laat B</b>	<b>Middeleeuwen Laat B</b>	<b>Hout, ijzer, metaal</b>	<b>Schip, anker, staaf, zwaard 14<sup>e</sup> eeuws</b>
2860194100	<b>Mesolithicum</b>	<b>Neolithicum</b>	<b>Bot dierlijk</b>	<b>Gewij, T-bijl</b>
3116372100	<b>Paleolithicum</b>	<b>Nieuwe tijd</b>	<b>Bot dierlijk</b>	<b>Gewei, afval</b>

Tabel 3 Vondstlocaties in het plangebied zelf en in een straal van 100 meter rondom het plangebied. Vetgedrukt = binnen plangebied. Bron: Archis3.

Binnen een straal van 100 m rondom het plangebied staan drie vondstlocaties geregistreerd in Archis3, afkomstig van baggerwerkzaamheden. De toelichting bij Zaak ID 3119823100 vermeldt dat het om vondsten gaat uit 1954, opgebaggerd tijdens werkzaamheden aan de bouw van de dijk rond Oostelijk Flevoland, nabij Lelystad. In de toelichting staat dat het gaat om hout van een schip (aantal: 9999, dus onbepaald), 1 ijzeren anker; 1 metalen staaf; en 1 zwaard uit de 14<sup>e</sup> eeuw. De afgeronde coördinaten doen vermoeden dat het om een 'verzamel'-melding gaat. De andere twee vondstlocaties hebben betrekking op vondsten van dierlijk bot/gewei, als losse vondsten tijdens het baggeren.



Zaak ID	Jaartal	Type ozk	Naam	Plaats
2034836100	10816	booronderzoek		Kampen
<b>2035062100</b>	<b>10128</b>	<b>geofysisch onderzoek</b>		<b>Onbekend</b>
<b>2079354100</b>	<b>10126</b>	<b>geofysisch onderzoek</b>		<b>Onbekend</b>
2079362100	10138	geofysisch onderzoek		Lelystad
<b>2119279100</b>	<b>17350</b>	<b>bureauonderzoek</b>	<b>Nabij Flevocentrale</b>	<b>Lelystad</b>
<b>2163829100</b>	<b>23636</b>	<b>bureauonderzoek</b>	<b>Flevokust</b>	<b>Lelystad</b>
<b>2178474100</b>	<b>25788</b>	<b>bureauonderzoek</b>	<b>PARK Rivierduinengebied Swifterbant</b>	<b>Swifterbant</b>
<b>2179892100</b>	<b>26004</b>	<b>booronderzoek</b>	<b>Gasleiding</b>	<b>Onbekend</b>
<b>2180352100</b>	<b>26074</b>	<b>booronderzoek</b>	<b>Flevokust</b>	<b>Lelystad</b>
<b>2238495100</b>	<b>34300</b>	<b>bureauonderzoek</b>	<b>Ketelmeer West</b>	<b>Ketelhaven</b>
2275041100	39374	archeologisch: onderwaterarcheologie	Ketelmeer-West	Ketelhaven
<b>2361314100</b>	<b>50993</b>	<b>begeleiding</b>	<b>Ketelmeer West</b>	<b>Dronten</b>
<b>2392395100</b>	<b>55029</b>	<b>bureauonderzoek</b>	<b>Houtribdijk</b>	<b>Enkhuizen</b>
<b>2457616100</b>	<b>63370</b>	<b>bureauonderzoek</b>	<b>Flevokust</b>	<b>Lelystad</b>
<b>2474529100</b>	<b>65527</b>	<b>booronderzoek</b>	<b>Flevokust</b>	<b>Lelystad</b>
<b>2475663100</b>	<b>65672</b>	<b>bureauonderzoek</b>	<b>Het Markermeer en IJmeer in beeld</b>	<b>Markermeer</b>
<b>2484110100</b>	<b>66778</b>	<b>geofysisch onderzoek</b>	<b>IJsselmeer</b>	<b>Lelystad</b>
<b>3979704100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>geofysisch onderzoek</b>		<b>Lelystad</b>
3979972100	n.v.t.	booronderzoek		Lelystad
<b>3979980100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>booronderzoek</b>		<b>Lelystad</b>
3984320100	n.v.t.	bureauonderzoek		Lelystad
3984750100	n.v.t.	bureauonderzoek		Swifterbant
<b>4010100100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>bureauonderzoek</b>		<b>Lelystad</b>
4015326100	n.v.t.	geofysisch onderzoek		IJsselmeer
<b>4035033100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>geofysisch onderzoek</b>		<b>IJsselmeer</b>
<b>4550697100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>booronderzoek</b>		<b>IJsselmeer</b>
<b>4554999100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>bureauonderzoek</b>		<b>IJsselmeer</b>
4555654100	n.v.t.	archeologisch: duikactiviteiten		IJsselmeer
<b>4564434100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>bureauonderzoek</b>		<b>Lelystad</b>
<b>4577387100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>geofysisch onderzoek</b>	<b>Windplan Blauw</b>	<b>IJsselmeer</b>
<b>4614621100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>bureauonderzoek</b>		<b>Lelystad</b>
<b>4634101100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>booronderzoek</b>		<b>Lelystad</b>
<b>4635252100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>booronderzoek</b>		<b>Swifterbant</b>
<b>4637472100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>bureauonderzoek</b>		<b>Swifterbant</b>
4820459100	n.v.t.	bureauonderzoek		Lelystad
<b>4879841100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>booronderzoek</b>		<b>Lelystad</b>

4882157100	n.v.t.	bureauonderzoek		Lelystad
4900349100	n.v.t.	bureauonderzoek		IJsselmeer
<b>4928140100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>bureauonderzoek</b>		<b>Lelystad</b>
<b>5058891100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>bureauonderzoek</b>		<b>Lelystad</b>
<b>5059660100</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>bureauonderzoek</b>		<b>Lelystad</b>

Tabel 4 Onderzoeken in het plangebied zelf en in een straal van 100 meter rondom het plangebied. Vetgedrukt = binnen plangebied. Bron: Archis3.

Binnen een straal van 100 m staan 41 onderzoeken in Archis geregistreerd; 20 bureauonderzoeken, 8 booronderzoeken, 8 geofysische onderzoeken, 2 duikonderzoeken en 1 begeleiding. Binnen het plangebied zelf zijn 31 onderzoeken uitgevoerd, althans, waarvan de begrenzing overlapt met die van het onderhavige onderzoek. Het gaat dan om 16 bureauonderzoeken, 8 booronderzoeken, 6 geofysische onderzoeken, en 1 begeleiding. Een aantal van die onderzoeken heeft een ruim genomen plangrens zodat deze niet daadwerkelijk betrekking heeft op het onderhavige plangebied.

De onderzoeken die voor de archeologische verwachting van het buitendijkse plan gebied het meest van belang zijn, zijn booronderzoeken die de diepere ondergrond onder de waterbodem in kaart moeten brengen, en geofysische onderzoeken (meestal in de vorm van side scan sonaronderzoek van de waterbodem) gericht op objecten op de waterbodem zoals scheepswrakken.

Van de acht booronderzoeken die overlappen met het onderhavige plangebied, zijn er vijf die op land zijn uitgevoerd, met een begrenzing in Archis die doorloopt tot in het IJsselmeer. Van de drie booronderzoeken op water blijken er uiteindelijk slechts twee booronderzoeken te zijn waarbij ook daadwerkelijk boringen in de waterbodem binnen het onderhavige plangebied zijn gezet. Het eerste onderzoek is het booronderzoek dat in 2015 door Vestigia is uitgevoerd onder Zaak ID 2474529100, in het kader van de voorgenomen aanleg van de Terminal Flevokust, bij de Maxima-centrale (Lelystad).<sup>29</sup> Destijds zijn vanaf een platform binnen een vlak van ca. 5 hectare 30 boringen gezet tot maximaal 13 meter onder de waterspiegel, waarbij de kolom water ca. 4,5 meter bedroeg. Tevens zijn vier boringen van een externe partij (Fugro) binnen een uit te diepen vaargeul geanalyseerd. Tijdens het onderzoek werd het verwachtingsmodel op basis van de RIJP boringen bevestigd, in de vorm van een dekzandlandschap met een duintje, en op een hoger niveau een Wormerkreek die zich voortzette richting het Swifterbant gebied (*afbeelding 9*). In een karterende fase zijn door Vestigia extra boringen gezet in de waterbodem (Zaak ID 3979980100 voor de locatie van de terminal en 3979972100 voor de locatie van de uit te diepen vaargeul, *afbeelding 12 en 13*).<sup>30</sup> Bij de terminal werden geen archeologische indicatoren of vindplaatsen aangetroffen, hoewel op basis van de aangetroffen gerijpte oeverwalafzettingen bewoning geenszins kon worden uitgesloten. Bij de vaargeul werden eveneens relatief hooggelegen gerijpte oeverwal afzettingen aangetroffen. Op basis van de boringen was de loop van de oeverwallen niet goed te reconstrueren. Geadviseerd is om verder karterend onderzoek uit te voeren. Voor zover bekend heeft dat (nog) niet plaatsgevonden.

Het booronderzoek met Zaak ID 4550697100 is uitgevoerd in het kader van de verdieping van de vaargeul Molenrak, een verkennend booronderzoek van 20 boringen op vier ver van elkaar afgelegen locaties. Hoewel de begrenzing van het plangebied in Archis overlapt met het onderhavige onderzoek, zijn de boringen ver buiten het onderhavige plangebied gezet (ca. 300-400 m afstand). Gezien het geclusterde karakter en de afstand van het onderhavige plangebied is de zeggingskracht voor het onderhavige onderzoek beperkt.

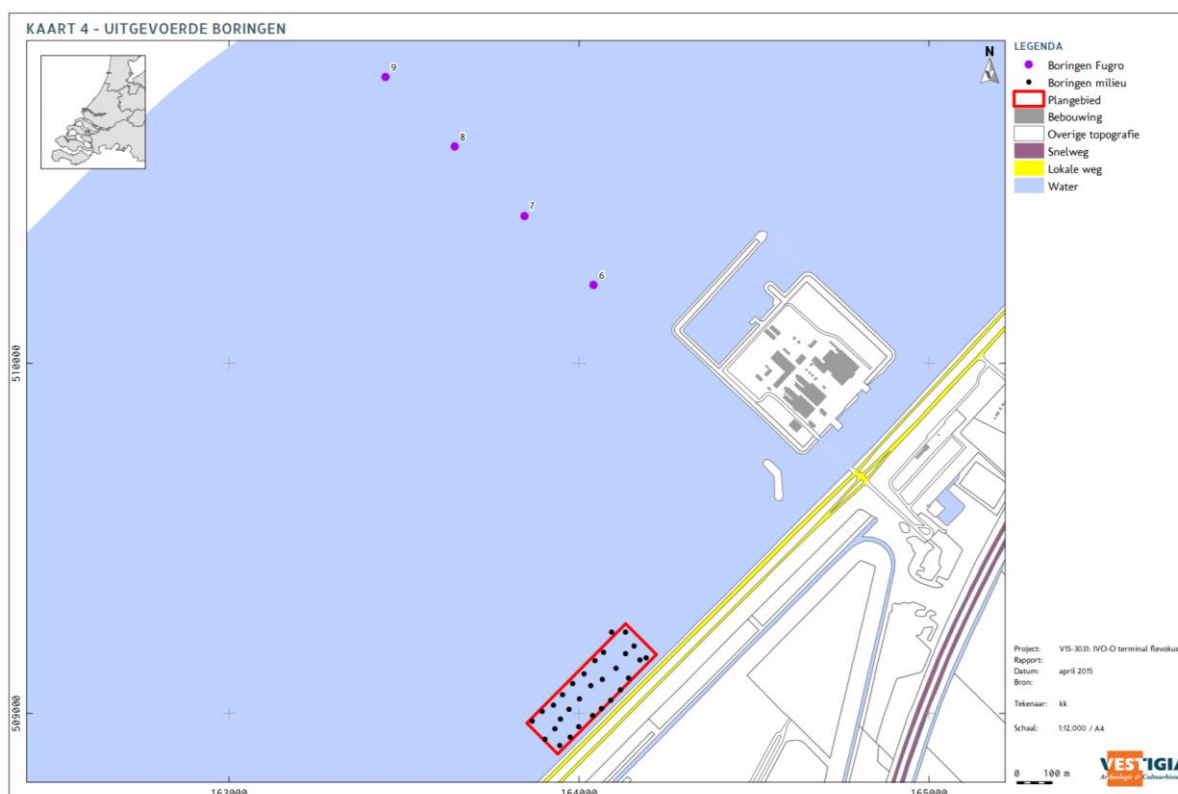
In 2015 is bij de Terminal Flevokust ook een geofysisch onderzoek uitgevoerd met Zaak ID 2484110100. Er zijn 37 nader te onderzoeken sonarcontacten onderscheiden waarbij uiteindelijk 1 als een mogelijk scheepswrak is geïdentificeerd. Het gaat om een object van 14 meter lengte, 4 meter breed met aanduiding 'sonarcontact 1' (*afbeelding 14*). Omdat het object buiten het betreffende plangebied was gelegen waar

<sup>29</sup> Van Heeringen/Klerks 2015.

<sup>30</sup> Van Heeringen/Schrijvers 2015.

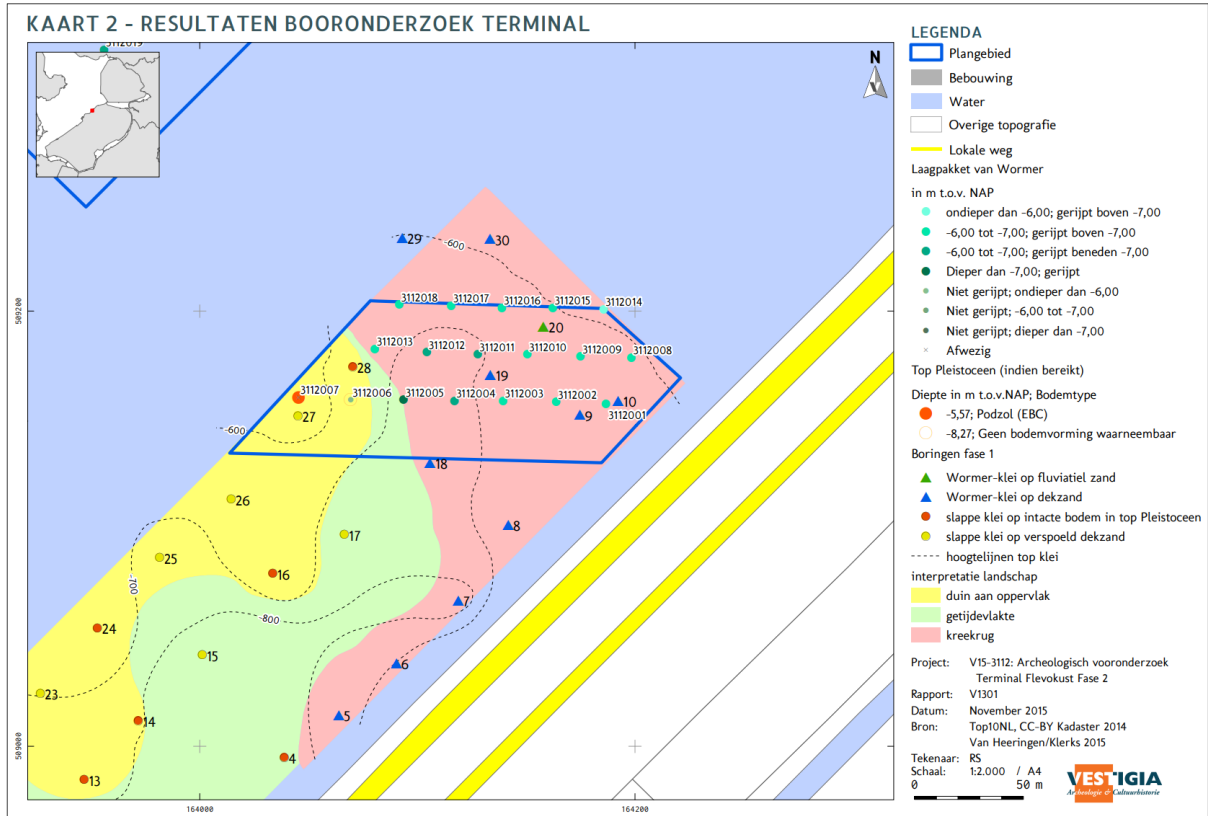
ingrepen waren gepland, is geen vervolg geadviseerd. Echter, uit nadere bestudering van de ruwe sonaropname is later geconcludeerd dat de vorm in de bodem een ankerspoor is, en geen scheepswrak.<sup>31</sup>

In verband met het project Windplan Blauw is in 2018 een sonaronderzoek uitgevoerd met Zaak ID 4577387100. Dit sonaronderzoek omvat ook delen van het onderhavige plangebied. Hierbij zijn veel 'contacten' aangetroffen, veelal autobanden of kleine objecten die gedumpt of verloren zijn. Hierbij zijn geen objecten aangetroffen die als scheepswrak zijn geïdentificeerd (afbeelding 15).

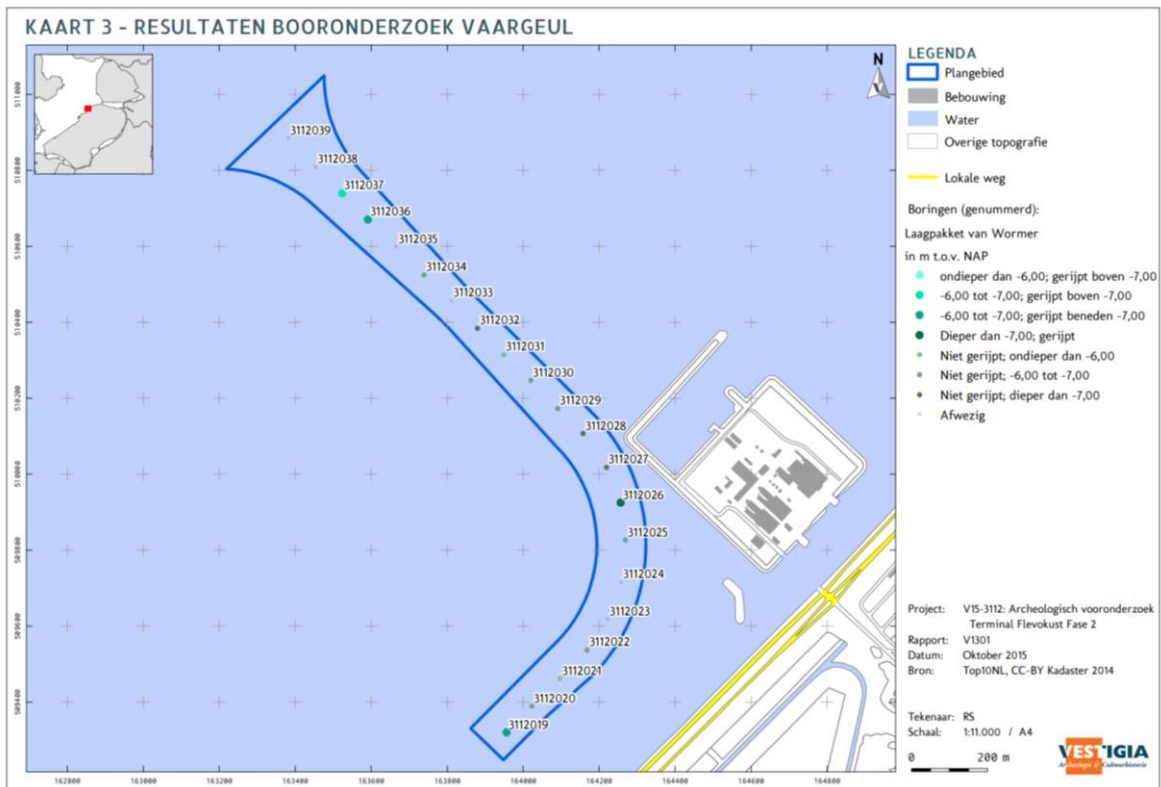


Afbeelding 11 Locatie boorpunten verkennend booronderzoek Terminal en Vaargeul Flevokust. Bron: Van Heeringen/Klerks 2015.

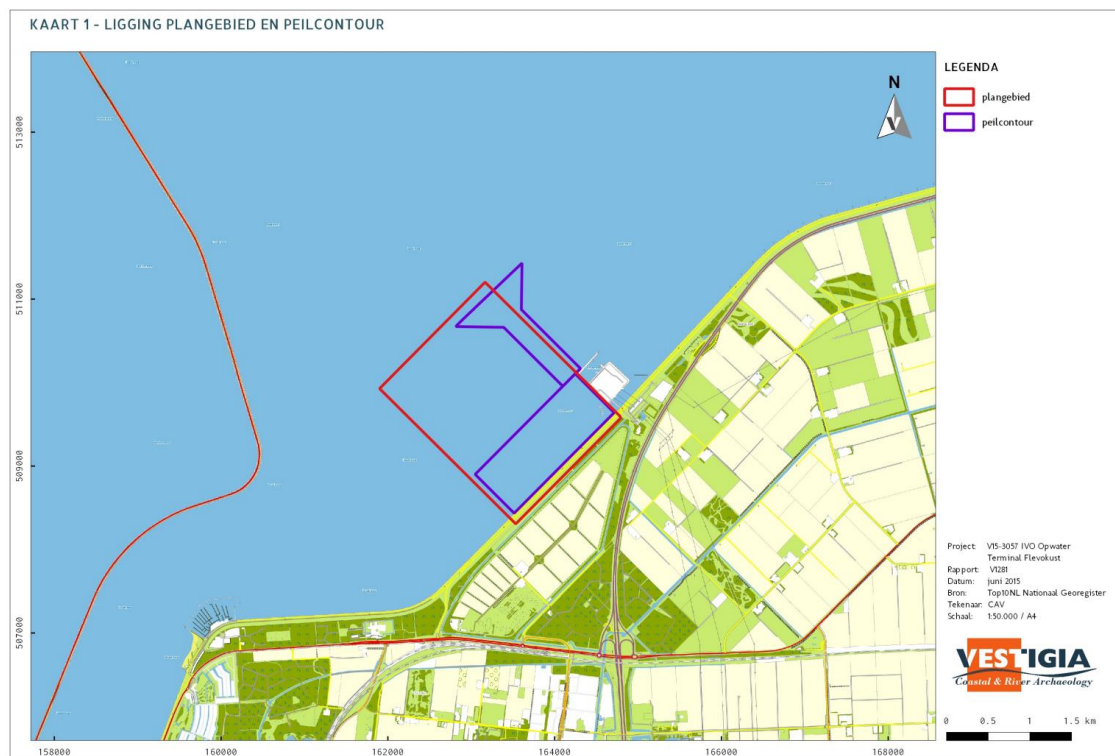
<sup>31</sup> Van den Brenk/Van Lil 2015, 17.



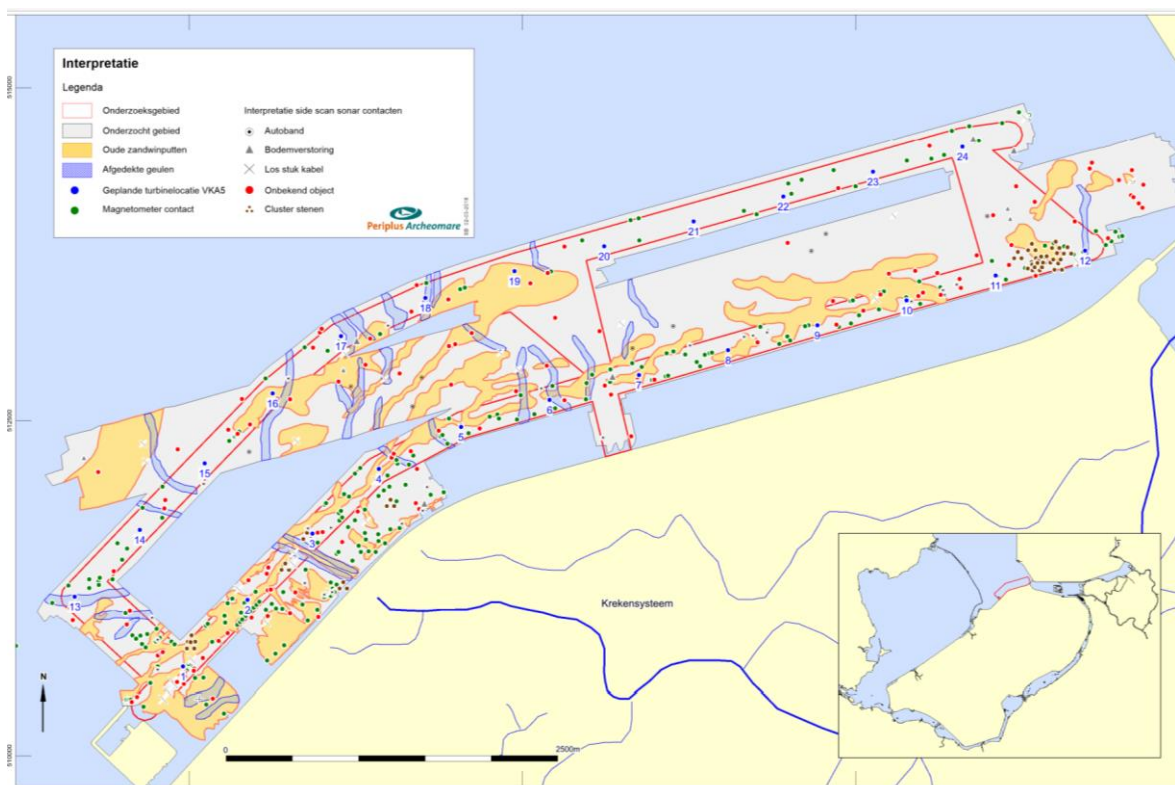
Afbeelding 12 Locatie boorpunten karterend booronderzoek Terminal Flevokust. Bron: Van Heeringen/Schrijvers 2015.



Afbeelding 13 Locatie boorpunten karterend booronderzoek Vaargeul Flevokust. Bron: Van Heeringen/Schrijvers 2015.

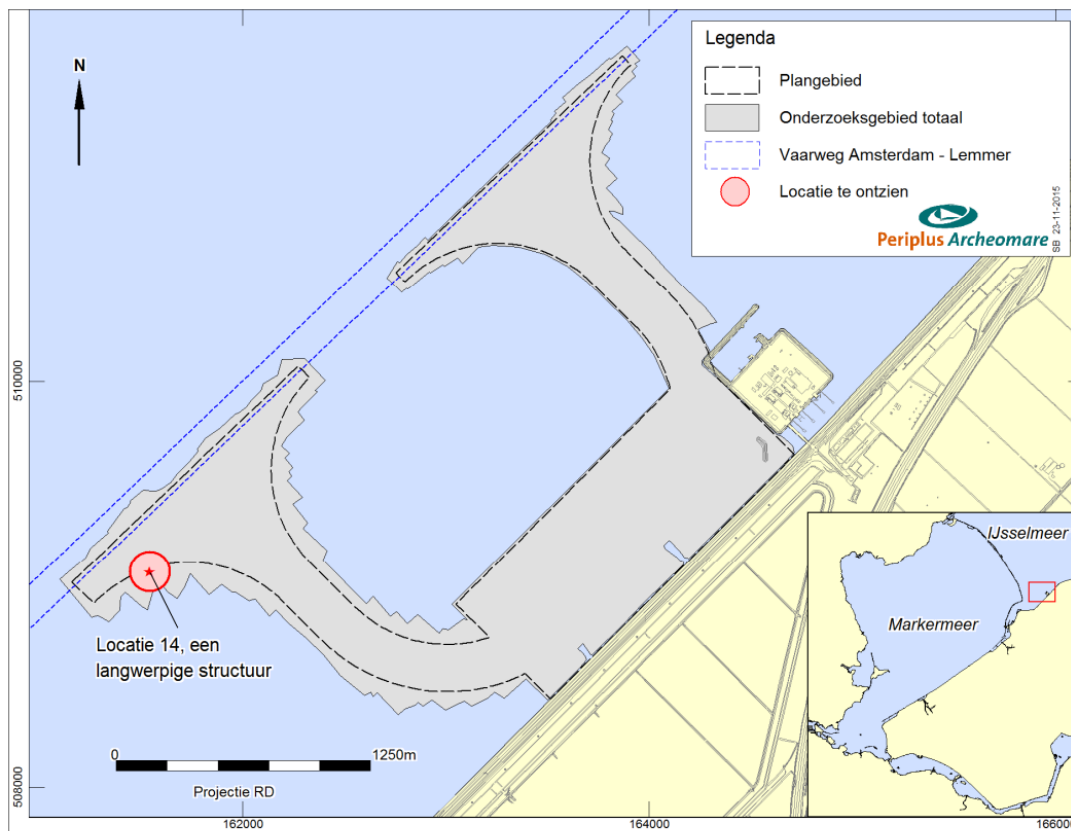


Afbeelding 14 Locatie sonaronderzoek Terminal Flevokust (in baars). Bron: Visser/Van Heeringen 2015.



Afbeelding 15 Locatie sonaronderzoek Windplan Blauw. Bron: Van den Brenk/Van Lil 2018.





Afbeelding 16 Locatie sonaronderzoek Flevokust Zuidelijke Vaargeul. Bron: Van den Brenk/Van Lil 2015.

In 2015 is een sonaronderzoek uitgevoerd bij de zuidelijke vaargeul voor Terminal Flevokust met Zaak ID 3979704100 (afbeelding 17). Bij dit onderzoek (in het gebied van de zuidelijke vaargeul en een uitbreiding noordelijke vaargeul) zijn op 23 locaties contacten aangetroffen met side scan sonar en multibeam. Het merendeel van deze contacten bestonden uit sleepsporen van ankers en (recente) objecten die verloren of gedumpt zijn, zoals losse stukken kabel. Op één locatie (buiten het onderhavige plangebied) is een structuur aangetroffen waar een archeologische verwachting aan is toegekend. Dit betreft een licht gebogen structuur met een lengte van bijna 10 meter, goed zichtbaar op zowel de sonar- als de multibeambeelden. Mogelijk betreft dit een (onderdeel van) een scheepswrak. Geadviseerd is om deze structuur inclusief een bufferzone van 100 meter rondom te ontzien bij de geplande werkzaamheden. Indien dit niet mogelijk is, is geadviseerd vervolgonderzoek uit te voeren.

### Scheepswrakken

In deze en de vorige paragrafen is al vermeld dat op of direct onder de waterbodem binnen het plangebied scheepswrakken of -wrakresten kunnen worden aangetroffen. In Oostelijk Flevoland, wat eens waterbodem was, zijn ongeveer 100 scheepswrakken gevonden (ongeveer 430 in heel Flevoland), op de plek waar ze na het oplopen van averij gezonken zijn en op de zeebodem zijn vastgelopen. Ze zijn veelal gevonden bij het aanleggen van drainage of bij andersoortige ontginningswerkzaamheden aan het begin van de inpoldering. Nog steeds worden op land bij grondwerkzaamheden scheepswrakken ontdekt. De oudste nog in de bodem te verwachten scheepswrakken dateren uit de 14<sup>e</sup> eeuw.

Zoals al is aangegeven in het bureauonderzoek voor het landgedeelte, is de verwachting voor het aantreffen van scheepswrakken voor het watergedeelte niet hoger/lager dan voor de landbodem van Flevoland. Op basis van een ruimtelijke analyse van bekende scheepswrakken is berekend dat de gemiddelde dichtheid van scheepswrakken in Flevoland 0,3/km<sup>2</sup> bedraagt.<sup>32</sup> De kans op het aantreffen van

<sup>32</sup> Van Popta 2012, 12/13.



scheepsresten binnen het onderhavige plangebied is daarmee aanwezig, maar wordt als laag geschat. Op land worden scheepswrakken of onderdelen van schepen voornamelijk bij toeval tijdens grondverzet gevonden omdat ze met de gebruikelijke archeologische opsporingstechnieken nog niet van te voren kostenefficiënt in kaart zijn te brengen; bij waterbodems gaat het meestal om wrakken die bij toeval door vissers of duikers, of door middel van gericht geofysisch onderzoek/sidescan sonar zijn opgespoord.<sup>33</sup>

Zoals al eerder is vermeld, dient te worden opgemerkt dat in de jaren 50 van de vorige eeuw op grote schaal zandwinputten zijn aangelegd, waardoor een aanzienlijk deel van de waterbodem binnen het plangebied is verstoord.

In het kader van het onderhavige bureauonderzoek zijn maritieme databases zoals de Scheepswrakken Database Flevoland (SDF3), MACHU en MaSS geraadpleegd, waarbij is gebleken dat binnen het onderhavige plangebied geen bekende scheepswrakken zijn geregistreerd (zie kaart 5).<sup>34</sup>

### Tweede Wereldoorlog

Gedurende de Tweede Wereldoorlog zijn tijdens de luchtoorlog vele vliegtuigen in het IJsselmeer gecrasht. Vele geallieerde bommenwerpers op weg naar, of afkomstig van doelen in Duitsland werden door luchtafweergeschut of (nacht)jagers aangevallen, om uiteindelijk neer te storten in het IJsselmeer. Tijdens de Tweede Wereldoorlog diende het IJsselmeer dikwijls ook als afwerplocatie van overtollige bommenlast of brandstof.

In het verliesregister zijn 145 meldingen van gecrashte vliegtuigen in het IJsselmeer geregistreerd.<sup>35</sup> Daarvan heeft het merendeel een grove locatieaanduiding (x aantal kilometers in de richting van y/ nabij x). Op basis van deze beschrijvingen kan er gesteld worden dat 34 vliegtuigen theoretisch ter hoogte van het plangebied in het IJsselmeer gecrasht kunnen zijn. In de Houtribhaven, ingeklemd tussen het plangebied, is op 15 april 1944 een Amerikaanse P-38 gevechtsvliegtuig neergestort. Op 24 september 1965 zijn de brokstukken reeds geborgen.<sup>36</sup> Hoewel er geen crashsites bekend zijn binnen het plangebied, kan dit ook niet geheel worden uitgesloten.

### 3.4 Archeologie en zetting

Voor de mogelijke geplande ingreep van ophoging is het onderwerp zetting van belang, voor het mogelijke effect op onderliggende archeologische resten. Voor de archeologische In het kader van het Programma Kennisontwikkeling Archeologie Hanzelijn (PKAH), is ten behoeve van het daarin gedefinieerde thema 2 'Mogelijkheden tot *in situ* conservering van begraven archeologische landschappen'<sup>37</sup>, onderzoek gedaan naar de invloed van tijdelijke en permanente afdekking of ophoging op maaiveld op de conservering van archeologische vindplaatsen in de ondergrond. Van de zetting die optreedt in met name veen- en kleilagen als gevolg van de aangebrachte ophoging wordt aangenomen dat deze ook de in die bodem aanwezige archeologische resten beïnvloedt, zowel in samendrukking als vervorming. In welke mate dit optreedt en leidt tot informatieverlies van een onder de ophoging aanwezige archeologische vindplaats, is afhankelijk van zowel de aard van de ophoging als de samenstelling van de ondergrond.

Voor het plangebied zijn zoals hiervoor is vastgesteld met name de niveaus van de top van het Pleistoceen en de Wormer van belang. Uit het PKAH-onderzoek komt naar voren dat "*testen die zijn uitgevoerd op matig fijn, zwak siltig zand, zoals Pleistoceen dekzand, laten zien dat het zand, maar ook kwetsbare resten in dit zand nauwelijks worden gecompriemd.*"<sup>38</sup> "*Organische resten in een kleiige matrix kunnen ook [een]*

---

<sup>33</sup> Muis/van den Brenk 2015.

<sup>34</sup> Popta/Van Holk, 2018; MaSS: <https://mass.cultureelerfgoed.nl/>.

<sup>35</sup> <https://verliesregister.studiegroepluchtoorlog.nl/zz.php>.

<sup>36</sup> <https://www.flevolanderfgoed.nl/home/erfgoed/oostelijk-flevoland-2/vliegtuigwrakken-2/lockheed-p-38j-lightning-42-67307>.

<sup>37</sup> Hessing et al. 2012.

<sup>38</sup> Müller et al. 2014, 222.

hoge belasting ondergaan (tot circa 370 kPa).<sup>39</sup> Dit zou ongeveer overeenkomen met een ophoging tot 20m. Het materiaal is tot dat punt nog herkenbaar en determineerbaar, maar er is dan al wel sprake van vastgelegde verplaatsing en samendrukking.<sup>40</sup> “ Veen[-] en kleilagen daarentegen kunnen wel in grote mate gecompriemd worden. In enkele gevallen nam de dikte van het monster met bijna 50% af”.<sup>41</sup> “Verkoelde organische resten ingebed in zand, lijken pas te degraderen bij belastingen van meer dan 1500 kPa, die vergelijkbaar zijn met een grondophoging van meer dan 88 m dik. Dergelijke grote ophogingen komen in de praktijk niet voor.”<sup>42</sup>

“Indien deze waarnemingen vertaald worden naar archeologisch relevante lagen in Flevoland dan zou gesteld kunnen worden dat voor vindplaatsen die in de top van het pleistocene dekzand liggen (bijvoorbeeld mesolithische vindplaatsen), belasting door ophoging nagenoeg geen effect heeft op de[ze] vindplaatsen”.<sup>43</sup>

Voor archeologische sporen/vullingen/lagen in een venige of kleiige matrix kan het volume tot 50% afnemen.<sup>44</sup>

“Delen van vindplaatsen die in het veen liggen, bijvoorbeeld afvallagen rondom donken, kunnen aanzienlijk gecompriemd worden. Vooral nog lijkt het dat de vondsten in dergelijke afvallagen niet snel zullen degraderen. Aan de andere kant kan een zeer dunne stratigrafie van verschillende afvallagen samengedrukt worden, zodat individuele lagen niet meer als zodanig herkenbaar zijn.”<sup>45</sup>

“Voor vindplaatsen die in een kleilaag liggen, bijvoorbeeld de oeverwallen bij Swifterbant waarop vroegneolithische vindplaatsen zijn aangetroffen, geldt eenzelfde scenario als voor veen (grote compactie en verplaatsing van materiaal)”.<sup>46</sup>

“Hoewel klei minder samendrukbaar is dan veen, speelt de aanwezigheid van een bijmenging met een zandige dan wel een organische fractie in de vaststelling van de gevoeligheid voor samendrukking een grote rol”.<sup>47</sup>

De top van de afzettingen van het Laagpakket van Wormer kan binnen het onderzoeksgebied op een diepte van 6 tot 7 meter beneden NAP voorkomen. In het geval van intacte oeverwalafzettingen betekent dit dat aan de voet van de huidige dijk kan corresponderen met een diepte van minder dan 2,5 meter beneden maaiveld. In dat geval zijn ook de effecten van de voorgenomen ophoging van belang. Weliswaar is de verwachting dat archeologisch vondstmateriaal in mogelijke vindplaatsen in het onderzoeksgebied intact blijft, maar de invloed van de ophoging op de samendrukking en/of vervorming van een mogelijke archeologische laag, en in hoeverre dit acceptabel is ten aanzien van de resterende informatiewaarde van de eventuele afgedekte archeologische vindplaats, is op dit moment nog niet vast te stellen. Hiervoor is vervolgonderzoek naar de samenstelling en de archeologische potentie van de ondergrond, gericht op het voorkomen van oeverwallen in het Laagpakket van Wormer, noodzakelijk.

“Verkoeld organisch materiaal in een archeologische vindplaats zal de druk van een 2,7 m hoog zandlichaam hoogst waarschijnlijk kunnen weerstaan.”<sup>48</sup>, waarbij genoemd moet worden dat het hier gaat om het meest kwetsbare vondstmateriaal. Op de testlocatie Dronten van het hier aangehaalde onderzoek, waar sprake was van een ophoging tot ongeveer 5,5 m, bedroeg de maximale verticale effectieve spanningstoename van 127 kPa<sup>49</sup>, duidelijk onder het niveau van de hierboven beschreven maximale belasting van 370 kPa op organische resten in een kleiige matrix. Ophogingen van 8-10 meter zouden mogelijk wel tot schade kunnen leiden.

---

<sup>39</sup> Müller et al. 2014, 232.

<sup>40</sup> Müller et al. 2014, 232.

<sup>41</sup> Müller et al. 2014, 222.

<sup>42</sup> Müller et al. 2014, 231.

<sup>43</sup> Müller et al. 2014, 222.

<sup>44</sup> Müller et al. 2014, 222.

<sup>45</sup> Müller et al. 2014, 222.

<sup>46</sup> Müller et al. 2014, 223.

<sup>47</sup> Müller et al. 2014, 223.

<sup>48</sup> Müller et al. 2014, 112.

<sup>49</sup> Müller et al. 2014, 194.

Hierbij wordt aanbevolen om op de betreffende locaties ook een Plaxis onderzoek uit te voeren naar de effecten van zetting. Plaxis onderzoek geeft weliswaar geen uitspraak over het eventuele informatieverlies van archeologische lagen of schade aan archeologische vondsten, maar kan wel enig inzicht bieden in de vervormingen die in de bodem plaatsvinden als gevolg van belasting, op basis waarvan men in ieder geval een inschatting kan maken van de gevolgen.

### 3.5 Gespecificeerde archeologische verwachting (LS05)

#### Paleolithicum – Mesolithicum

In principe kunnen binnen het gehele buitendijkse plangebied in de diepere ondergrond onder de waterbodembodem sporen van bewoning en gebiedsexploitatie voorkomen uit het Paleolithicum en het Mesolithicum. Indien aanwezig bevinden deze sporen zich in de top van het dekzand op overwegend 10 m -NAP. De archeologische sporen en resten kunnen bestaan uit paalkuilen, haardkuilen, houtskoolconcentraties, (vuur)stenen werktuigen en productieafval.

#### Swifterbantcultuur

Op een aantal locaties binnen het buitendijkse plangebied zijn oude getijdenafzettingen afgezet in de vorm van oeverwallen en beddingafzettingen. Op de oeverwallen kunnen zich archeologische waarden bevinden, daterend uit de midden fase van de Swifterbantcultuur (circa 5200-3800 v. Chr.). Het niveau waarop deze sporen te verwachten zijn bevindt zich binnen 6-7 m -NAP, met daarbinnen mogelijke opduikingen. De archeologische sporen en resten kunnen bestaan uit een archeologische bewoningslaag, paalkuilen, haardkuilen, houtskoolconcentraties, (vuur)stenen werktuigen en productieafval en (evt.) aardewerk.

#### Scheeps- en vliegtuigwrakken

Op of direct onder de waterbodembodem kunnen binnen het gehele plangebied scheepswrakken of -wrakresten worden aangetroffen uit de Late Middeleeuwen tot en met de Nieuwe tijd worden aangetroffen. Deze resten kunnen bestaan uit houten of metalen (delen van) scheepsrumpen, tuigage, lading en andere objecten. De kans op het aantreffen van scheepsresten binnen het plangebied wordt weliswaar als laag geschat, maar gezien het grote oppervlak van het plangebied is het echter niet denkbeeldig dat er toch dergelijke resten aanwezig zijn die door de ingrepen kunnen worden bedreigd. Tevens bestaat de mogelijkheid dat zich binnen het plangebied vliegtuigwrakken bevinden uit de Tweede Wereldoorlog. Hoewel er geen crashsites bekend zijn binnen het plangebied, kan dit ook niet geheel worden uitgesloten.

#### 4 Effectbeoordeling mogelijke ingrepen

Momenteel is er nog geen definitief ontwerp met locatie, aard en diepte/hoogte bekend. Op basis van de resultaten van het bureauonderzoek kan een algemeen advies worden gegeven omtrent het mogelijke effect van zowel bodemroerende ingrepen/graafwerkzaamheden (bijvoorbeeld bij baggeren of voor het verdiepen van een vaargeul), als van de effecten van ophoging.

Ingreep	Effect op archeologie
Afgraven/baggeren waterbodem tot -6 NAP (ca. 2 m waterbodem)	-- (scheepswrakken) -- (Swifterbantcultuur) 0 (Paleolithicum-Mesolithicum)
Afgraven/baggeren waterbodem dieper dan 6 NAP (ca. 2 m waterbodem)	-- (scheepswrakken) -- (Swifterbantcultuur) 0 (Paleolithicum-Mesolithicum)
Aanbrengen ophoging tot ca. 8 meter	-- (scheepswrakken) 0 (Swifterbantcultuur) 0 (Paleolithicum-Mesolithicum)
Aanbrengen ophoging meer dan ca. 8 meter	-- (scheepswrakken) -- (Swifterbantcultuur) 0 (Paleolithicum-Mesolithicum)

Tabel 5 Effectbeoordeling ingrepen

Het effect bij beide ontwerpen is in hoofdlijnen gelijk. Er is sprake van het afgraven van een cunet voor grondverbetering, en het aanbrengen van ophoging. Het afgraven of baggeren heeft bij beide ontwerpen een sterk negatief effect voor scheepswrakken en voor locaties met een verwachting op de Swifterbantcultuur; ophogen met name voor scheepswrakken (Kaart 8A en 8B).

De ervaring leert dat voor het ophogen van een dijklichaam dikwijls grote hoeveelheden zand moeten worden aangevoerd, waardoor schepen met een grotere diepgang zijn vereist. Dit kan leiden tot de noodzaak van baggeren of het uitgraven van vaargeulen. Dit heeft een groot effect op mogelijke scheepswrakken (vanaf elke diepte onder de waterbodem), en bij grotere diepte (6-7 m -NAP), ook op resten van de Swifterbant cultuur. Het niveau top dekzand met de verwachting voor Paleolithicum-Mesolithicum zal niet worden bereikt.

Voor ophoging geldt een groot risico op het vernietigen van scheepswrakken op of direct onder de waterbodem door zetting. Als de druk groot genoeg is, kan deze mogelijk ook resten van de Swifterbant cultuur beschadigen, al zal de ophoging daarvoor wel behoorlijk substantieel moeten zijn, ca. 8-10 m vanaf de waterbodem. Ophoging vormt niet of nauwelijks een bedreiging voor resten in de top van het pleistocene dekzand.

## 5 Advies vervolgonderzoek (LS06)

Op Kaart 8a zijn op basis van de bekende landschappelijke gegevens/RIJP boringen zones aangegeven waarvoor het advies vervolgonderzoek geldt bij gravende werkzaamheden die dieper gaan dan 50 cm in de waterbodem, vanwege het risico op archeologische vindplaatsen uit de Swifterbant cultuur. Tevens zijn dit locaties waar bij grootschalige ophoging schade kan ontstaan aan deze archeologische resten. Een mogelijk vervolgonderzoek kan bestaan uit het uitvoeren van een inventariserend veldonderzoek door middel van verkennende boringen (opwater), zoals bij de onderzoeken voor het project Flevokust. Op Kaart 8a is rekening gehouden met het gebied bij terminal Flevokust waar al eerder booronderzoek heeft plaatsgevonden. Geadviseerd wordt om zodra het definitief ontwerp bekend is (in planuitwerking), hiervoor een Archeologieplan op te stellen in overleg met het bevoegd gezag. In dit plan kan nader worden uitgewerkt binnen welke delen van het buitendijkse plangebied door welke geplande ingrepen mogelijke archeologische resten worden bedreigd, en welke onderzoeksstrategie het beste kan worden toegepast.

Kaart 8b is een advieskaart voor vervolgonderzoek ten aanzien van mogelijke scheepswrakken op of direct onder de waterbodem. Hierbij zijn gebieden uitgezonderd waar zandwinning heeft plaatsgevonden (waarbij mogelijke scheepswrakken waarschijnlijk reeds zijn meegezogen), en waar al eerder sidescan sonar en multibeam onderzoek is uitgevoerd. Scheepswrakken kunnen zowel door gravende als al door meer of minder grootschalige ophogingen worden bedreigd. De meest geëigende onderzoeksmethode voor het onderzoek naar scheepswrakken en andere objecten op of direct onder de waterbodem is onderzoek door middel van sidescan sonar en multibeam. Geadviseerd wordt om zodra het definitief ontwerp bekend is (in planuitwerking), hiervoor een Archeologieplan op te stellen in overleg met het bevoegd gezag. In dit plan kan nader worden uitgewerkt binnen welke delen van het buitendijkse plangebied door welke geplande ingrepen mogelijke archeologische resten worden bedreigd, en welke onderzoeksstrategie het beste kan worden toegepast.

Tenslotte wordt geadviseerd om voorafgaand aan de uitvoering een Werkprotocol Archeologische Toevalsvondsten op te laten stellen, waarbij de taken en verantwoordelijkheden van alle betrokken partijen uiteen worden gezet in geval bij de civiele werkzaamheden een scheeps- of vliegtuigwrak (of een andersoortige archeologische vondst) wordt aangetroffen. Op deze manier kunnen de civiele werkzaamheden met zo min mogelijk risico op stagnatie en bijkomende kosten worden uitgevoerd. Tevens verdient het de voorkeur om op voorhand al een standaard PvE op te stellen in geval er een scheeps- of vliegtuigwrak wordt aangetroffen, uitgaande van een waardering in geval mogelijke wrakresten worden aangetroffen (in navolging op een dergelijk PvE ten behoeve van de verbreding van de A6).

Het bevoegd gezag, de provincie Flevoland en de gemeenten Lelystad en Dronten, dienen eerst over het advies in dit rapport een besluit te nemen (wel/geen vervolgonderzoek en zo ja, in welke vorm). Wanneer het bevoegd gezag besluit dat vervolgonderzoek niet noodzakelijk is en het plangebied wordt vrijgegeven voor de voorgenomen ontwikkelingen, blijft de meldingsplicht archeologische toevalsvondst of waarneming van kracht (Erfgoedwet, artikel 5.10 Archeologische toevalsvondst). Aangezien het nooit volledig is uit te sluiten dat tijdens eventueel grondverzet een archeologische 'toevalsvondst' wordt gedaan, is het wenselijk de uitvoerder van het grondwerk te wijzen op de plicht om hiervan zo spoedig mogelijk melding te doen bij het Provinciaal Depot voor Bodemvondsten Flevoland (Mevr. P.P.A. Heise-Roovers, beheerder PDB Flevoland, tineke.roovers@batavialand.nl, tel. 0320-225939/ 06-13243987).

## Literatuur

- BAKKER, H. DE/J. SCHELLING, 1989: *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus*, Wageningen (Staring Centrum).
- BERENDSEN, H.J.A., 1997: *Landschappelijk Nederland*, Assen.
- BRENNK, S. VAN DEN/R. VAN LIL, 2015: *Inventariserend veldonderzoek (opwaterfase) Flevokust, zuidelijke vaargeul*, Amsterdam (Periplus/Archeomare rapport 15A023-01).
- BRENNK, S. VAN DEN/R. VAN LIL, 2017: *Vaarweg Molenrak, IJsselmeer, Inventariserend veldonderzoek (opwaterfase)*, Amsterdam (Periplus/Archeomare rapport 17A005-02).
- BRENNK, S. VAN DEN/R. VAN LIL, 2018: *Inventariserend veldonderzoek (opwaterfase) Windplan Blauw IJsselmeer*, Amsterdam (Periplus/Archeomare rapport 17A032-01).
- CENTRAAL COLLEGE VAN DESKUNDIGEN ARCHEOLOGIE, 2018: *Kwaliteitsnorm Nederlandse Archeologie*, versie 4.1, Gouda: <http://sikb.nl/archeologie/richtlijnen/bri-4000>.
- DRESSCHER, S./D.C.M. RAEMAEKERS, 2010: Oude geulen op nieuwe kaarten. Het krekenstelsel bij Swifterbant (Fl.), *Paleo-actueel* 21, 31-38.
- GEMEENTE LELYSTAD, 2008: *Archeologische Monumentenzorg in Lelystad*.
- GEMEENTE LELYSTAD, 2010: *Erfgoedverordening 2010 gemeente Lelystad*.
- GEMEENTE LELYSTAD, 2009: *Cultuurnota 2009 – 2012 Gemeente Lelystad*.
- HEERINGEN, R.M. VAN/K. KLERKS, 2015: *Archeologisch vooronderzoek diepe ondergrond (onder water) Terminal Flevokust ten noorden van Lelystad, provincie Flevoland. Inventariserend Veldonderzoek ('Landbodems'), verkennende fase*, Amersfoort (Vestigia-rapport V1264).
- HEERINGEN, R.M. VAN/R. SCHRIJVERS, 2015: *Archeologisch vooronderzoek diepe ondergrond (onder water) Terminal Flevokust ten noorden van Lelystad, provincie Flevoland (Fase 2). Inventariserend Veldonderzoek ('Landbodems'), karterende fase Terminal en verkennende fase Vaargeul*, Amersfoort (Vestigia-rapport V1301).
- HEERINGEN, R.M. VAN/K. KLERKS/R. SCHRIJVERS/C.A. VISSER/W.J. WEERHEIJM, 2014: *Archeologisch vooronderzoek in het kader van de aanleg van de buitendijkse terminal Flevokust, gemeente Lelystad. Ruimtelijk advies op basis van bureauonderzoek*, Amersfoort (Vestigia-rapport V1209).
- EIMERMANN, E./M.J.P. GOUW/A.A. KERKHOVEN, 2009: *Archeologiebeleid gemeente Dronten. Archeologische beleidskaart en voorbeeldplanregels ten behoeve van bestemmingsplannen*, Amersfoort (Vestigia rapport V642).
- HESSING, W.A.M./M.M.M. ALKEMADE 2007: *Beleidsnota Archeologische Monumentenzorg in de gemeente Lelystad*, Amersfoort (Vestigia-rapport V379).
- HUISMAN, L.H./D. NGAN-TILLARD 2019: Archeologie onder druk. is behoud in situ mogelijk onder ophogingen?, *Archeologie in Nederland*.
- KOEMAN, S.M., 2018: *Inventariserend veldonderzoek verkennende fase Turbinelocaties van Windplan Blauw, gemeente Dronten*, Duiven (KSP Rapport 17143).
- MAKASKE, B./D.G. VAN SMEERDIJK/J.R. MULDER/T. SPEK, 2002: *De stijging van de waterspiegel nabij Almere in de periode 5300-2300 v.Chr.*, Wageningen (Alterra-rapport 478).
- MENKE, U./E. VAN DE LAAR/G. LENSELINK 1998: *De geologie en bodem van Zuidelijk Flevoland*, Lelystad (Flevobericht 415).
- MÜLLER, A./H. VAN MEERTEN/R. BRINGGREVE/D. NGAN-TILLARD, 2014: *Flevoland Kennisontwikkeling Programma Archeologie Hanzelijn, Mogelijkheden tot in-situ conservering van begraven archeologische landschappen, Deelonderzoek 2B; De invloed van tijdelijke en permanente afdekkingen of ophoging op maaiveld op de conservering van archeologische vindplaatsen in de ondergrond*, Amersfoort/Delft (ADC-rapport 3760).
- PEETERS, H./W.J. HOGESTIJN/T. HOLLEMAN, 2004: *De Swifterbant cultuur: Een nieuwe kijk op de aanloop naar voedselproductie*, Abcoude.
- PETERS, F.J.C./J.H.M. PEETERS (RED.), 2001: *De opgraving van de mesolithische en neolithische vindplaats Urk-E4 (Domineesweg, gemeente Urk)*, Amersfoort (Rapportage Archeologische Monumentenzorg 93).
- POPTA, Y. VAN, 2012: *Wie sturen kan zeilt bij elke wind. Een inventarisatie, kwantificatie en ruimtelijke analyse van de gevonden scheepswrakken in Flevoland*, Groningen (ReMa GIA/RUG).
- POPTA, Y./A.F.L. VAN HOLK, 2018: Where are the Shipwrecks of the Zuiderzee? A new version of the Shipwreck Database Flevoland (3.0), based on spatial and archaeohistorical research into wreck sites in the province of Flevoland, *Paleohistoria* 59/60, 191-227.



- RAEMAKERS, D.C.M./I. DEVRIENDT/R.T.J. CAPPERS/W. PRUMMEL, 2005: Het Nieuwe Swifterbant Project. Nieuw onderzoek aan de mesolithische en neolithische vindplaatsen nabij Swifterbant (provincie Flevoland, Nederland), *Notae Prehistoricae* 25-2005, 119-127.
- REINHOLD, J./M. HOUWELING, 2016: *Waardering watererfgoed Flevoland*, Lelystad.
- ROEVER, J.P. DE, 2004: *Swifterbant-aardewerk, Een analyse van de neolithische nederzettingen bij Swifterbant, 5e millennium voor Christus*, Groningen (Groningen Archaeological Studies 2).
- SCHRIJVERS, R./K.E. WAUGH, 2015: *Bureauonderzoek paleolandschap plangebied Marker Wadden*, Amersfoort (Vestigia-rapport V1271).
- STENVERT, R.C. KOLMAN, 2006: *Monumenten in Nederland. Flevoland*, Zeist/Zwolle.
- VOS, P./S. DE VRIES 2013: Tweede generatie palaeogeografische kaarten van Nederland (versie 2.0), Utrecht (Intern Rapport Deltares), te downloaden op <http://rce.webgispublisher.nl/Viewer.aspx?map=Paleogeografischekaarten>.
- VISSER, C.A./R.M. VAN HEERINGEN, 2015: *Archeologisch vooronderzoek waterbodem Terminal Flevokust ten noorden van Lelystad, provincie Flevoland. Ruimtelijk advies op basis van een Inventariserend Veldonderzoek Opwater in de vorm van de analyse en interpretatie van sidescan sonar gegevens*, Amersfoort (Vestigia-rapport V1281).
- WALSMIT, E./H. KLOOSTERBOER/N. PERSSON/R. OSTERMANN, 2009: *Spiegel van de Zuiderzee. Geschiedenis en cartobibliografie van de Zuiderzee en het Hollands Waddengebied*, Utrecht.
- WEERHEIJM, W.J./R. SCHRIJVERS/N. SCHOUTE/E.R.J.G. PICARD, 2021: *Archeologisch vooronderzoek in het kader van het project Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten. Ruimtelijk advies op basis van bureauonderzoek*, Amersfoort (Vestigia rapport V2031).
- WEERTS, H.J.T./P. CLEVERINGA/J.H.J. EBBING/F.D. DE LANG/W.E. WESTERHOFF, 2003: *De lithostratigrafische indeling van Nederland – Formaties uit het Tertiair en Kwartair*, Utrecht (TNONITG).
- WESTERHOFF, W.E./E.F.J. DE MULDER/W. DE GANS, 1987: *Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000 Blad Alkmaar West (19W) en Blad Alkmaar Oost (19O)*, Haarlem (Rijks Geologische Dienst).
- WESTERHOFF, W.E./T.E. WONG/E.F.J. DE MULDER, 2003: *Opbouw van de ondergrond – Opbouw van het Neogeen en Kwartair*, in: E.F.J. de Mulder/M.C. Geluk/I.L. Ritsema/W.E. Westerhoff/T.E. Wong (red.), *De ondergrond van Nederland*, Houten.

## Digitale bronnen

- ACTUEEL HOOGTEBESTAND NEDERLAND: <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>
- ARCHEOLOGISCH INFORMATIESYSTEEM (ARCHIS): <https://archis.cultureelerfgoed.nl/#/login>
- BEELDBANK RIJKSDIENST VOOR HET CULTUREEL ERFGOED: <http://beeldbank.cultureelerfgoed.nl/>
- BODEMLOKET: <http://www.bodemloket.nl/>
- CULTUURHISTORISCHE WAARDENKAART PROVINCIE FLEVOLAND: <http://kaart.flevoland.nl/cultuurhistorie/>
- DANS-EASY: <https://easy.dans.knaw.nl/>
- DINOLOKET: <https://www.dinoloket.nl/>
- KADASTER, BASISREGISTRATIES ADRESSEN EN GEBOUWEN (BAG): <https://bagviewer.kadaster.nl/>
- KADASTER, TIJDREIS OVER 200 JAAR TOPOGRAFIE: <http://topotijdreis.nl/>
- RIJKSMONUMENTENREGISTER: <https://cultureelerfgoed.nl/monumentenregister>
- RUIMTELIJKE PLANNEN: <http://www.ruimtelijkeplannen.nl/web-roo/roo/>
- VERSTORINGSBRONNENKAART: <https://archeologieinnederland.nl/verstoringbronnenkaart>

## Lijst van afbeeldingen, kaarten en bijlagen

### Afbeeldingen

Afbeelding 1 Vereenvoudigde weergave plangebied. Bron: Waterschap Zuiderzeeland. ....	7
Afbeelding 2a Impressie ontwerp Basisvariant. Bron: RHDHV Verkenningsfase IJsselmeerdijk, uitwerking voorland ontwerp 2, 2022. ....	9
Afbeelding 2b Impressie ontwerp ecologische plusvariant. Bron: RHDHV Verkenningsfase IJsselmeerdijk, uitwerking voorland ontwerp 2, 2022. ....	10
Afbeelding 3 Archeologische beleidskaart Provincie Flevoland. Bron: Provincie Flevoland. ....	12
Afbeelding 4 Uitsnede archeologische beleidskaart gemeente Lelystad. Vanwege de zichtbaarheid is het plangebied niet aangegeven. Rood = hoge verwachting; oranje = middelhoog; geel = laag; grijs = geen verwachting; lichtgrijs = archeologische waarde. Het grote grijze vlak is het PARk gebied Rivierduinen Swifterbant, met het grondgebied van de gemeente Dronten als het witte vlak Het overige deel van het plangebied tot aan de Houtribdijk heeft een lage verwachting. Bron: gemeente Lelystad 2008. ....	13
Afbeelding 5 Uitsnede archeologische beleidskaart gemeente Dronten. Vanwege de zichtbaarheid is het plangebied niet aangegeven. Rood = archeologisch waardevol gebied 2; oranje = archeologisch waardevol gebied 3; oker = archeologisch waardevol gebied; blauw = archeologisch waardevol gebied 5. De dijk zelf heeft geen aanduiding. Bron: Eimermann <i>et al.</i> 2009. ....	14
Afbeelding 6 Ontwikkeling van zee- en grondwaterspiegel aan de Noordzeekust en in het IJsselmeer-gebied	16
Afbeelding 7 Schema met de perioden van vorming van de in het IJsselmeergebied voorkomende lithostratigrafische eenheden, in relatie tot de archeologische periodisering. Bron: Schrijvers/Waugh 2015; naar Westerhoff <i>et al.</i> 1987, Menke <i>et al.</i> 1998. ....	17
Afbeelding 8 Uitsnede historische kaart Johannes Janssonius (ca. 1650). Het plangebied is globaal in blauw aangegeven. Bron: Walsmit <i>et al.</i> 2009. ....	19
Afbeelding 9 Uitsnede historische kaart Gerard Hulst van Keulen (ca. 1780). Het plangebied is globaal	20
Afbeelding 10 Locatie boorpunten verkennend booronderzoek Terminal en Vaargeul Flevokust. Bron: Van Heeringen/Klerks 2015. ....	25
Afbeelding 11 Locatie boorpunten karterend booronderzoek Terminal Flevokust. Bron: Van Heeringen/Schrijvers 2015. ....	26
Afbeelding 12 Locatie boorpunten karterend booronderzoek Vaargeul Flevokust. Bron: Van Heeringen/Schrijvers 2015. ....	26
Afbeelding 13 Locatie sonaronderzoek Terminal Flevokust (in baars). Bron: Visser/Van Heeringen 2015. ...	27
Afbeelding 14 Locatie sonaronderzoek Windplan Blauw. Bron: Van den Brenk/Van Lil 2018. ....	27
Afbeelding 15 Locatie sonaronderzoek Flevokust Zuidelijke Vaargeul. Bron: Van den Brenk/Van Lil 2015. ...	28

### Tabellen

Tabel 1 In Overzicht van de afzettingen in de directe omgeving van het plangebied (bron: TNO 2011; Westerhoff <i>et al.</i> 2003; Weerts <i>et al.</i> 2003; Eimermann <i>et al.</i> 2009). ....	16
Tabel 2 AMK-terreinen binnen 100 m van het plangebied. Vetgedrukt = binnen plangebied. Bron: Archis3.	22
Tabel 3 Vondstlocaties in het plangebied zelf en in een straal van 100 meter rondom het plangebied. Vetgedrukt = binnen plangebied. Bron: Archis3. ....	22
Tabel 4 Onderzoeken in het plangebied zelf en in een straal van 100 meter rondom het plangebied. Vetgedrukt = binnen plangebied. Bron: Archis3. ....	24
Tabel 5 Effectbeoordeling ingrepen	32

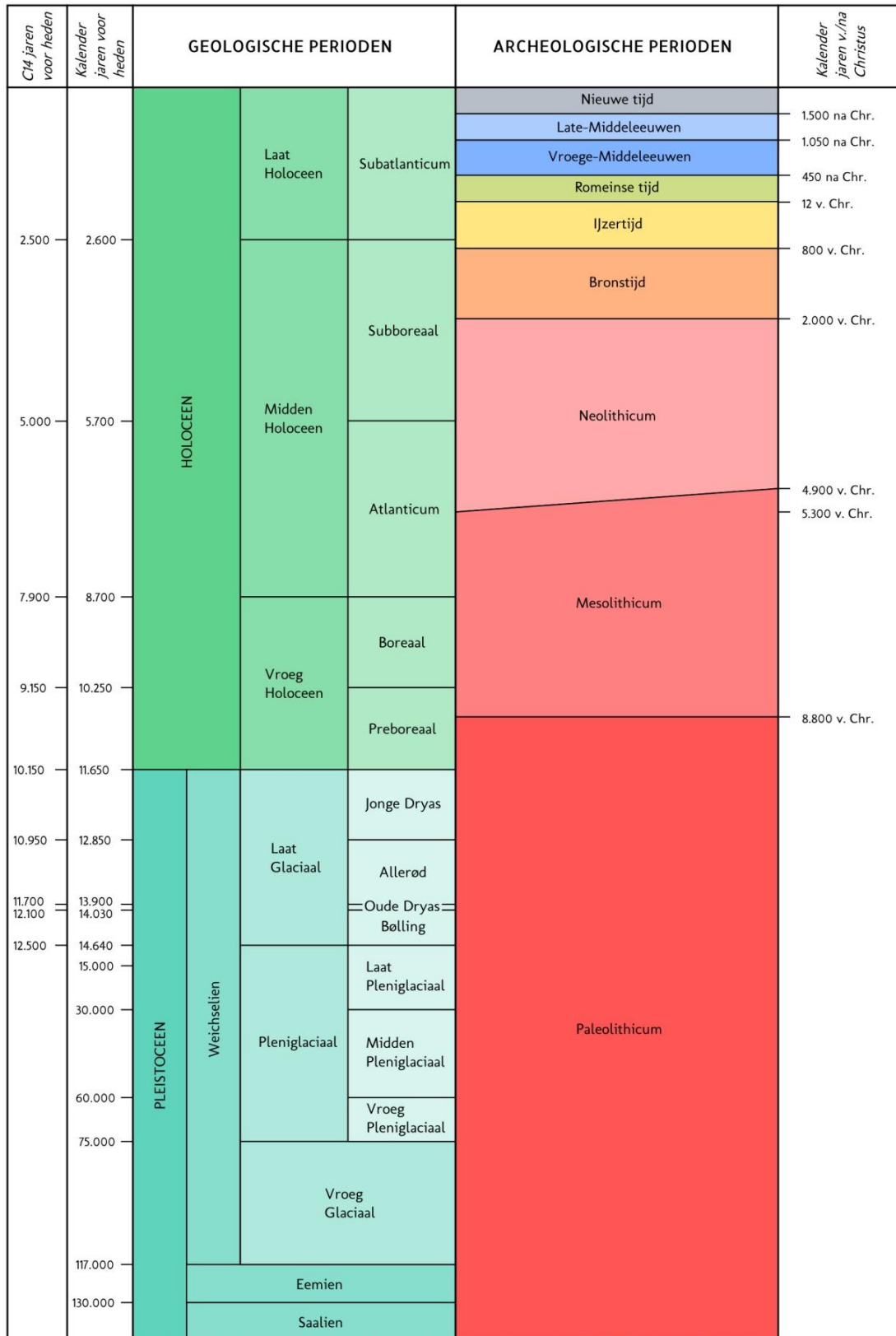
## Bijlagen

Bijlage 1: Overzicht van archeologische en geologische perioden

## Kaarten

Kaart 1: Ligging plangebied  
Kaart 2: Natuurlijk landschap; geologie  
Kaart 3: Natuurlijk landschap; bodem  
Kaart 4: Archeologie; inventarisatie  
Kaart 5: Scheepswrakken  
Kaart 6: Beleid  
Kaart 7: Cultuurhistorie  
Kaart 8a: Advieskaart prehistorie  
Kaart 8b: Advieskaart scheepswrakken

Bijlage 1 Overzicht van archeologische en geologische perioden




C14 ouderdommen en gekalibreerde ouderdommen van het Holocene volgens Van Geel et al. (1980/1981). C14 ouderdom van het Laat Glaciaal volgens Hoek (2001/2008) en gekalibreerde ouderdommen van het Laat Glaciaal volgens Rasmussen et al. (2006). Overige pleistocene chronostratigrafie volgens Westerhoff et al. (2003). Archeologische perioden van de prehistorie volgens Louwe Kooijmans et al. (2005) en overige archeologische perioden volgens Archis.

# KAART 1 - LIGGING ONDERZOEKSGBIED



## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten  
Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Opentopo, CC-BY J.W. van Aalst 2021

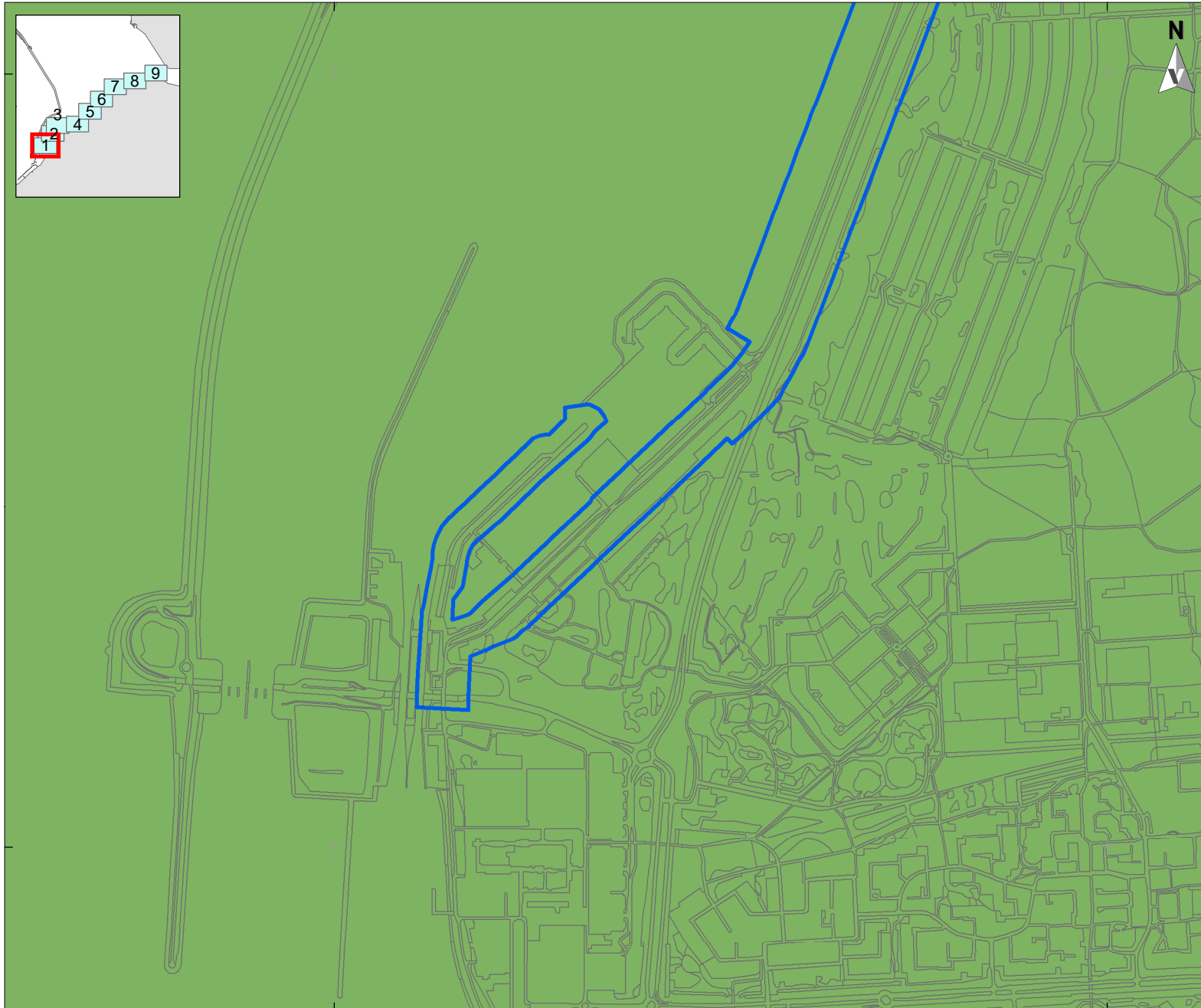
Tekenaar: RS  
Schaal: 1:77.000 / A4

0 1.000 m


**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie



# KAART 2- 1: NATUURLIJK LANDSCHAP: GEOLOGIE




## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

Prospectiekaart Prehistorie Flevoland:

Zonering

 Laagpakket van Wormer; Veendek op  
Top pleistoceen dieper dan 2 m -mv

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek

Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Ente/Koning/Koopstra 1986

Van Heeringen/Schrijvers/Waugh 2018

Koeman 2018

Tekenaar: RS

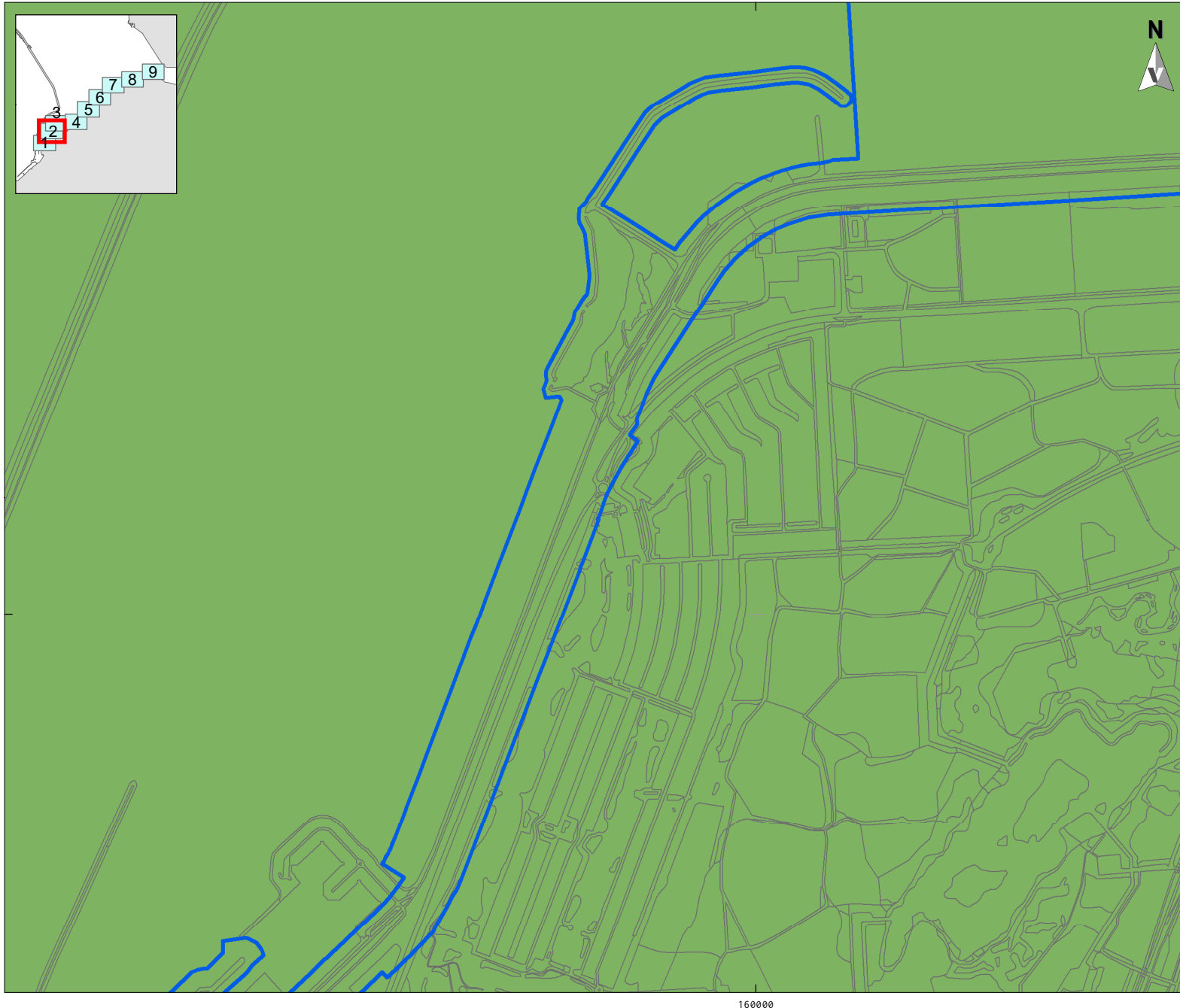
Schaal: 1:15.000 / A4

 0 250 m


**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie



## KAART 2- 2: NATUURLIJK LANDSCHAP: GEOLOGIE




### LEGENDA

 Onderzoeksgebied

Prospectiekaart Prehistorie Flevoland:

Zonering

 Laagpakket van Wormer; Veendek op  
Top pleistoceen dieper dan 2 m -mv

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Ente/Koning/Koopstra 1986

Van Heeringen/Schrijvers/Waugh 2018

Koeman 2018

Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4

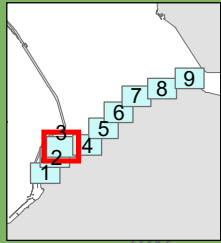
0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie


160000

506000

# KAART 2- 3: NATUURLIJK LANDSCHAP: GEOLOGIE




## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

Prospectiekaart Prehistorie Flevoland:

Zonering

 Laagpakket van Wormer; Veendek op  
Top pleistoceen dieper dan 2 m -mv

506000

506000

160000

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Ente/Koning/Koopstra 1986

Van Heeringen/Schrijvers/Waugh 2018

Koeman 2018

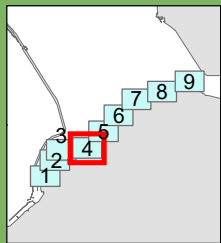
Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4


 0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

# KAART 2- 4: NATUURLIJK LANDSCHAP: GEOLOGIE




## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

Prospectiekaart Prehistorie Flevoland:

Zonering

 Laagpakket van Wormer; Veendek op  
Top pleistoceen dieper dan 2 m -mv

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Ente/Koning/Koopstra 1986

Van Heeringen/Schrijvers/Waugh 2018

Koeman 2018

Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4


 0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

# KAART 2- 5: NATUURLIJK LANDSCHAP: GEOLOGIE



## LEGENDA

 Onderzoekgebied

Geulensluis Swifterbant  
(kartering alleen binnen de dijken)


(Lp. v. Wormer)

 Kreek/restgeul

 Oeverwallen

Prospectiekaart Prehistorie Flevoland:

Zonering

 Laagpakket van Wormer; Veendek op  
Top pleistoceen dieper dan 2 m -mv

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Ente/Koning/Koopstra 1986

Van Heeringen/Schrijvers/Waugh 2018

Koeman 2018

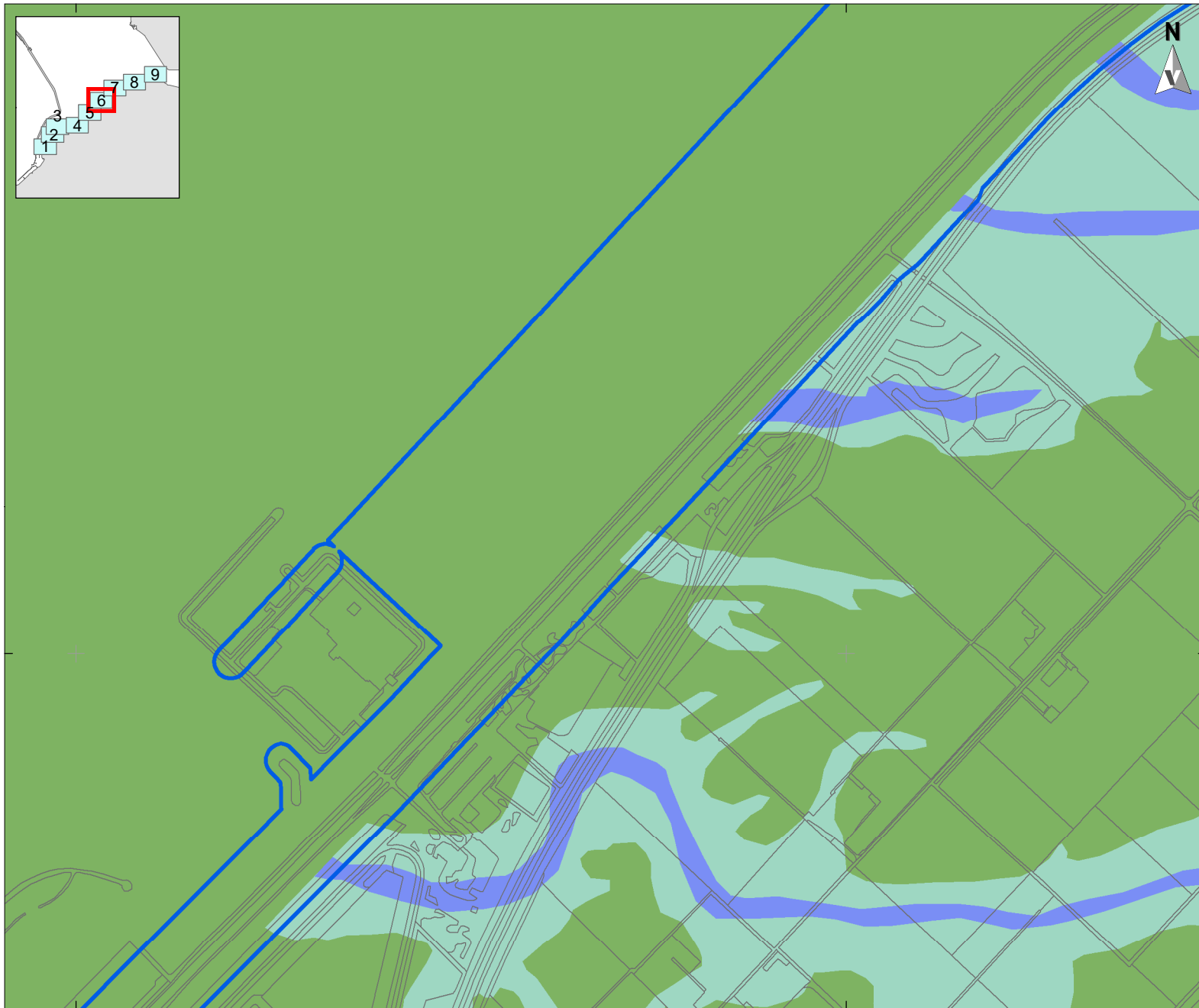
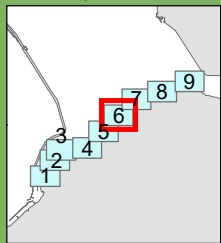
Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

# KAART 2- 6: NATUURLIJK LANDSCHAP: GEOLOGIE



## LEGENDA

Onderzoeksgebied

Geulensstelsel Swifterbant  
(kartering alleen binnen de dijken)

(Lp. v. Wormer)

Kreek/restgeul

Oeverwallen

Prospectiekaart Prehistorie Flevoland:

Zonering

Laagpakket van Wormer; Veendek op  
Top pleistoceen dieper dan 2 m -mv

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Ente/Koning/Koopstra 1986

Van Heeringen/Schrijvers/Waugh 2018

Koeman 2018

Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

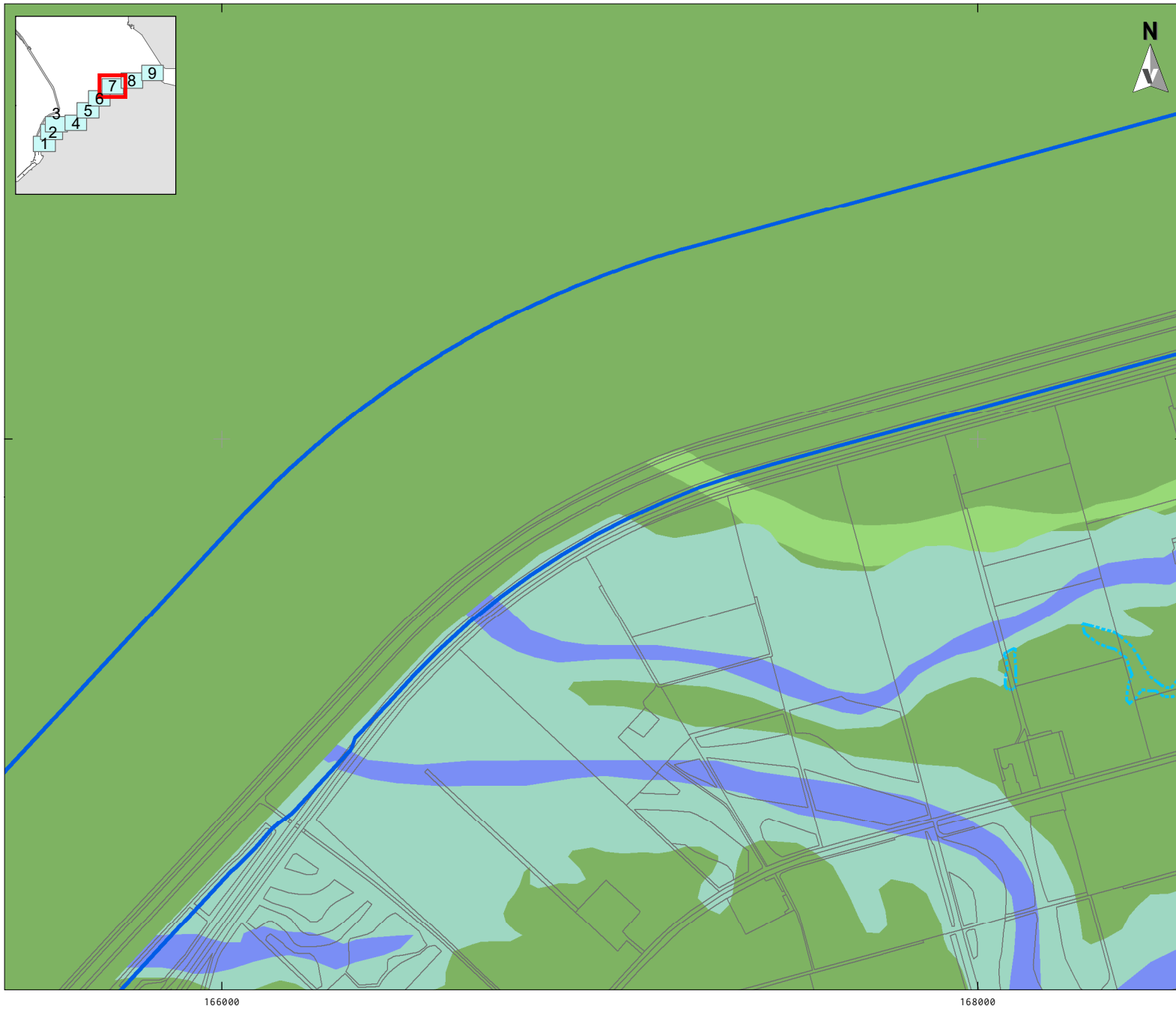
**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

510000

164000

166000

# KAART 2- 7: NATUURLIJK LANDSCHAP: GEOLOGIE



## LEGENDA

Onderzoeksgebied

Geulensetsel Swifterbant  
(kartering alleen binnen de dijken)

(Lp. v. Wormer)

Kreek/restgeul

Oeverwallen

Prospectiekaart Prehistorie Flevoland:

Zonering

Laagpakket van Wormer; Veendek op  
Top pleistoceen binnen 2 m -mv

Laagpakket van Wormer; Veendek op  
Top pleistoceen dieper dan 2 m -mv

Mogelijke kreekloop op basis v. AHN  
(cf. KSP)

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Ente/Koning/Koopstra 1986  
Van Heeringen/Schrijvers/Waugh 2018  
Koeman 2018

Tekenaar: RS

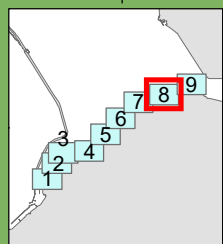
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m


**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie



# KAART 2- 8: NATUURLIJK LANDSCHAP: GEOLOGIE



## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

Geulenstelsel Swifterbant  
(kartering alleen binnen de dijken)


(Lp. v. Wormer)


 Kreek/restgeul


 Oeverwallen

Prospectiekaart Prehistorie Flevoland:

Zonering

 Laagpakket van Wormer; Veendek op  
Top pleistoceen binnen 2 m -mv

 Laagpakket van Wormer; Veendek op  
Top pleistoceen dieper dan 2 m -mv

 Mogelijke kreekloop op basis v. AHN  
(cf. KSP)

512000

168000

170000

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Ente/Koning/Koopstra 1986

Van Heeringen/Schrijvers/Waugh 2018

Koeman 2018

Tekenaar: RS

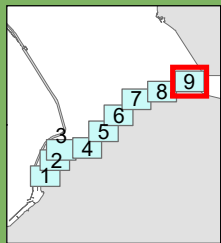
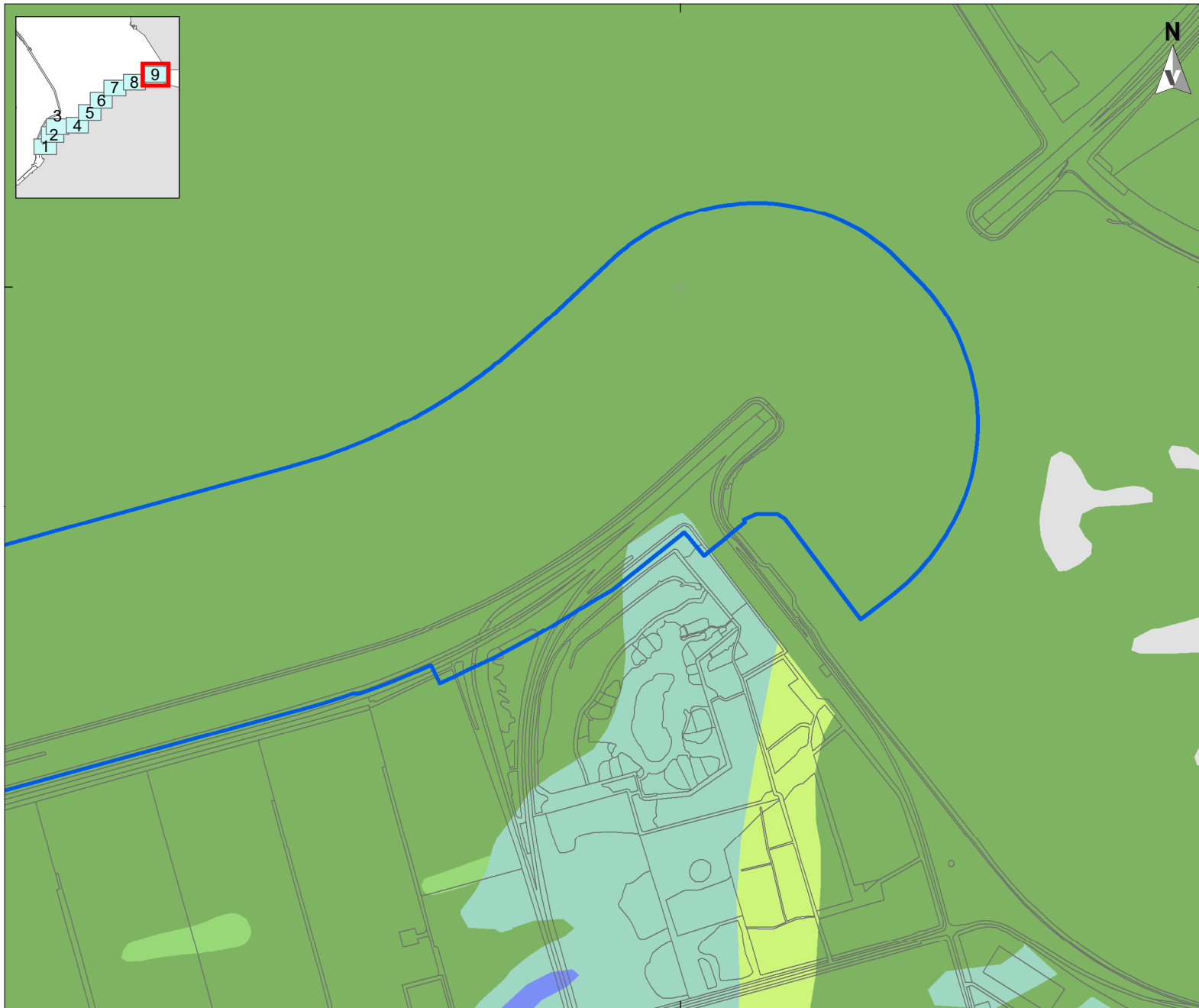
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m



**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

# KAART 2- 9: NATUURLIJK LANDSCHAP: GEOLOGIE



## LEGENDA

Onderzoeksgebied

Geulensstelsel Swifterbant  
(kartering alleen binnen de dijken)

(Lp. v. Wormer)

Kreek/restgeul

Oeverwallen

Erosiegeul

Prospectiekaart Prehistorie Flevoland:

Zonering

Laagpakket van Wormer; Veendek op  
Top pleistoceen binnen 2 m -mv

Laagpakket van Wormer; Veendek op  
Top pleistoceen dieper dan 2 m -mv

Overig Holoceen op Vergraven top  
Pleistoceen

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Ente/Koning/Koopstra 1986

Van Heeringen/Schrijvers/Waugh 2018

Koeman 2018

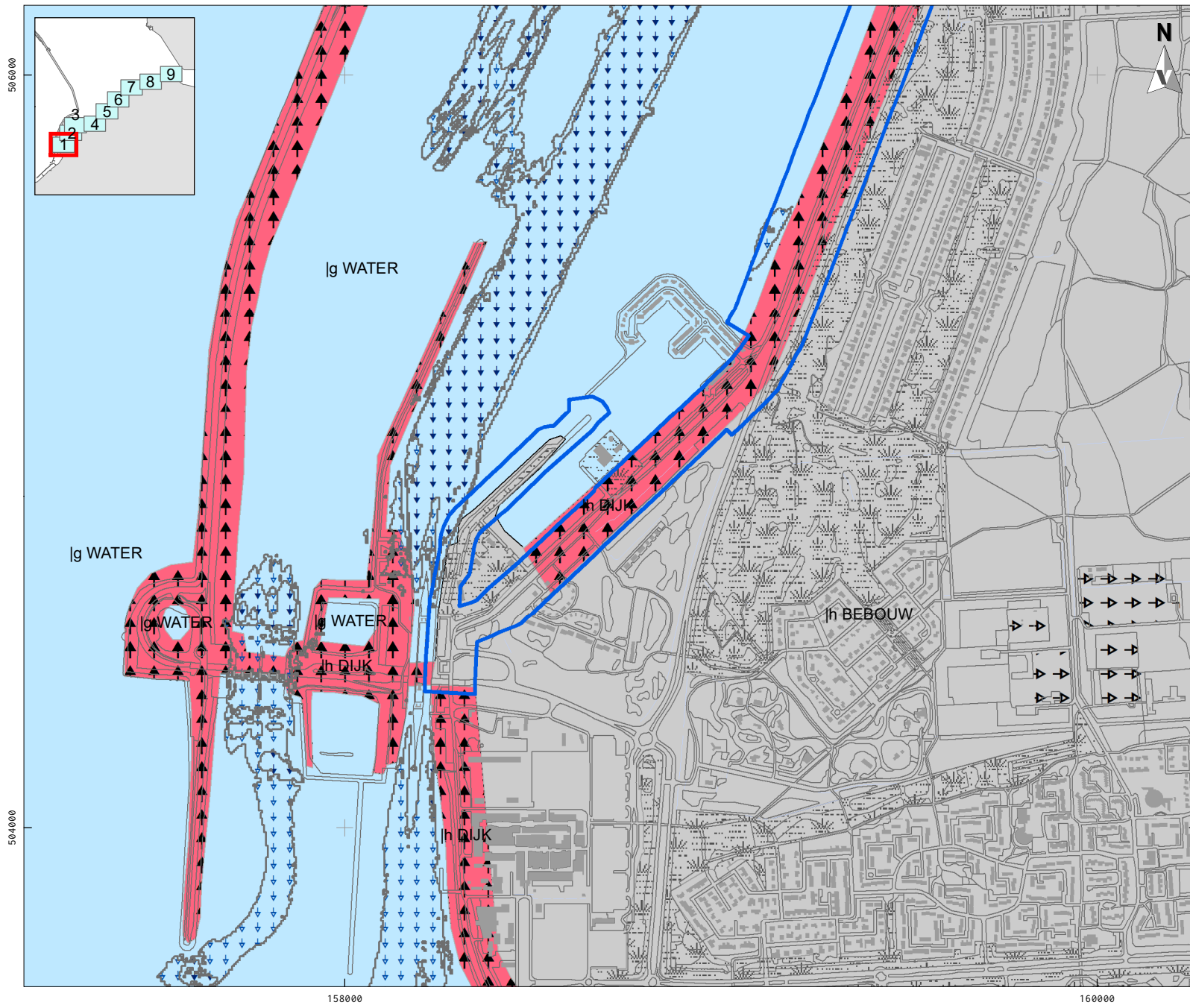
Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4










0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

# KAART 3- 1: NATUURLIJK LANDSCHAP: BODEMTYPEN



## LEGENDA

-  Onderzoekgebied
-  Depots
-  Gemodificeerde natuur
-  Vergravingen
- Algemene onderscheidingen**
-  Dijk
-  Bebouwing
-  Water
- Waterbodem:**
-  Diepe afgravingen waterbodem (meer dan 2 m)
-  Ondiepe afgravingen waterbodem (minder dan 2 m)

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

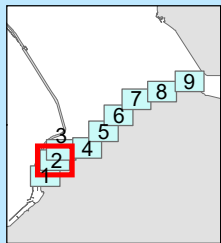
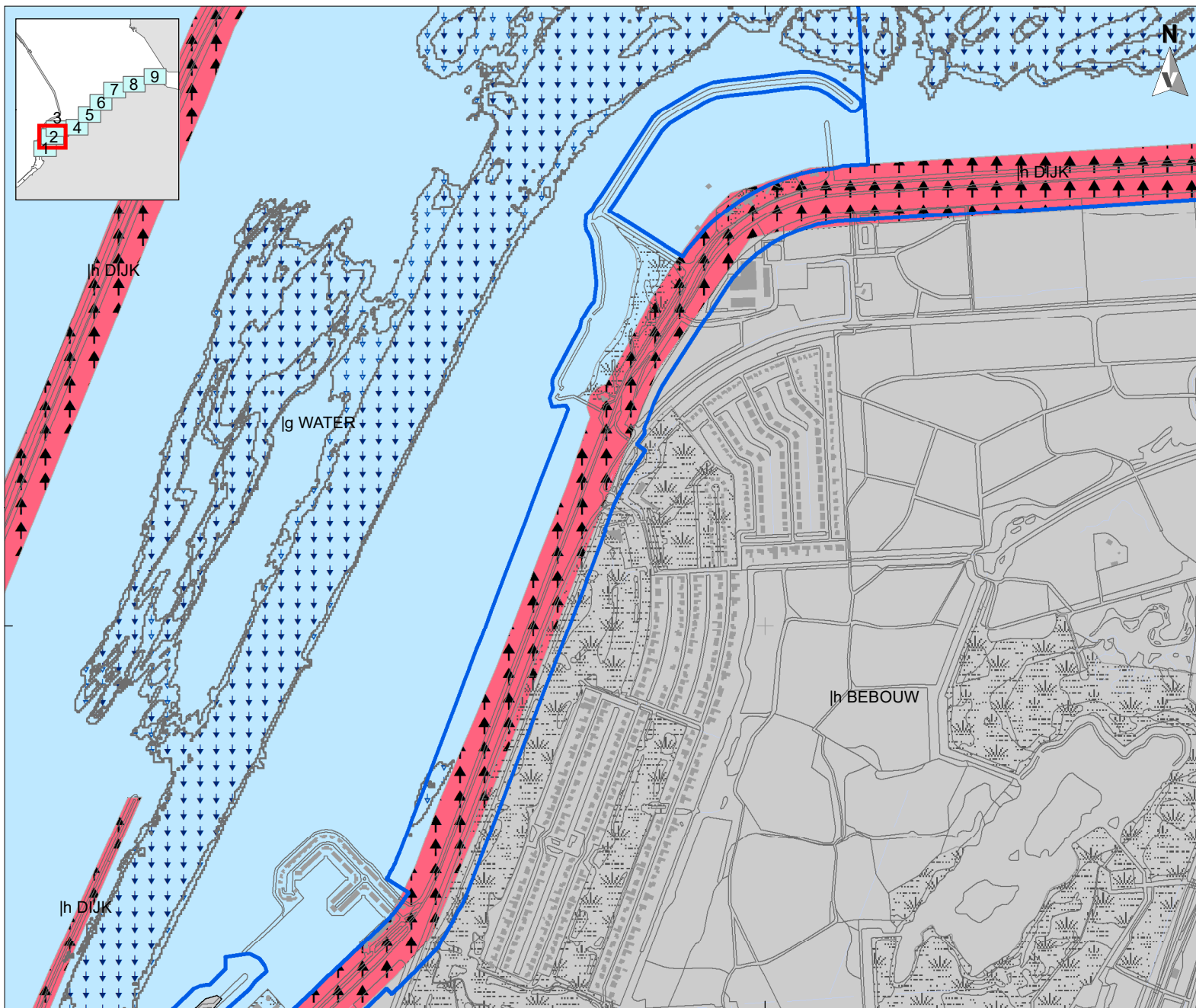
Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Bodemkaart; PDOK juli 2017  
Rijkswaterstaat

Tekenaar: RS  
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

# KAART 3- 2: NATUURLIJK LANDSCHAP: BODEMTYPEN



## LEGENDA

- Onderzoeksgebied
- Depots
- Gemodificeerde natuur
- Algemene onderscheidingen**
- Dijk
- Bebouwing
- Water
- Waterbodem:**
- Diepe afgravingen waterbodem (meer dan 2 m)
- Ondiepe afgravingen waterbodem (minder dan 2 m)

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Bodemkaart; PDOK juli 2017  
Rijkswaterstaat

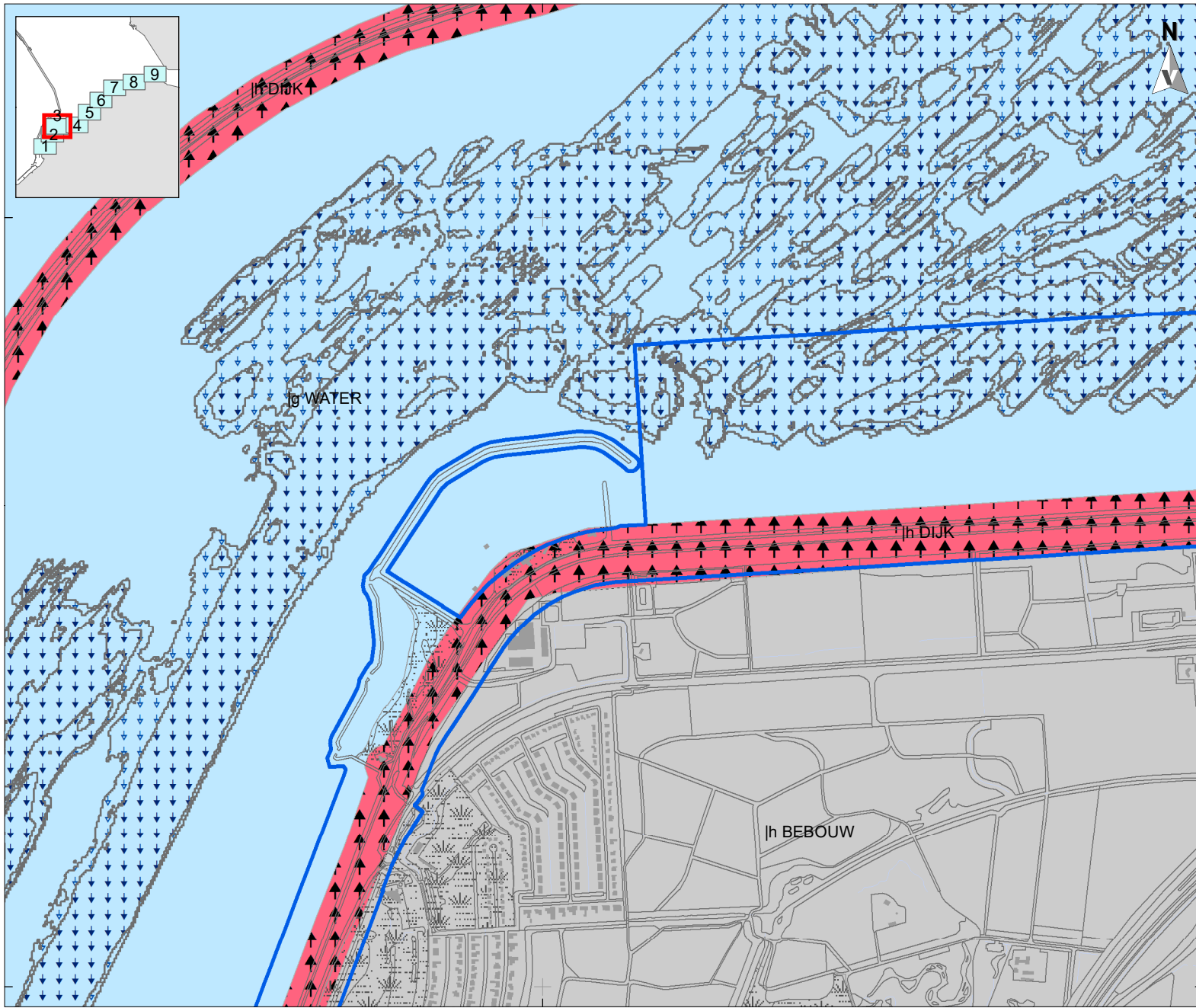
Tekenaar: RS  
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m





# KAART 3- 3: NATUURLIJK LANDSCHAP: BODEMTYPEN



## LEGENDA

- Onderzoeksgebied
- Depots
- Gemodificeerde natuur
- Algemene onderscheidingen**
- Dijk
- Bebouwing
- Water
- Waterbodem:**
- Diepe afgravingen waterbodem (meer dan 2 m)
- Ondiepe afgravingen waterbodem (minder dan 2 m)

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

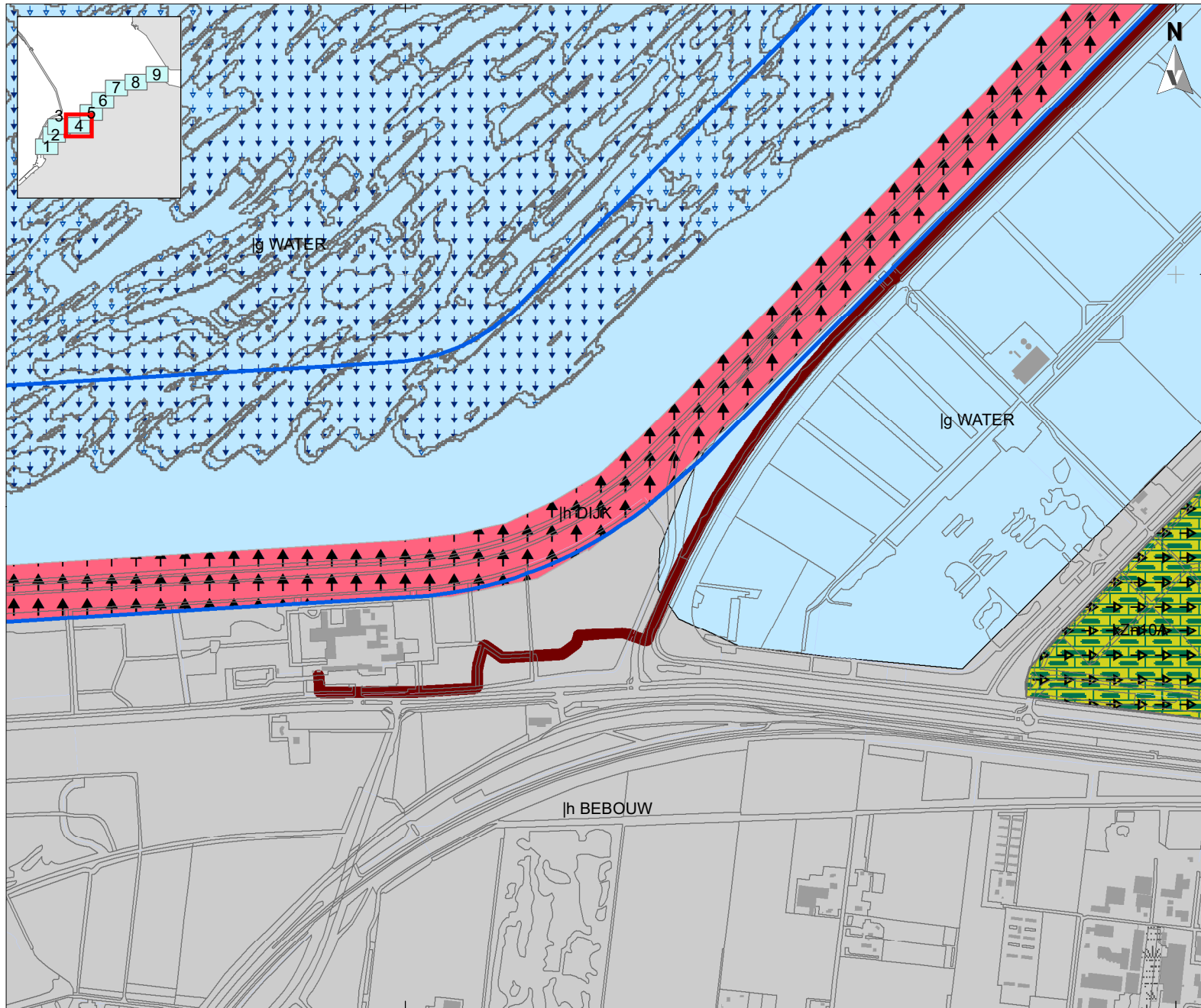
Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Bodemkaart; PDOK juli 2017  
Rijkswaterstaat

Tekenaar: RS  
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m



# KAART 3- 4: NATUURLIJK LANDSCHAP: BODEMTYPEN



## LEGENDA

- Onderzoeksgebied
- Depots
- Gemodificeerde natuur
- Vergravingen
- Transportleidingen
- Bijzonderheden bovengrond**
- k., Zavel- of klei-dek, 15 à 40 cm dik
- Zn10A Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand
- Kalkhoudende zandgronden**
- Zn10A Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand
- Algemene onderscheidingen**
- Dijk
- Bebouwing
- Water
- Waterbodem:**
- Diepe afgravingen waterbodem (meer dan 2 m)
- Ondiepe afgravingen waterbodem (minder dan 2 m)

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Bodemkaart; PDOK juli 2017  
Rijkswaterstaat

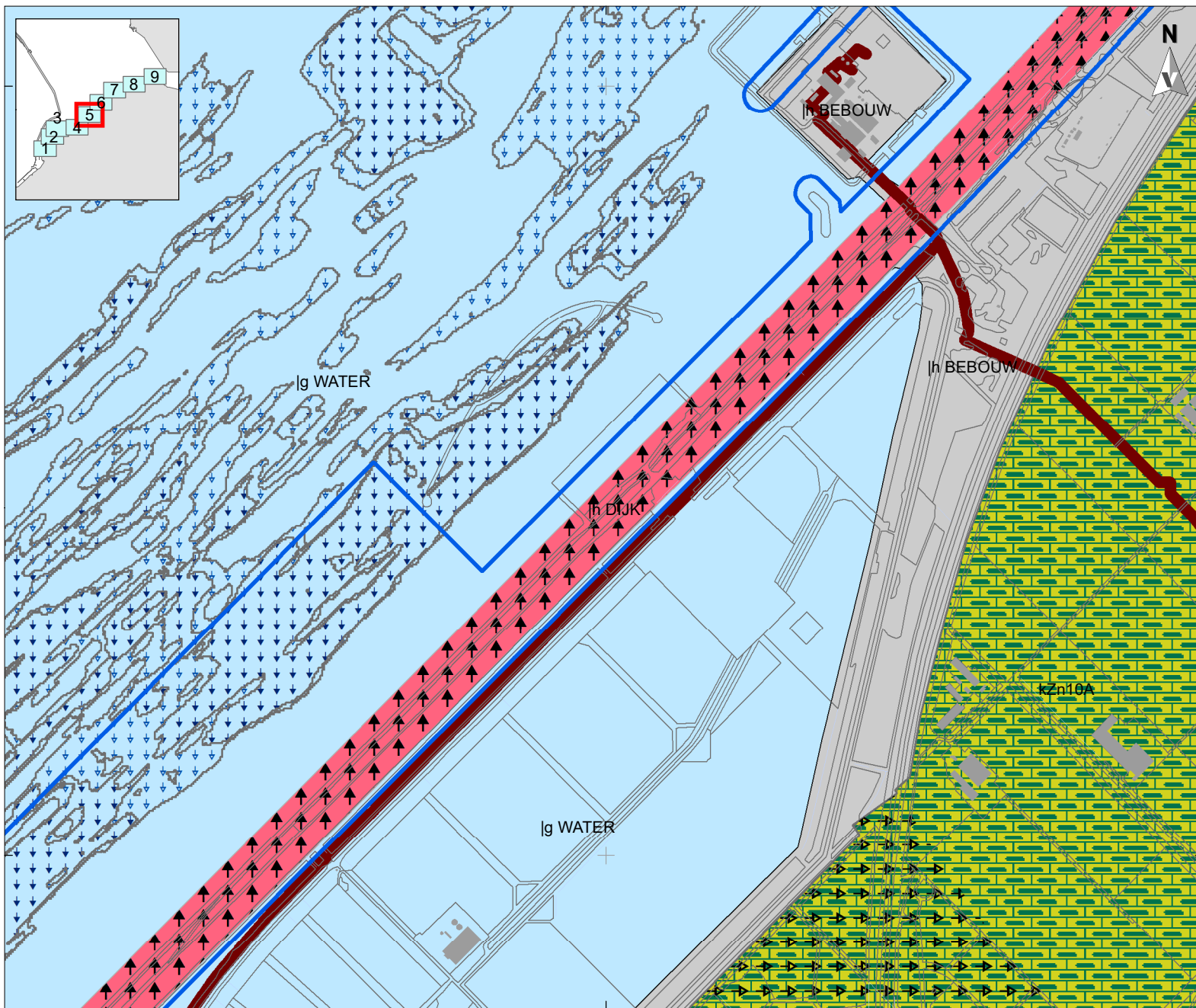
Tekenaar: RS  
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m





# KAART 3- 5: NATUURLIJK LANDSCHAP: BODEMTYPEN



## LEGENDA

- Onderzoeksgebied
- Depots
- Vergravingen
- Transportleidingen
- Bijzonderheden bovengrond
- k., Zavel- of klei-dek, 15 à 40 cm dik
- Zn10A Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand
- Kalkhoudende zandgronden
- Zn10A Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand
- Algemene onderscheidingen
- Dijk
- Bebouwing
- Water
- Waterbodem:
- Diepe afgravingen waterbodem (meer dan 2 m)
- Ondiepe afgravingen waterbodem (minder dan 2 m)

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
 Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
 Datum: September 2021  
 Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
 Bodemkaart; PDOK juli 2017  
 Rijkswaterstaat

Tekenaar: RS  
 Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

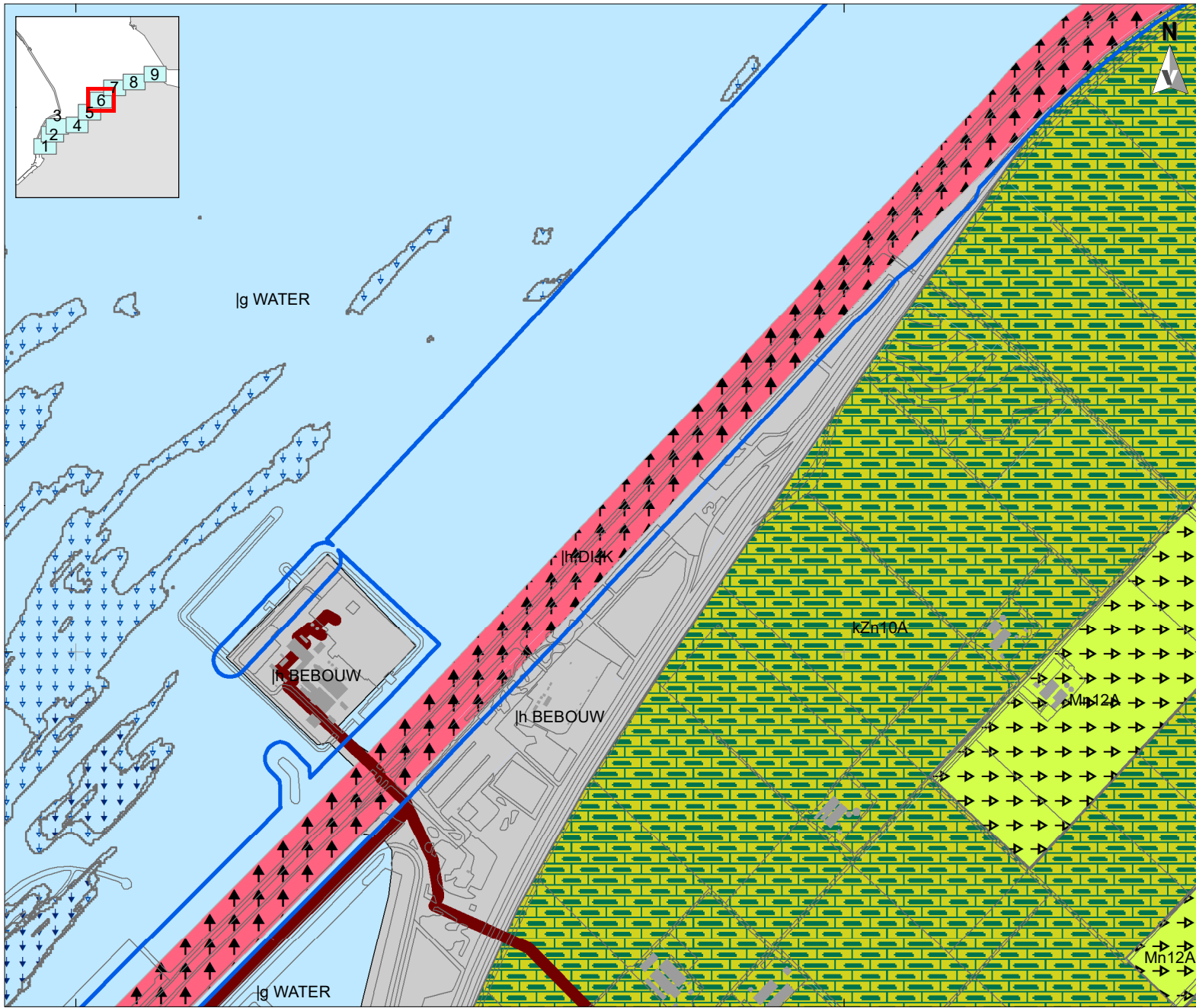
**VESTIGIA**  
 Archeologie & Cultuurhistorie

510000

500000

164000

# KAART 3- 6: NATUURLIJK LANDSCHAP: BODEMTYPEN



## LEGENDA

- Onderzoekgebied
  - Depots
  - Vergravingen
  - Transportleidingen
  - Bijzonderheden bovengrond
  - k., Zavel- of klei-dek, 15 à 40 cm dik
  - Zn10A Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand
  - Mn12A Kalkrijke poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 2
  - Kalkhoudende zandgronden
  - Zn10A Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand
  - Zeekleigronden
  - Mn12A Kalkrijke poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 2
  - Algemene onderscheidingen
  - Dijk
  - Bebouwing
  - Water
  - Waterbodem:
  - Diepe afgravingen waterbodem (meer dan 2 m)
  - Ondiepe afgravingen waterbodem (minder dan 2 m)
- Project: V20-1571 / V31-4845: archeologisch bureauonderzoek  
 Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten  
 Rapport: V2178  
 Datum: September 2021  
 Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
 Bodemkaart; PDOK juli 2017  
 Rijkswaterstaat  
 Tekenaar: RS  
 Schaal: 1:15.000 / A4
- 0 250 m

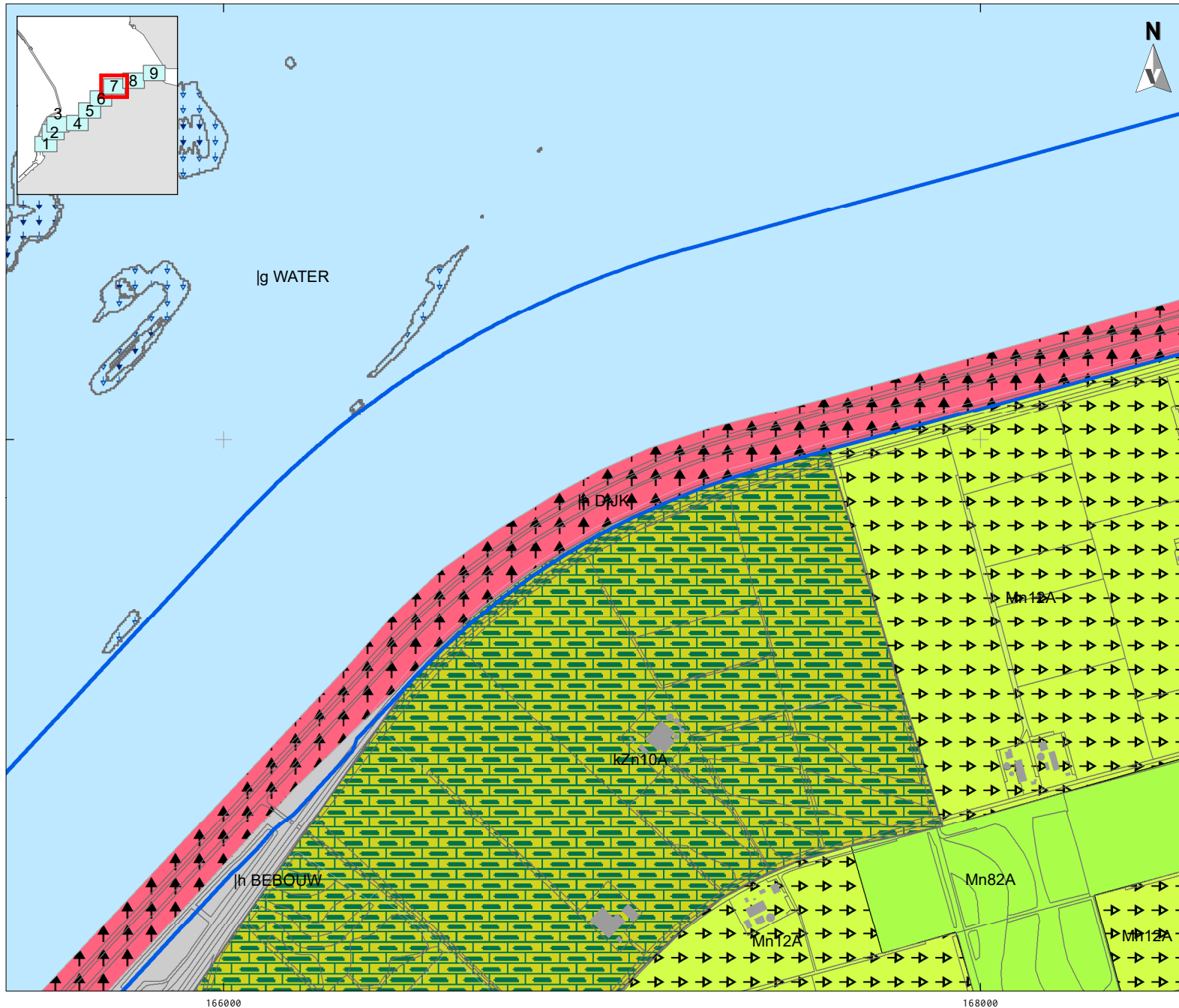
518000

164000

166000



# KAART 3- 7: NATUURLIJK LANDSCHAP: BODEMTYPEN



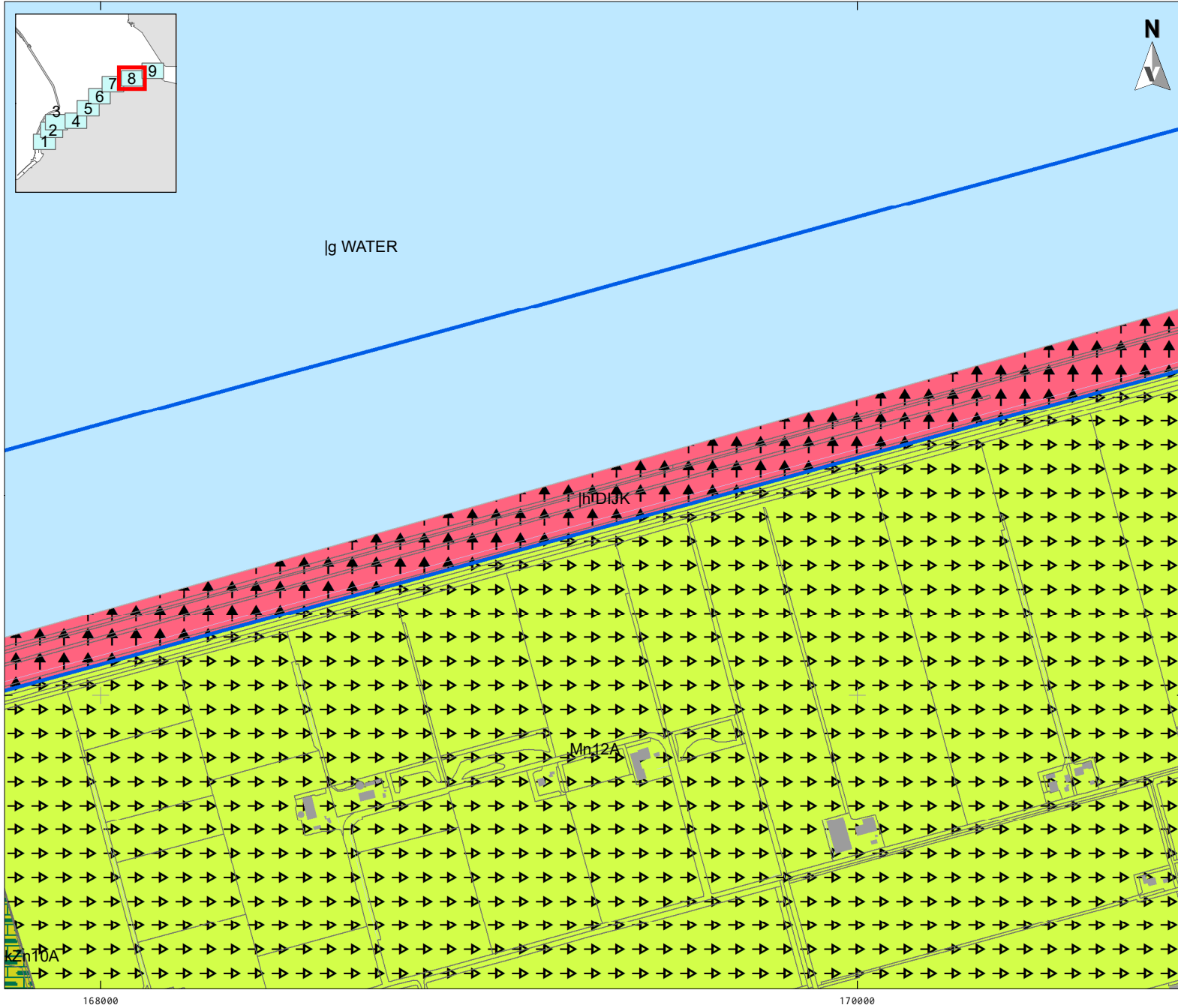
## LEGENDA

- Onderzoeksgebied
  - Depots
  - Vergravingen
  - Bijzonderheden bovengrond**
  - k., Zavel- of klei-dek, 15 à 40 cm dik
  - Zn10A Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand
  - Mn12A Kalkrijke poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 2
  - Mn82A Kalkrijke poldervaaggronden; klei, profielverloop 2
  - Kalkhoudende zandgronden**
  - Zn10A Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand
  - Zeekleigronden**
  - Mn12A Kalkrijke poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 2
  - Mn82A Kalkrijke poldervaaggronden; klei, profielverloop 2
  - Algemene onderscheidingen**
  - Dijk
  - Bebouwing
  - Water
  - Waterbodem:**
  - Diepe afgravingen waterbodem (meer dan 2 m)
  - Ondiepe afgravingen waterbodem (minder dan 2 m)
- Project: Diepe afgravingen waterbodem (meer dan 2 m) / V20-4571 / V21-4845 archeologisch bureauonderzoek  
 Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Brontzen  
 Rapport (minder dan 2 m) 4278  
 Datum: September 2021  
 Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
 Bodemkaart; PDOK juli 2017  
 Rijkswaterstaat  
 Tenaar: RS  
 Schaal: 1:15.000 / A4
- 0 250 m





# KAART 3- 8: NATUURLIJK LANDSCHAP: BODEMTYPEN



## LEGENDA

- Onderzoeksgebied
- Depots
- Vergravingen
- Bijzonderheden bovengrond
  - k., Zavel- of klei-dek, 15 à 40 cm dik
  - Zn10A Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand
  - Mn12A Kalkrijke poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 2
- Kalkhoudende zandgronden
  - Zn10A Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand
- Zeekleigronden
  - Mn12A Kalkrijke poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 2
- Algemene onderscheidingen
  - Dijk
  - Water

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
 Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

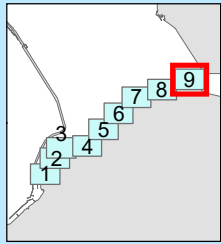
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
 Bodemkaart; PDOK juli 2017  
 Rijkswaterstaat

Tekenaar: RS

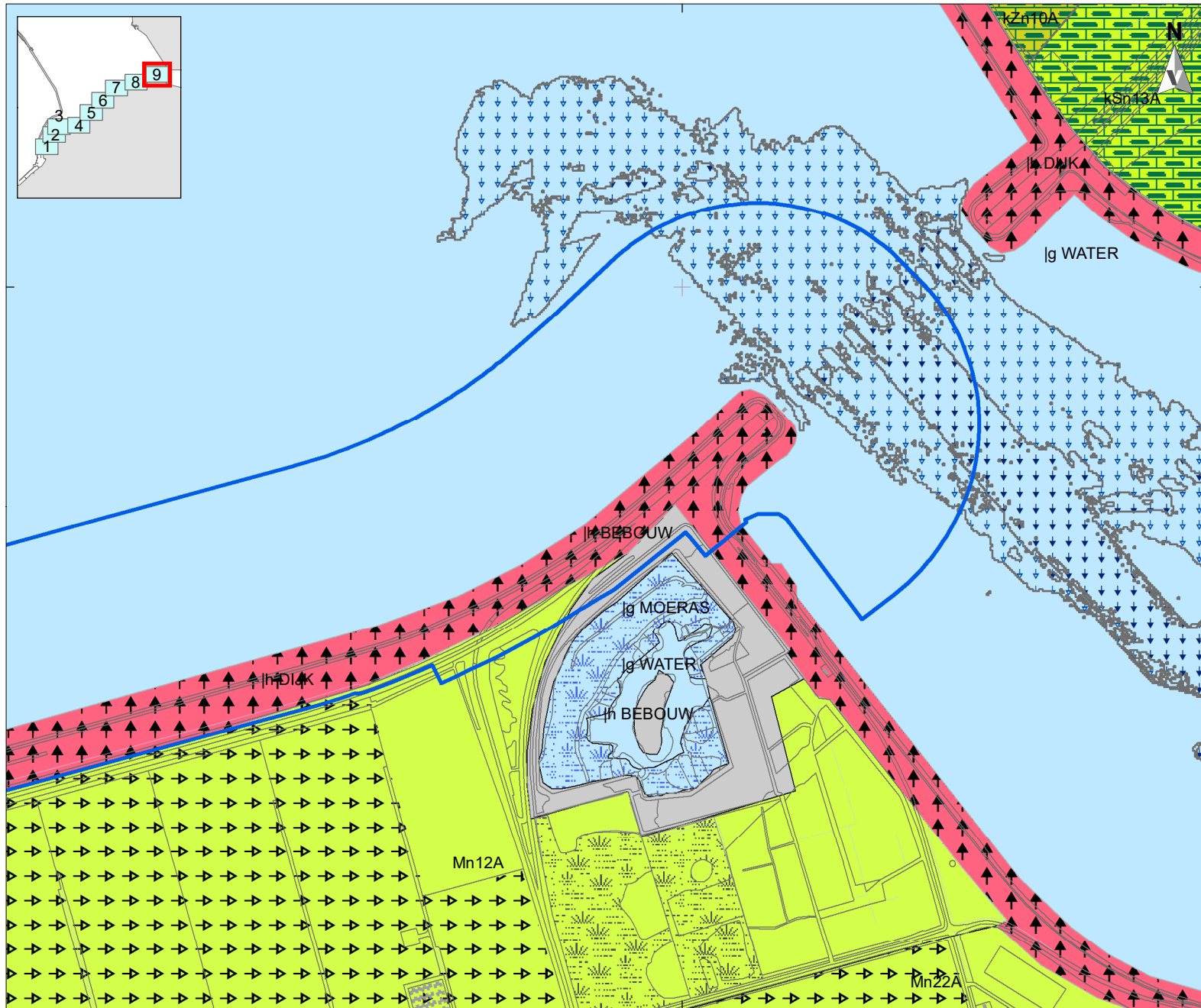
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

# KAART 3- 9: NATUURLIJK LANDSCHAP: BODEMTYPEN



514000



172000

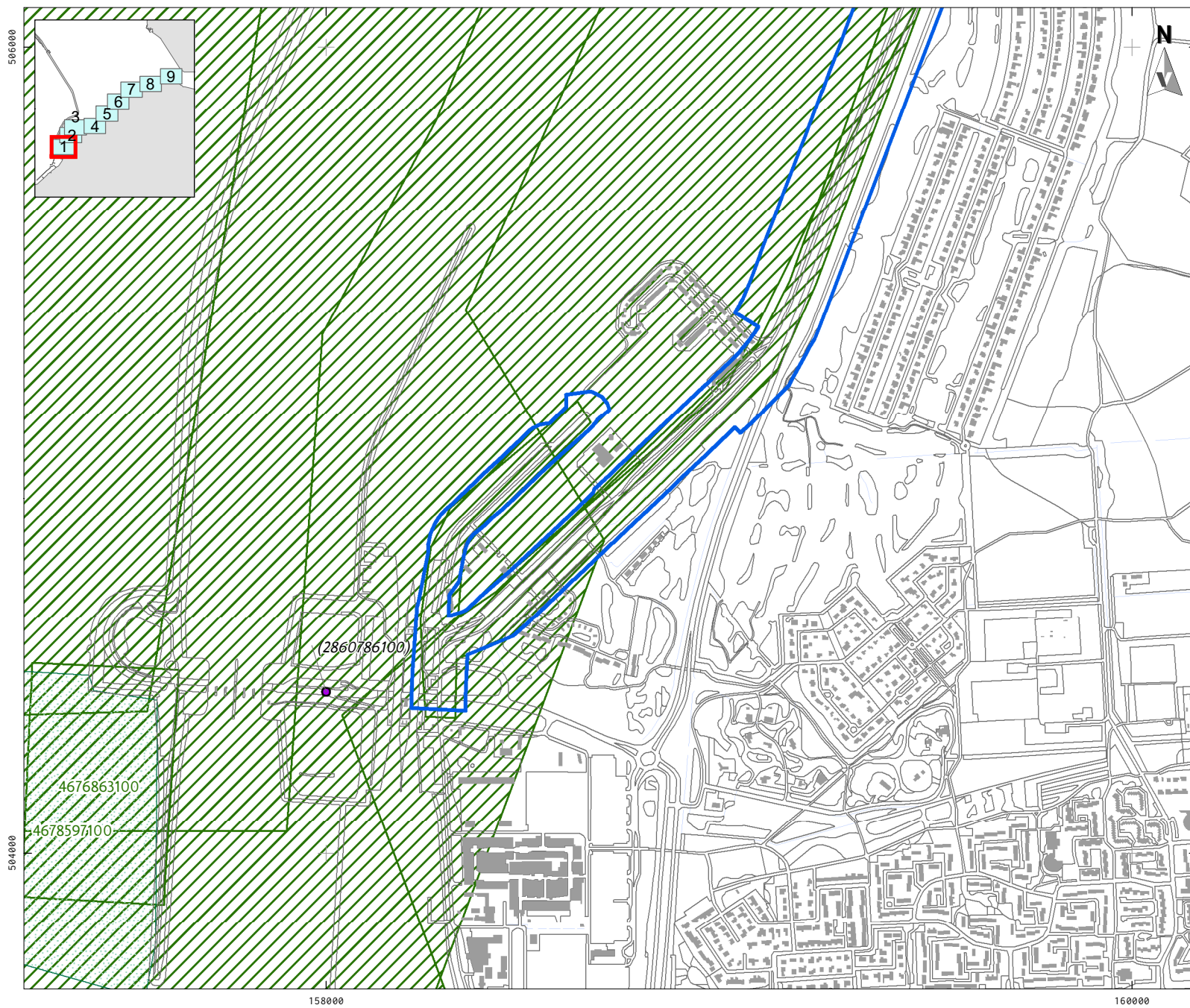
## LEGENDA

- Onderzoeksgebied
- Depots
- Gemodificeerde natuur
- Vergravingen
- Bijzonderheden bovengrond
  - k., Zavel- of klei-dek, 15 à 40 cm dik
  - Zn10A Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand
  - Sn13A Kalkhoudende vlakvaaggronden; zwak en sterk lemig, kleiig, uiterst fijn zand
  - Mn12A Kalkrijke poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 2
  - Mn22A Kalkrijke poldervaaggronden; zware zavel, profielverloop 2
- Kalkhoudende zandgronden
  - Zn10A Kalkhoudende vlakvaaggronden; uiterst fijn zand
  - Sn13A Kalkhoudende vlakvaaggronden; zwak en sterk lemig, kleiig, uiterst fijn zand
- Zeekleigronden
  - Mn12A Kalkrijke poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 2
  - Mn22A Kalkrijke poldervaaggronden; zware zavel, profielverloop 2
- Algemene oorsprong
  - Dijk
  - Gemeenten Lelystad en Dronten
  - Water
  - Moeras
  - Waterbodems
- Opmerkingen
  - Dijk V2178
  - Beboeven gebied, oktober 2021
  - Water Top10NL, CC-BY Kadaster 2021
  - Moeras Bodemkaart; PDOK juli 2017
  - Waterbodems Rijkswaterstaat
- Schaal: 1:5000 / A4
  - Diepe afgravingen waterbodems (meer dan 2,50 m)
  - Ondiepe afgravingen waterbodems (minder dan 2 m)








# KAART 4- 1: ARCHEOLOGIE: INVENTARISATIE





## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

Vondstlocaties (waarnemingen)

-  Losse vondstlocatie
-  Vondstlocatie gekoppeld aan onderzoek

Onderzoeken

-  Archeologisch: bureauonderzoek
-  Archeologisch: overig

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Onderzoeken, Vondstlocaties RCE 2021

Monumenten, RCE juli 2014

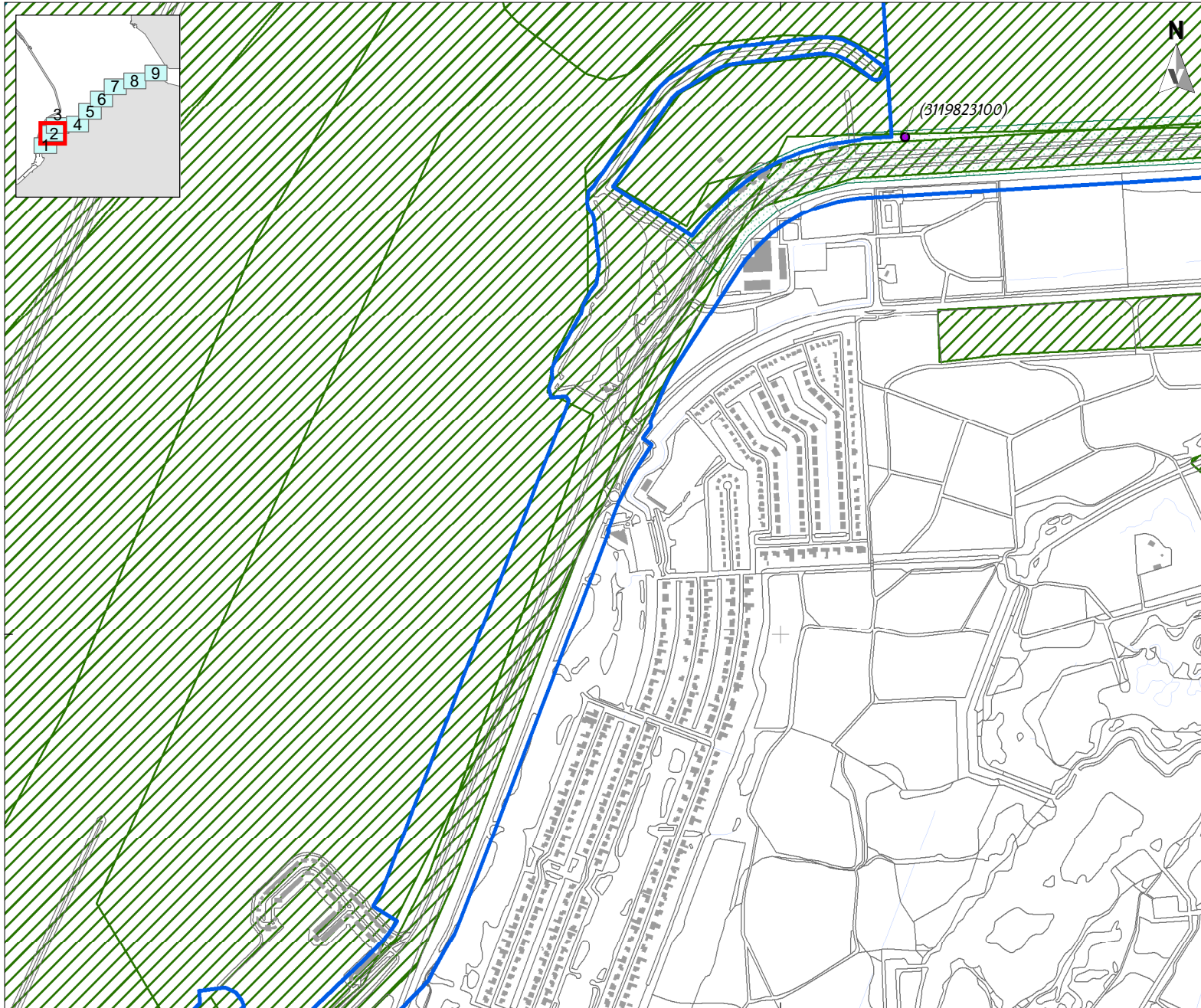
Tekenaar: RS

Schaal: 1:14.000 / A4

 250 m



# KAART 4- 2: ARCHEOLOGIE: INVENTARISATIE



## LEGENDA

Onderzoeksgebied

Vondstlocaties (waarnemingen)

- Losse vondstlocatie
- Vondstlocatie gekoppeld aan onderzoek

Onderzoeken

- Archeologisch: bureauonderzoek
- Archeologisch: overig
- Archeologisch: onderwaterarcheologie

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Onderzoeken, Vondstlocaties RCE 2021

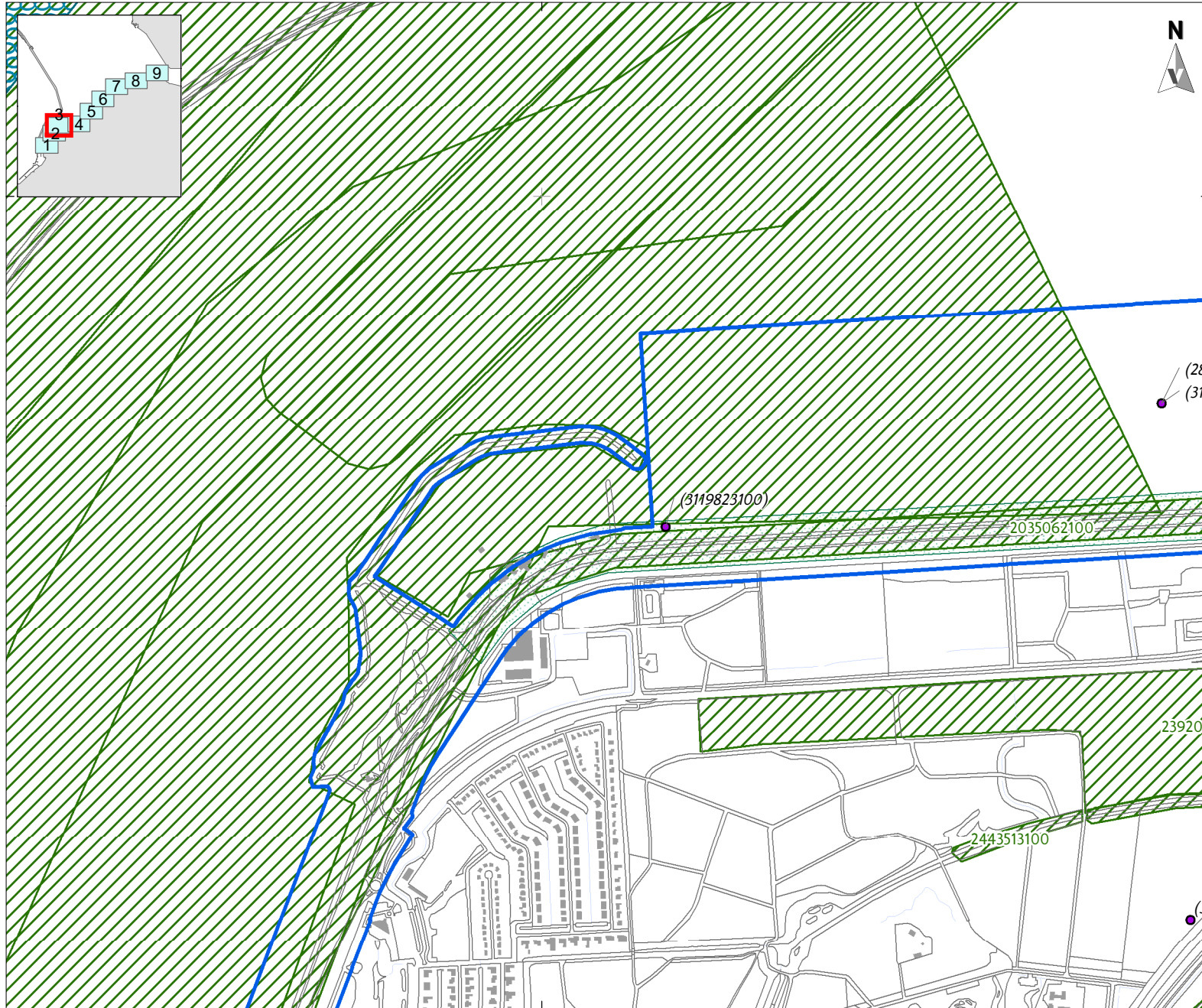
Monumenten, RCE juli 2014

Tekenaar: RS

Schaal: 1:14.000 / A4


0 250 m

# KAART 4- 3: ARCHEOLOGIE: INVENTARISATIE





50 00 00




## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

### Vondstlocaties (waarnemingen)

-  Losse vondstlocatie
-  Vondstlocatie gekoppeld aan onderzoek

### Onderzoeken

-  Archeologisch: bureauonderzoek
-  Archeologisch: overig
-  Archeologisch: onderwaterarcheologie

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Onderzoeken, Vondstlocaties RCE 2021

Monumenten, RCE juli 2014

Tekenaar: RS

Schaal: 1:14.000 / A4

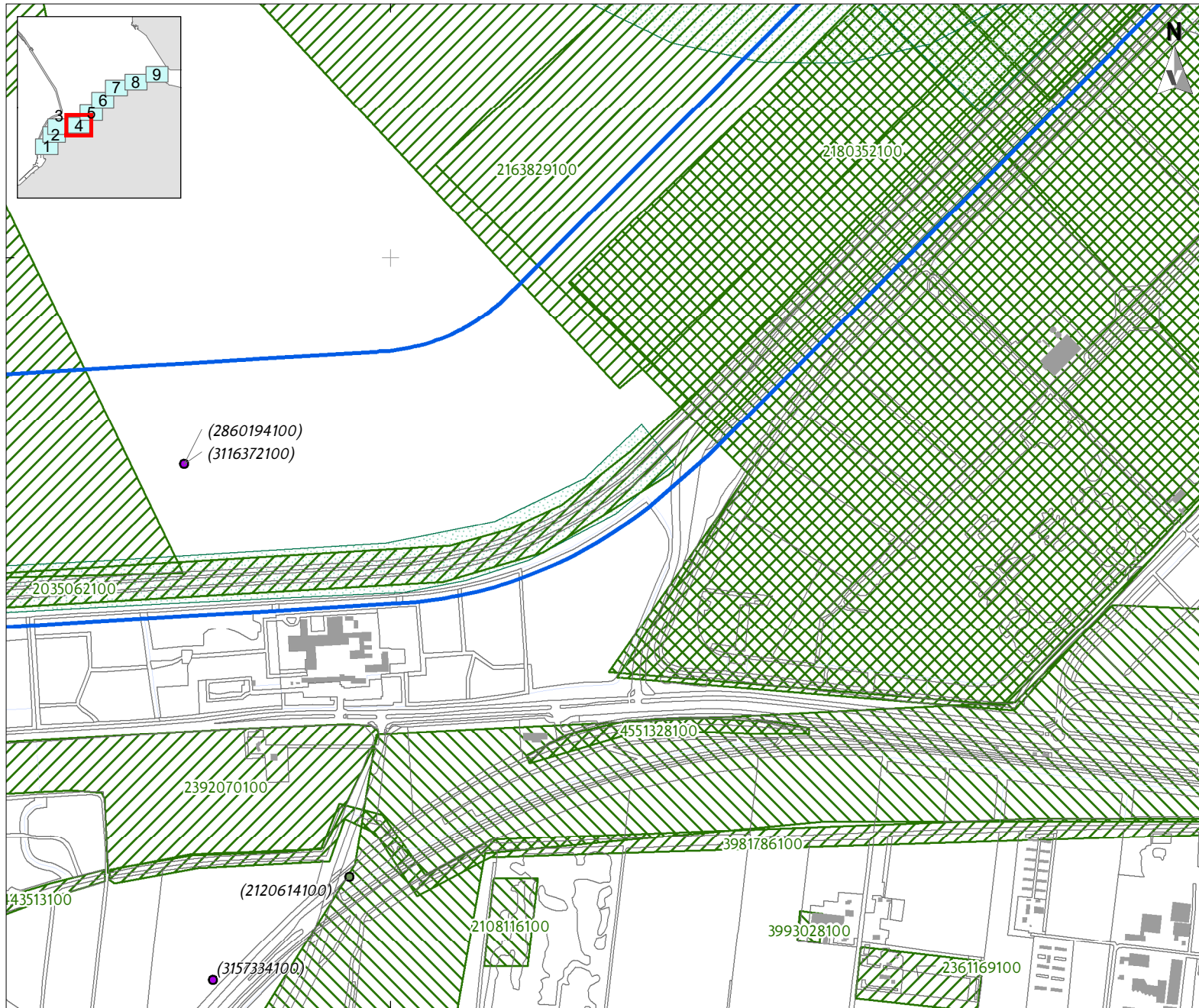
0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

160000



# KAART 4- 4: ARCHEOLOGIE: INVENTARISATIE



## LEGENDA

Onderzoeksgebied

### Vondstlocaties (waarnemingen)

- Losse vondstlocatie
- Vondstlocatie gekoppeld aan onderzoek

### Onderzoeken

- Archeologisch: booronderzoek
- Archeologisch: bureauonderzoek
- Archeologisch: overig

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Onderzoeken, Vondstlocaties RCE 2021

Monumenten, RCE juli 2014

Tekenaar: RS

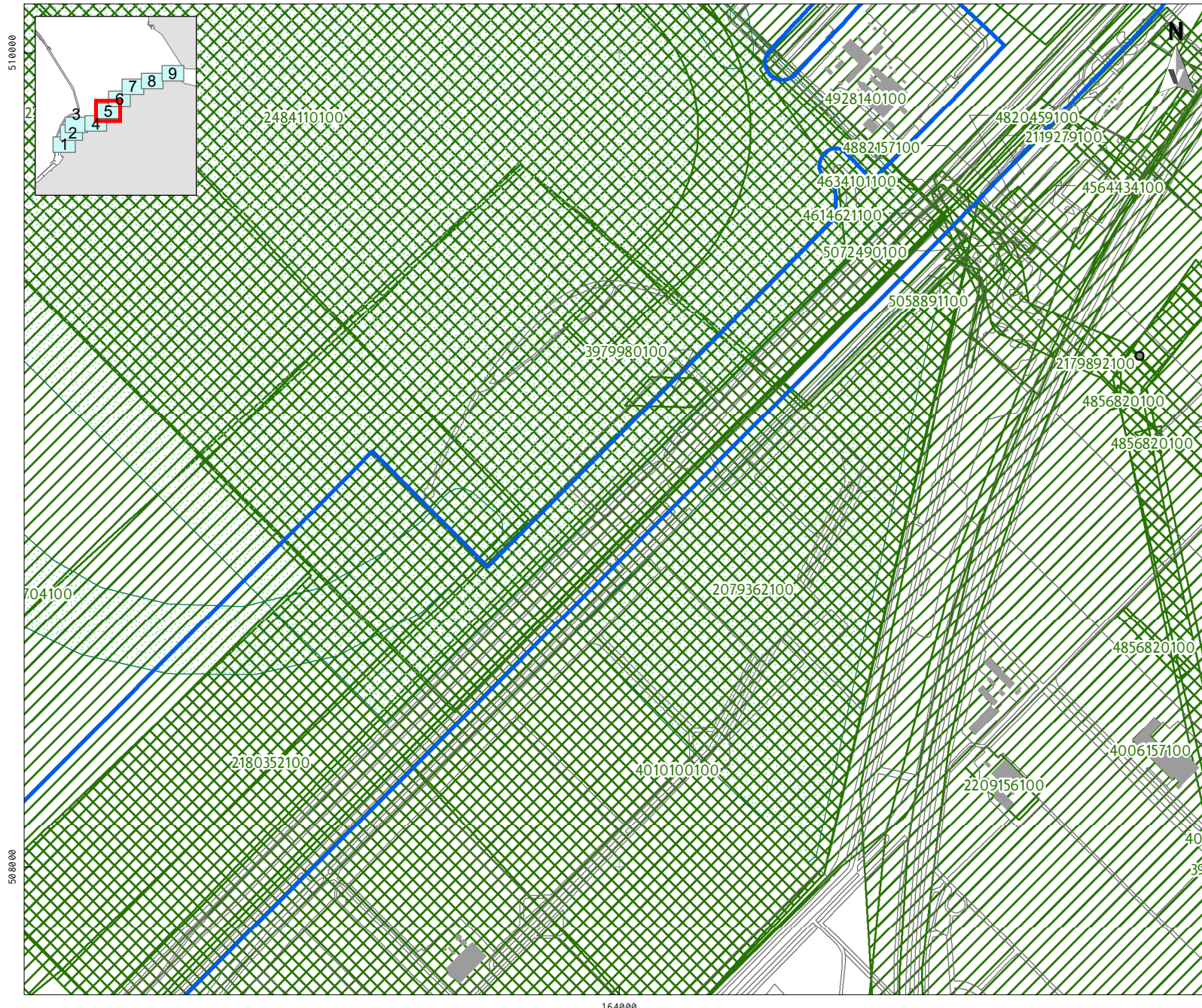
Schaal: 1:14.000 / A4

0 250 m





# KAART 4- 5: ARCHEOLOGIE: INVENTARISATIE



## LEGENDA

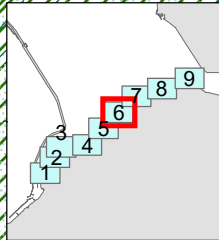
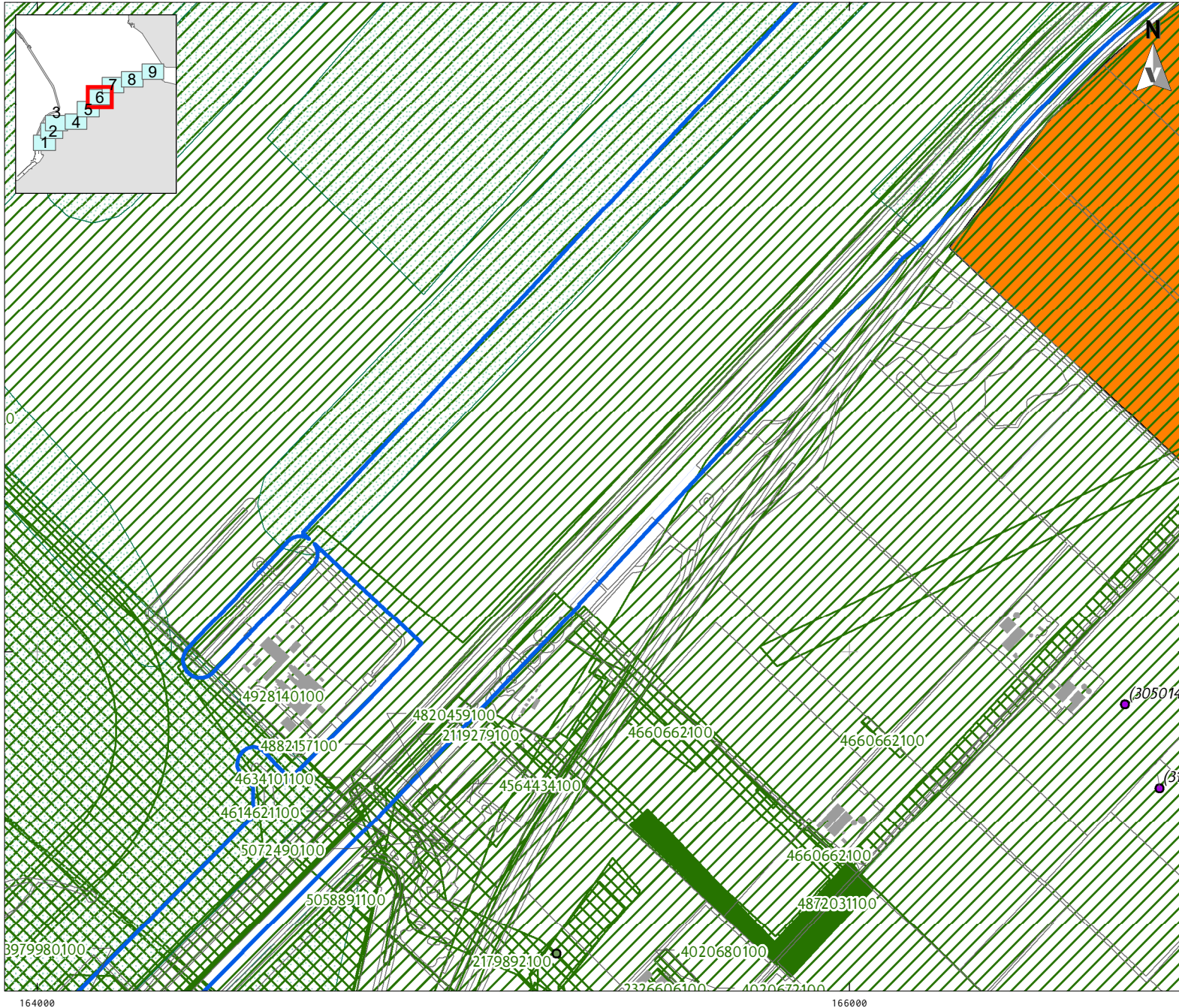
- Onderzoeksbied
  
- Vondstlocaties (waarnemingen)
  - Losse vondstlocatie
  - Vondstlocatie gekoppeld aan onderzoek
  
- Onderzoeken
  - Archeologisch: booronderzoek
  - Archeologisch: bureauonderzoek
  - Archeologisch: overig

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
 Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten  
 Rapport: V2178  
 Datum: September 2021  
 Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
 Onderzoeken, Vondstlocaties RCE 2021  
 Monumenten, RCE juli 2014  
 Tekenaar: RS  
 Schaal: 1:14.000 / A4  
 0 250 m





# KAART 4- 6: ARCHEOLOGIE: INVENTARISATIE



## LEGENDA

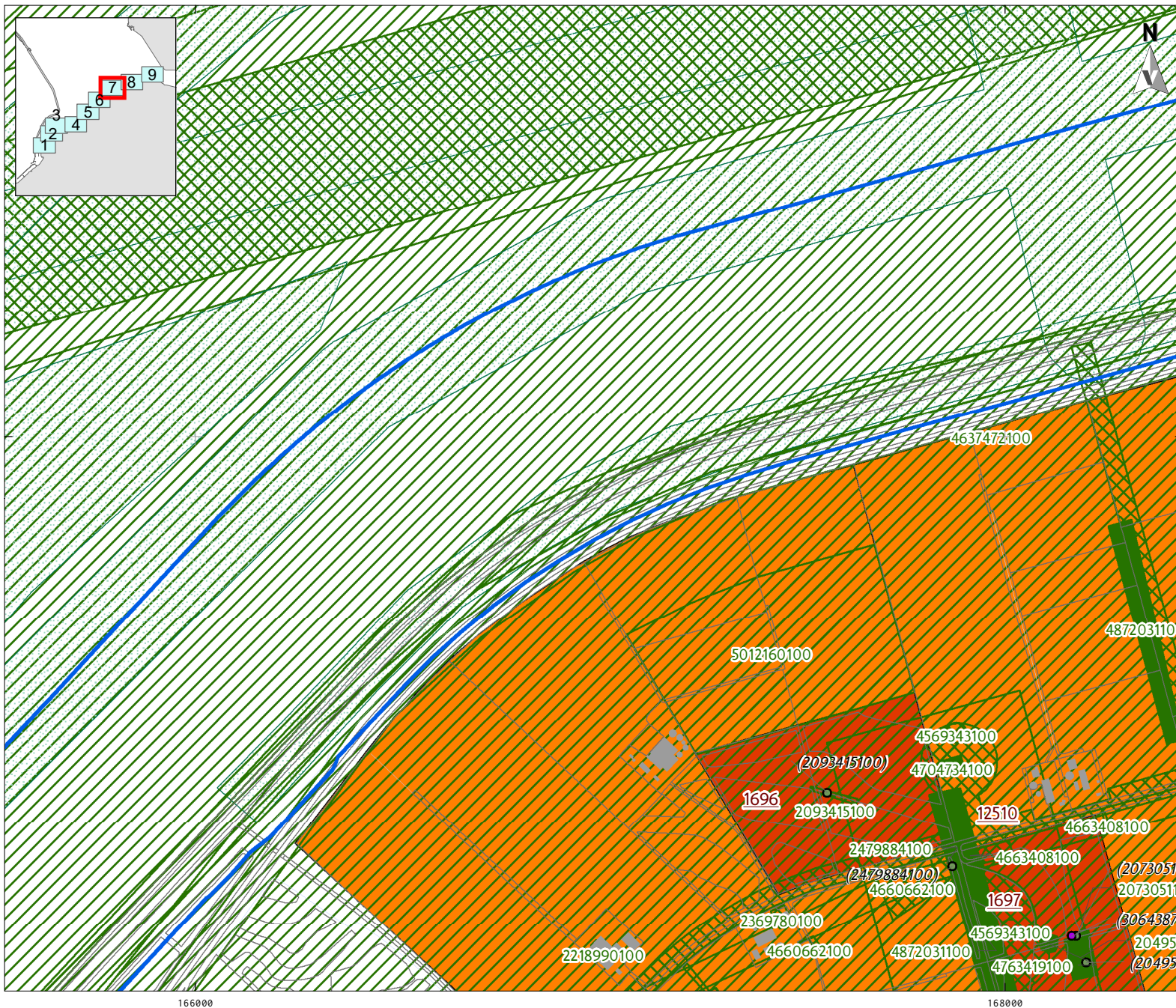
- Onderzoeksgebied
  
- Vondstlocaties (waarnemingen)
  - Losse vondstlocatie
  - Vondstlocatie gekoppeld aan onderzoek
  
- Onderzoeken
  - Archeologisch: opgraving of proefsleuven
  - Archeologisch: booronderzoek
  - Archeologisch: bureauonderzoek
  - Archeologisch: overig
  
- AMK-terreinen
  - Terrein van hoge archeologische waarde

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
 Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten  
 Rapport: V2178  
 Datum: September 2021  
 Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
 Onderzoeken, Vondstlocaties RCE 2021  
 Monumenten, RCE juli 2014  
 Tekenaar: RS  
 Schaal: 1:14.000 / A4





# KAART 4- 7: ARCHEOLOGIE: INVENTARISATIE



## LEGENDA

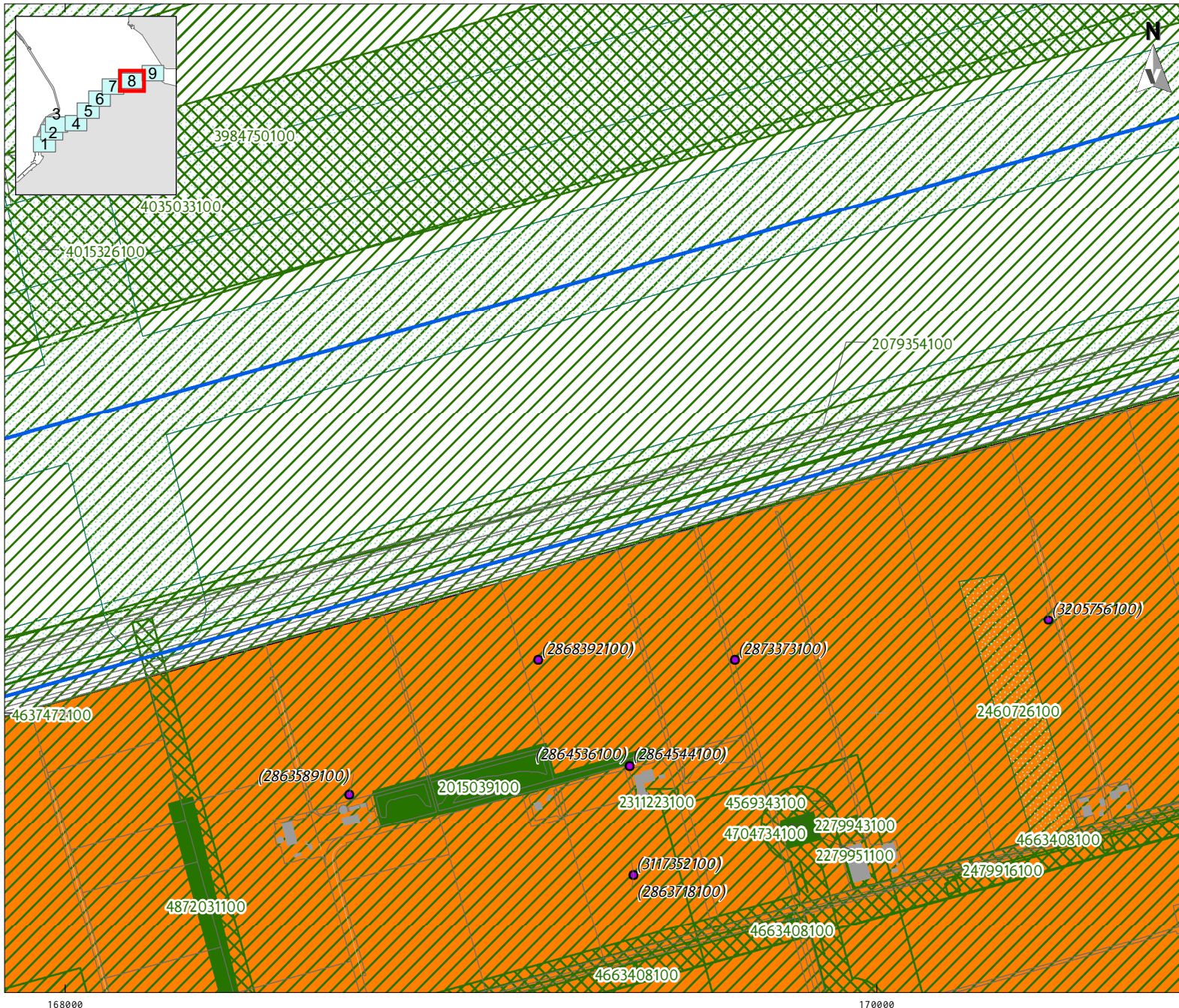
- Onderzoeksgebied
  
- Vondstlocaties (waarnemingen)
  - Losse vondstlocatie
  - Vondstlocatie gekoppeld aan onderzoek
  
- Onderzoeken
  - Archeologisch: opgraving of proefsleuven
  - Archeologisch: booronderzoek
  - Archeologisch: bureauonderzoek
  - Archeologisch: overig
  
- AMK-terreinen
  - Terrein van hoge archeologische waarde
  - Terrein van zeer hoge archeologische waarde

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
 Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten  
 Rapport: V2178  
 Datum: September 2021  
 Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
 Onderzoeken, Vondstlocaties RCE 2021  
 Monumenten, RCE juli 2014  
 Tekenaar: RS  
 Schaal: 1:14.000 / A4  
 0 250 m





# KAART 4- 8: ARCHEOLOGIE: INVENTARISATIE



## LEGENDA

Onderzoeksgebied

Vondstlocaties (waarnemingen)

- Losse vondstlocatie
- Vondstlocatie gekoppeld aan onderzoek

Onderzoeken

- Archeologisch: opgraving of proefsleuven
- Archeologisch: booronderzoek
- Archeologisch: bureauonderzoek
- Archeologisch: overig

AMK-terreinen

- Terrein van hoge archeologische waarde

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Onderzoeken, Vondstlocaties RCE 2021

Monumenten, RCE juli 2014

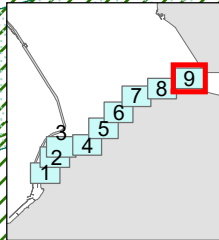
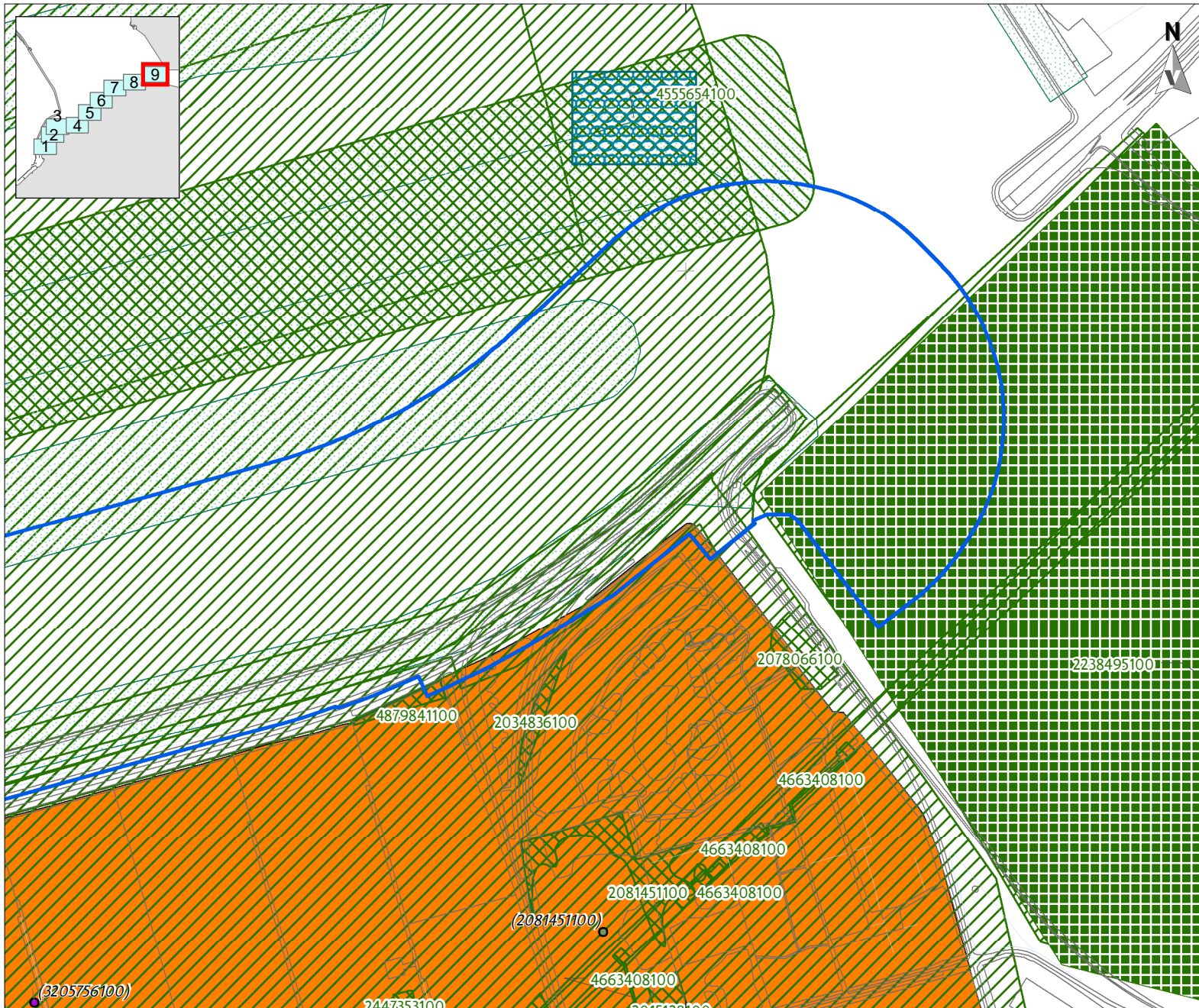
Tekenaar: RS

Schaal: 1:14.000 / A4

0 250 m



# KAART 4- 9: ARCHEOLOGIE: INVENTARISATIE



## LEGENDA

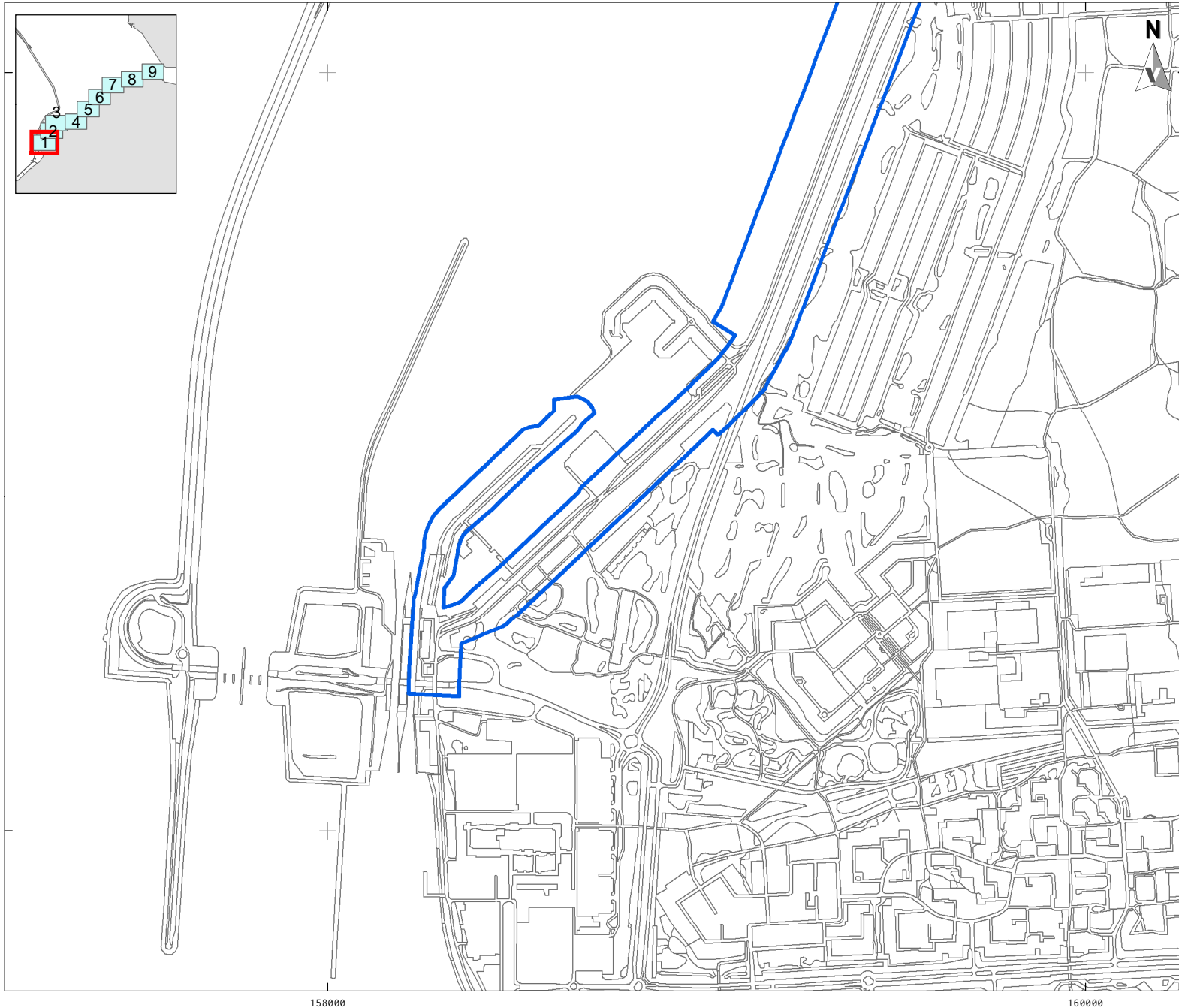
- Onderzoeksgebied
  
- Vondstlocaties (waarnemingen)
  - Losse vondstlocatie
  - Vondstlocatie gekoppeld aan onderzoek
  
- Onderzoeken
  - Archeologisch: begeleiding
  - Archeologisch: booronderzoek
  - Archeologisch: bureauonderzoek
  - Archeologisch: overig
  - Archeologisch: onderwaterarcheologie
  
- AMK-terreinen
  - Terrein van hoge archeologische waarde

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
 Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten  
 Rapport: V2178  
 Datum: September 2021  
 Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
 Onderzoeken, Vondstlocaties RCE 2021  
 Monumenten, RCE juli 2014  
 Tekenaar: RS  
 Schaal: 1:14.000 / A4




514000

# KAART 5- 1: BEKENDE WRAKKEN



## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

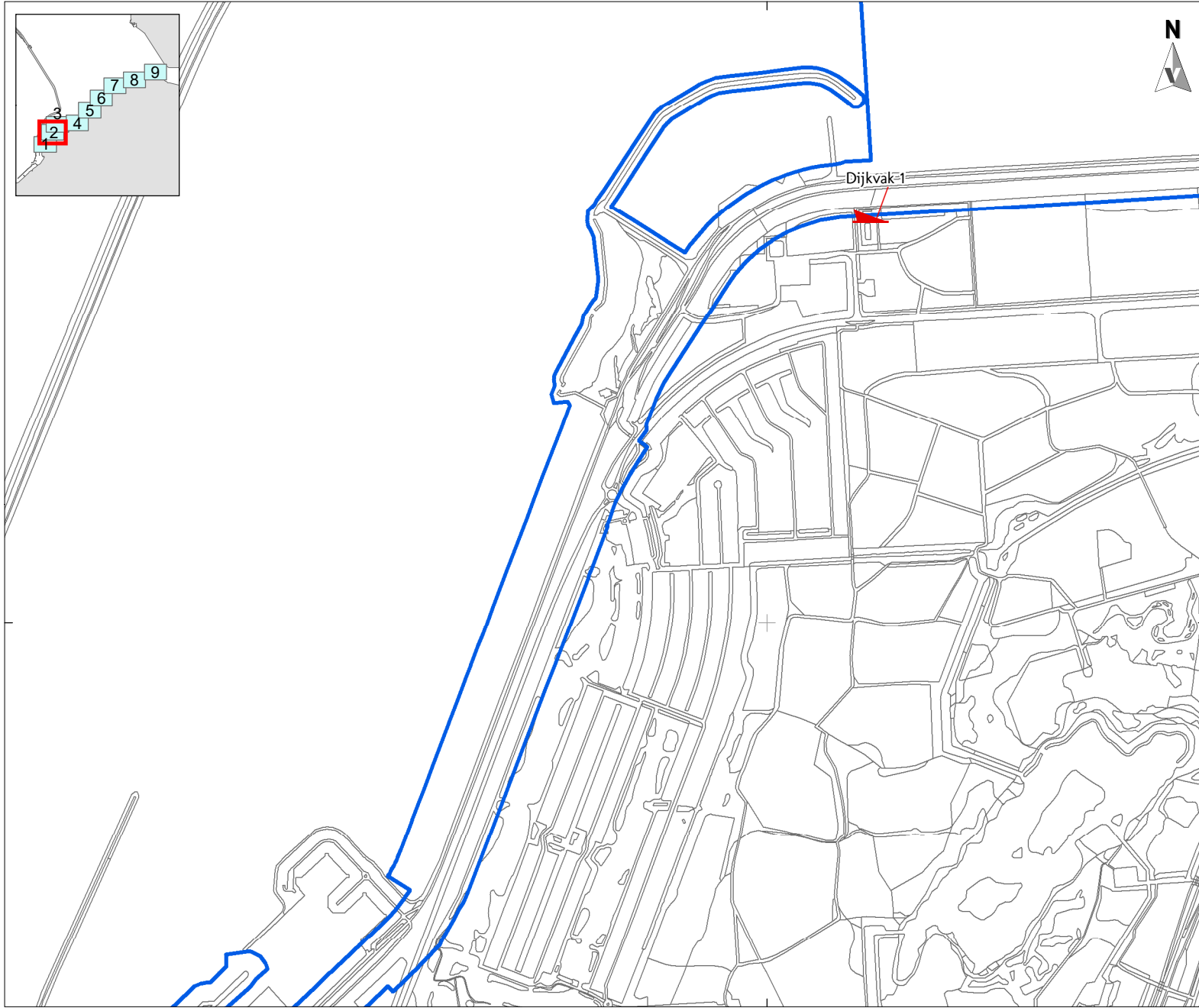
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
MACHU database  
MaSS database  
Scheepswrakken Database Flevoland (SDF 3)

Tekenaar: NS/RS


Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

# KAART 5- 2: BEKENDE WRAKKEN



## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

Categorie

 Afwezig

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178


Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

MACHU database  
MaSS database  
Scheepswrakken Database Flevoland (SDF 3)

Tekenaar: NS/RS

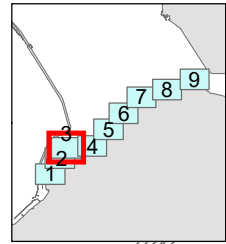
Schaal: 1:15.000 / A4

 0 250 m


**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie



# KAART 5- 3: BEKENDE WRAKKEN



## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

Categorie

 Afwezig

506000

506000

160000

Dijkvak-1

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

MACHU database

MaSS database

Scheepswrakken Database Flevoland (SDF 3)

Tekenaar: NS/RS

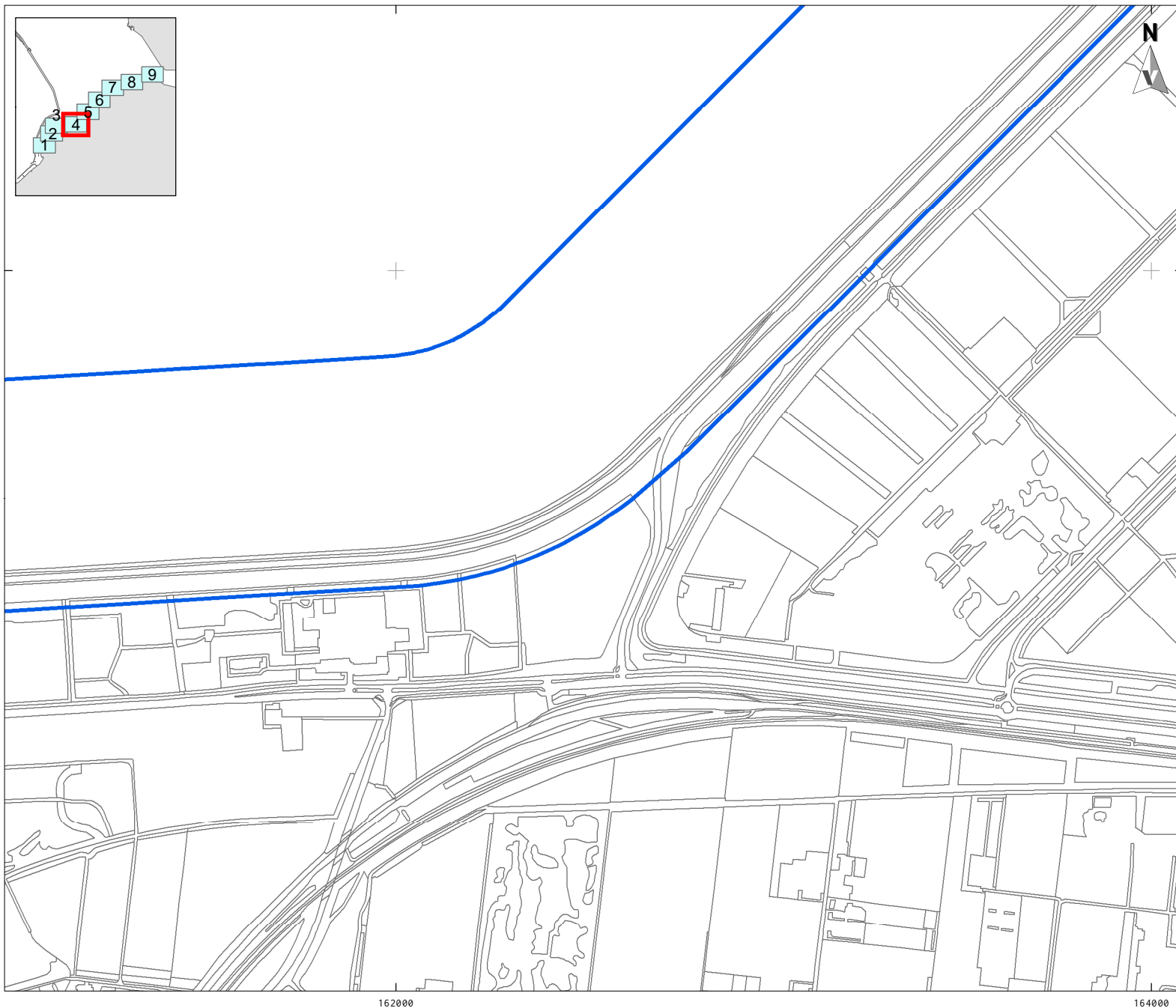
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m






# KAART 5- 4: BEKENDE WRAKKEN



## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
MACHU database  
MaSS database  
Scheepswrakken Database Flevoland (SDF 3)

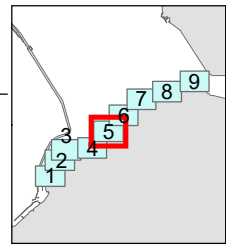
Tekenaar: NS/RS

Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

# KAART 5- 5: BEKENDE WRAKKEN




510000


508000

164000

## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

Categorie

 Aanwezig

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

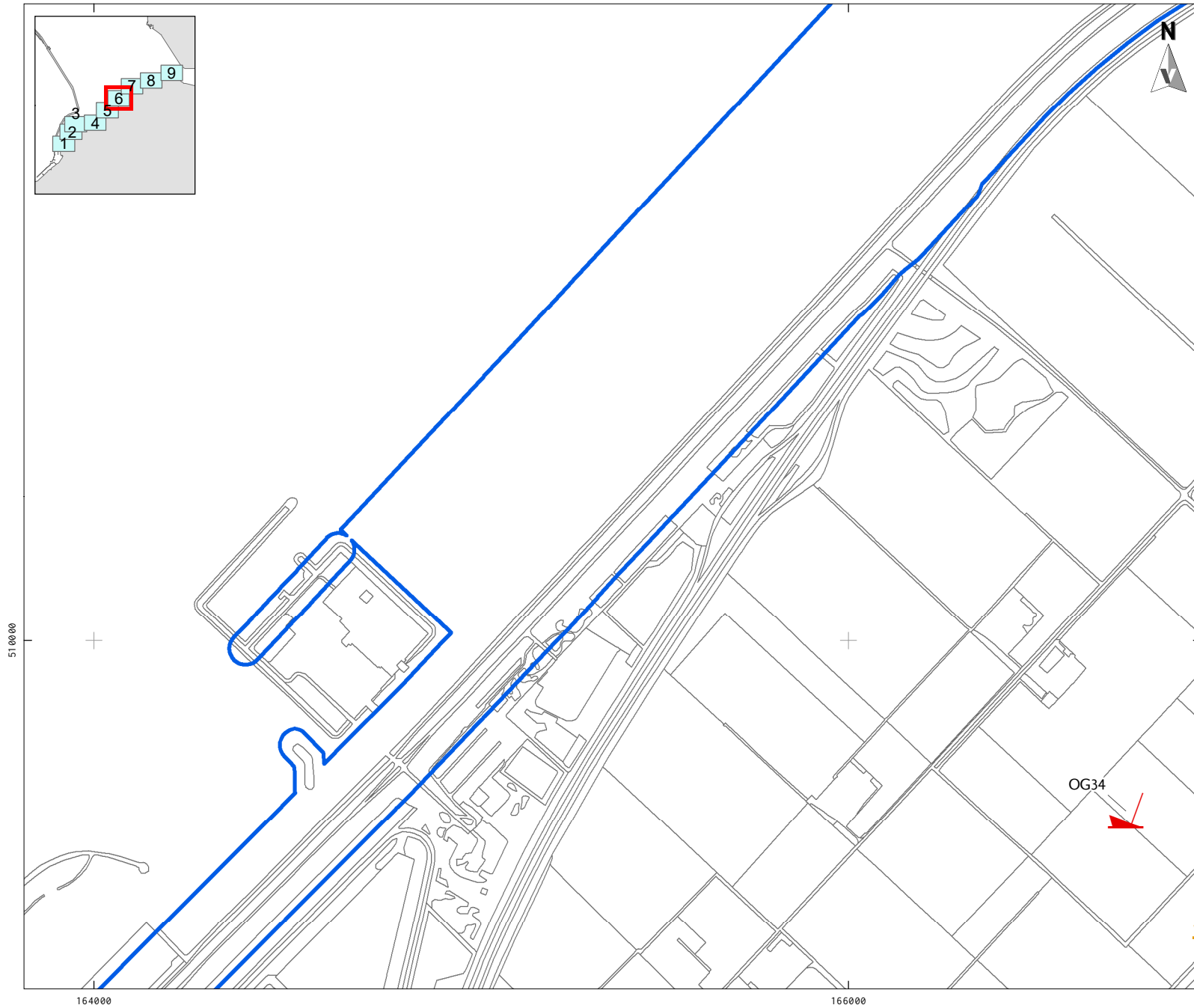
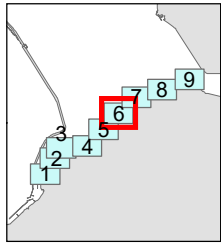
Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
MACHU database  
MaSS database  
Scheepswrakken Database Flevoland (SDF 3)

Tekenaar: NS/RS  
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m



# KAART 5- 6: BEKENDE WRAKKEN



## LEGENDA

- Onderzoeksgebied
- Categorie**
- Aan-/afwezigheid onbekend
- Afwezig

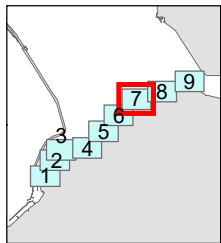
Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
MACHU database  
MaSS database  
Scheepswrakken Database Flevoland (SDF 3)


Tekenaar: NS/RS  
Schaal: 1:15.000 / A4




# KAART 5- 7: BEKENDE WRAKKEN



## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

Categorie

 Aan-/afwezigheid onbekend

512000

166000

168000

OG42

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

MACHU database

MaSS database

Scheepswrakken Database Flevoland (SDF 3)

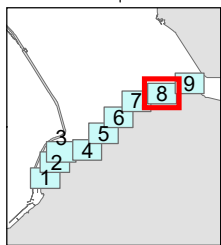
Tekenaar: NS/RS

Schaal: 1:15.000 / A4


0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie


# KAART 5- 8: BEKENDE WRAKKEN



## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

### Categorie

 Aan-/afwezigheid onbekend

512000

OH7



Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

MACHU database  
MaSS database  
Scheepswrakken Database Flevoland (SDF 3)

Tekenaar: NS/RS

Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m



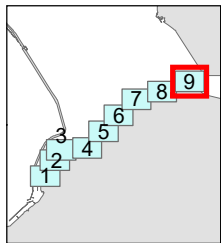
**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

168000

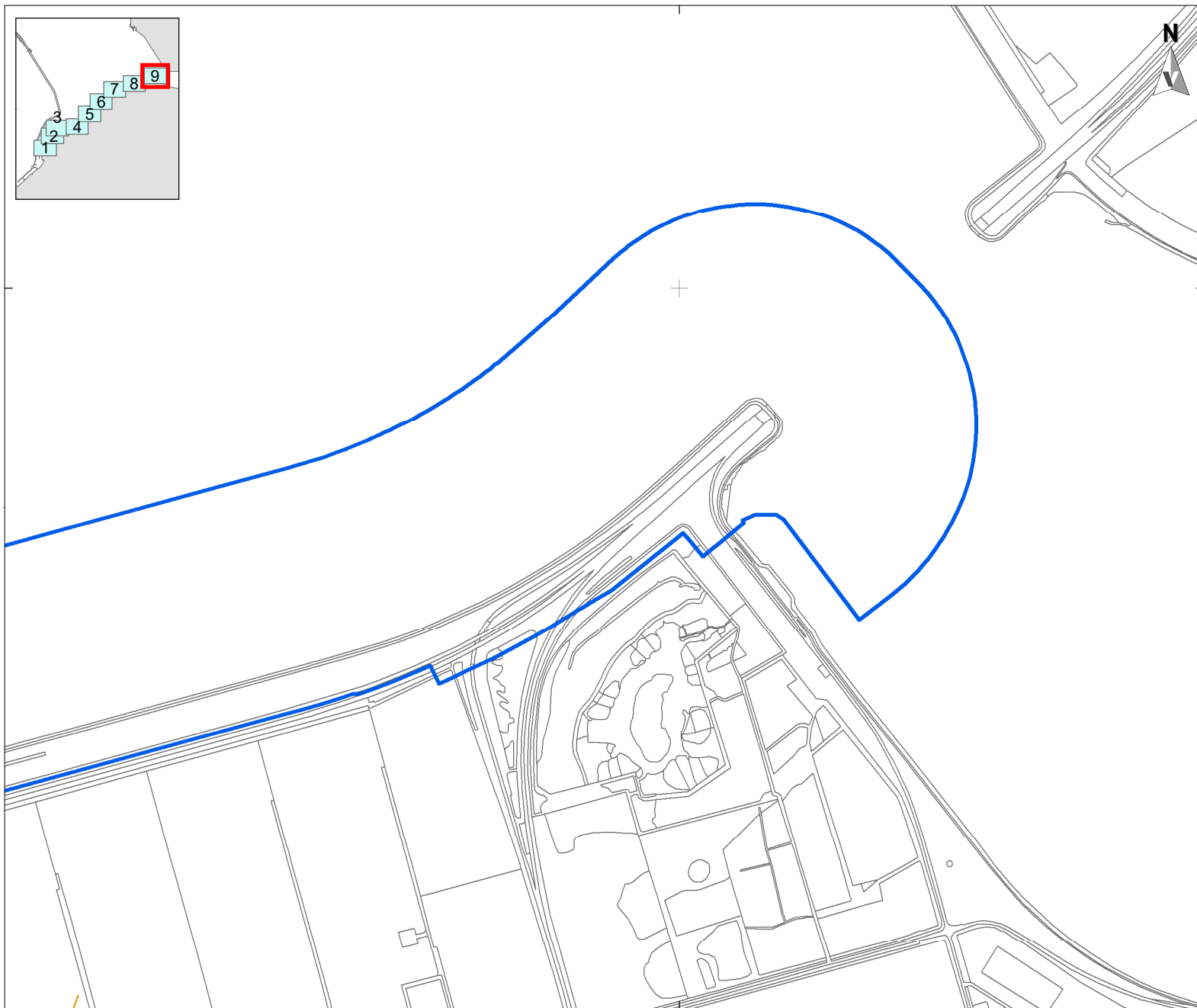
170000



# KAART 5- 9: BEKENDE WRAKKEN




514000




172000

## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

### Categorie

 Aan-/afwezigheid onbekend

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

MACHU database

MaSS database

Scheepswrakken Database Flevoland (SDF 3)

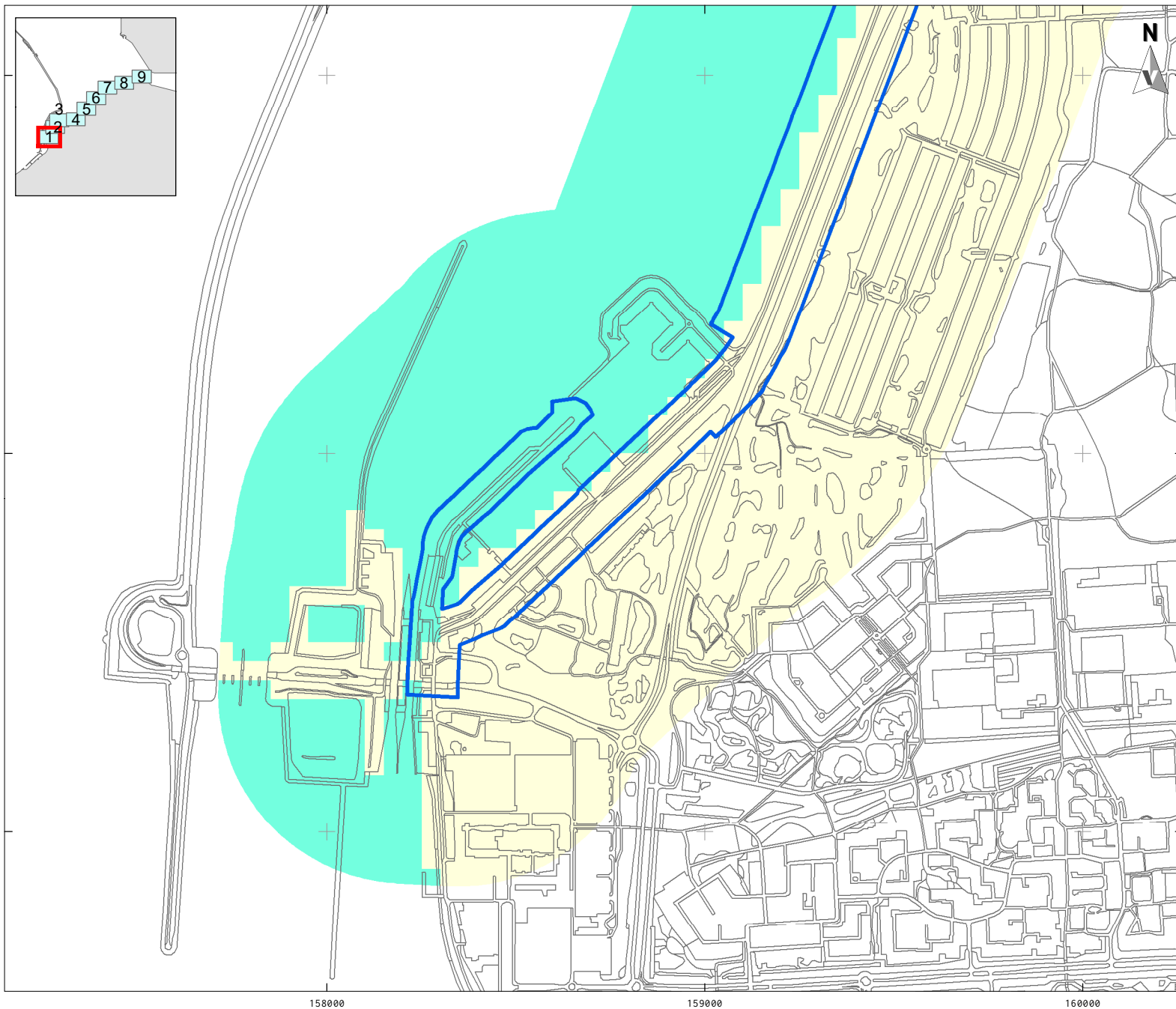
Tekenaar: NS/RS

Schaal: 1:15.000 / A4

 0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

# KAART 6- 1: ARCHEOLOGIE: BELEID



## LEGENDA

Onderzoeksgebied

*Lelystad - Categorieën*

Lage archeologische verwachtingswaarde

Water buitendijks

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Gemeente Lelystad  
Gemeente Dronten

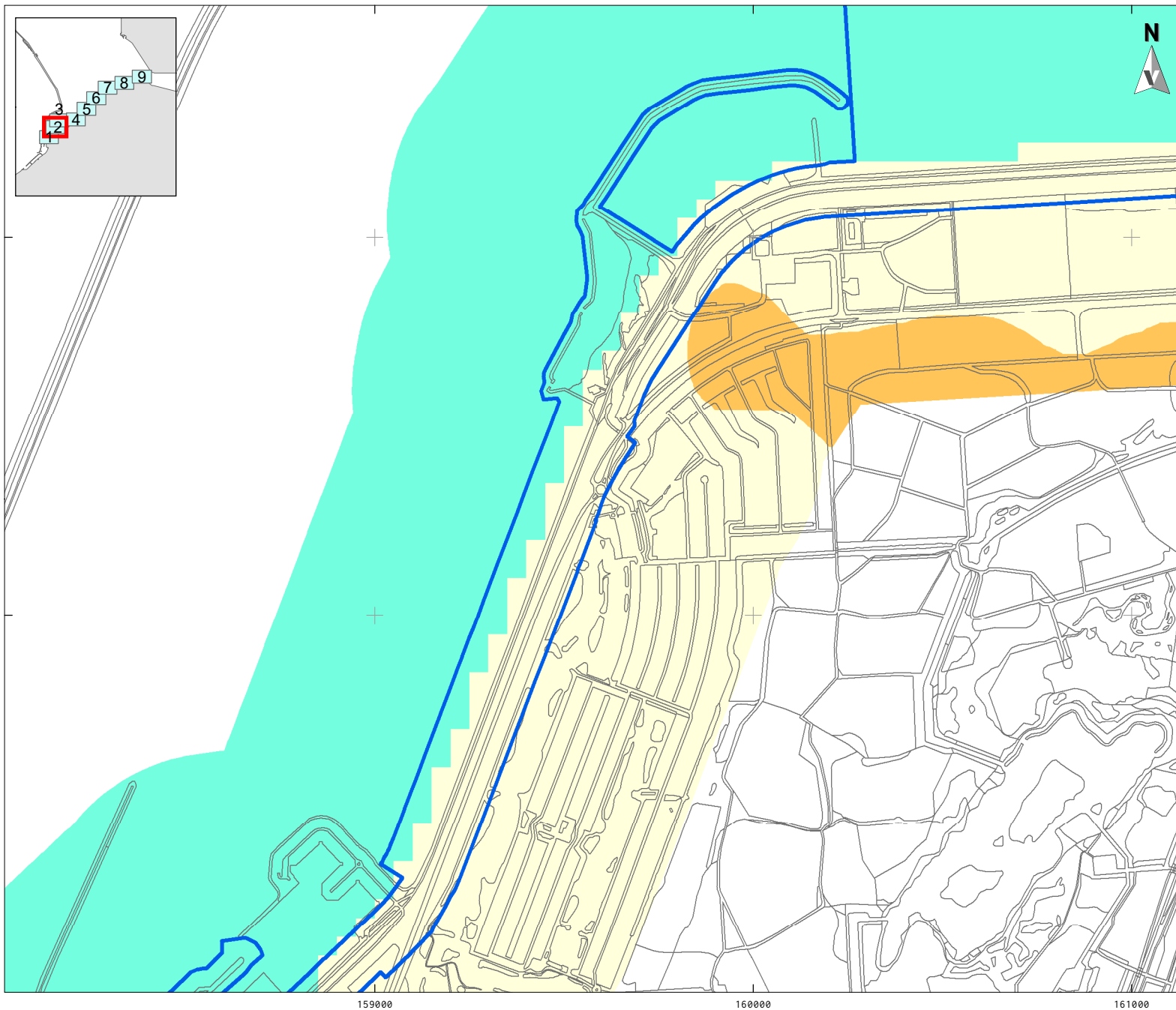
Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4

250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

# KAART 6- 2: ARCHEOLOGIE: BELEID



## LEGENDA

Onderzoeksgebied

*Lelystad - Categorieën*

Hoge archeologische verwachtingswaarde

Lage archeologische verwachtingswaarde

Water buitendijks

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Gemeente Lelystad  
Gemeente Dronten

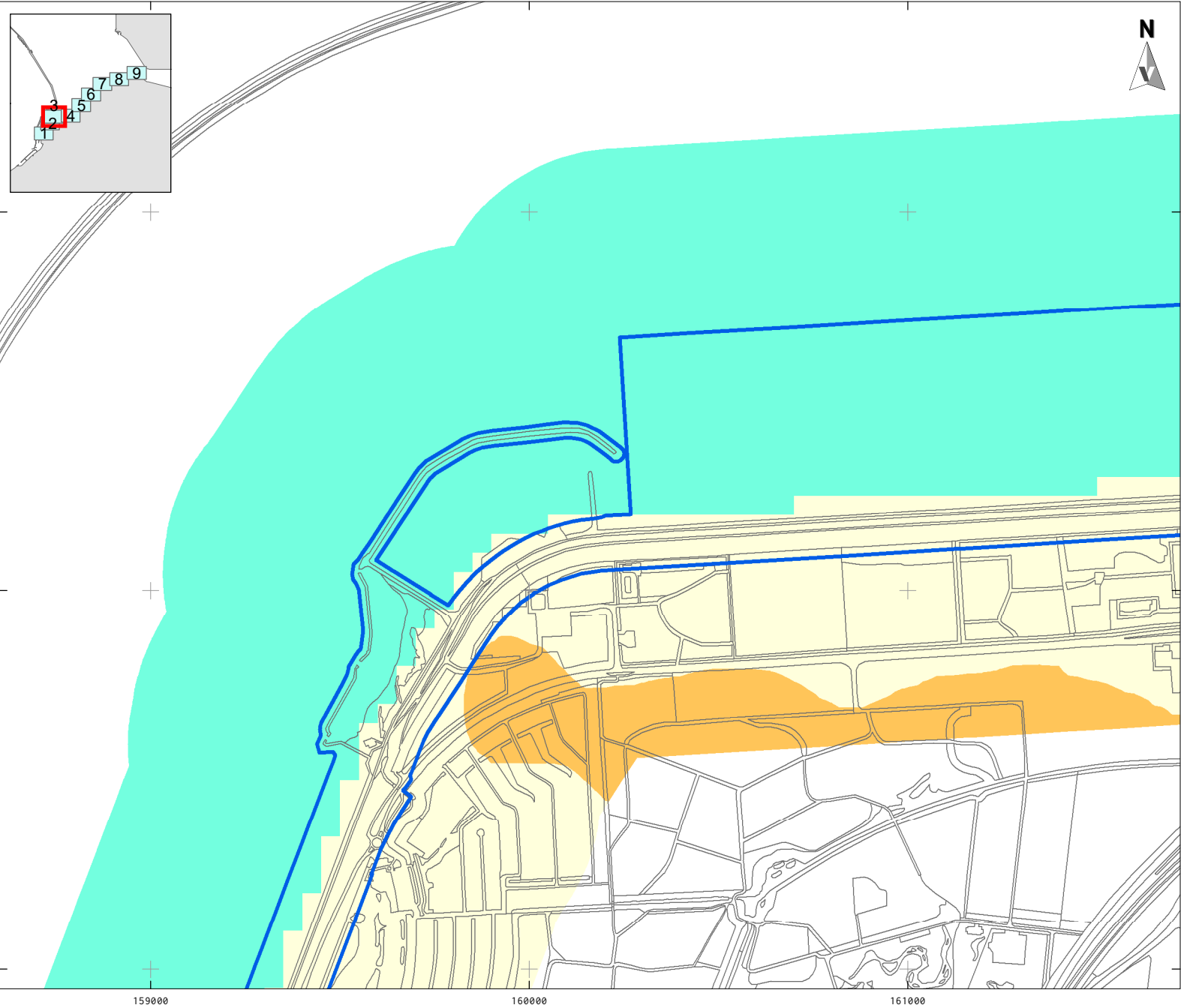
Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

# KAART 6- 3: ARCHEOLOGIE: BELEID



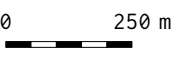
## LEGENDA

- Onderzoeksgebied
- Lelystad - Categorieën**
- Hoge archeologische verwachtingswaarde
- Lage archeologische verwachtingswaarde
- Water buitendijks

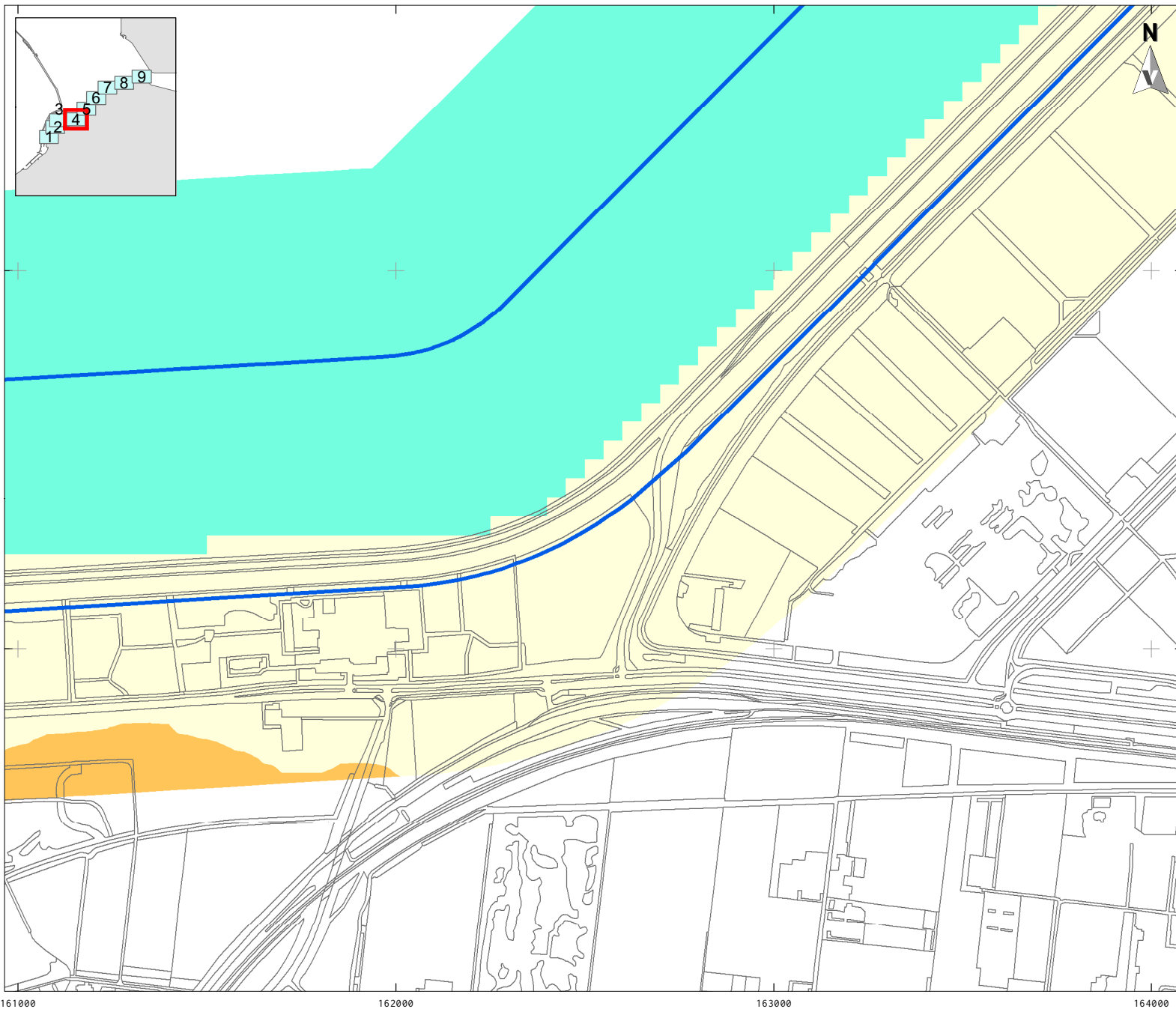
Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Gemeente Lelystad  
Gemeente Dronten

Tekenaar: RS  
Schaal: 1:15.000 / A4



# KAART 6- 4: ARCHEOLOGIE: BELEID



## LEGENDA

Onderzoeksgebied

*Lelystad - Categorieën*

Hoge archeologische verwachtingswaarde

Lage archeologische verwachtingswaarde

Water buitendijks

geen verwachting

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Gemeente Lelystad  
Gemeente Dronten

Tekenaar: RS

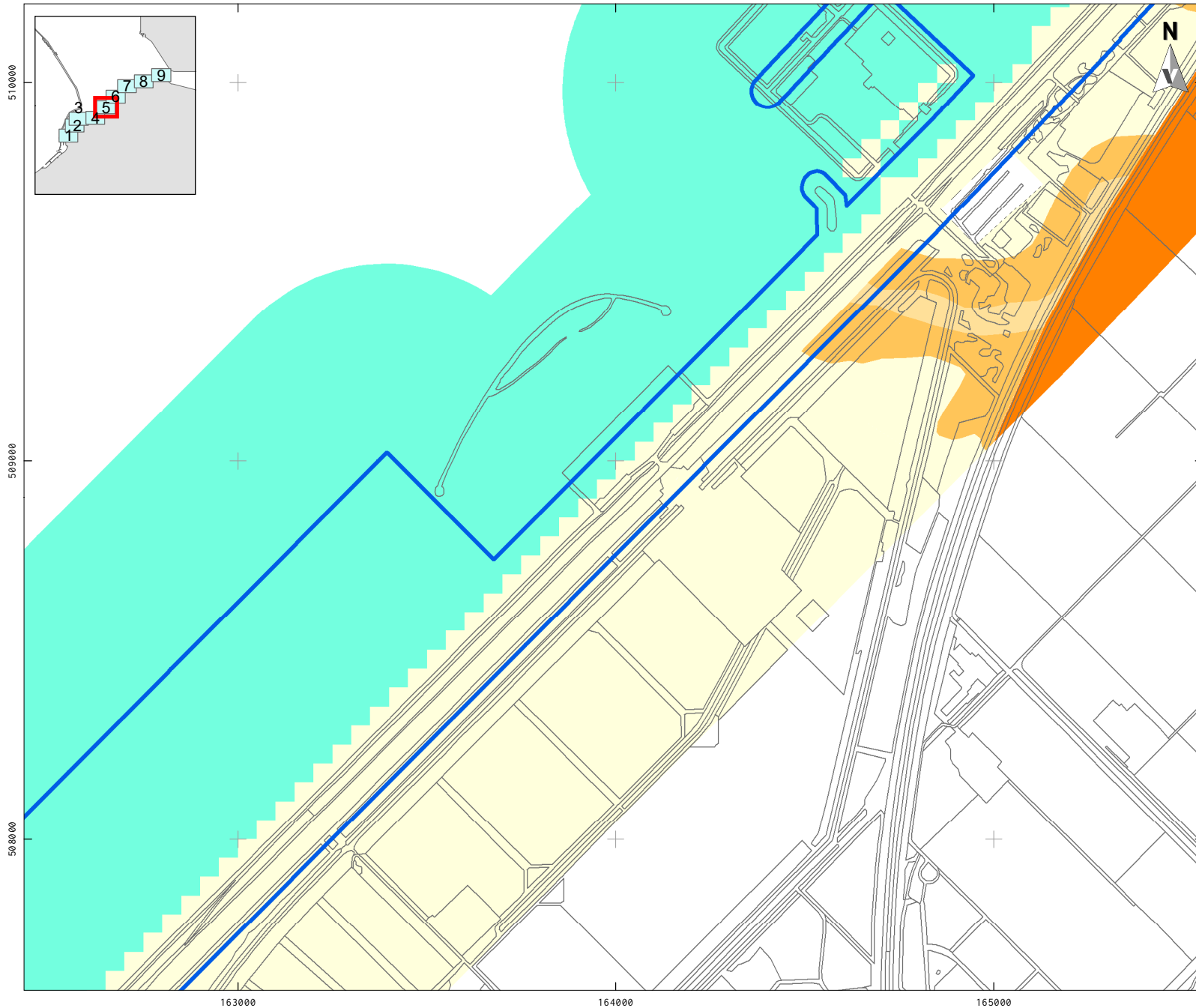
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie



# KAART 6- 5: ARCHEOLOGIE: BELEID



## LEGENDA

Onderzoeksgebied

*Lelystad - Categorieën*

- Archeologische waarde
- Hoge archeologische verwachtingswaarde
- Middelhoge archeologische verwachtingswaarde
- Lage archeologische verwachtingswaarde
- Water buitendijks
- geen verwachting

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

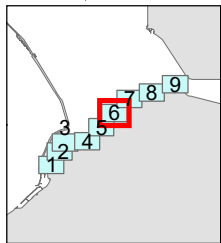
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Gemeente Lelystad  
Gemeente Dronten

Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

# KAART 6- 6: ARCHEOLOGIE: BELEID



511000

510000








164000

165000

166000



## LEGENDA

-  Onderzoeksgebied
- Lelystad - Categorieën**
-  Archeologische waarde
-  Hoge archeologische verwachtingswaarde
-  Middelhoge archeologische verwachtingswaarde
-  Lage archeologische verwachtingswaarde
-  Water buitendijks
-  geen verwachting

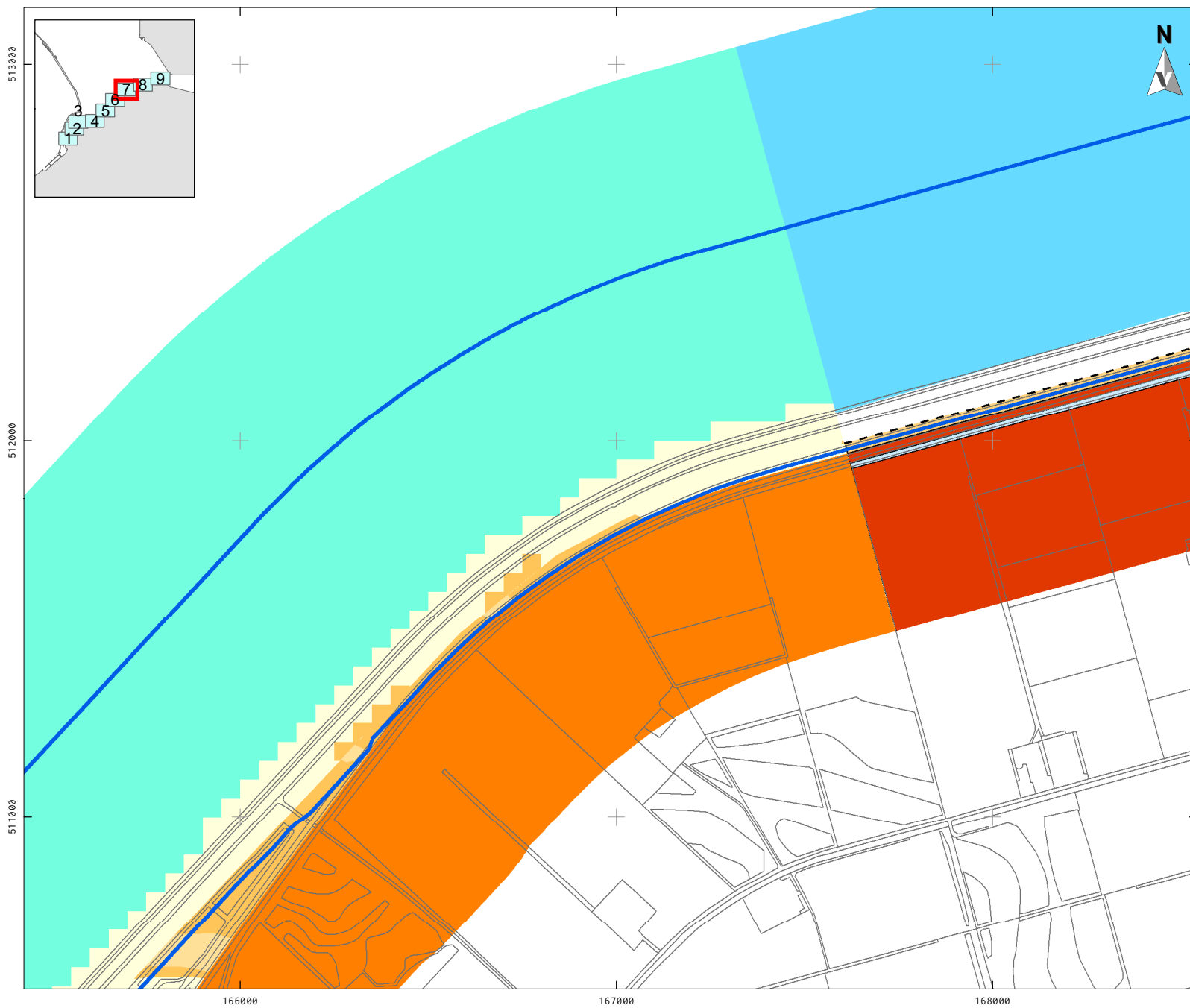
Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Gemeente Lelystad  
Gemeente Dronten

Tekenaar: RS  
Schaal: 1:15.000 / A4



# KAART 6- 7: ARCHEOLOGIE: BELEID



## LEGENDA

Onderzoeksgebied

### Lelystad - Categorieën

- Archeologische waarde
- Hoge archeologische verwachtingswaarde
- Middelhoge archeologische verwachtingswaarde
- Lage archeologische verwachtingswaarde
- Water buitendijks

### Dronten - beleidscategorieën

- archeologisch waardevol gebied 2
- archeologisch waardevol gebied 4
- archeologisch waardevol gebied 5
- overig - water
- vrijstellingsdiepte (0-40cm)

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

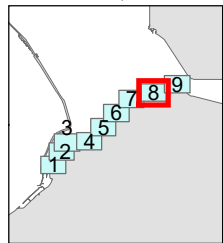
Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Gemeente Lelystad  
Gemeente Dronten

Tekenaar: RS  
Schaal: 1:15.000 / A4


0 250 m




# KAART 6- 8: ARCHEOLOGIE: BELEID



## LEGENDA


 Onderzoeksgebied


*Lelystad - Categorieën*


 Archeologische waarde


 Lage archeologische verwachtingswaarde

*Dronten - beleidscategorieën*

 archeologisch waardevol gebied 2

 archeologisch waardevol gebied 3

 archeologisch waardevol gebied 4

 archeologisch waardevol gebied 5

 overig - water

 vrijstellingsdiepte (0-40cm)

513000

512000

168000

169000

170000

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: September 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Gemeente Lelystad  
Gemeente Dronten

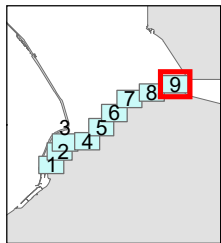
Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

# KAART 6- 9: ARCHEOLOGIE: BELEID



514000

513000

171000

172000

173000

## LEGENDA

Onderzoeksgebied

### Dronten - beleidscategorieën

archeologisch waardevol gebied 2

archeologisch waardevol gebied 3

archeologisch waardevol gebied 4

archeologisch waardevol gebied 5

overig - water

vrijstellingsdiepte (0-40cm)

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021  
Gemeente Lelystad  
Gemeente Dronten

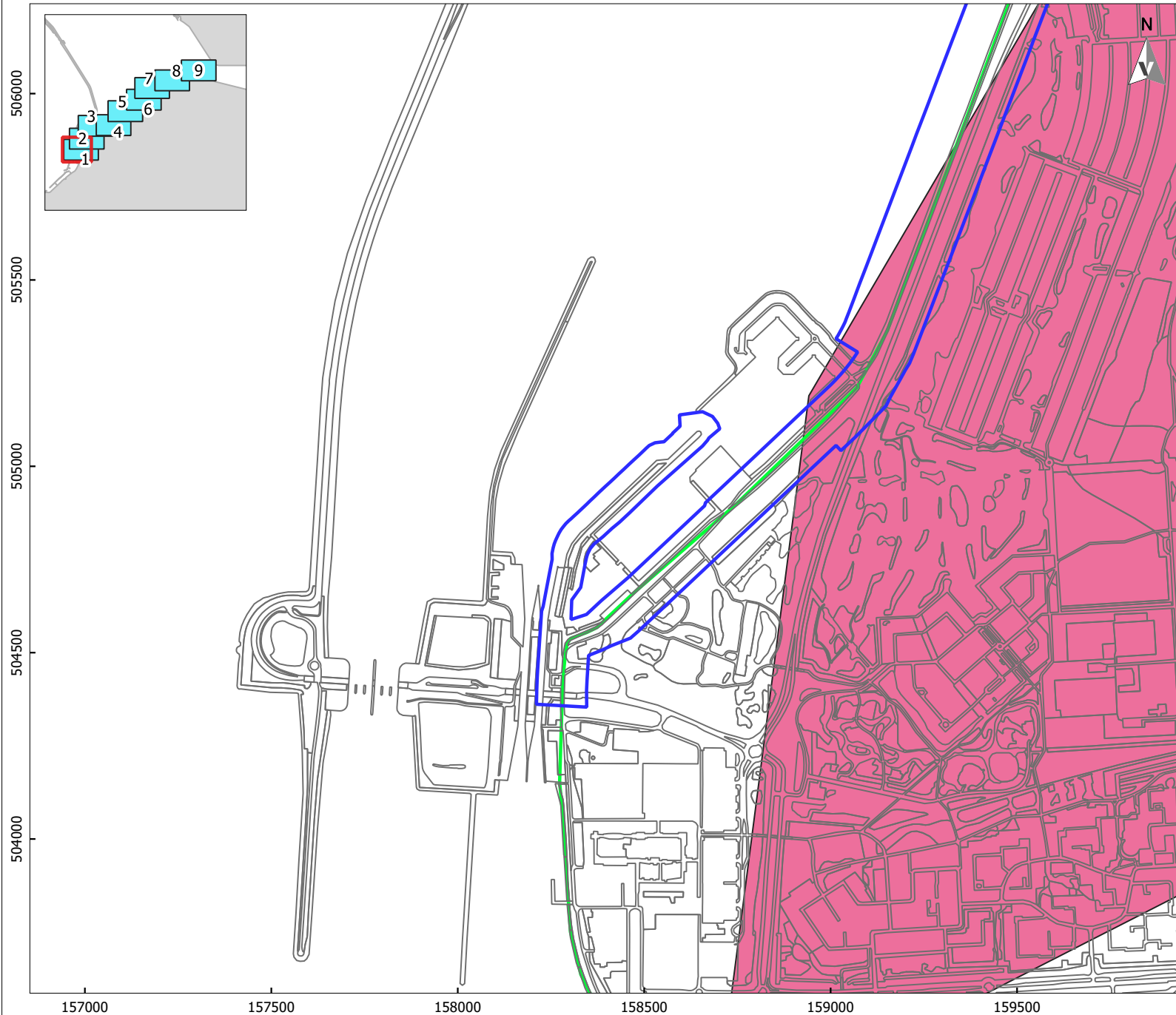
Tekenaar: RS  
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m








# KAART 7-1 - CULTUURHISTORISCHE WAARDEN



## LEGENDA

-  Plangebied
-  Dijken
-  Aardkundig waardevol


Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster jan. 2021  
Provincie Flevoland

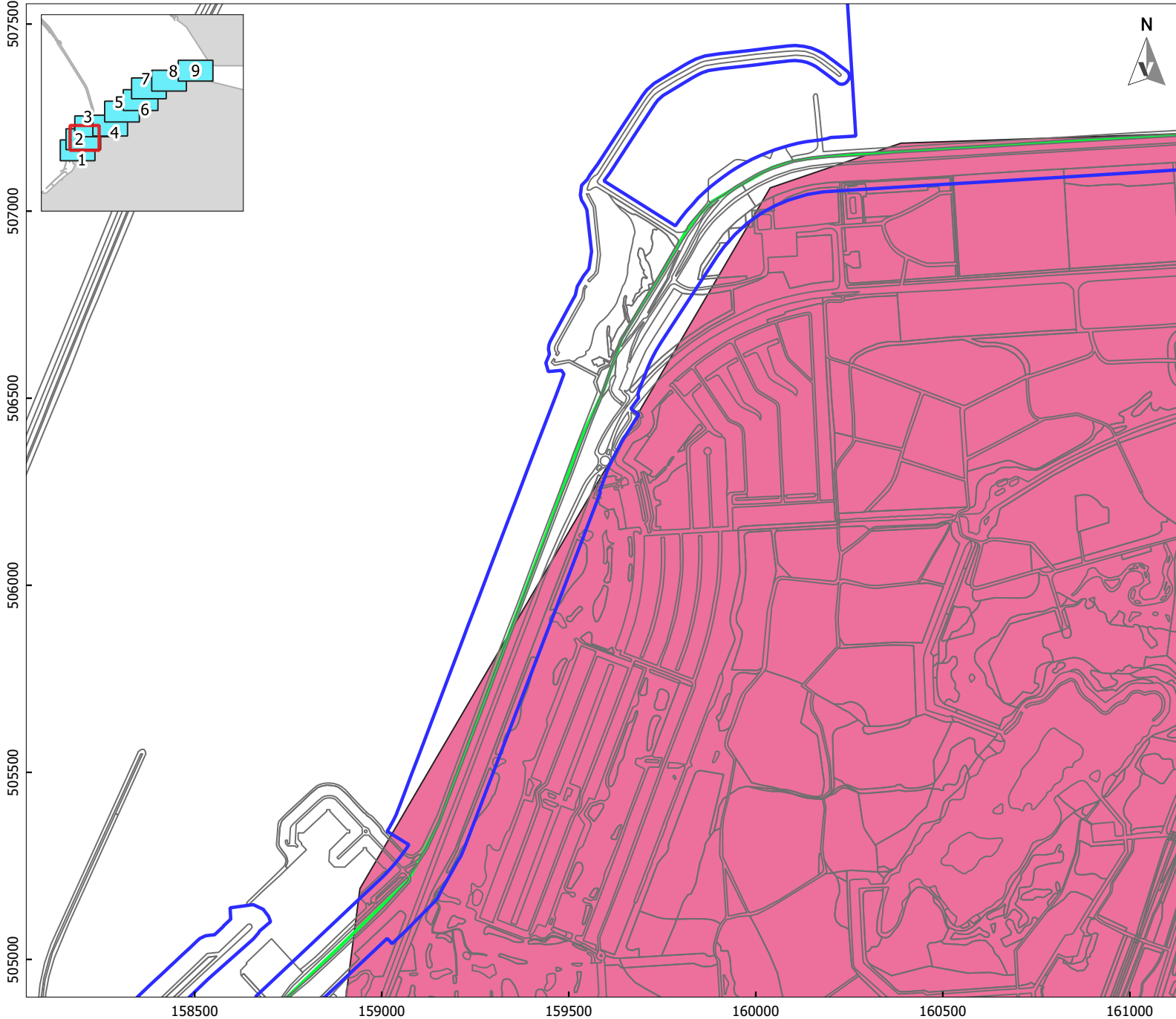
Tekenaar: NS/RS  
Schaal: 1:15000 / A4

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie




0 250 500 m



# KAART 7-2 - CULTUURHISTORISCHE WAARDEN



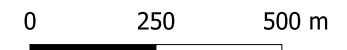
## LEGENDA

-  Plangebied
-  Dijken
-  Aardkundig waardevol

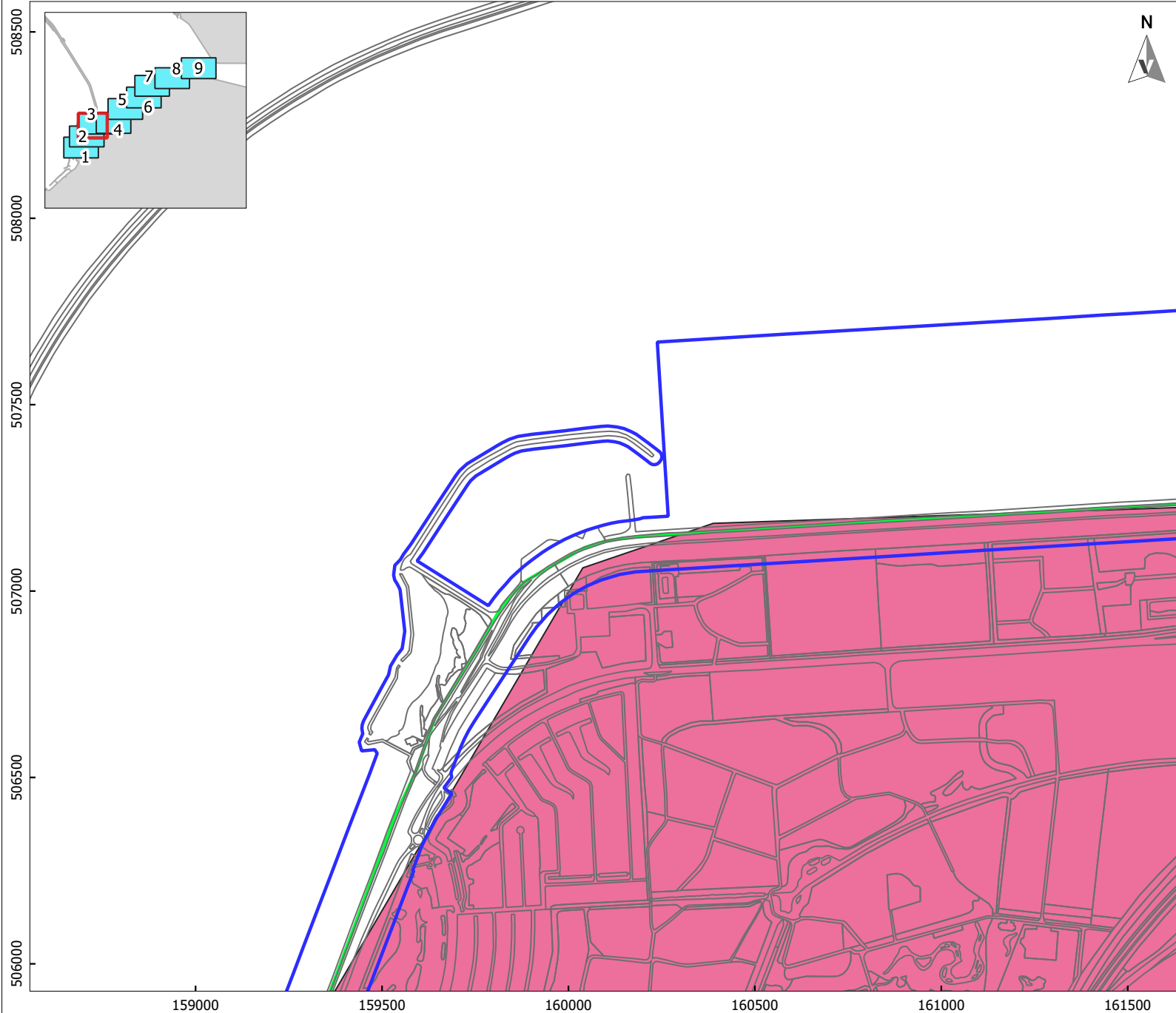
Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster jan. 2021  
Provincie Flevoland




Tekenaar: NS/RS  
Schaal: 1:15000 / A4



# KAART 7-3 - CULTUURHISTORISCHE WAARDEN



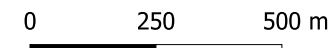
## LEGENDA

-  Plangebied
-  Dijken
-  Aardkundig waardevol

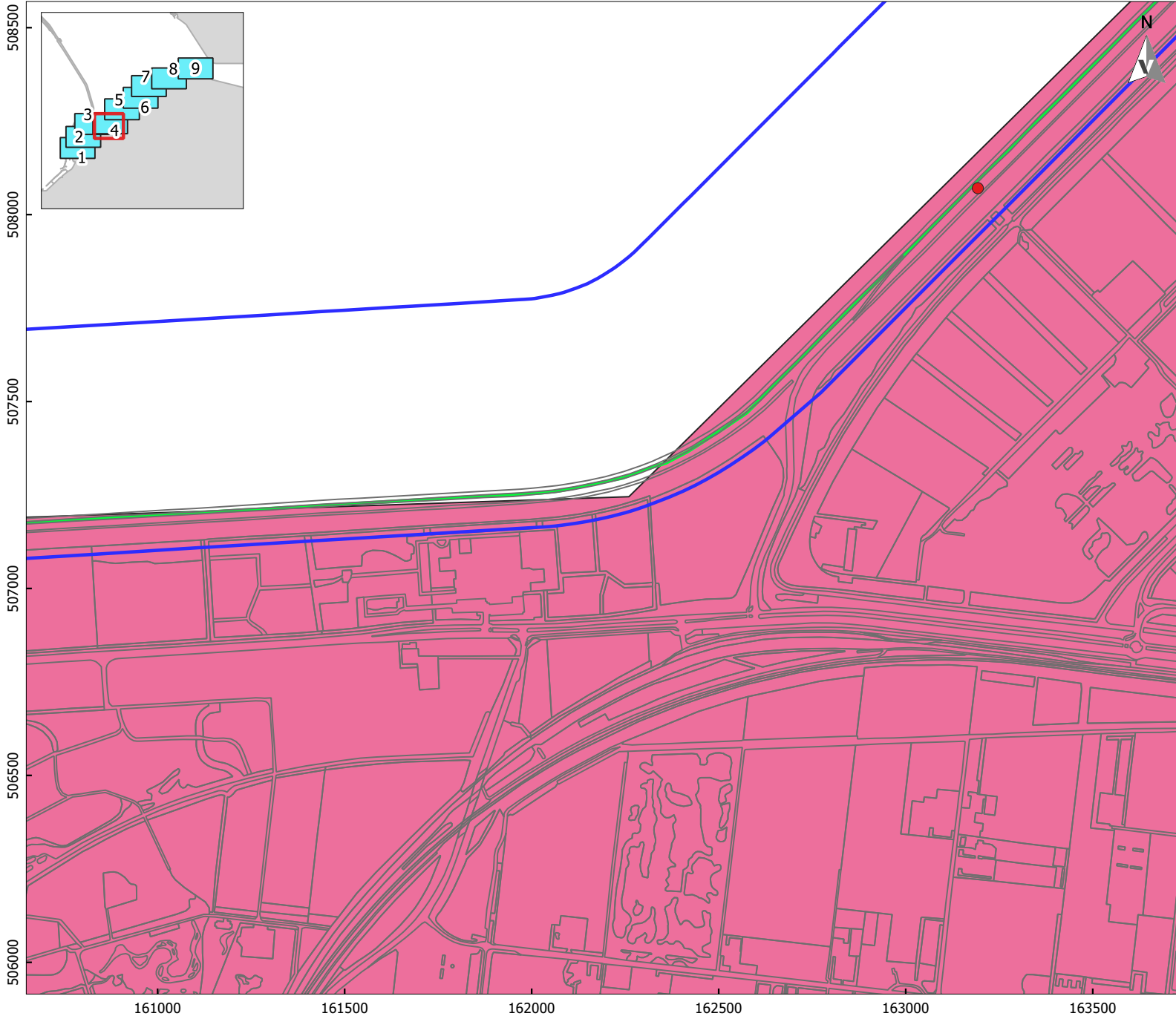
Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster jan. 2021  
Provincie Flevoland

Tekenaar: NS/RS  
Schaal: 1:15000 / A4



# KAART 7-4 - CULTUURHISTORISCHE WAARDEN



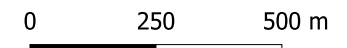
## LEGENDA

- Plangebied
- Dijken
- Aardkundig waardevol
- Meting voormalig Hevelhuisje

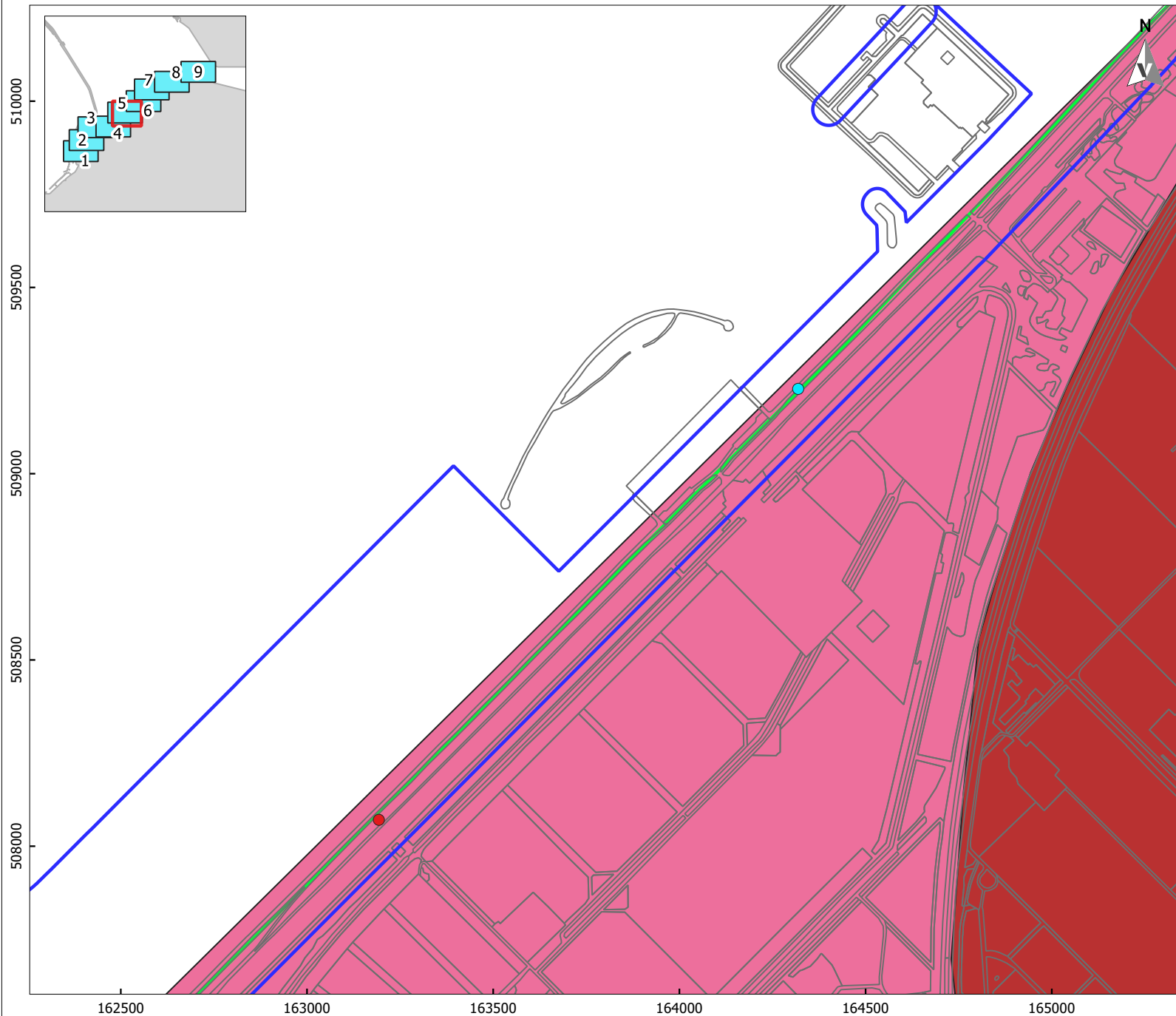
Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster jan. 2021  
Provincie Flevoland

Tekenaar: NS/RS  
Schaal: 1:15000 / A4



# KAART 7-5 - CULTUURHISTORISCHE WAARDEN



## LEGENDA

- Plangebied
- Dijken
- Aardkundig waardevol
- Rivierduingebied Swifterbant
- Meting voormalig Hevelhuisje
- Sluitsteen Lelystad - IJsselmeerdijk

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster jan. 2021  
Provincie Flevoland

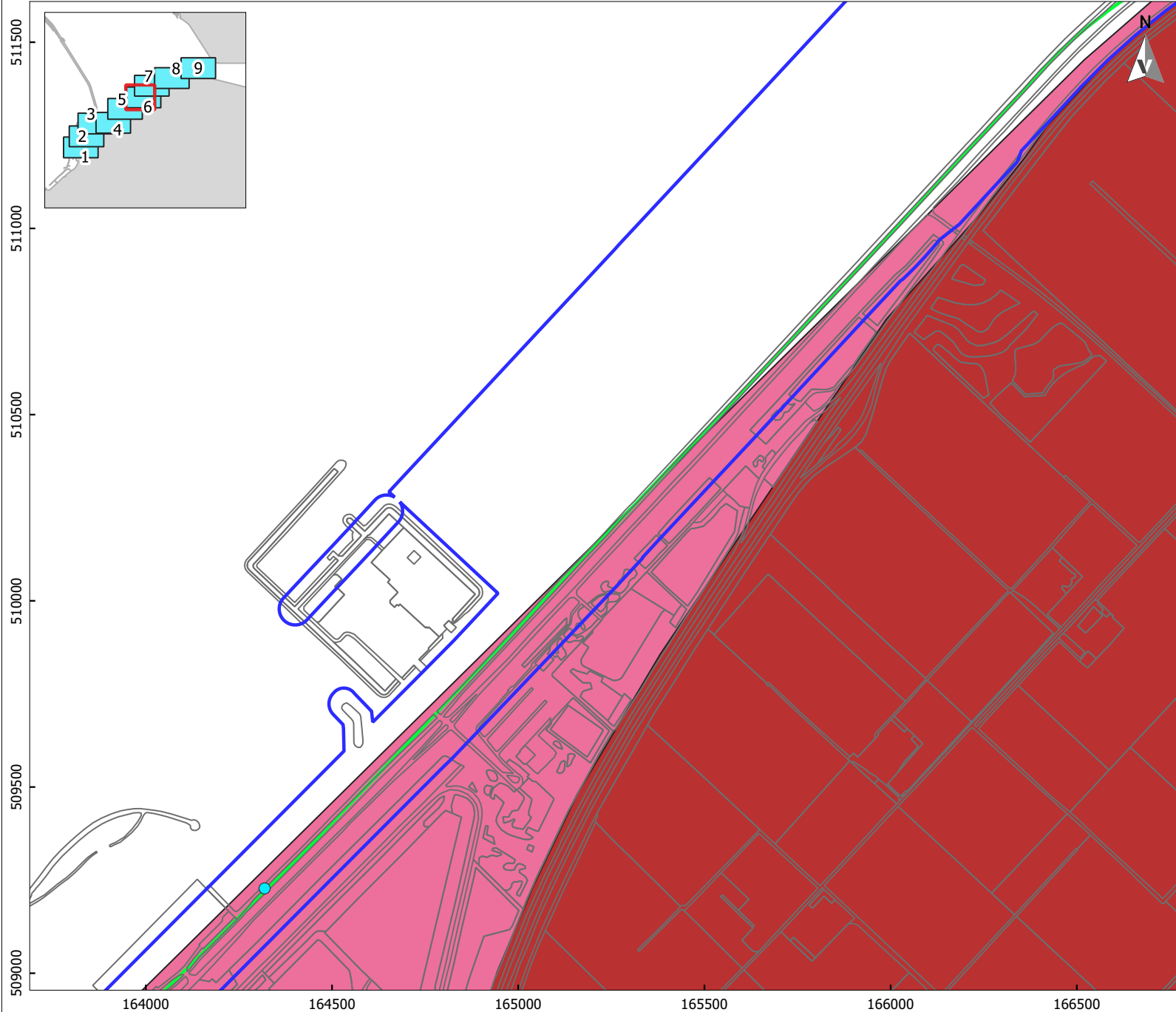
Tekenaar: NS/RS  
Schaal: 1:15000 / A4

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

0 250 500 m



# KAART 7-6 - CULTUURHISTORISCHE WAARDEN



## LEGENDA

- Plangebied
- Dijken
- Aardkundig waardevol
- Rivierduingebied Swifterbant
- Sluitsteen Lelystad - IJsselmeerdijk

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

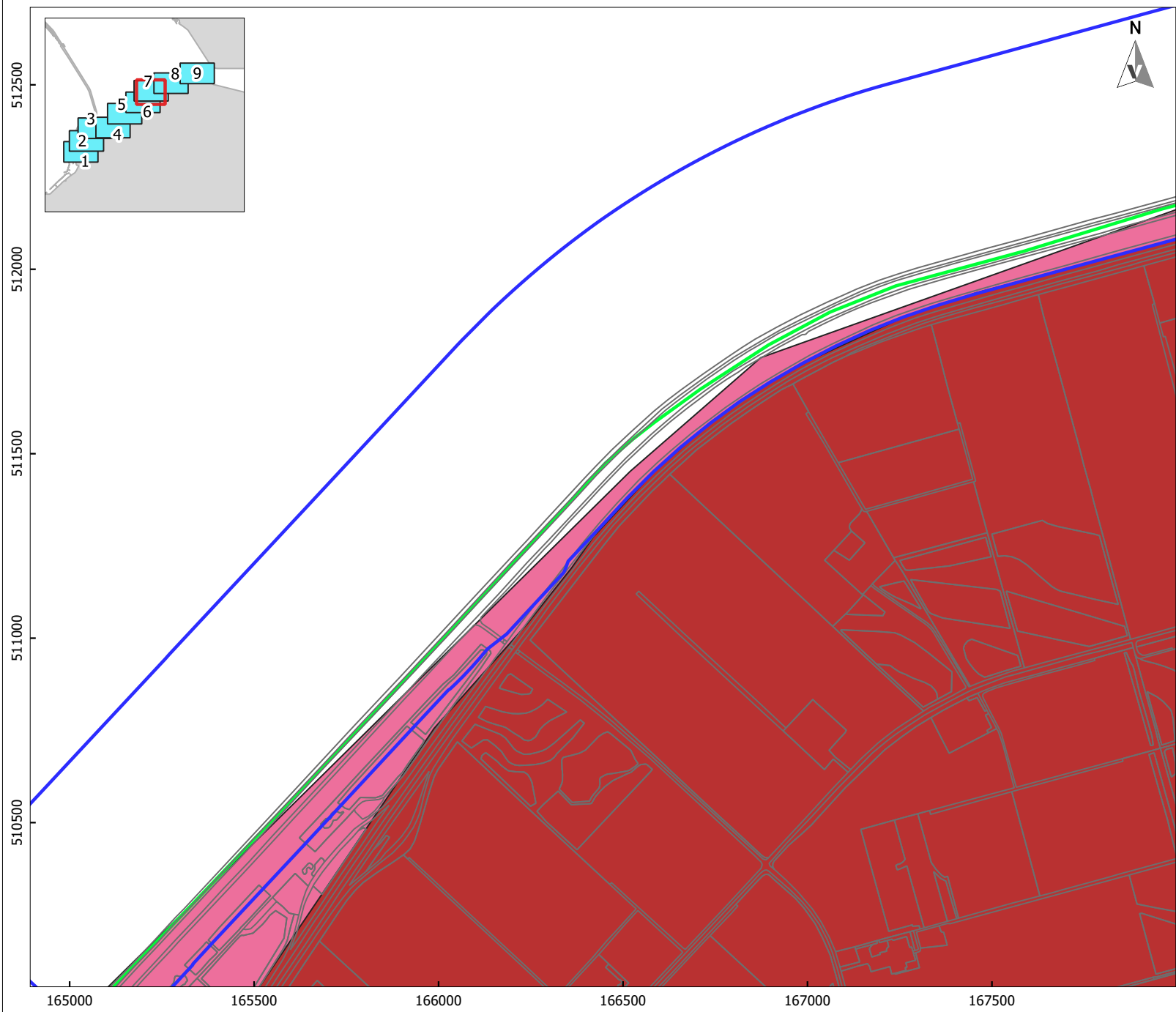
Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster jan. 2021  
Provincie Flevoland

Tekenaar: NS/RS  
Schaal: 1:15000 / A4





**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

0 250 500 m

# KAART 7-7 - CULTUURHISTORISCHE WAARDEN



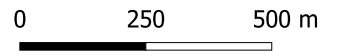
## LEGENDA

-  Plangebied
-  Dijken
-  Aardkundig waardevol
-  Rivierduingebied Swifterbant

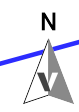
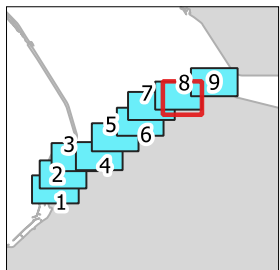
Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster jan. 2021  
Provincie Flevoland





Tekenaar: NS/RS  
Schaal: 1:15000 / A4

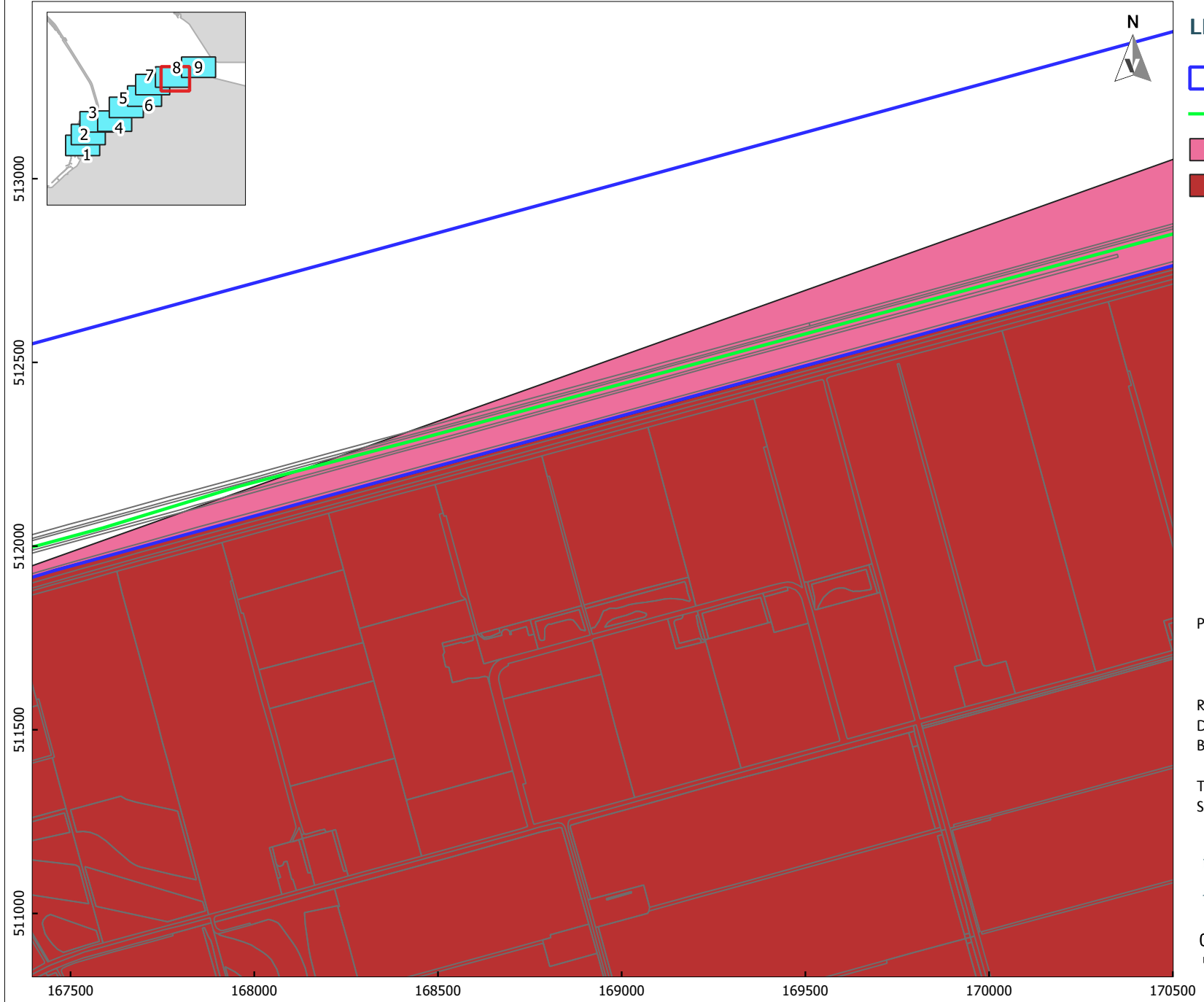


# KAART 7-8 - CULTUURHISTORISCHE WAARDEN



## LEGENDA

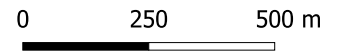
-  Plangebied
-  Dijken
-  Aardkundig waardevol
-  Rivierduingebied Swifterbant



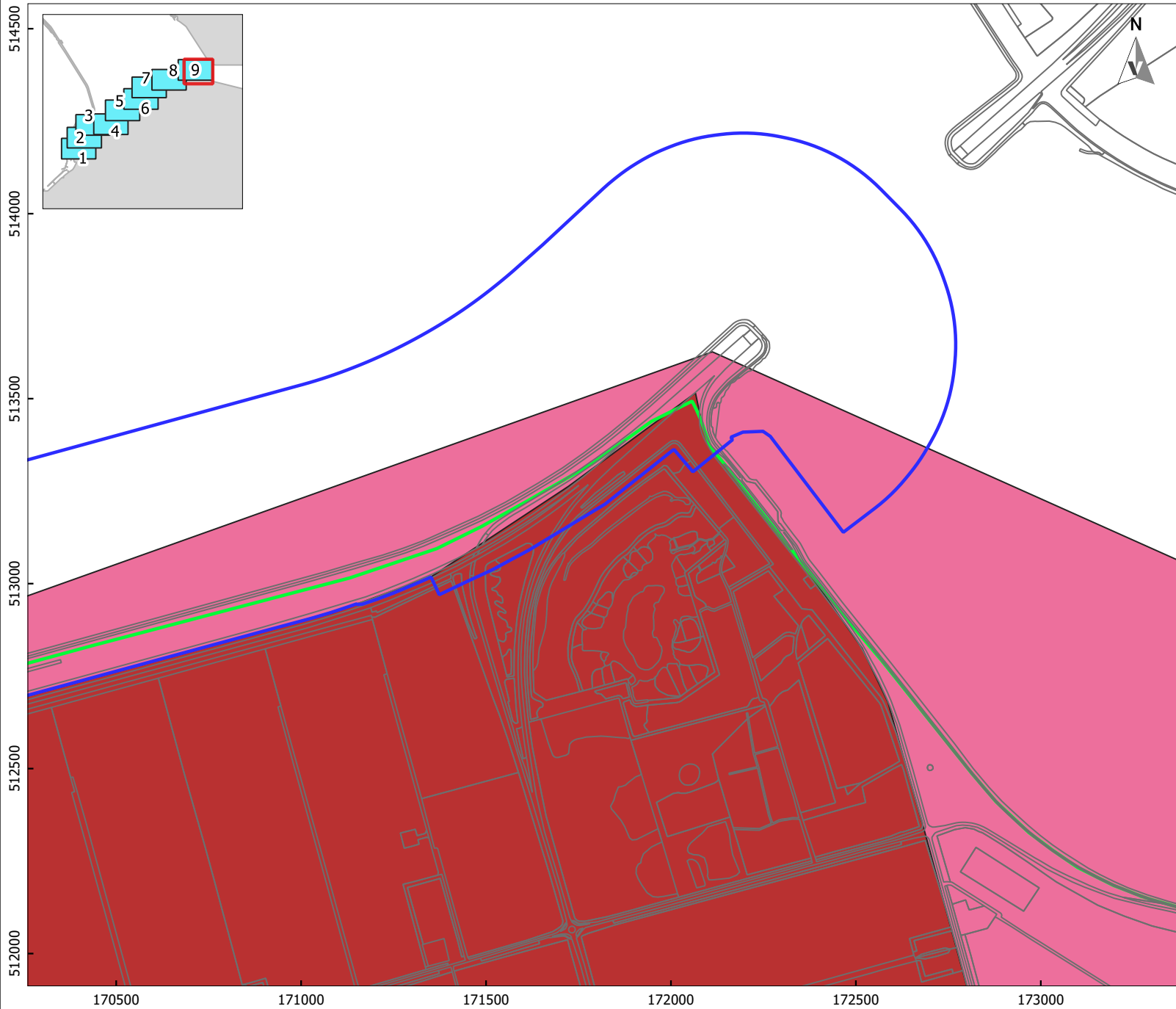
Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster jan. 2021  
Provincie Flevoland

Tekenaar: NS/RS  
Schaal: 1:15000 / A4



# KAART 7-9 - CULTUURHISTORISCHE WAARDEN



## LEGENDA

- Plangebied
- Dijken
- Aardkundig waardevol
- Rivierduingebied Swifterbant

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

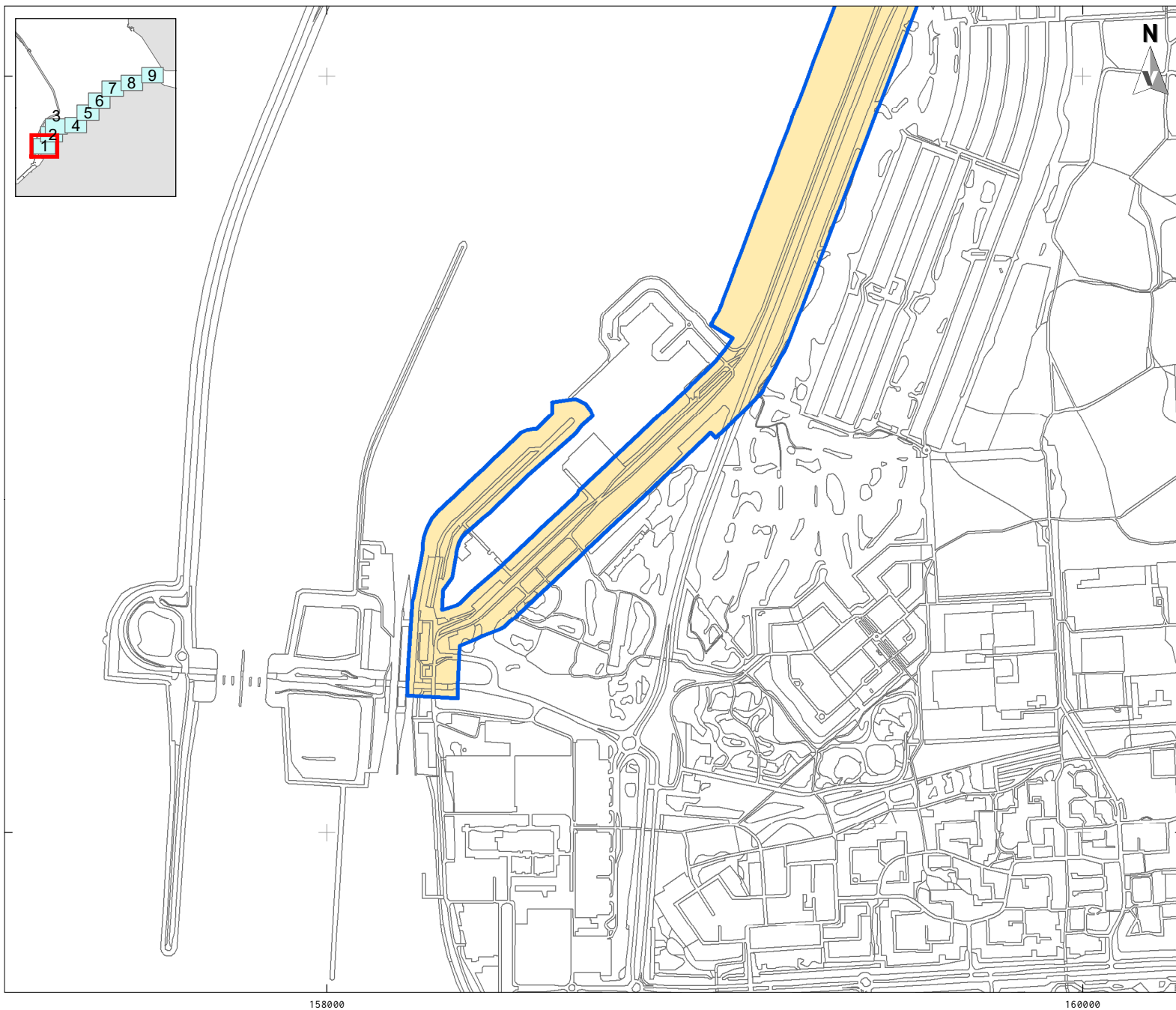
Rapport: V2178  
Datum: September 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster jan. 2021  
Provincie Flevoland

Tekenaar: NS/RS  
Schaal: 1:15000 / A4



**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

0 250 500 m

# KAART 8A- 1: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - PREHISTORIE



## LEGENDA

-  Onderzoeksgebied
-  verwachting Paleo- en Mesolithicum (vanaf ca. 10m -NAP)

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

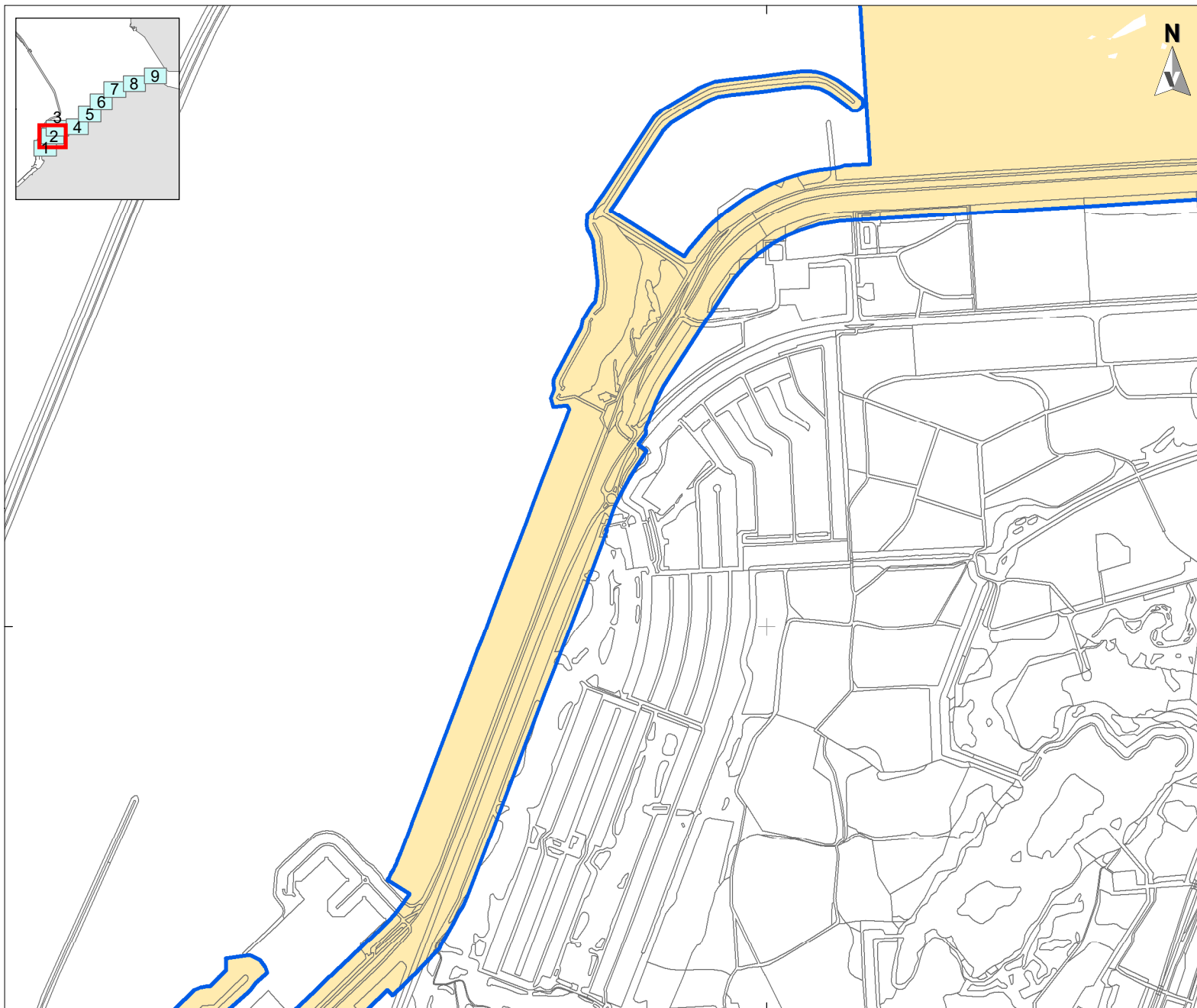
Rapport: V2178  
Datum: Oktober 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Tekenaar: RS  
Schaal: 1:15.000 / A4



0 250 m



# KAART 8A- 2: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - PREHISTORIE



## LEGENDA

-  Onderzoeksgebied
-  verwachting Paleo- en Mesolithicum (vanaf ca. 10m -NAP)

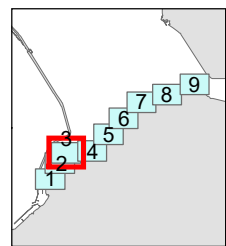
Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178  
Datum: Oktober 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021



Tekenaar: RS  
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

# KAART 8A- 3: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - PREHISTORIE



## LEGENDA

-  Onderzoeksgebied
-  verwachting Paleo- en Mesolithicum (vanaf ca. 10m -NAP)

503000

506000

160000

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

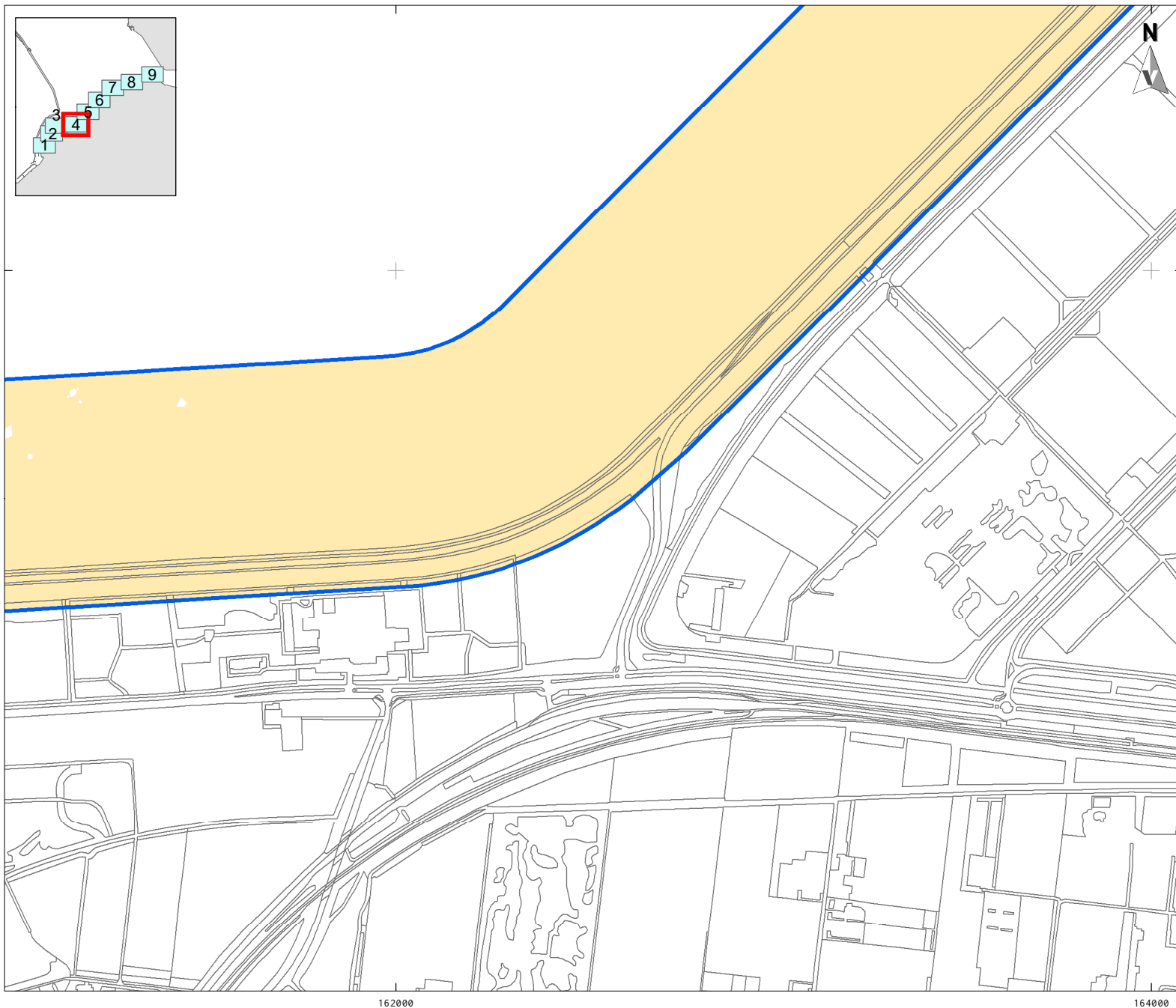
Rapport: V2178  
Datum: Oktober 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Tekenaar: RS  
Schaal: 1:15.000 / A4



0 250 m



# KAART 8A- 4: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - PREHISTORIE



## LEGENDA

-  Onderzoeksgebied
-  verwachting Paleo- en Mesolithicum (vanaf ca. 10m -NAP)

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

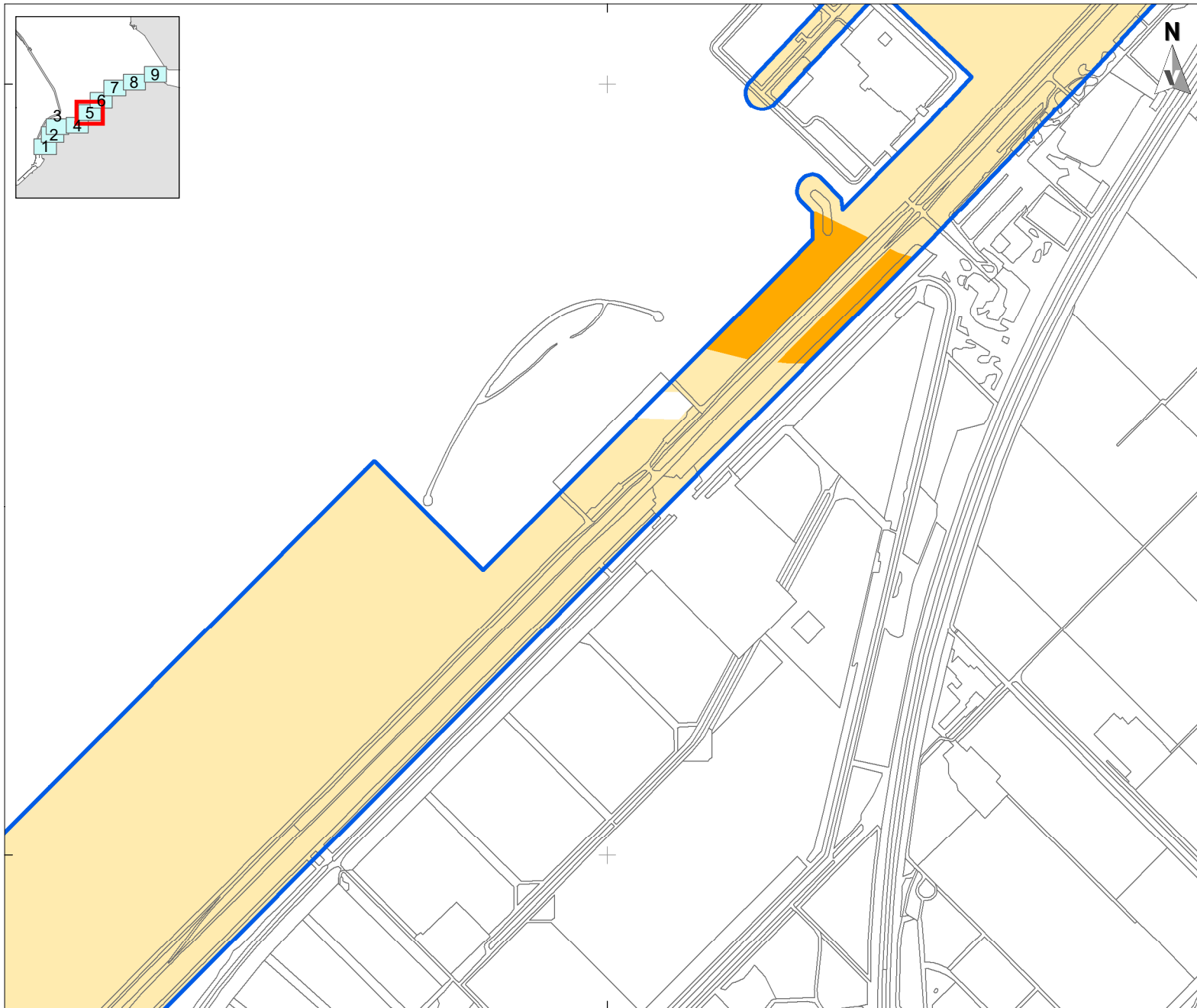
Rapport: V2178  
Datum: Oktober 2021  
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Tekenaar: RS  
Schaal: 1:15.000 / A4


0 250 m





# KAART 8A- 5: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - PREHISTORIE



## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

 Vervolgonderzoek bij bodemroering  
>50cm -mv en >100m<sup>2</sup>, of bij ophoging  
>2m en >100m<sup>2</sup>

 verwachting Paleo- en Mesolithicum  
(vanaf ca. 10m -NAP)

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

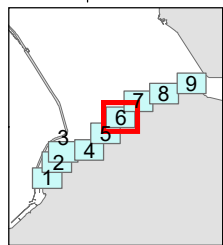
Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4


0 250 m


**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie


# KAART 8A- 6: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - PREHISTORIE



## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

 Vervolgonderzoek bij bodemroering  
>50cm -mv en >100m<sup>2</sup>, of bij ophoging  
>2m en >100m<sup>2</sup>

 verwachting Paleo- en Mesolithicum  
(vanaf ca. 10m -NAP)

510000



Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek

Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m



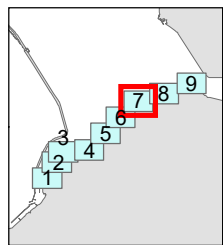
**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

164000


166000





# KAART 8A- 7: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - PREHISTORIE



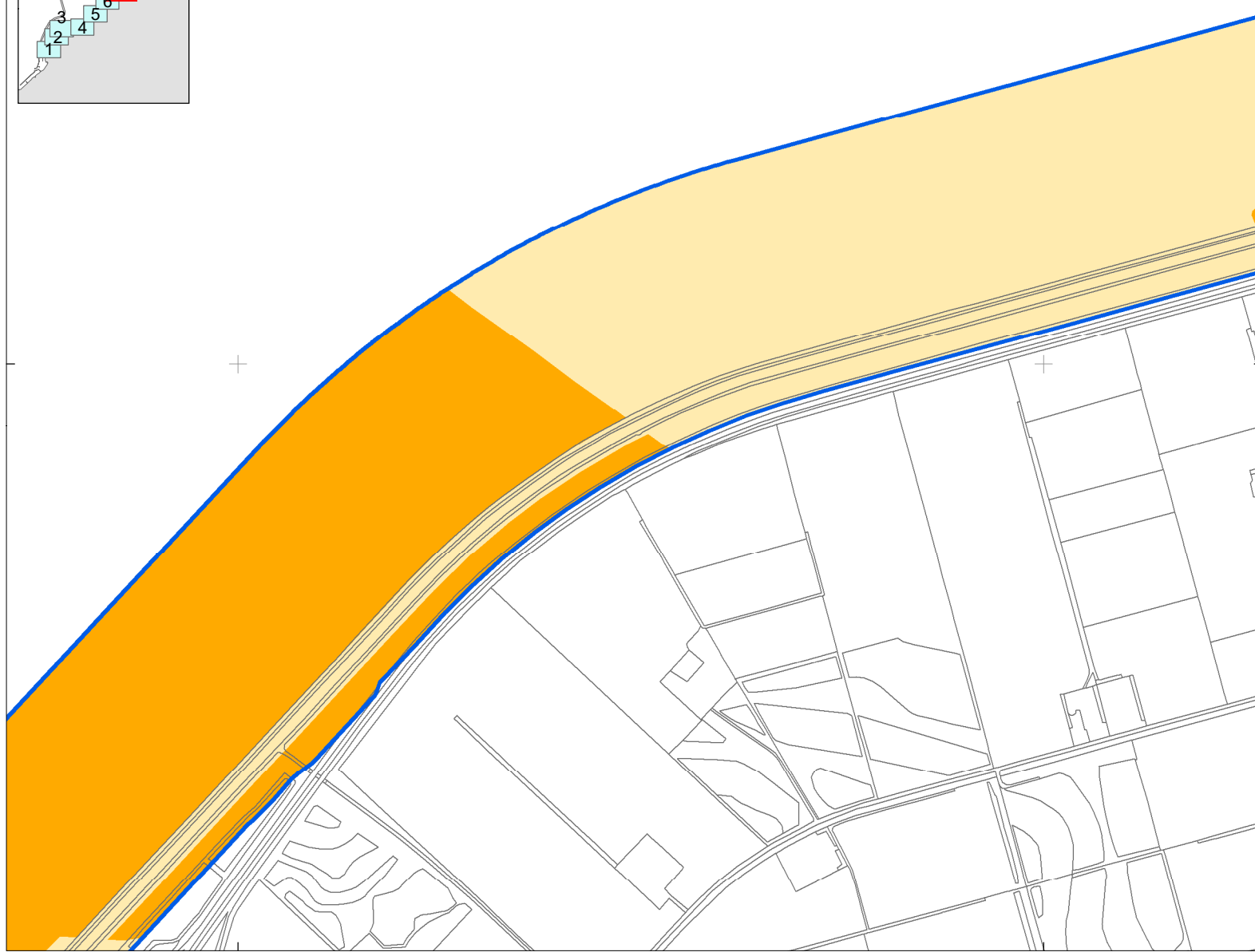
## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

 Vervolgonderzoek bij bodemroering  
>50cm -mv en >100m<sup>2</sup>, of bij ophoging  
>2m en >100m<sup>2</sup>

 verwachting Paleo- en Mesolithicum  
(vanaf ca. 10m -NAP)

512000



166000

168000

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Tekenaar: RS

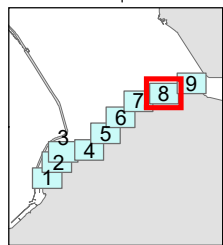
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m





**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie


# KAART 8A- 8: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - PREHISTORIE



## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

 Vervolgonderzoek bij bodemroering  
>50cm -mv en >100m<sup>2</sup>, of bij ophoging  
>2m en >100m<sup>2</sup>

 verwachting Paleo- en Mesolithicum  
(vanaf ca. 10m -NAP)

512000

168000

170000

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Tekenaar: RS

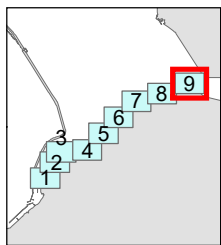
Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

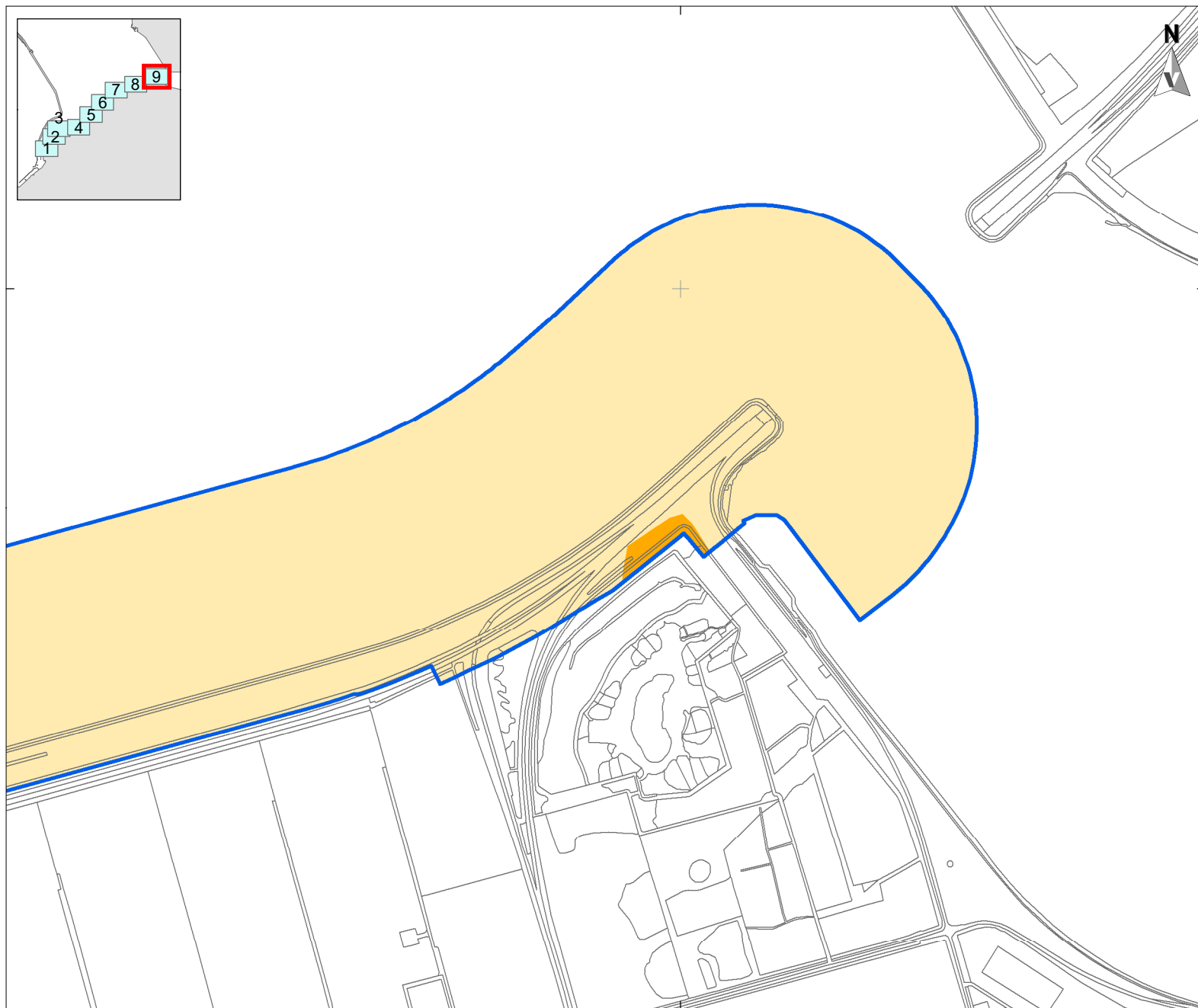


**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

# KAART 8A- 9: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - PREHISTORIE





514000




172000

## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

 Vervolgonderzoek bij bodemroering  
>50cm -mv en >100m<sup>2</sup>, of bij ophoging  
>2m en >100m<sup>2</sup>

 verwachting Paleo- en Mesolithicum  
(vanaf ca. 10m -NAP)

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch  
bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten


Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

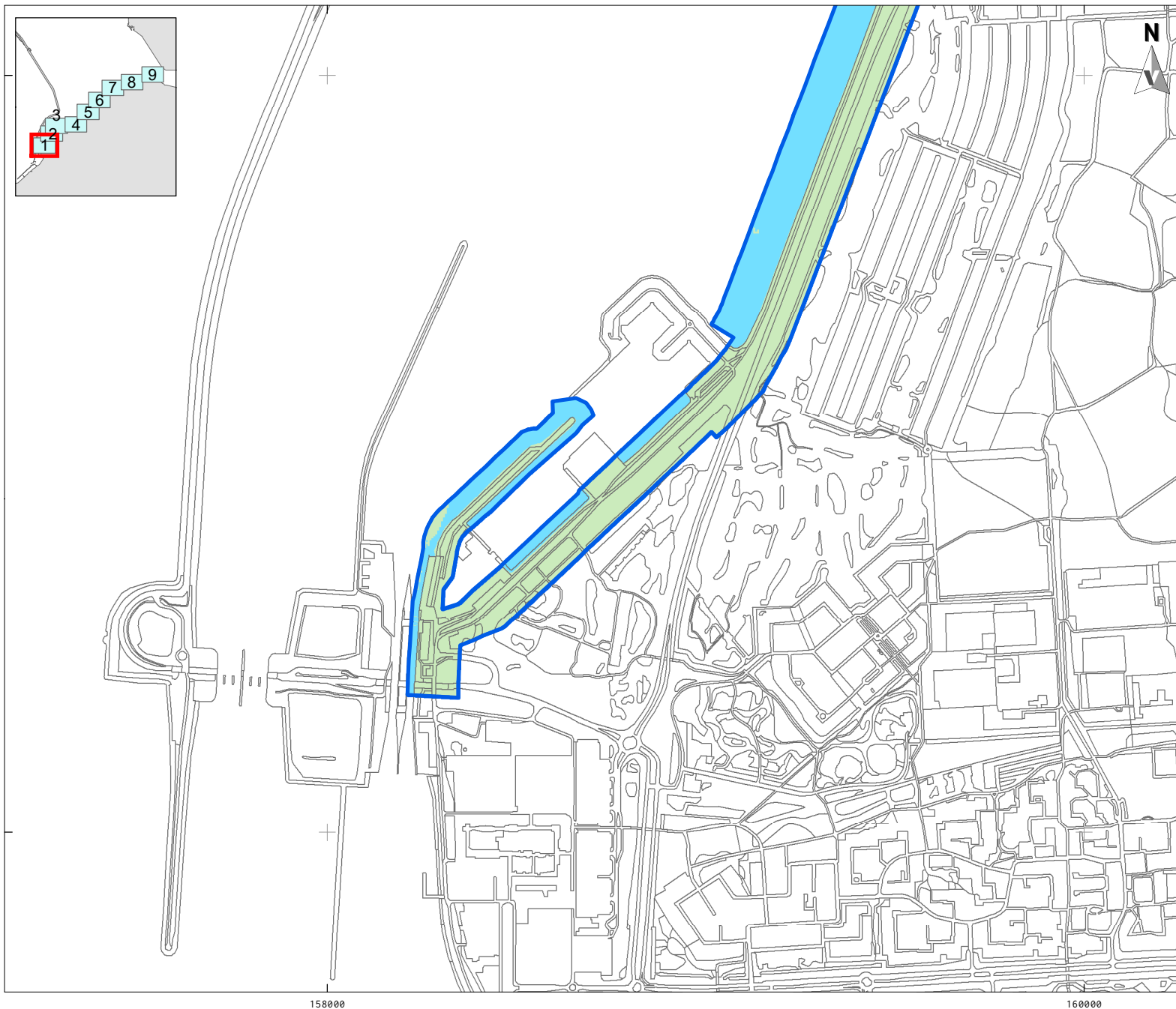
Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4


 0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie


# KAART 8B- 1: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - SCHEEPSWRAKKEN




## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

### Advies

 Vervolgonderzoek bij voorgenomen bodemingrepen (incl. ophoging)

 Geen vervolg ikhv scheepswrakken

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

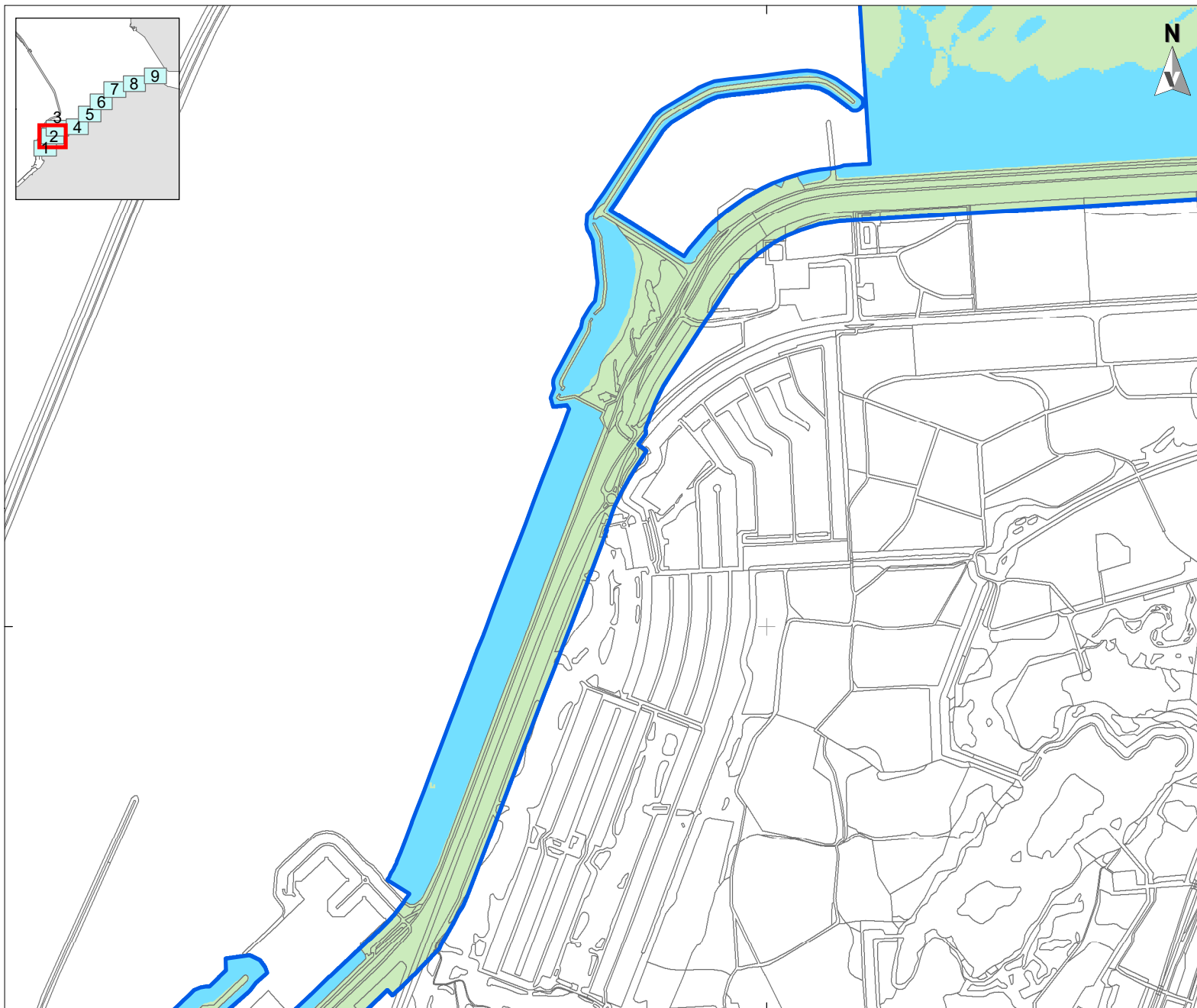
Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m


# KAART 8B- 2: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - SCHEEPSWRAKKEN




## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

### Advies

 Vervolgonderzoek bij voorgenomen bodemingrepen (incl. ophoging)

 Geen vervolg ikhv scheepswrakken

506000

160000

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek

Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Tekenaar: RS

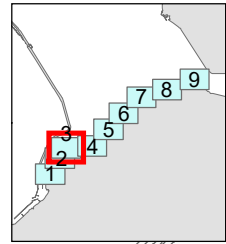
Schaal: 1:15.000 / A4

 250 m


**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie





# KAART 8B- 3: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - SCHEEPSWRAKKEN



## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

### Advies

-  Vervolgonderzoek bij voorgenomen bodemingrepen (incl. ophoging)
-  Geen vervolg ikhv scheepswrakken

506000

506000

160000

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

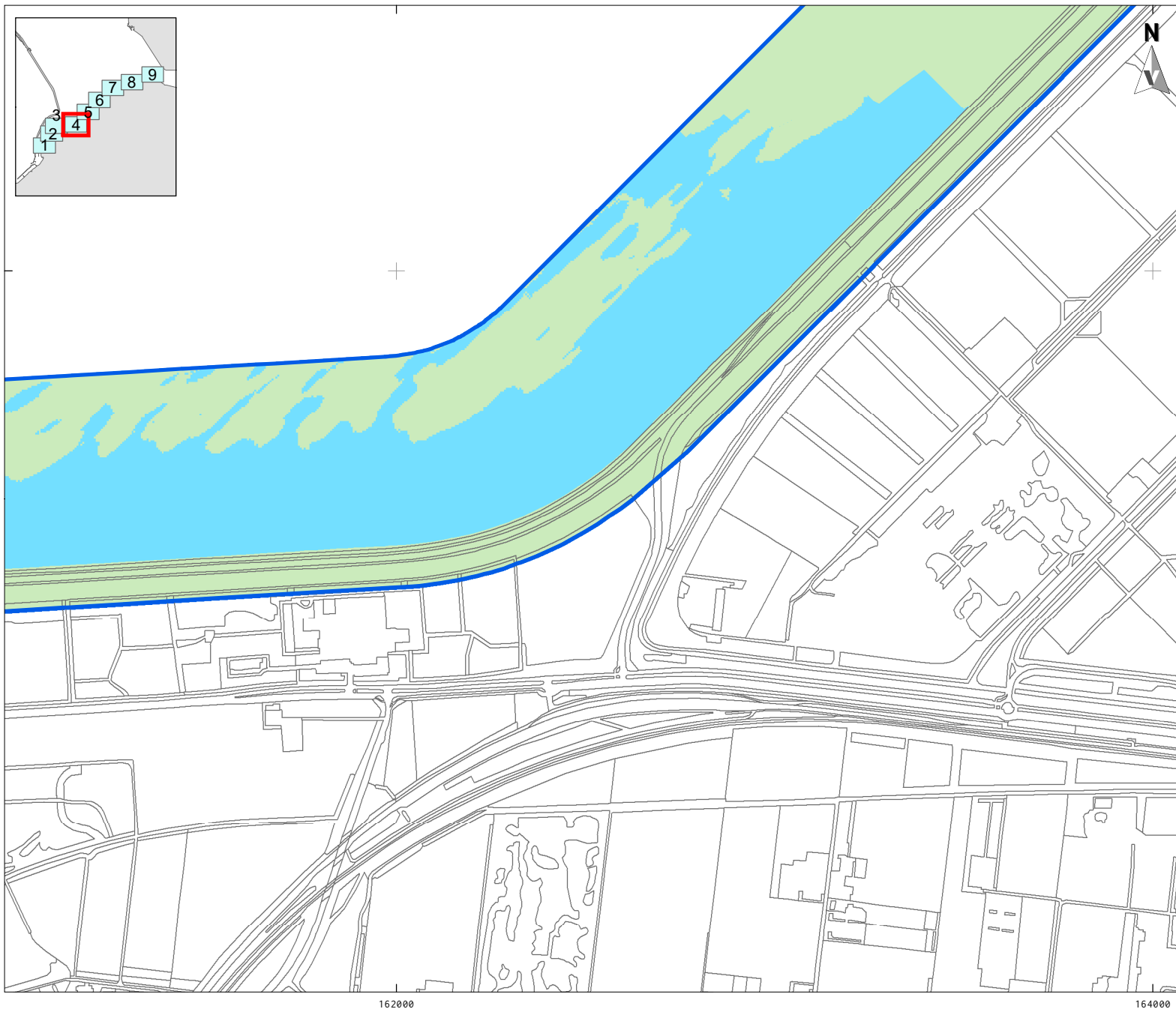
Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4


0 250 m




# KAART 8B- 4: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - SCHEEPSWRAKKEN




## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

### Advies

 Vervolgonderzoek bij voorgenomen bodemingrepen (incl. ophoging)

 Geen vervolg ikhv scheepswrakken

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

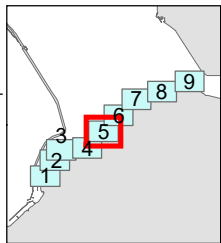
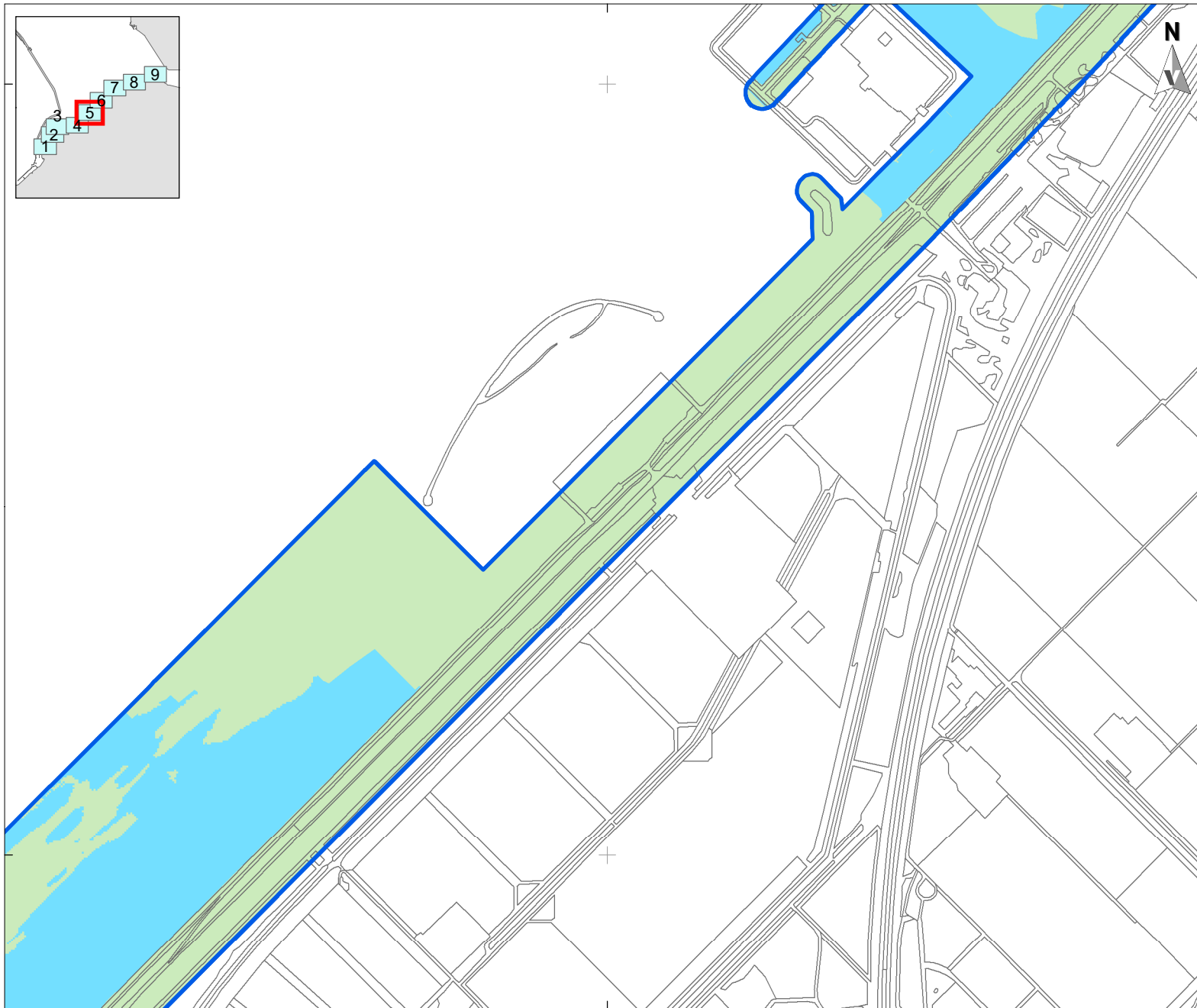
Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4


0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie


# KAART 8B- 5: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - SCHEEPSWRAKKEN




## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

### Advies

 Vervolgonderzoek bij voorgenomen bodemingrepen (incl. ophoging)

 Geen vervolg ikhv scheepswrakken

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek

Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

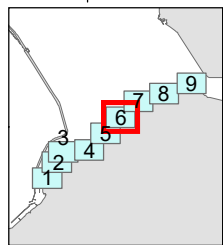
Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie


# KAART 8B- 6: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - SCHEEPSWRAKKEN




## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

### Advies

 Vervolgonderzoek bij voorgenomen bodemingrepen (incl. ophoging)

 Geen vervolg ikhv scheepswrakken

510000



Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

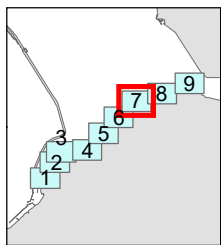


**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie


164000

166000


# KAART 8B- 7: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - SCHEEPSWRAKKEN




## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

### Advies

 Vervolgonderzoek bij voorgenomen bodemingrepen (incl. ophoging)

 Geen vervolg ikhv scheepswrakken

512000



166000

168000

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

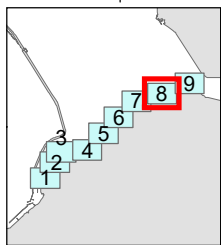
Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4


 0 250 m




# KAART 8B- 8: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - SCHEEPSWRAKKEN




## LEGENDA

 Onderzoeksgebied

### Advies

 Vervolgonderzoek bij voorgenomen bodemingrepen (incl. ophoging)

 Geen vervolg ikhv scheepswrakken

512000

168000

170000

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk,  
gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

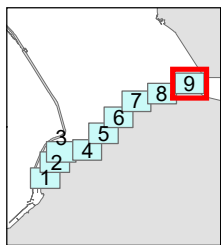
Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4

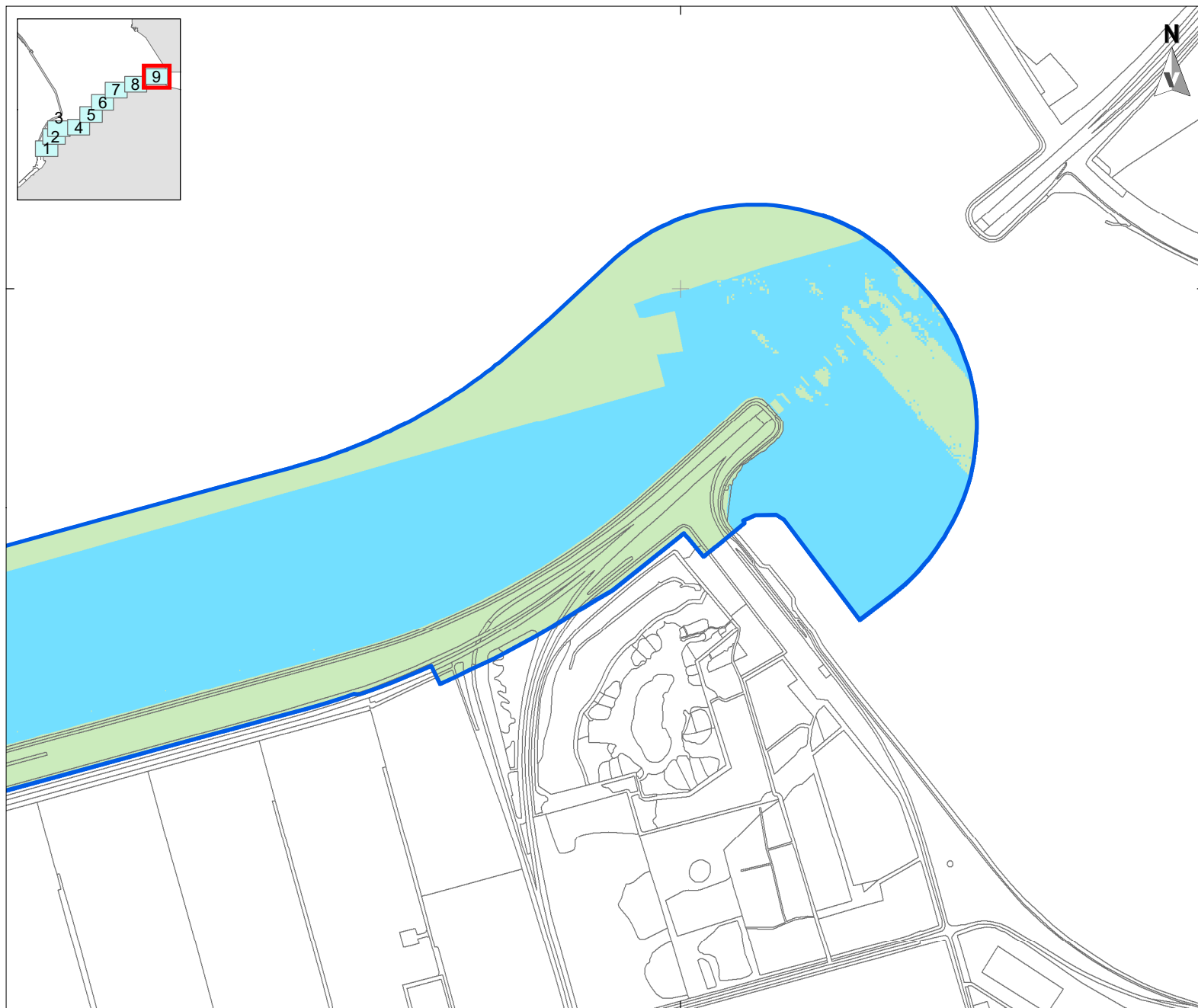
 0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

# KAART 8B- 9: ADVIESKAART ARCHEOLOGIE - SCHEEPSWRAKKEN



514000



## LEGENDA

Onderzoeksgebied

### Advies

Vervolgonderzoek bij voorgenomen bodemingrepen (incl. ophoging)

Geen vervolg ikhv scheepswrakken

Project: V20-4571 / V21-4845: archeologisch bureauonderzoek  
Dijkversterking IJsselmeerdijk, gemeenten Lelystad en Dronten

Rapport: V2178

Datum: Oktober 2021

Bron: Top10NL, CC-BY Kadaster 2021

Tekenaar: RS

Schaal: 1:15.000 / A4

0 250 m

**VESTIGIA**  
Archeologie & Cultuurhistorie

172000



This text was set using the following freely available font software:

Allerta Copyright (c) 2010, Matt McInerney (<http://pixelspread.com>),  
with Reserved Font Name Allerta.

Inconsolata\_dz Copyright (c) 2006, Raph Levien (<http://www.levien.com>),  
with Reserved Font Name <Inconsolata>.  
Copyright (c) 2009, David Zhou (<http://blog.nodnod.net/>)  
with Reserved Font Name <Inconsolata\_dz>.

Molengo\_Vestigia Copyright (c) 2007, Denis Moyogo Jacquerye,  
with Reserved Font Name <Molengo>.  
Copyright (c) 2011, Vestigia BV Archeologie & Cultuurhistorie ([www.vestigia.nl](http://www.vestigia.nl)),  
with Reserved Font Name <Molengo\_Vestigia>; available at [www.vestigia.nl/fonts](http://www.vestigia.nl/fonts).



This Font Software is licensed under the SIL Open Font License, Version 1.1.  
The license is available with a FAQ at: <http://scripts.sil.org/OFL>

Vestigia BV *Archeologie & Cultuurhistorie*  
Spoorstraat 5  
3811 MN Amersfoort  
Nederland

Telefoon 033 277 92 00  
E-mail [info@vestigia.nl](mailto:info@vestigia.nl)  
Website [www.vestigia.nl](http://www.vestigia.nl)

K.v.K. Gooi- en Eemland 32078894



Erfgoedingenieurs

*“Engineering the past, creating the future”*





## **Bijlage 2: Rapport morfologische modelstudie en analyse**

## RAPPORT

# Morfologische analyse vooroever IJsselmeerdijk

Klant: Waterschap Zuiderzeeland

Referentie: BH5290-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001

Status: Definitief/00

Datum: 18 februari 2022



HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35  
3818 EX Amersfoort  
Water & Maritime  
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**  
+31 33 463 36 52 **F**  
info@rhdhv.com **E**  
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Morfologische analyse vooroever IJsselmeerdijk

Ondertitel:  
Referentie: BH5290-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0001  
Status: 00/Definitief  
Datum: 18 februari 2022  
Projectnaam: IJMD  
Projectnummer: BH5290  
Auteur(s): Bram Evers, Anne de Beer

Opgesteld door: Bram Evers, Anne de Beer

Gecontroleerd door: Filip Schuurman, Sander Post

Datum: 18-02-2022

Goedgekeurd door: Odelinde Nieuwenhuis

Datum: 18-02-2022

Classificatie

Projectgerelateerd

*Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veeleenvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.*

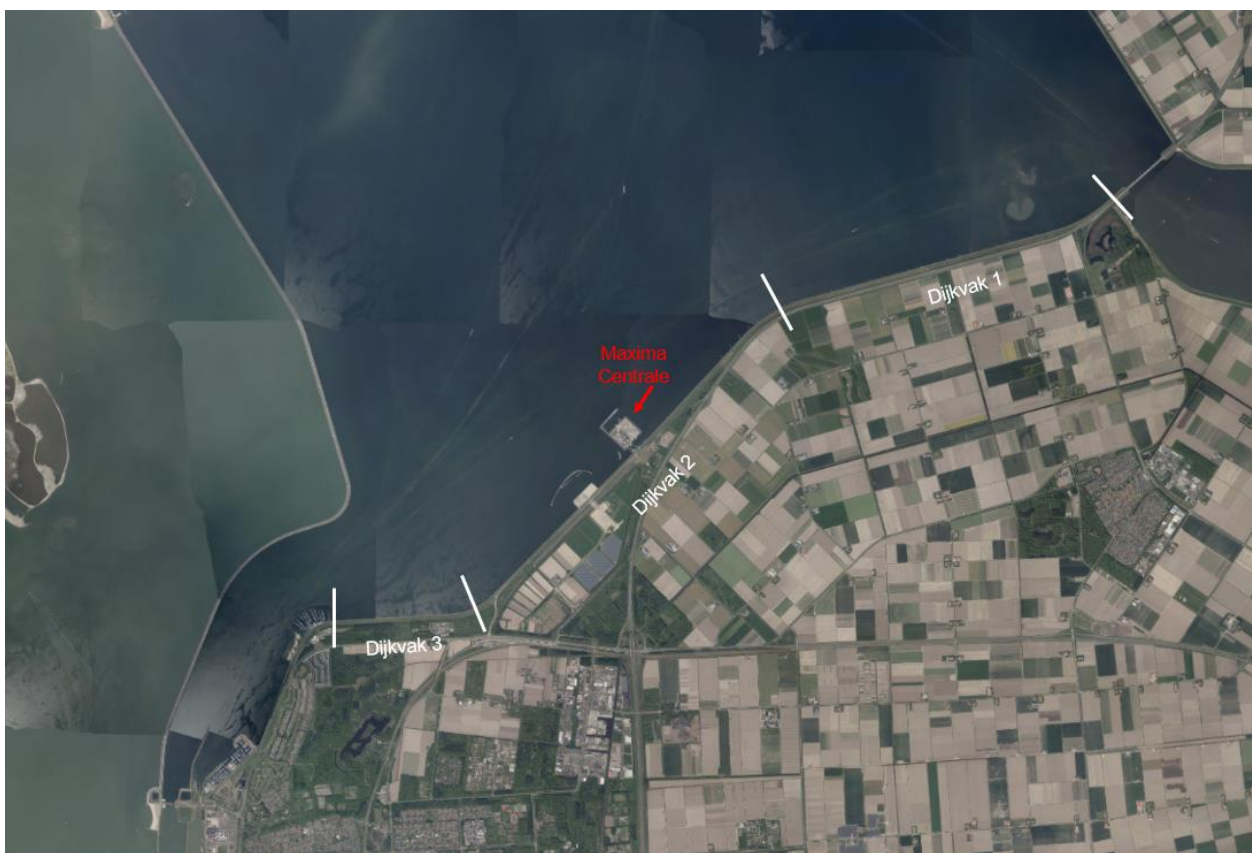
*Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.*

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Randvoorwaarden en eisen aan een vooroever vanuit waterveiligheid en ecologie	2
<b>2</b>	<b>Systeemkennis</b>	<b>4</b>
2.1	Randvoorwaarden op het IJsselmeer	4
2.2	Stabiliteit en ontwikkeling van bestaande vooroevers	6
2.3	Invloed van wind gedreven stroming	9
<b>3</b>	<b>Morfologische beschouwing van kansrijke varianten</b>	<b>11</b>
3.1	Inleiding	11
3.2	Modelkeuze	11
3.3	Methodologie	11
3.4	Dwarstransport	12
3.4.1	Minimaal profiel A - helling van 1:10	12
3.4.2	Minimaal profiel B – horizontaal plateau op NAP 0 m	12
3.4.3	Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m	14
3.4.4	Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m + buffer	15
3.4.5	Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m en vooroeverdam (kruin op NAP -1 m)	16
3.4.6	Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m + buffer + vooroeverdam (kruin op NAP -1 m)	17
3.4.7	Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m + vooroeverdam (kruin op NAP 0 m)	18
3.4.8	Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m + buffer + vooroeverdam (kruin op NAP 0 m)	20
3.4.9	Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m + buffer (geoptimaliseerd) + vooroeverdam (kruin op NAP 0 m)	21
3.4.10	Conclusies dwarstransport	22
3.5	Langstransport	22
<b>4</b>	<b>Wens vanuit ecologische plus</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>Verwachte beheerinspanning</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>Conclusies, onzekerheden en aanbevelingen</b>	<b>33</b>
6.1	Conclusies	33
6.2	Aandachtspunten en onzekerheden	34
<b>7</b>	<b>Referenties</b>	<b>36</b>

## 1 Inleiding

Het traject van de IJsselmeerdijk van de Houtribdijk tot aan de Ketelbrug wordt de komende jaren versterkt. De dijkbekleding aan de buitenzijde van het dijktraject is grotendeels afgekeurd en het binnentalud van de dijk is onvoldoende bestand tegen overslaand water (hoogte-tekort). Het dijktraject kent een grote golfbelasting; bij een noordwesterstorm blaast de wind over het gehele IJsselmeer en genereert hierbij hoge golven. Het dijktraject waar die grote golfbelasting kan optreden is onder te verdelen in drie dijkvakken, met elk een eigen oriëntatie. Halverwege dijkvak 2 ligt een energiecentrale, de Maxima Centrale, aan de buitendijkse zijde. In dijkvak 2 ligt ook een overslaghaven, Flevokust, met vooroeverdam ervoor. Ten westen van dijkvak 3 ligt een jachthaven. Het traject is te zien in Figuur 1-1.



Figuur 1-1: Ligging van de IJsselmeerdijk.

Een van de opties om de dijk te versterken is de aanleg van een voorland. Doel van dit voorland is dat het golfbelasting op het huidige dijklichaam dusdanig beperkt, dat er geen verdere versterkingsopgave aan de huidige dijk overblijft. Het voorland heeft dus als primaire doel om de golfbelasting te dempen. Er zijn hierbij verschillende ontwerpopties:

1. Vorm, breedte en hoogteligging van het voorland;
2. Gebruik van opsluitconstructies: langsdammen aan meerzijde van het voorland of strekdammen aan weerszijden van het voorland kunnen gebruikt worden om het zand op zijn plaats te houden.

In de Verkenningsfase wordt het ontwerp van het voorland verder uitgewerkt en moeten de volgende vragen worden beantwoord:



- Kustdwars:
  - Hoe ziet het evenwichtsprofiel van het voorland eruit?
  - Hoeveel erosie van het voorland treedt op bij dagelijkse en bij stormcondities? Wat moet de overdimensionering zijn om de waterveiligheid op langere termijn te garanderen en wat zijn de beheerkosten?
  - Hoe hangen deze aspecten af van het voorlandontwerp (vorm/opsluitconstructies)?
- Kustlangs:
  - Hoeveel sediment wordt er richting Maximacentrale getransporteerd?
  - Hoeveel erosie van het voorland treedt op bij dagelijkse en bij stormcondities? Wat moet de overdimensionering zijn om de waterveiligheid op langere termijn te garanderen en wat zijn de beheerkosten?
  - Hoe hangen deze aspecten af van ontwerp (vorm/opsluitconstructies)?

Om deze vragen te beantwoorden, is een morfologische modelstudie naar de ontwikkeling van het voorland uitgevoerd.

## 1.1 Randvoorwaarden en eisen aan een vooroever vanuit waterveiligheid en ecologie

De vooroever heeft als primair doel om binnenkomende golven te breken en/of te dempen, en zo de energie uit de golven te halen. Dit resulteert in minder golfaanval op de dijk waardoor de huidige bekleding voldoet en de kruin niet opgehoogd hoeft te worden. Daarnaast is de vooroever een interessante optie omdat deze vanuit ecologie een meerwaarde kan bieden. De wensen vanuit zowel waterveiligheid als ecologie zijn hieronder weergegeven, deze bieden input aan de (minimale) afmetingen en vorm van het voorland.

Vanuit waterveiligheid zijn er verschillende opties mogelijk en kan er gevarieerd worden in de breedte en hoogte van het voorland (zie ook Figuur 1-2). Hierbij geldt dat een lager voorland breder moet zijn om hetzelfde golfbrekend en -dempend effect te hebben. Daarnaast is er onderscheid te maken tussen dijkvak 1 & 2 en 3. In onderstaande tabel zijn de **minimale** afmetingen van het voorland vanuit de waterveiligheid weergegeven. De maatgevende condities voor het ontwerp van de dijk treden op bij een 1/67.000 jaar storm.

Op het stuk dijk rondom de Maxima centrale is een vooroever geen optie. Daarom wordt in het vervolg van het rapport gekeken naar een vooroever op twee deeltrajecten: dijkvak 2-1 aan noordzijde van de Maxima centrale en dijkvak 2-2 aan zuidzijde van de Maxima centrale.

Tabel 1-1: Minimale afmetingen van het voorland in het kader van waterveiligheid.

	Dijkvak 1	Dijkvak 2	Dijkvak 3
Optie A	Helling van 1:10, aansluiting op NAP +1 m	Helling van 1:10, aansluiting op NAP +1 m	Helling van 1:10, aansluiting op NAP +1 m
Optie B	20 m breed op NAP 0 m	20 m breed op NAP 0 m	20 m breed op NAP 0 m
Optie C	50 m breed op NAP -1 m	50 m breed op NAP -1 m	20 m breed op NAP -1 m

Vanuit ecologie geredeneerd biedt een ondiep plateau (luwe zone) het meeste voordeel. Deze luwe zone is te bereiken door inzet van een vooroeverdam: op een vooroeverdam breken de meeste golven. Een voorland van 20 m breed is te smal om een significante bijdrage te leveren, de 50 m brede variant is daarom wenselijker vanuit ecologisch perspectief.



Figuur 1-2: Dijkontwerp.

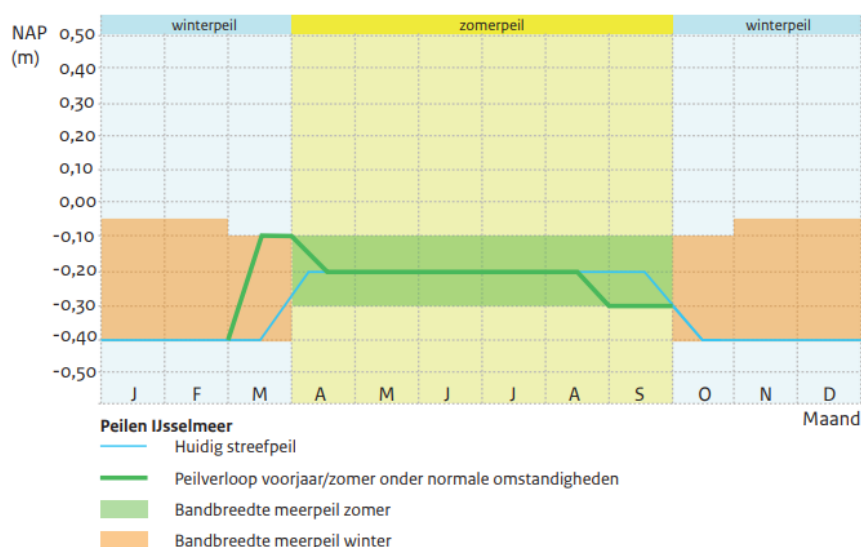
## 2 Systeemkennis

Bij de aanleg van zandige oplossing (zoals een vooroever) moet er rekening gehouden worden met de morfologische activiteit van deze oplossing. Over de tijd zal de vooroever veranderen als gevolg van stroming en golven, zowel tijdens de dagelijkse condities als tijdens storm. Waar we langs kusten een vrij goed beeld hebben van hoe een vooroever zich ontwikkelt, is dit voor een meer onzekerder, want in een meer ontbreekt namelijk een van de drijvende factoren getij. Het IJsselmeer is dan ook een vrij uniek systeem om een vooroever in aan te leggen. Om een goede inschatting te kunnen maken van de te verwachten morfologische activiteit kijken we daarom vooral naar de bestaande kennis van het systeem waarin de pilot Houtribdijk een waardevolle informatiebron is. Deze bestaande systeemkennis wordt in dit hoofdstuk nader toegelicht. De bestaande kennis vullen we aan met morfologische analyses en berekeningen die worden toegelicht in het volgende hoofdstuk.

### 2.1 Randvoorwaarden op het IJsselmeer

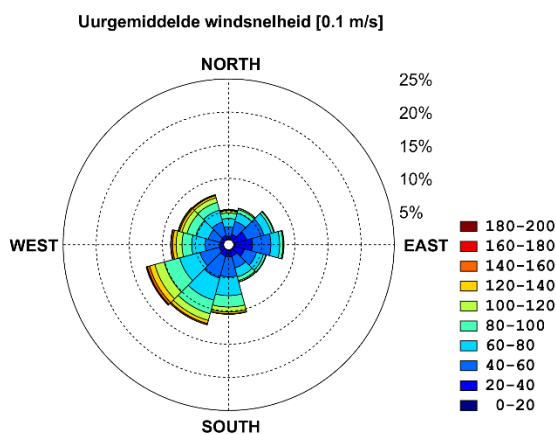
Het IJsselmeer kenmerkt zich door een redelijk uniforme “badkuip” bathymetrie, langs de randen wordt het snel dieper tot een diepte van ongeveer 5-6 meter wordt bereikt. Deze diepte is redelijk uniform over het grootste deel van het IJsselmeer.

Het waterpeil op het IJsselmeer wordt gereguleerd en is daardoor zeer constant. Het peilbesluit IJsselmeergebied is op 14 juni 2018 ondertekend door de minister van Infrastructuur en Waterstaat en in werking getreden vanaf 2019. Vanaf dat moment geldt dat het zomerpeil fluctueert binnen een bandbreedte tussen NAP -0,10 m en NAP -0,30 m (zie Figuur 2-1). Het winterpeil verandert niet: er wordt gestuurd op een ondergrens van NAP -0,40 m. Bij storm of een zware onweersbui kan de waterstand in het IJssel- en Markermeer snel veranderen. In korte tijd kan het (lokaal) tot wel 1,5 m stijgen, om vervolgens weer net zo hard te dalen. Ook bij extreme rivierafvoer kan een (langdurig) verhoogd IJsselmeerpeil optreden.



Figuur 2-1: Peil in het IJsselmeer gedurende het jaar (Rijkswaterstaat, 2018).

Winddata is beschikbaar bij Stavoren (dataset van het KNMI, beschikbaar vanaf 1981) waaruit de overheersende windrichtingen af te leiden zijn (Figuur 2-2). De overheersende windrichting komt vanuit het zuidwesten, al komen alle richtingen voor.



Figuur 2-2: Windcondities bij Stavoren (1981-2021).

Golfcondities in het IJsselmeer zijn relatief kalm tijdens dagelijkse condities. Doordat het een afgesloten meer betreft, is de strijklengte beperkt en komen er alleen lokaal gevormde golven voor. Extreme condities zijn aangeleverd door HKV voor de terugkeertijden 10 – 100.000 jaar en samengevat in Tabel 2-1. De waterstand varieert tussen NAP +1,11 en NAP +2,69 m, de significante golfhoogte tussen 1,71 en 3,7 m.

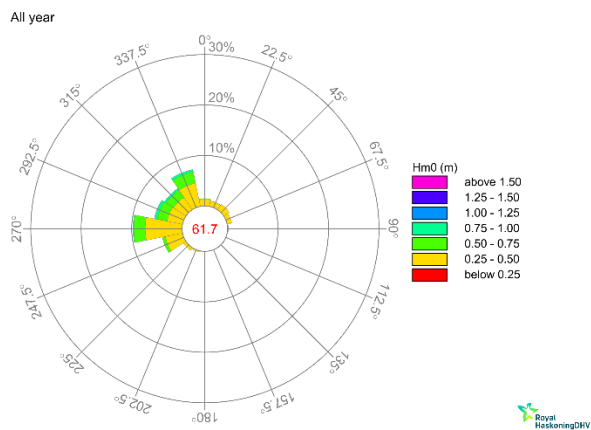
Tabel 2-1: Extreme condities.

Parameter	Terugkeertijd					
	10 jaar	50 jaar	100 jaar	1000 jaar	10.000 jaar	100.000 jaar
IJsselmeerpeil [m+NAP]	0,08	0,07	0,08	0,11	0,08	0,12
Lokale waterstand [m+NAP]	1,11	1,24	1,39	1,88	2,21	2,69
Significante golfhoogte Hm0 [m]	1,71	2,29	2,45	2,97	3,3	3,7
Golfperiode Tm-1,0 [s]	4,82	5,28	5,45	5,94	6,9	7,25
Golfrichting [graden tov Noord]	315,4	315,6	315,6	315,6	315,4	315,4

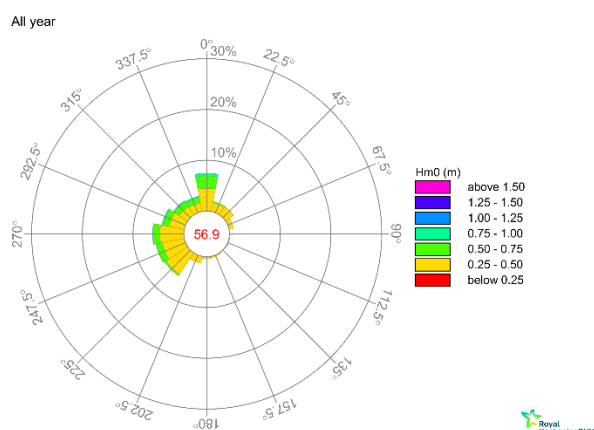
Dagelijkse golfcondities ter hoogte van de IJsselmeerdijk zijn niet beschikbaar (er zijn geen openbare golfboeien). De dagelijkse golfcondities zijn daarom met behulp van een SWAN model afgeleid aan de hand van de windcondities bij Stavoren. Hierbij is met behulp van 3 verschillende SWAN roosters (roostercel-afmetingen van 200, 75 en 25 m) de wind bij Stavoren naar de IJsselmeerdijk getransformeerd, waarbij het variërende IJsselmeerpeil mee is genomen. Resulterende golfrozen bij de verschillende dijkvakken zijn te zien in Figuur 2-3. Te zien is dat de dominante golfrichting varieert van noordwest bij dijkvak 1 tot noord-noordoost bij dijkvak 3. Let wel dat een SWAN model geen windopzet meeneemt, waardoor bij aanlandige wind er een onderschatting plaatsvindt van waterstand en golfhoogte en bij aflandige wind juist een overschatting. Het maximale IJsselmeerpeil is NAP -0,1 m, terwijl tijdens

een storm of zware onweersbui het peil lokaal tot 1,5 kan stijgen. Onder normale condities met een stevige wind kan de waterstand bij de dijk dus hoger zijn dan het maximale IJsselmeerpeil, waarmee het aangrijpingspunt hoger in het profiel ligt. Dit zal voornamelijk effect hebben wanneer dammen met bepaalde kruinhoogtes (waterstand net wel/net niet boven de dam) worden beschouwd.

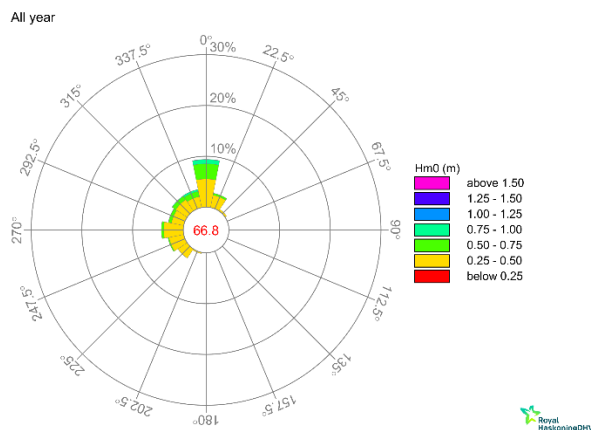
### Dijkvak 1



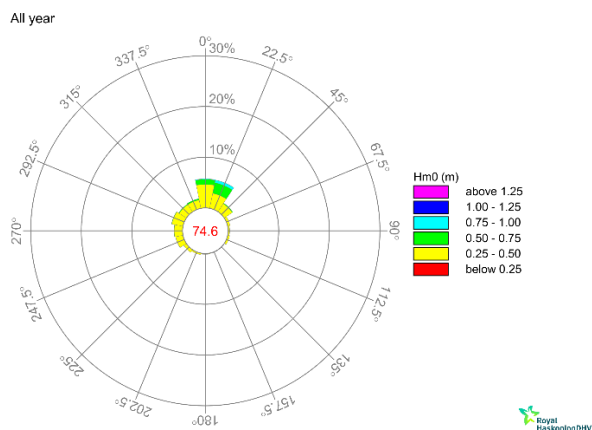
### Dijkvak 2-1



### Dijkvak 2-2



### Dijkvak 3



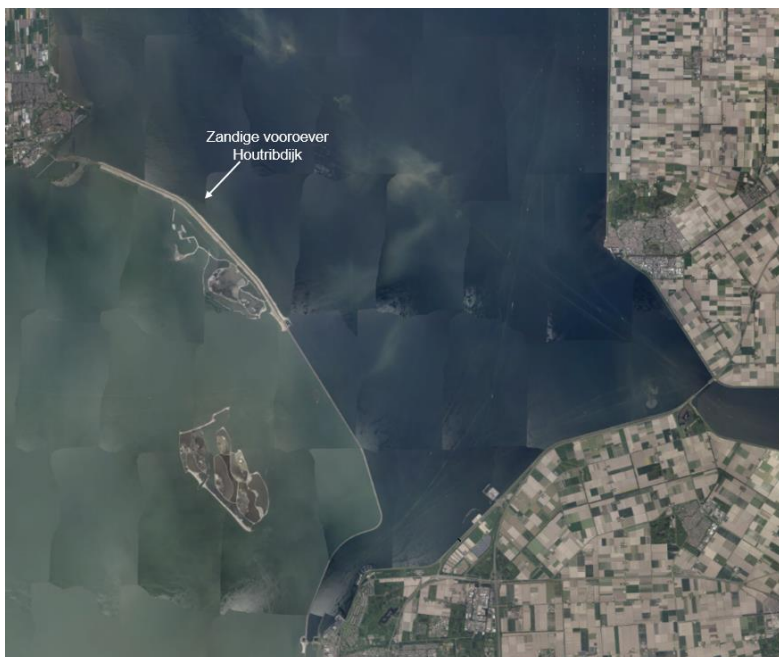
Figuur 2-3: Golfrozen bij de verschillende dijkvakken.

Door het stabiele waterpeil en de beperkte strijklengte is het IJsselmeer ten opzichte van een kuststelsel een typisch laag energetisch systeem zonder getijdewerking.

## 2.2 Stabiliteit en ontwikkeling van bestaande vooroevers

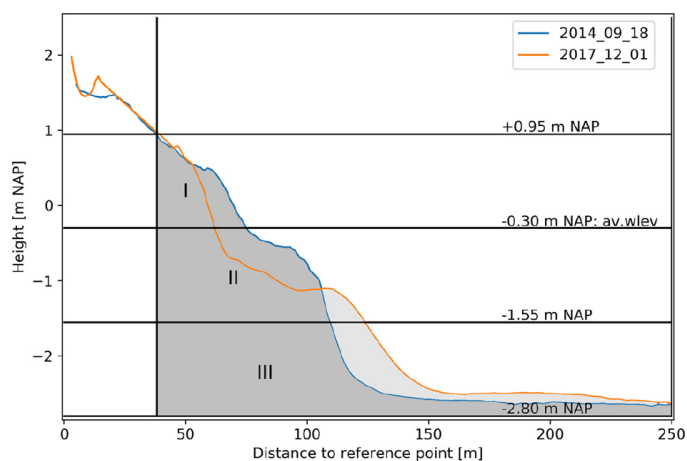
Het IJsselmeer wordt gescheiden van het Markermeer door de Houtribdijk. Hier wordt momenteel een pilot uitgevoerd waarin een zandige oplossing is toegepast (zie Figuur 2-4). In 2014 is hier een vooroever aangelegd welke sindsdien goed gemonitord wordt om te bepalen wat de ontwikkeling is. Hier zijn geen vooroeverdammen toegepast. De lessen uit deze pilot geven inzicht in welk type vooroever het meest stabiel is.





Figuur 2-4: Locatie van de zandige vooroever van de Houtribdijk.

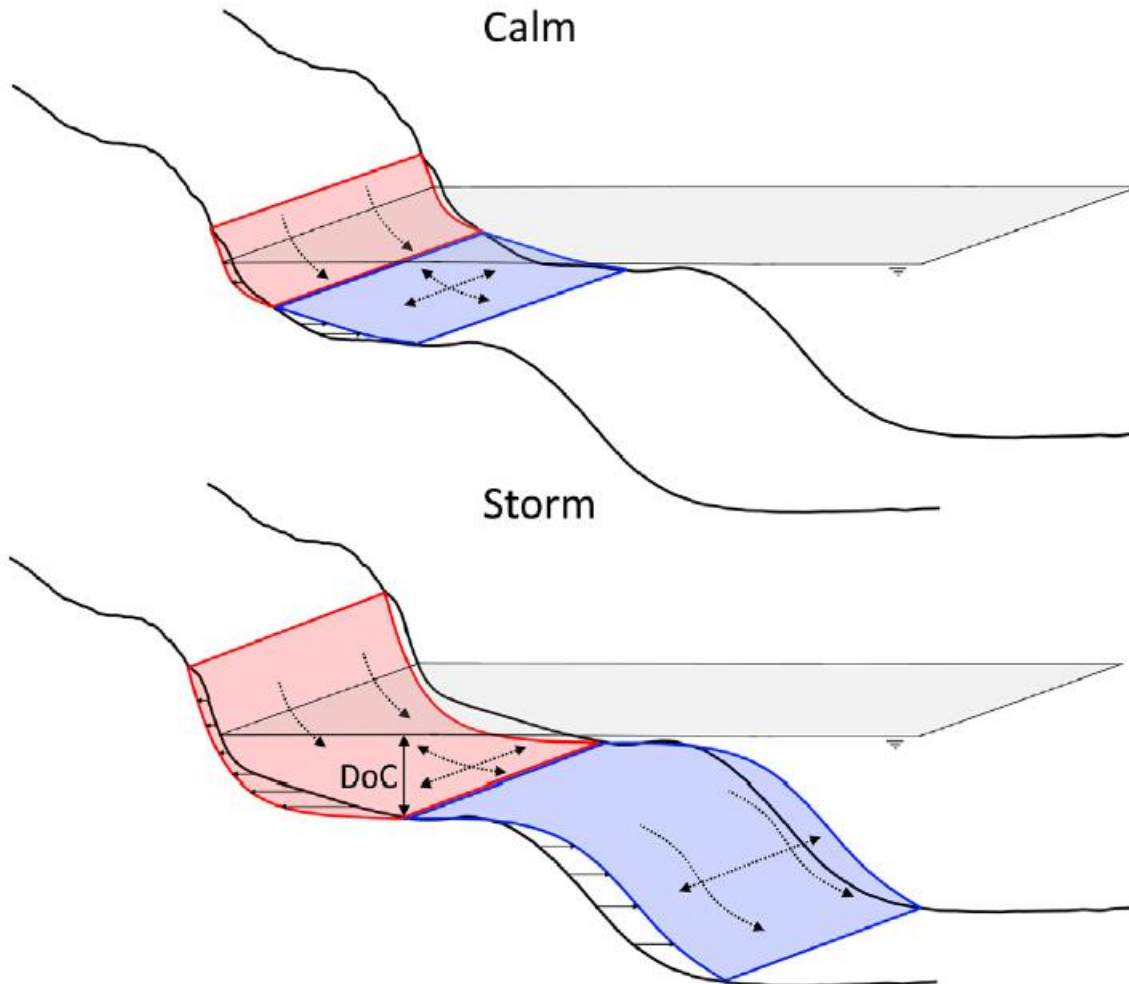
Uit de pilot blijkt dat er tot op heden nog geen evenwichtsprofiel is gevormd, de vooroevers blijven in ontwikkeling en herschikken zich zowel tijdens dagelijkse omstandigheden als tijdens stormcondities. Bij de vooroever van de Houtribdijk is geen vooroeverdam toegepast. Wel is er een duidelijke herschikking van het sediment zichtbaar over de afgelopen jaren, deze is weergegeven in Figuur 2-5/Figuur 3-1.



Figuur 2-5: Vervorming van het dwarsprofiel van de vooroever bij de pilot Houtribdijk tussen 2014 en 2017, Ton et al., 2020).

Onder invloed van golven wordt sediment in beweging gebracht in zowel de langs- als dwarsrichting. In de ontwikkeling is duidelijk zichtbaar dat er zich een plateau vormt op een hoogte van ongeveer NAP -1 m. Boven in het profiel vindt er erosie plaats rondom de waterlijn en beneden in het profiel is aangroei zichtbaar: het sediment herschikt zich. Dit is ook conceptueel weergegeven in Figuur 2-6. De hoogte van het plateau is afhankelijk van het waterpeil en golfhoogte en hangt samen met de zogenaamde 'depth of closure': de overgang tussen het deel van het kustprofiel waar de invloed van golven op sediment transport niet meer significant is. In dit verhaal bepaalt de waterstand waar de golven aangrijpen op het

kustprofiel: bij een hogere waterstand kunnen hogere golven ontstaan en grijpen deze hoger in het profiel aan.



Figuur 2-6: Grafische weergave van de vervorming van het profiel van een vooroever in laag-energetisch en zandig milieu onder dagelijkse (calm) en extreme (storm) condities (Ton et al., 2020).

Binnen het profiel dat zich vormt, zijn er een aantal dingen belangrijk:

- Het plateau zal zich rond NAP -1 m vormen als gevolg van het waterpeil in het IJsselmeer en golfcondities;
- De breedte van het plateau hangt af van het langtransport en de aanvoer van sediment van hoger in het profiel;
- Er is geen herstel van het profiel, door de relatief diepe bodem van het IJsselmeer is elk verlies een permanent verlies. Het is dan ook verstandig te rekenen met bruto transporten in plaats van netto;
- Erosie vindt plaats rond de waterlijn, dit sediment vult het plateau aan, wanneer er geen erosie kan plaatsvinden en er dus geen aanvoer is, diept het plateau uit.

## 2.3 Invloed van wind gedreven stroming

In het IJsselmeer treedt er naast de golfgedreven stroming ook een windgedreven stroming op. Deze is het gevolg van opzet van het waterpeil waardoor er een horizontale circulatiestroom ontstaat. De stroming is afhankelijk van de windrichting, bathymetrie en eventuele objecten. Uit metingen langs de Houtribdijk blijkt dat de stroming uniform is qua snelheid over de diepte en een maximale snelheid van zo'n 0,3 m/s kent.

In Figuur 2-7 is de verwachte stroming op basis van gebiedskennis en expert judgement ingetekend voor de situatie met aanlandige wind (overige condities zijn verderop beschreven). Deze situatie is gekozen omdat in deze situatie de waterstand het hoogst is op de locatie van het voorland en een stroming het meeste effect zal hebben op een voorland. De stroming ontstaat langs de kust als gevolg van opzet van het waterpeil, de terugstroom volgt de contour van de kustlijn. Dit wordt bevestigd door meetpalen bij de Houtribdijk, deze laten stroming langs de kust zien. Bij objecten of dammen (zoals de Maxima centrale) is de verwachting dat er een lokale stroming in tegengestelde richting ontstaat dicht bij de kust.

### **Aanlandige wind**

De opzet is groot door de relatief lange strijklengte. Hierdoor is er een groot waterstandsverschil waardoor er een relatief hoge stroomsnelheid verwacht wordt. De waterstand ter plaatse van het voorland is ook hoog, veel opwoeling vindt daardoor plaats hoog in profiel doordat de golven een hoog aangrijpingspunt hebben. Het zandtransport is daardoor naar verwachting ook relatief hoog als gevolg van de combinatie van opwoeling met een sterke stroming. De richting van de stroming is in het noordelijke gedeelte richting noord en in het zuidelijke gedeelte richting zuid.

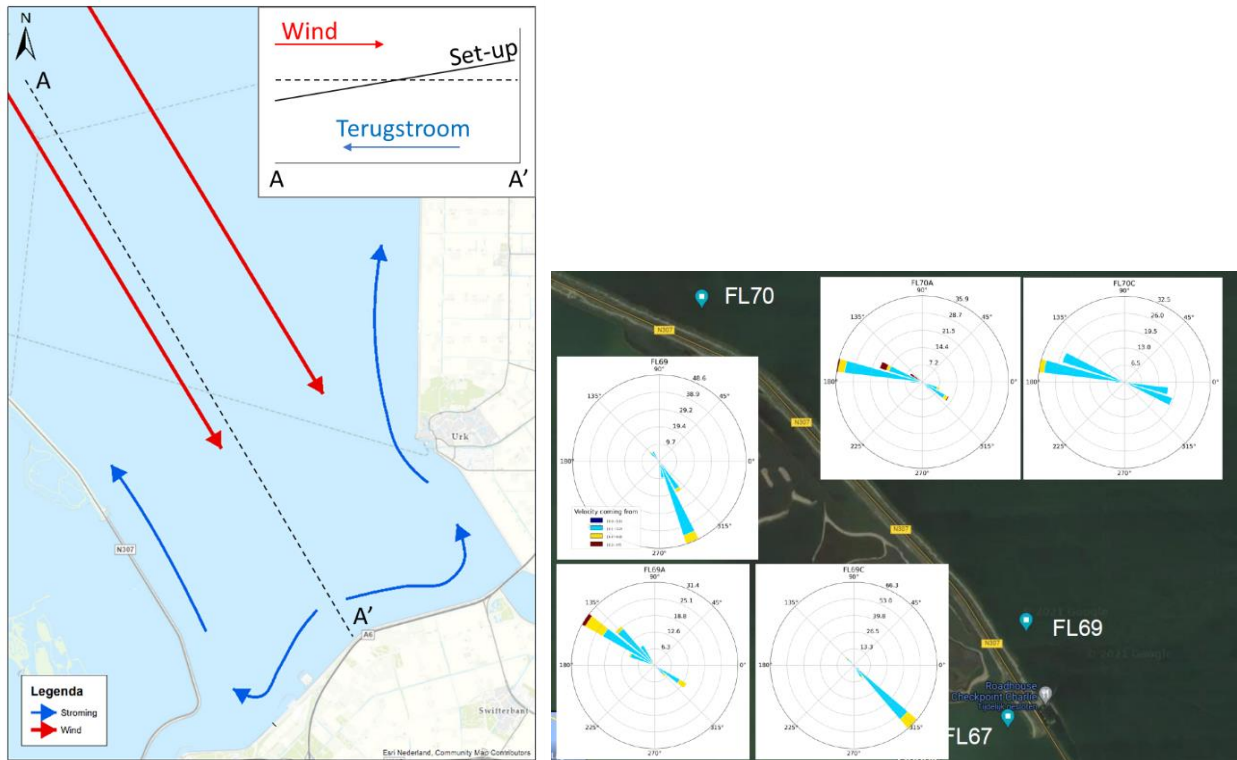
### **Aflandige wind**

De waterstand bij de IJsselmeerdijk is laag en er zijn geen golven. Er zal weinig opwoeling plaatsvinden, het sedimenttransport is daardoor naar verwachting ook beperkt. Windgedreven stroming zal tegengesteld zijn aan de situatie bij aanlandige wind.

### **Wind uit NO/ZW (parallel)**

De opzet is kleiner door de relatief korte strijklengte, hierdoor is er een klein waterstandsverschil en een lage stroomsnelheid. De waterstand en golfhoogte ter plaatse van het voorland is gemiddeld, enige opwoeling vindt plaats in het profiel. Het transport is daardoor in verwachting ook gemiddeld als gevolg van de combinatie van enige opwoeling met een kleine stroming. De stroomrichting is richting het noorden voor NO wind en richting het zuiden voor ZW wind.

N.B. dit is slechts een conceptuele weergave van de mogelijke stroming op basis van gebiedskennis en ervaringen van de Houtribdijk. Stromingspatronen zijn van veel variabelen afhankelijk en moeten bevestigd worden aan de hand van metingen of modellering.



Figuur 2-7: Verwachte stroming langs de IJsselmeerdijk tijdens aanlandige wind (links) en gemeten stroming langs de Houtribdijk (rechts, ongepubliceerde metingen uit onderzoek van Ton., 2021).

De lessen en generieke conclusies uit de Houtribdijk pilot zijn goed toepasbaar op de vooroever oplossing van de IJsselmeerdijk, het gaat om een soortgelijke zandige oplossing in hetzelfde systeem. Bij de Houtribdijk is er echter niet gewerkt met een vooroeverdam, waar dit voor de IJsselmeerdijk wel een realistische oplossing lijkt. Het effect van constructies op de morfologie moet daarom in acht genomen worden.

## 3 Morfologische beschouwing van kansrijke varianten

### 3.1 Inleiding

Op basis van de systeemkennis vanuit de Houtribdijk, zijn verschillende alternatieven voor de vooroever van de IJsselmeerdijk beschouwd. Vanuit de waterveiligheid voldoen verschillende profielen als minimum profiel (het minimale profiel wat vanuit waterveiligheid aanwezig moet zijn ten tijde van de maatgevende storm):

- Een helling van 1:10, die aansluit op het huidige dijkprofiel op NAP +1 m;
- Een plateau van 20 m breed op NAP 0 m;
- Een plateau van 50 m breed op NAP -1 m.

Deze verschillende alternatieven worden in dit hoofdstuk morfologisch beschouwd.

### 3.2 Modelkeuze

Als ondersteuning van de morfologische beschouwing worden morfologische modelsimulaties gebruikt. Hiervoor is de LITPACK software gebruikt, ontwikkeld door DHI. Hierbij worden verschillende modellen gebruikt worden voor het kustlangse en het kustdwarse sedimenttransport:

- **Kustlangs:** de LITDRIFT module is gebruikt om het langstransport te bepalen. Deze module berekent het langstransport voor verschillende kustdwarse profielen onder invloed van golf- en stromingscondities. Het model bestaat uit twee delen: (1) een hydrodynamisch model om de golftransformatie richting de kust en de resulterende golfgedreven stroming te bepalen en (2) een sedimenttransportmodel om het resulterende langstransport te bepalen. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat elk kustdwars profiel representatief is voor een stuk rechte kust met uniforme condities. Vervolgens zal de LITLINE module gebruikt worden om het effect van constructies op het langstransport te bepalen;
- **Kustdwars:** de LITPROF module zal gebruikt worden om het kustdwarse sedimenttransport te bepalen. Dit model beschrijft de kustdwarse profielverandering als gevolg van een tijdserie van golfcondities. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat er geen kustlangse variatie in hydrodynamische en sedimentcondities is en dat de dieptecontouren parallel aan de kust lopen.

### 3.3 Methodologie

Bij de modelsimulaties met de LITPACK software zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor stormcondities zijn langs de IJsselmeerdijk voor de verschillende dijkvakken dezelfde condities gehanteerd, zie ook Tabel 2-1. Voor dijkvak 3, welke relatief beschut licht achter de Houtribdijk, is dit waarschijnlijk een conservatieve benadering. Een stormduur van 40 uur is gehanteerd, met een trapeziumvormig verloop van waterstand en golfhoogte en een piekduur van 2 uur;
- Voor dagelijkse condities is per dijkvak een ander golfklimaat gehanteerd, zie ook Figuur 2-3. Hierbij is het jaar 2020 beschouwd;
- Een korrelgrootte van 0,35 mm is gehanteerd. Dit is relatief grof zand. De vooroever wordt echter mogelijk afgedekt met een laagje klei en wordt daarnaast begroeid met vegetatie, beide mechanismes die sedimenttransport verminderen;
- Het huidige dijkprofiel is als niet-erodeerbare laag in het profiel opgenomen;

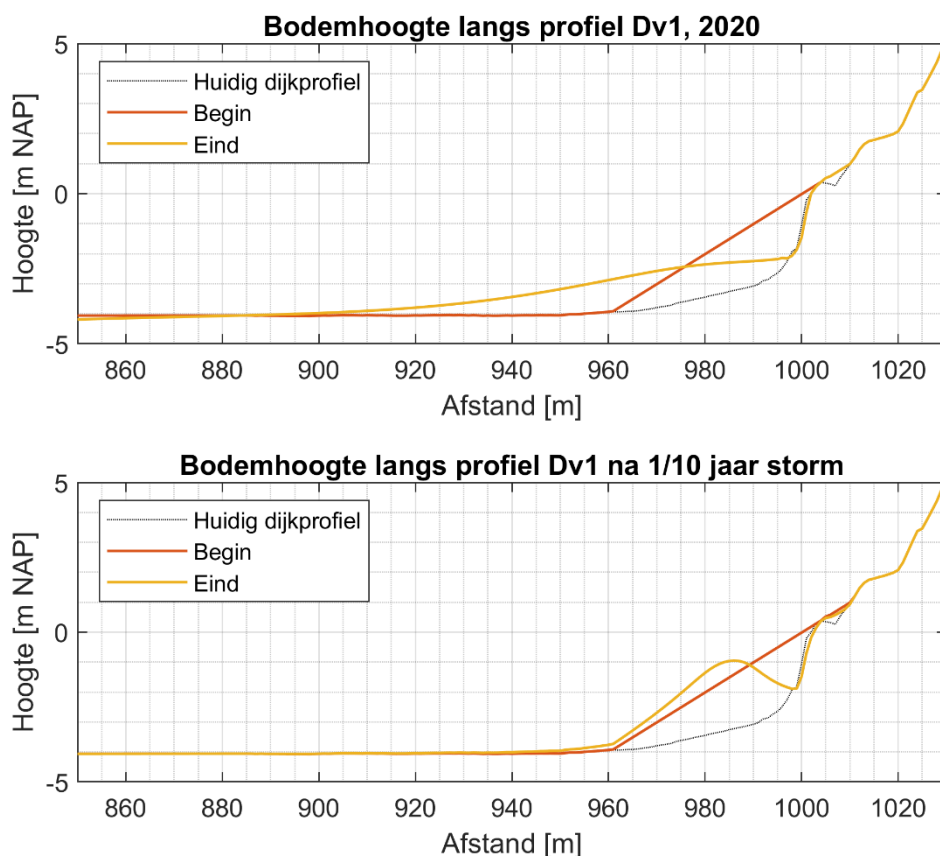


- De vooroeverdam is als harde constructie in het profiel opgenomen;
- Over het traject rondom de Maxima centrale en de haven wordt geen vooroever toegepast.

### 3.4 Dwarstransport

#### 3.4.1 Minimaal profiel A - helling van 1:10

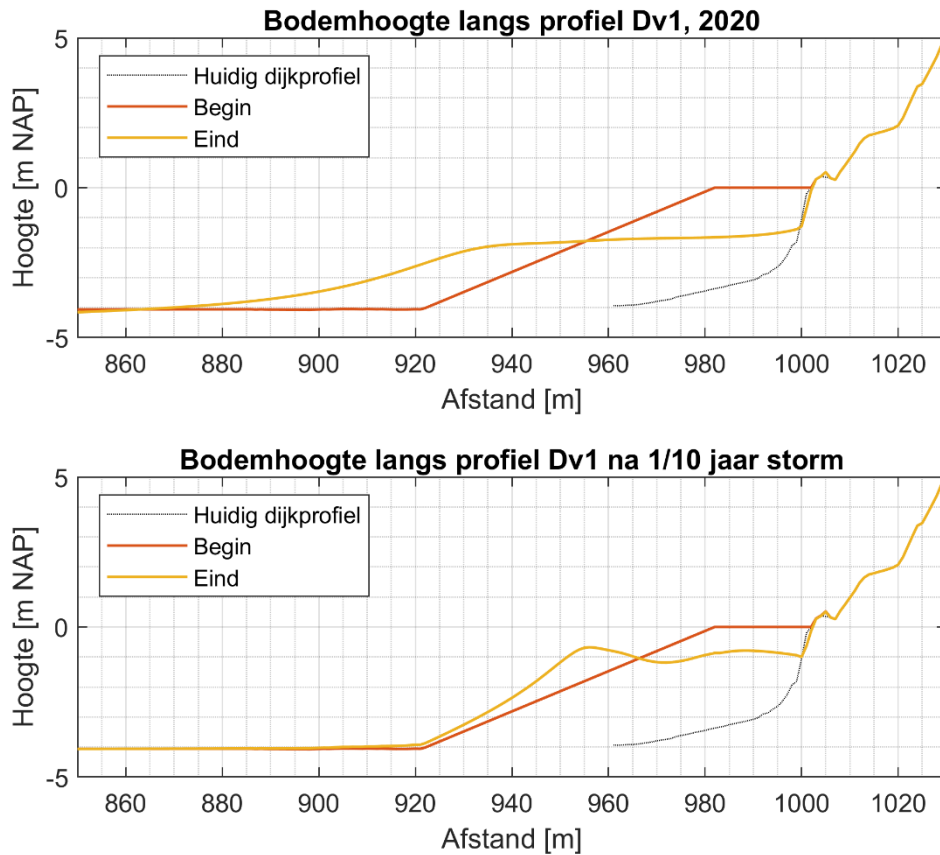
Uit ervaringen met pilots bij de Houtribdijk blijkt dat een vooroever met een uniform talud niet stabiel is en zich snel gaat vervormen. Dit wordt bevestigd door de verkennende LITPROF simulaties, zie Figuur 3-1. Zowel bij stormcondities (hier: 1/10 jaar conditie) en dagelijkse condities treedt significante vervorming in het profiel op. Zand erodeert rondom de waterlijn en wordt lager in het profiel gedeponerd, waarbij zich een profiel met een plateau vormt. Geconcludeerd kan worden dat het minimale profiel met een helling van 1:10 en aansluiting op NAP +1 m niet leidt tot een stabiele vooroever en dat grote verliezen te verwachten zijn.



Figuur 3-1: Vervorming van het 1:10 profiel na een jaar (boven) en na een 1/10 jaar storm (onder).

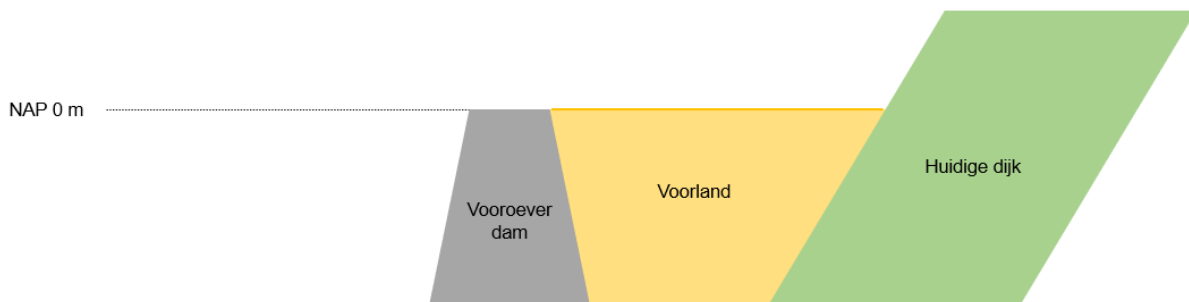
#### 3.4.2 Minimaal profiel B – horizontaal plateau op NAP 0 m

Ook een profiel met een horizontaal plateau op NAP 0 m en een breedte van 20 m vervormt, zie Figuur 3-2. Het plateau ligt onder dagelijkse condities rondom de waterlijn en ligt dus precies in de erosiezone. Bij een 1/10 jaar storm verlaagt het plateau zich naar circa NAP -1 m, en na een jaar ligt het nog wat lager. Uitholling van het profiel wordt dan veroorzaakt door het gebrek aan zandaanvoer van hoger in het profiel, aangezien het plateau direct aansluit op het huidige dijksprofiel.



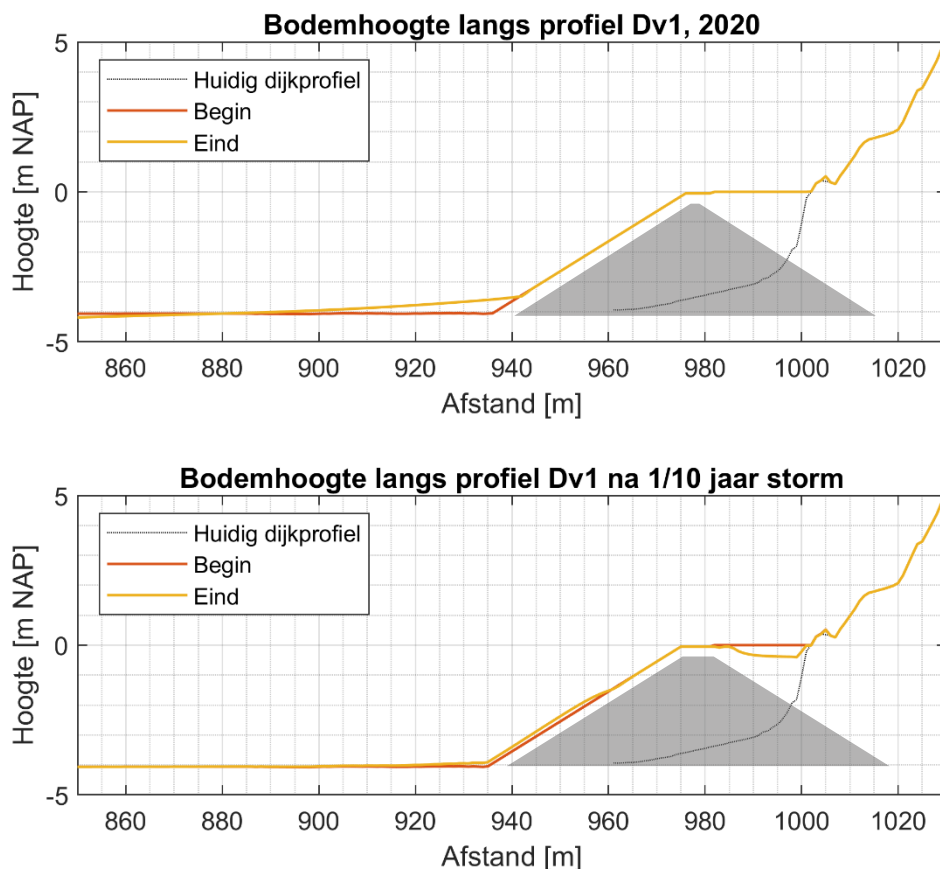
Figuur 3-2: Vervorming van het profiel met plateau op NAP 0 m na een jaar (boven) en na een 1/10 jaar storm (onder).

Toepassing van een vooroeverdam aan meerszijde van het voorland heeft een stabiliserend effect. Hier is gekeken naar een vooroeverdam met een kruinhoogte van NAP 0 m, zie Figuur 3-3.



Figuur 3-3: Schematische weergave van de vooroeverdam.

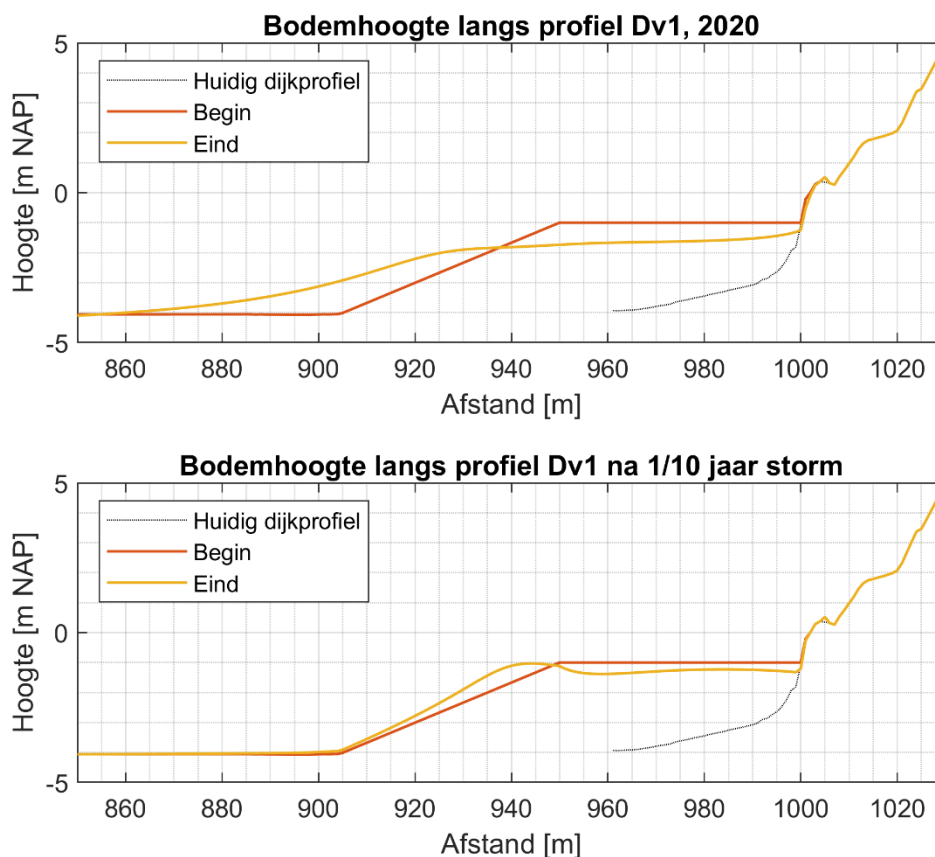
Het stabiliserende effect van de vooroeverdam is te zien in Figuur 3-4: tijdens dagelijkse condities treedt weinig vervorming van het voorland op, tijdens stormcondities vindt uitholling van het plateau achter de dam plaats. Daarnaast zorgt de dam voor een zeer smalle zand-vooroever, die weinig ecologische pluspunten heeft.



Figuur 3-4: Vervorming van het profiel met plateau op NAP 0 m en vooroeverdam na een jaar (boven) en na een 1/10 jaar storm (onder). De vooroeverdam is schematisch in grijs weergegeven.

### 3.4.3 Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m

Uit de ervaringen met de Houtribdijk blijkt dat zich een natuurlijk plateau op NAP -1 m gaat vormen, waarvan de breedte afhangt van het langtransport en aanvoer van sediment vanuit hoger in het profiel. Uit de conceptuele LITPROF simulaties blijkt dat wanneer dit plateau direct aansluit op het huidig dijkeprofiel, nog extra uitholling te verwachten is (zie Figuur 3-5). Het plateau zal na verloop van tijd dus lager komen te liggen dan de NAP -1 m die in de Houtribdijk is ontstaan. Reden hiervoor is dat er geen aanvoer van sediment vanuit hoger in het profiel is. Dit bevestigt dat buffers rond de waterlijn noodzakelijk zijn om het plateau te onderhouden of aanvullende maatregelen zoals een vooroeverdam nodig zijn om het plateau te beschermen.



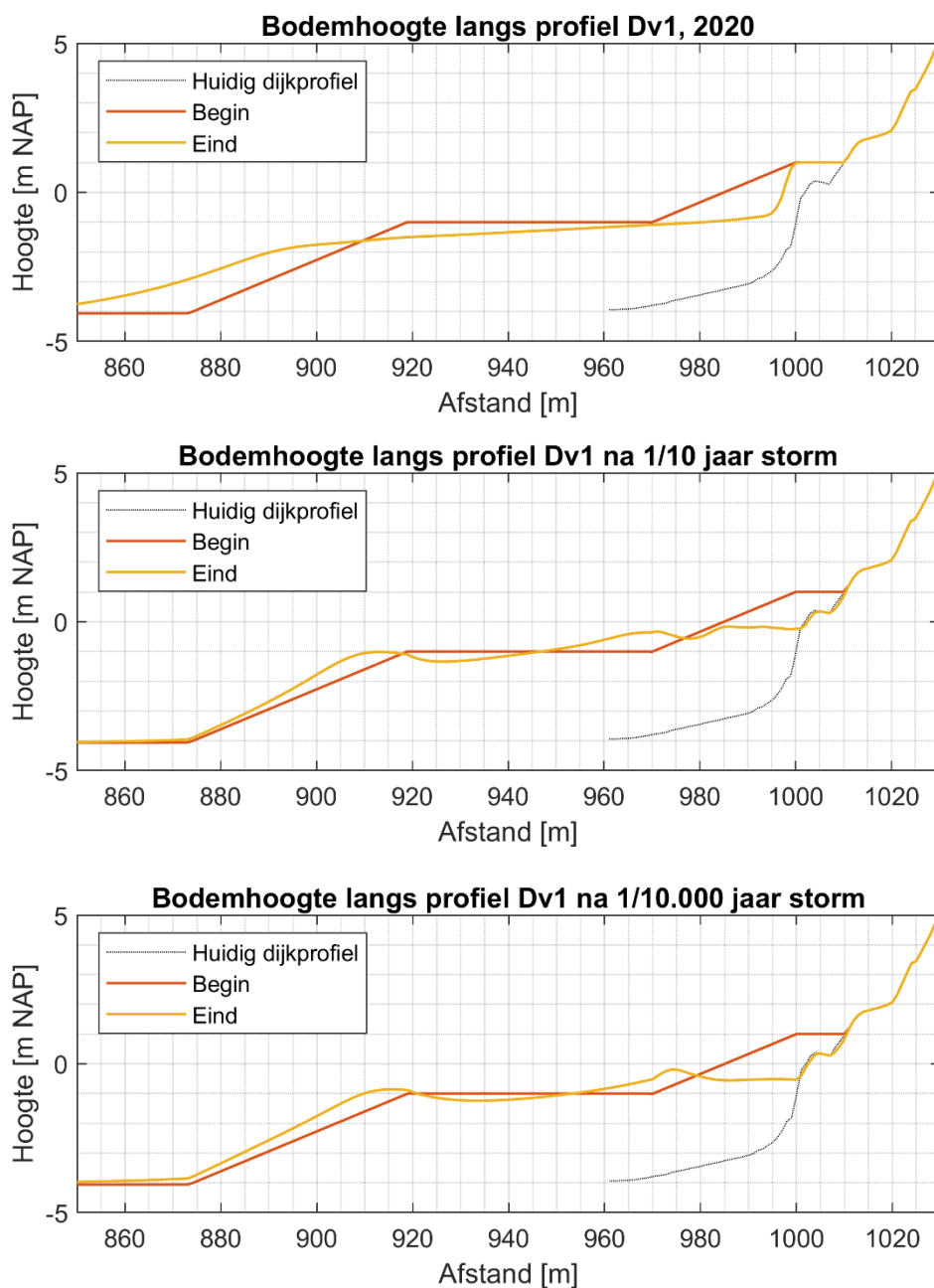
Figuur 3-5: Vervorming van het profiel met plateau op NAP -1 m na een jaar (boven) en na een 1/10 jaar storm (onder).

### 3.4.4 Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m + buffer

In Figuur 3-6 is te zien dat wanneer een buffer van 10 m breed op NAP +1 m aanwezig is, het plateau op NAP -1 stabiel is dan zonder buffer. De buffer erodeert onder dagelijkse en stormcondities en levert zand waarmee het plateau onderhouden wordt. Bij dagelijkse condities erodeert de voorzijde van het plateau, bij een 1/10 jaar storm (waterpeil van NAP 1,11 m) vindt flinke erosie van de buffer plaats.

In Figuur 3-6 is ook de vervorming van het profiel getoond voor verschillende stormcondities: 1/10 en 1/10.000 jaar. In alle gevallen ligt de waterlijn (incl. opzet) boven de buffer. Bij een hevigere storm is meer erosie van de buffer te verwachten, waarbij na een 1/10.000 jaar storm de buffer bijna geheel is geërodeerd.

Een zandige oplossing met een plateau op NAP -1 m lijkt voor de storm condities stabiel en te voldoen, onder dagelijkse condities zien we echter teveel vervorming waardoor de oplossing niet voldoet.

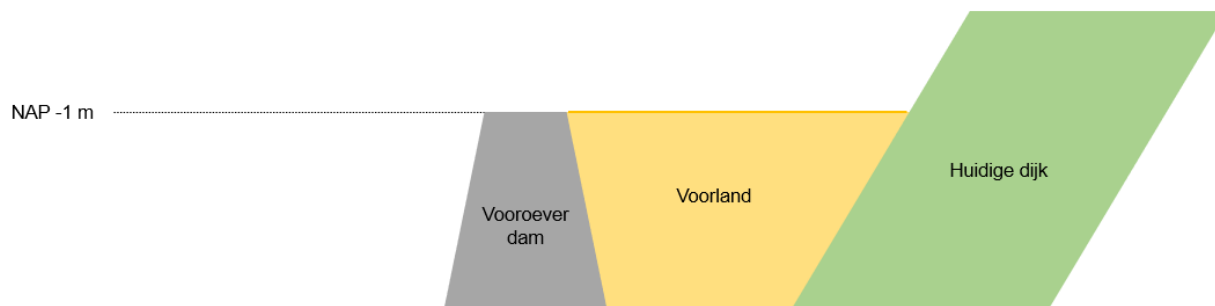


Figuur 3-6: Vervorming van het profiel met plateau op NAP -1 m + buffer van 10m breed op NAP 1 m na een jaar (boven) en na verschillende stormen.

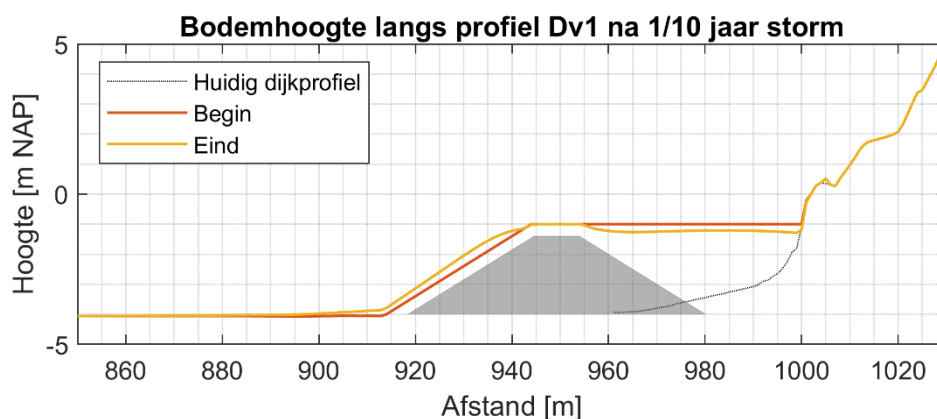
### 3.4.5 Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m en vooroeverdam (kruin op NAP -1 m)

Wanneer een vooroeverdam wordt toegepast met kruinhoogte op NAP -1 m en geen buffer wordt toegepast (zie Figuur 3-7), vindt onder stormcondities uitholling van het voorland plaats. Omdat de kruin van de vooroeverdam op dezelfde hoogte ligt als het voorland, kunnen golven het voorland oplopen en daar breken. Geërodeerd zand wordt aan de meerzijde van de vooroeverdam gedeponeed.





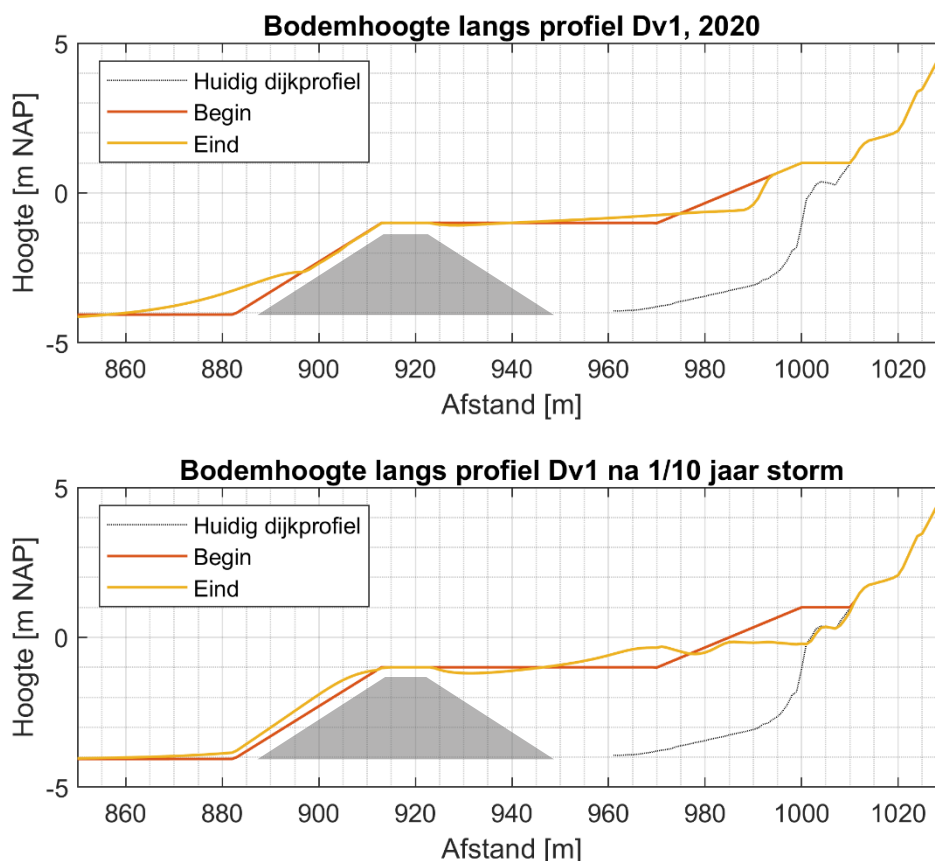
Figuur 3-7: Schematische weergave van de voeroeverdam.



Figuur 3-8: Vervorming van het profiel met plateau op NAP -1 m + een voeroeverdam na een 1/10 jaar storm. De voeroeverdam is schematisch in grijs weergegeven.

### 3.4.6 Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m + buffer + voeroeverdam (kruin op NAP -1 m)

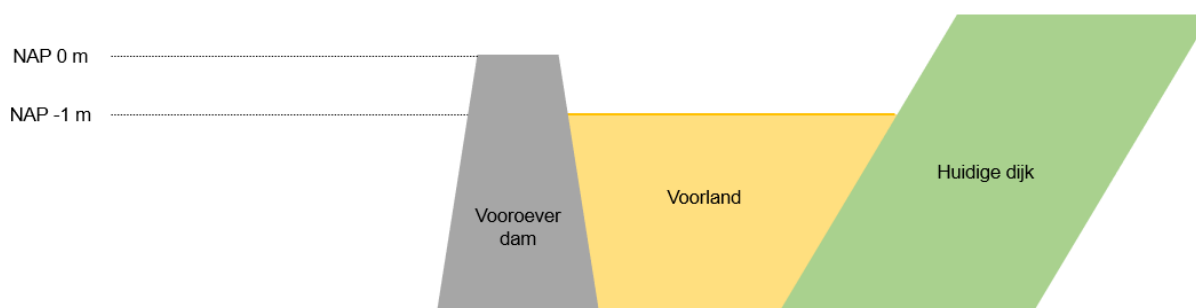
Wanneer een voeroeverdam wordt toegepast met kruinhoogte op NAP -1 m in combinatie met een buffer rond de waterlijn, vermindert de erosie van de buffer onder dagelijkse condities ten opzichte van de situatie zonder voeroeverdam, terwijl de erosie bij een 1/10 jaar storm vergelijkbaar is. Geërodeerd zand wordt aan meerszijde van de voeroeverdam gedeponneerd. De verwachting is echter dat over een langdurigere periode (>5 jaar) de buffer volledig verdwijnt en de vervorming toeneemt (vergelijkbaar met de situatie zonder buffer).



Figuur 3-9: Vervorming van het profiel met plateau op NAP -1 m + buffer van 10m breed op NAP 1 m + een vooroeverdam na een jaar (boven) en na een 1/10 jaar storm (onder). De vooroeverdam is schematisch weergegeven in grijs.

### 3.4.7 Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m + vooroeverdam (kruin op NAP 0 m)

Om het voorland op NAP -1 verder te stabiliseren kan ook een vooroeverdam met een hogere kruin worden toegepast, zoals een kruin op NAP 0 m (zie Figuur 3-10).

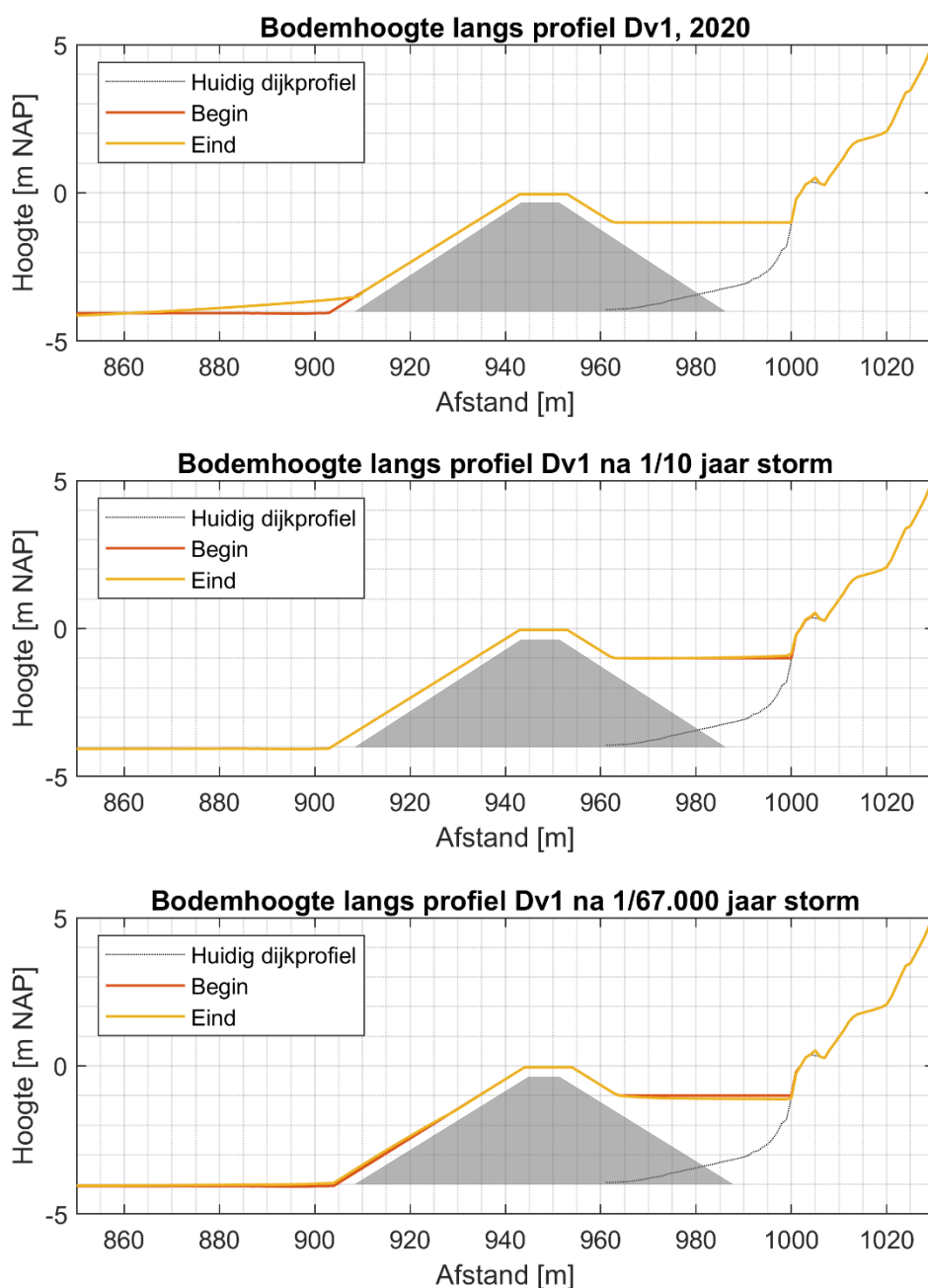


Figuur 3-10: Schematische weergave van de vooroeverdam.

Deze vooroeverdam met een kruin op NAP 0 m vermindert erosie onder dagelijkse condities verder. De golven breken op de dam. Wanneer geen buffer rond de waterlijn wordt toegepast, vindt onder dagelijkse

en 1/10 jaar stormcondities weinig erosie plaats. Onder 1/67.000 jaar stormcondities vindt lichte uitholling van het plateau plaats.

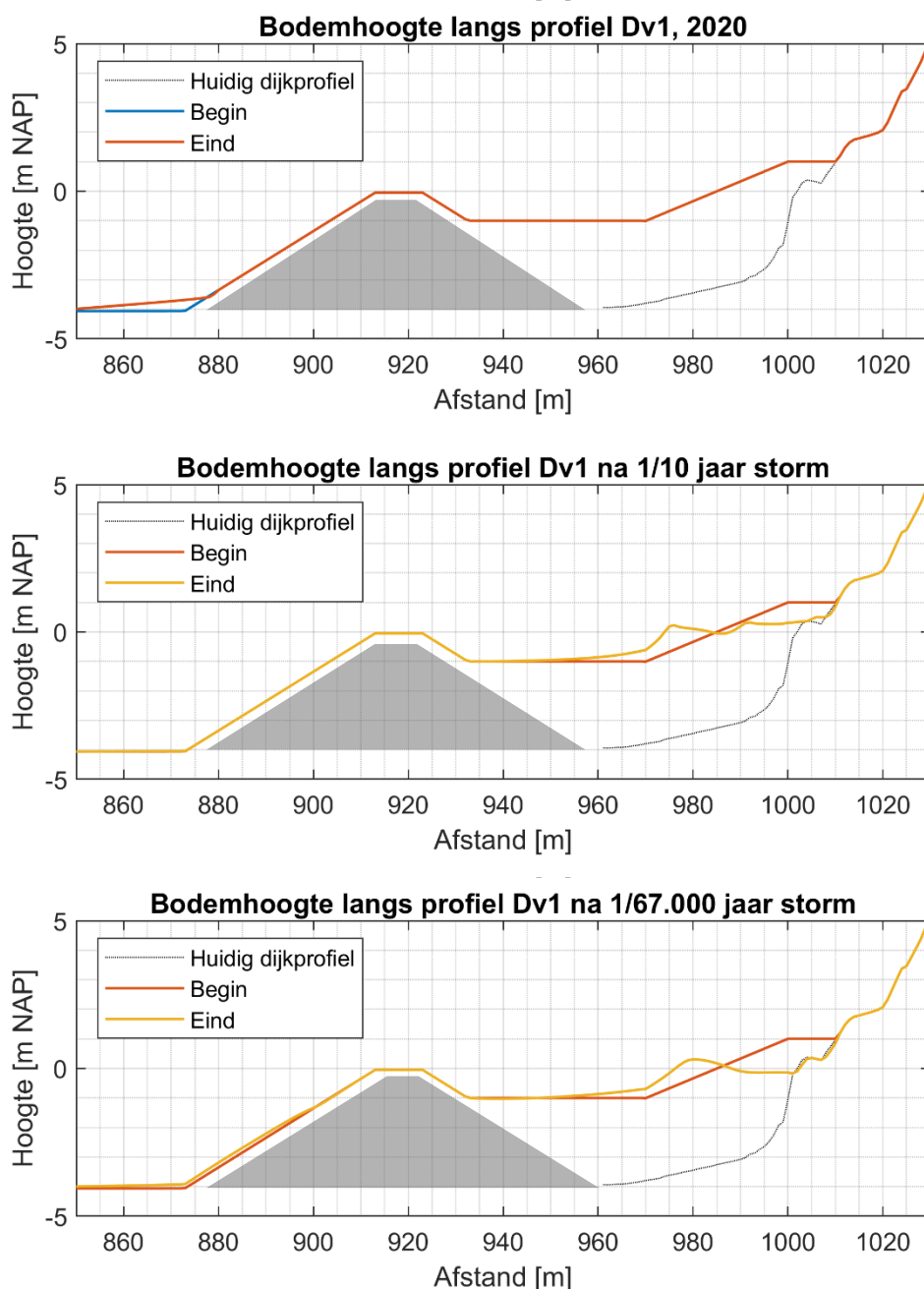
N.B. door de onderschatting van opzet en golfhoogtes tijdens aanlandige wind, vindt in werkelijkheid naar verwachting meer erosie plaats in een jaar, vooral bij aanlandige stormwind. Bij normale IJsselmeerpeilen komt de waterstand niet boven de vooroeverdams uit en slaat slechts af en toe een golf over de dam heen. Bij flinke opzet kan de waterstand af en toe boven de dam uitkomen en lopen golven het plateau op.



Figuur 3-11: Vervorming van het profiel met plateau op NAP -1 m + een vooroeverdams na een jaar (boven), na een 1/10 jaar storm (midden) en na een 1/67.000 jaar storm (onder). De vooroeverdams is schematisch weergegeven in grijs.

### 3.4.8 Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m + buffer + vooroeverdam (kruin op NAP 0 m)

Wanneer een buffer rond de waterlijn wordt toegepast in combinatie met een vooroeverdam met kruinhoogte NAP 0 m, wordt de uitholling bij extreme stormcondities verminderd. Onder dagelijkse condities blijft de buffer redelijk stabiel, onder stormcondities treedt erosie van de buffer op. Onder dagelijkse condities wordt zand richting de dijk getransporteerd, wat aan de teen van de vooroeverdam sedimenteert. Bij 1/10 jaar condities lijkt het sediment op het plateau te blijven, terwijl bij 1/67.000 jaar condities ook zand over de vooroeverdam heen getransporteerd wordt.

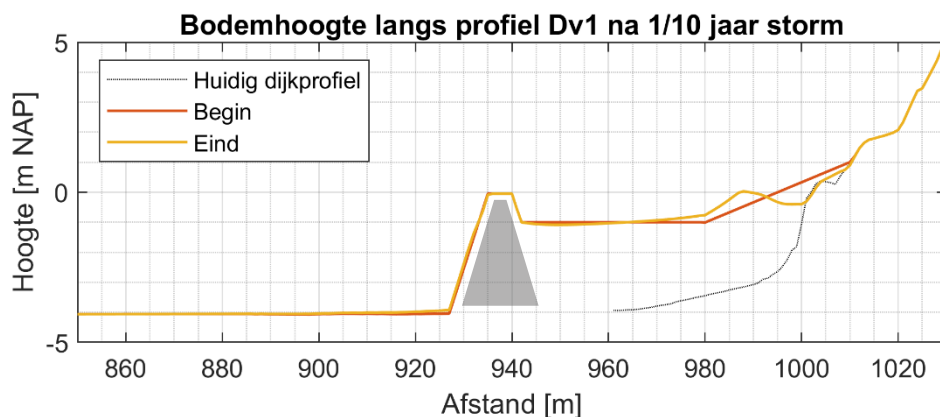
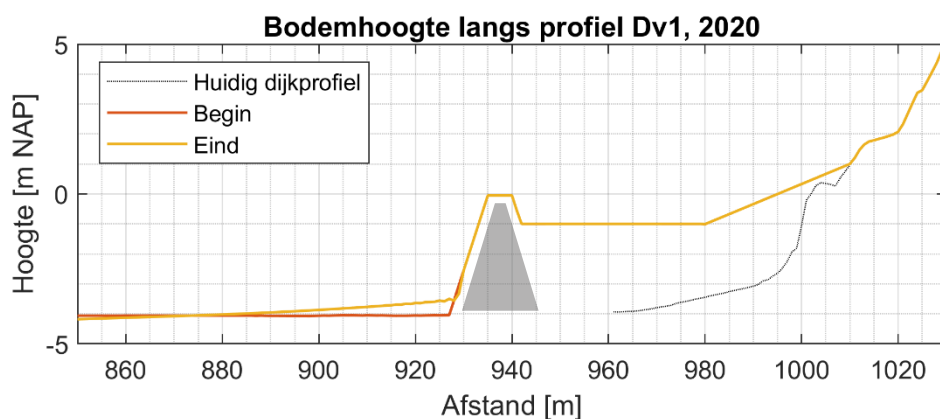


Figuur 3-12: Vervorming van het profiel met plateau op NAP -1 m + buffer van 10m breed op NAP 1 m + een vooroeverdam met kruin op NAP 0 m na een jaar (boven), na een jaar met opzet (midden) en na een 1/10 jaar storm (onder). De vooroeverdam is schematisch weergegeven in grijs.

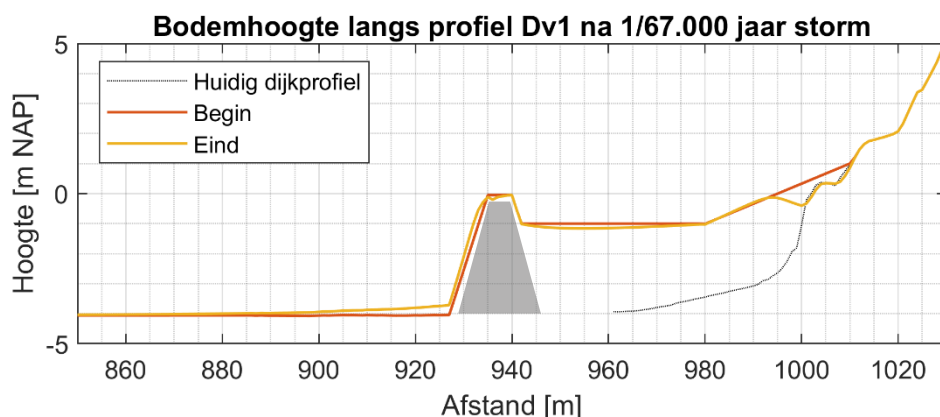
### 3.4.9 Minimaal profiel C – horizontaal plateau op NAP -1 m + buffer (geoptimaliseerd) + vooroeverdam (kruin op NAP 0 m)

Omdat minimaal een plateau van 50 m breed op NAP -1 m benodigd is, kan de buffer ook deels op dit plateau worden aangelegd. Dit vermindert de breedte van het voorland en daarmee het ruimtebeslag in het IJsselmeer. Daarnaast is in voorgaande paragrafen getoond dat ook zonder buffer het plateau op NAP -1 relatief stabiel is. Daarom is hier gekeken naar een kleinere buffer: met aansluiting op NAP +1 m en een helling van 1:15, welke deels bovenop het plateau ligt.

Bij een 1/10 jaar storm vindt lichte uitholling van het plateau plaats achter de vooroeverdam, de buffer erodeert en verschuift richting het plateau. Hetzelfde patroon zien we bij een 1/67.000 jaar storm, met meer uitholling en transport van zand over de vooroeverdam heen.







Figuur 3-13: Vervorming van het profiel met plateau op NAP -1 m + buffer met helling 1:15 + een vooroeverdam met kruin op NAP 0 m na een jaar (boven), na een 1/10 jaar storm (midden) en na een 1/67.000 jaar storm (onder). De vooroeverdam is schematisch weergegeven in grijs.

### 3.4.10 Conclusies dwarstransport

De volgende conclusies zijn te trekken wat betreft de stabiliteit van het voorland in dwarsrichting:

- Uit de verkennende simulaties blijkt dat een vooroeverdam noodzakelijk is. Zonder vooroeverdam treedt ongewenste herprofilering op waardoor niet meer aan de waterveiligheidseisen wordt voldaan. Het voorland achter de vooroeverdam bevindt zich in een luwe zone, wat wenselijk is vanuit ecologisch perspectief;
- Een voorland met plateau op NAP -1 m is het meest stabiel, dit is ook vanuit de ervaringen met de Houtribdijk gebleken;
- Een vooroeverdam met kruin op NAP 0 m creëert een luwe zone achter de dam. Zonder buffer treedt lichte uitholling van het plateau op. Als gevolg van stormopzet kan deze uitholling sterker zijn dan volgens de modelberekeningen;
- Een buffer van 10 m breed op NAP 1 m, of met talud van 1:15 en aansluiting op NAP 1 m voorkomt uitholling;

Bij de andere dijktrajecten gedraagt de vooroever zich op een vergelijkbare manier.

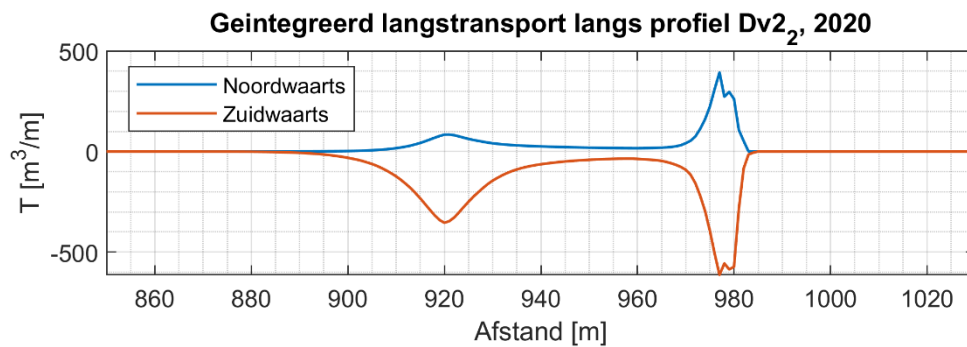
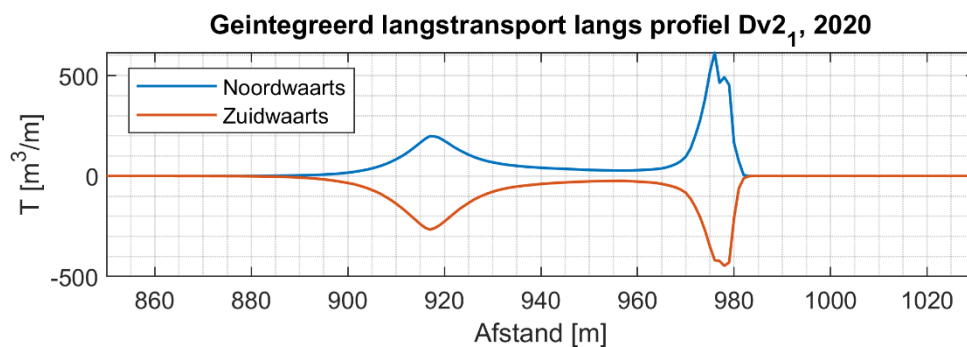
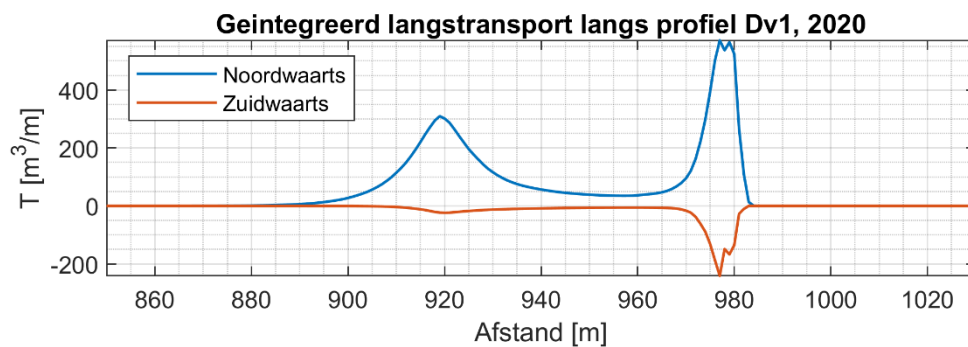
## 3.5 Langstransport

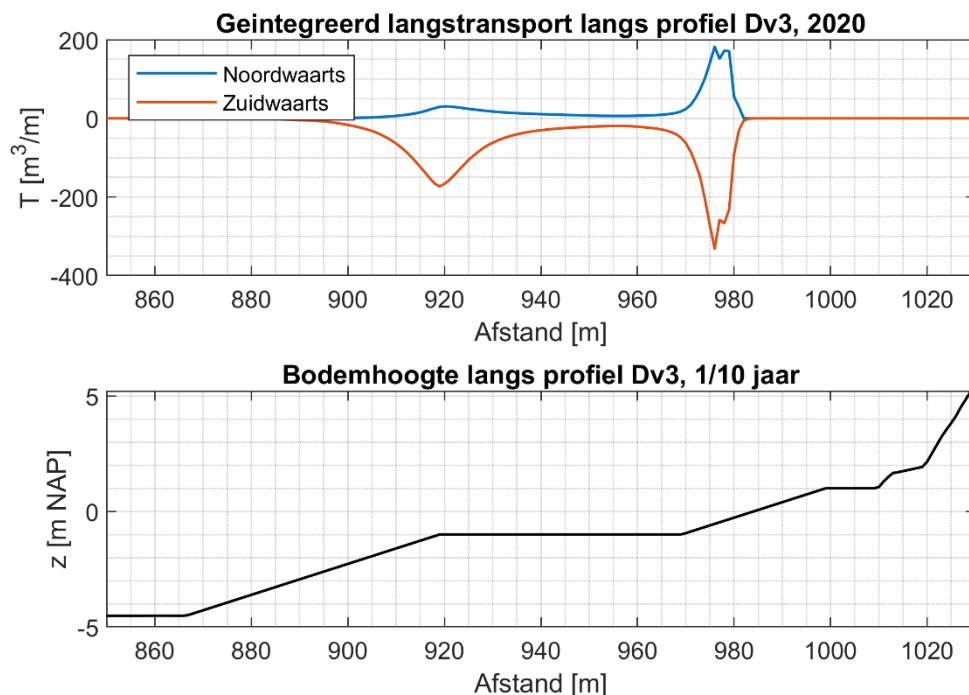
Ook in langsricting treedt sedimenttransport op. Golven die onder een hoek invallen veroorzaken een kustlangse stroming, opgewoeld sediment wordt daarmee in langsricting verplaatst. Opsluitconstructies zoals vooroeverdammen of strekdammen kunnen dit kustlangse sedimenttransport beperken.

### Volledig zandige vooroever

Voor een volledige zandige vooroever met 50 m breed plateau op NAP -1 m en buffer rond de waterlijn, is het langstransport langs het profiel getoond voor dagelijkse condities in Figuur 3-14. Onder dagelijkse condities zijn twee zones van langstransport te identificeren: bij de overgang naar het plateau op NAP -1 m en waar de golven definitief op de buffer breken. Duidelijk is dat bij een volledig zandige vooroever grote langstransporten te verwachten zijn en daarmee de noodzaak voor buffers. Deze buffer hoeft in principe alleen aan de bovenstroomse zijde van het voorland te liggen: het langstransport verspreidt dit zand vervolgens langs de dijk. Aangezien bij alle dijkvakken transport in beide richtingen optreedt, kan de buffer aan beide uiteindes van het voorland worden geplaatst. N.B. In onderstaande figuur is het effect

van onderbrekingen in het langtransport, zoals bijvoorbeeld rondom de Maxima centrale optreedt, niet meegenomen.





Figuur 3-14: Langstransport langs het profiel.

### Effect van een vooroeverdam

Uit modelsimulaties voor het dwarstransport is gebleken dat een vooroeverdam benodigd is om het voorland te stabiliseren. Deze vooroeverdam heeft ook effect op het sedimenttransport in de langsrichting. Het effect van de vooroeverdam op de langstransporten is bepaald met conceptuele LITLINE simulaties. Hierin kan de locatie van een vooroeverdam worden gespecificeerd, maar kan de precieze layout van de dam (kruinhoogte, taludhelling, kruinbreedte, etc.) niet worden gespecificeerd.

In Figuur 3-16 is het netto langstransport langs de IJsselmeerdijk getoond voor de volgende situaties (zie ook Figuur 3-15):

1. Volledig zandig voorland met een plateau van 50 m breed op NAP -1 m en een buffer rond de waterlijn;
2. Toepassing van een vooroeverdam aan meerzijde van het voorland.



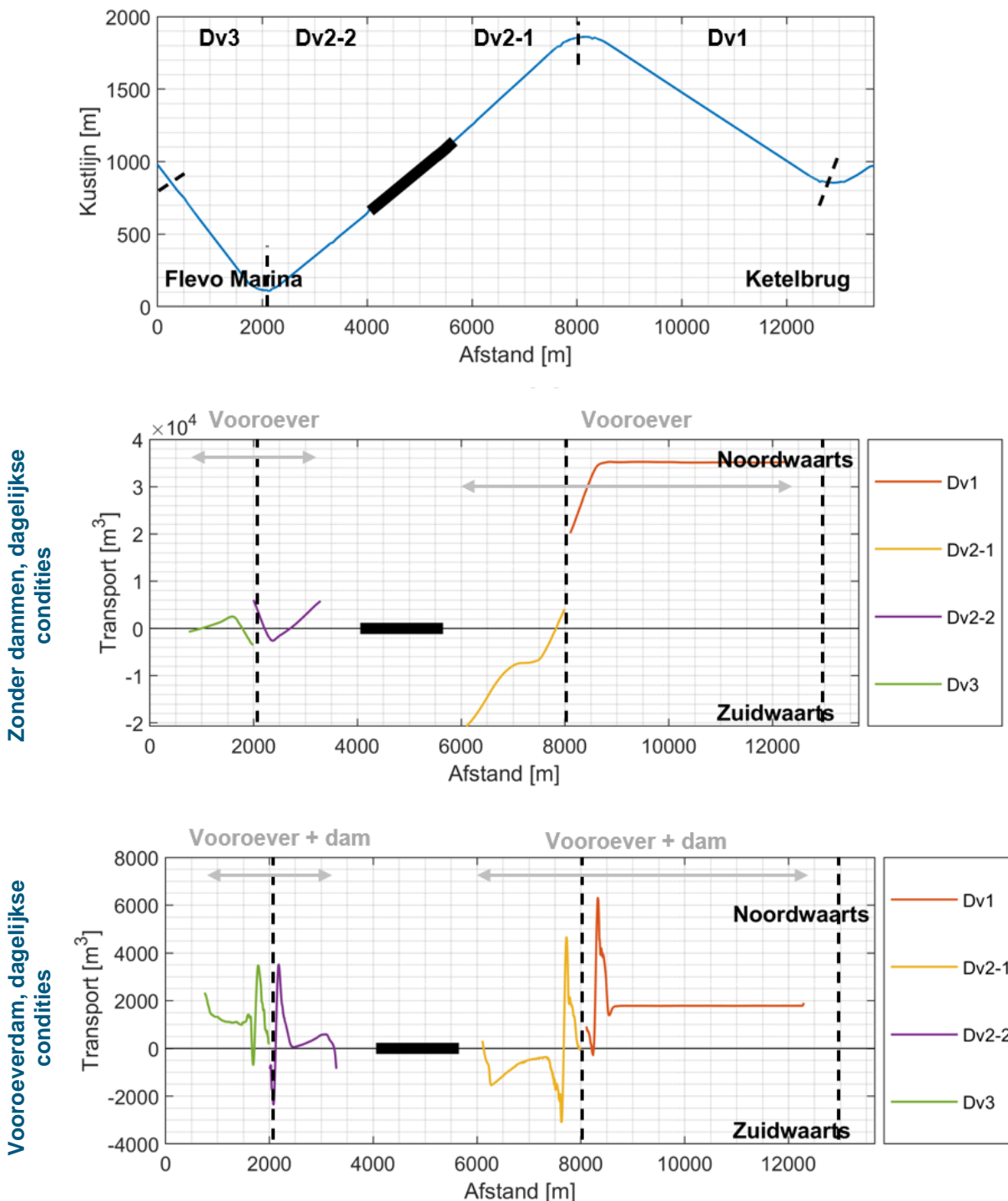
Figuur 3-15: Schematische weergave van de locatie van het voorland, de vooroeverdam (ruimtebeslag niet op schaal).

Het effect van de vooroeverdam op de langstransporten in dagelijkse condities is getoond in Figuur 3-16, dit is voor de verschillende dijkvakken (1 t/m 3, waarbij dijkvak 2 in twee delen is gesplitst) beschreven:

- Dv1: zonder opsluitconstructies is volgens de modelberekeningen een langstransport van 35.000 m<sup>3</sup>/jaar netto richting het noorden te verwachten. Het langstransport vermindert tot circa 2000 m<sup>3</sup>/jaar in geval van de vooroeverdam;
- Dv2-1: zonder opsluitconstructies is net ten noorden van de Maximacentrale een langstransport van 10.000 à 20.000 m<sup>3</sup>/jaar richting het zuiden te verwachten volgens de modelberekening. Richting de overgang met dijkvak 1 is het transport richting het noorden. Het langstransport vermindert tot circa 1500 m<sup>3</sup>/jaar in geval van de vooroeverdam;
- Dv2-2: zonder opsluitconstructies is net ten zuiden van de Maximacentrale een langstransport van 5.000 à 10.000 m<sup>3</sup>/jaar richting het noorden te verwachten op basis van de modelberekeningen. Richting de overgang met dijkvak 3 is het transport richting het zuiden. Het langstransport vermindert tot circa 1000 m<sup>3</sup>/jaar in geval van de vooroeverdam;
- Dv3: zonder opsluitconstructies is een langstransport van 3.000 m<sup>3</sup>/jaar te verwachten op basis van de modelberekeningen. Dit vermindert tot circa 1500 m<sup>3</sup>/jaar in geval van de vooroeverdam.

N.B. Het modelresultaat dat het dominante langstransport bij Dv2-1 naar het zuiden is gericht en bij Dv2-2 naar het noorden terwijl de dijkvakken dezelfde oriëntatie hebben is als volgt te verklaren: bij golven vanuit het noordwesten (komen vaak voor), treedt bij Dv2-2 transport op richting het noorden. Het stuk van Dv2-1 net ten noorden van de Maximacentrale ligt in de luwte van de Maximacentrale en minder of geen transport treedt op. Bij de minder vaak voorkomende golven uit noordoost treedt bij Dv2-1 transport richting het zuiden op, terwijl Dv2-2 dan juist in de luwte ligt. Netto leidt dit tot een zuidwaarts gericht transport net ten noorden van de Maximacentrale en een noordwaarts gericht transport net ten zuiden van de Maximacentrale.

De transporten zoals hier getoond zijn geïntegreerd over het kustdwarse profiel. De verwachting is dat het langstransport plaats vindt langs het plateau van het voorland en langs de bufferzone, waar de laatste golven breken tijdens extreme condities.



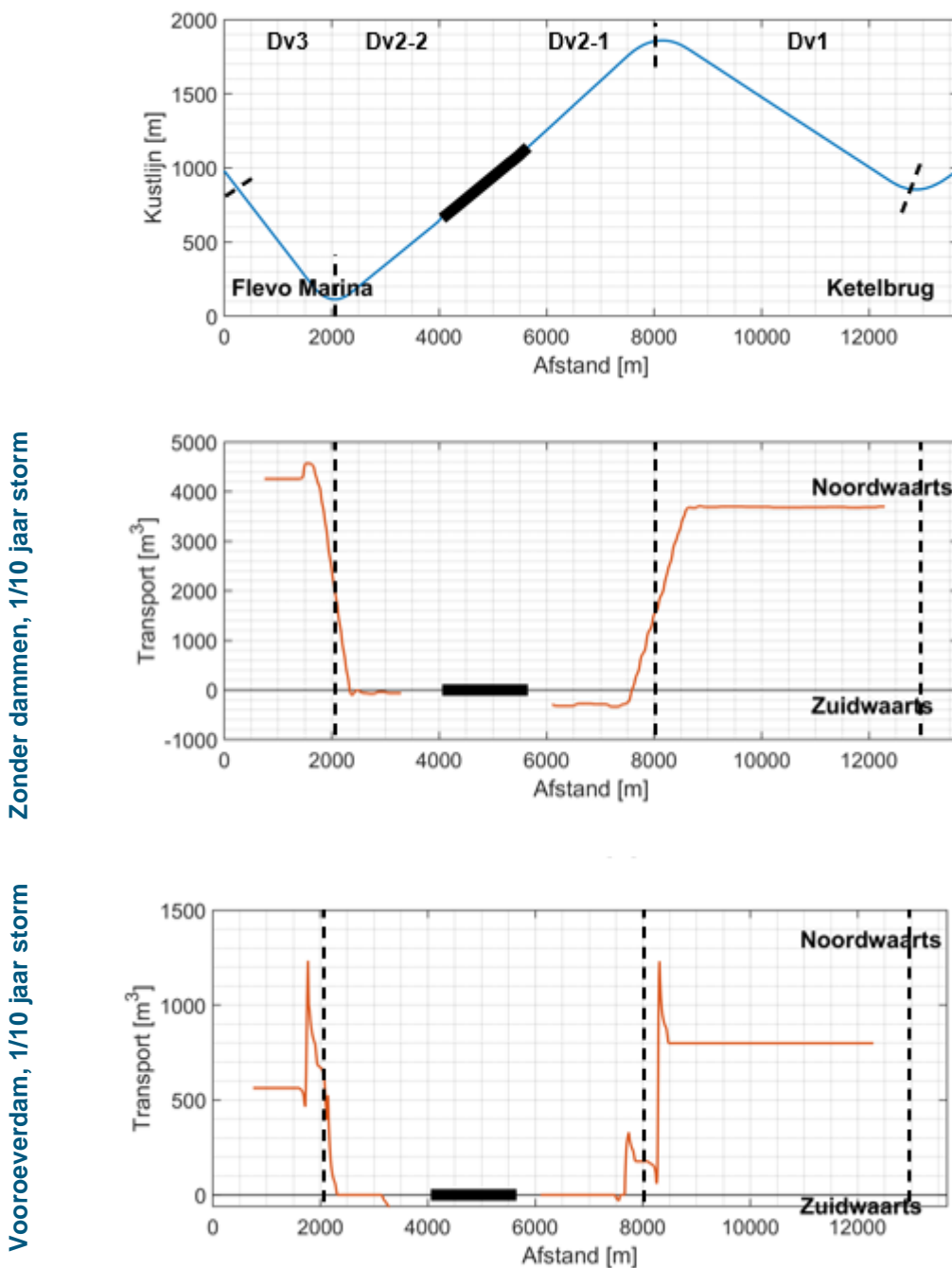
Figuur 3-16: Langtransport bij dagelijkse condities. Boven: schematisch bovenaanzicht kustlijn (NB schaal x-as en y-as niet gelijk). De zwarte balk geeft het traject rondom de Maxima centrale aan waar in het model geen vooroever is meegenomen. De gestippelde lijnen geven de grenzen aan tussen de dijkvakken. Midden: jaarlijks langtransport langs de kustlijn, zonder dammen. Onder: jaarlijks langtransport langs de kustlijn, met vooroeverdam. Positief transport staat voor netto noordwaarts transport, negatief transport staat voor netto transport in zuidelijke richting.



De langstransporten die optreden tijdens een 1/10 jaar storm zijn te zien in Figuur 3-17:

- Dv1: zonder opsluitconstructies is een langtransport in noordelijke richting van 4000 m<sup>3</sup> gedurende de storm te verwachten volgens de modelberekeningen. Bij inzet van een vooroeverdam reduceert dit tot 800 m<sup>3</sup>;
- Dv2-1: zonder opsluitconstructies is een langtransport in zuidelijke richting van 300 m<sup>3</sup> te verwachten volgens de modelberekeningen. De golven vallen hier praktisch loodrecht in. Dit reduceert tot circa 0 m<sup>3</sup> bij inzet van de vooroeverdam;
- Dv2-2: zonder opsluitconstructies is een langtransport in zuidelijke richting van 100 m<sup>3</sup> te verwachten volgens de modelberekeningen. De golven vallen hier praktisch loodrecht in. Dit reduceert tot circa 0 m<sup>3</sup> bij inzet van de vooroeverdam;
- Dv3: zonder opsluitconstructies is een langtransport in zuidelijke richting van 4200 m<sup>3</sup> te verwachten volgens de modelberekeningen. Dit reduceert tot circa 600 m<sup>3</sup> bij inzet van de vooroeverdam. Het moet gerealiseerd worden dat dit een conservatieve benadering is voor dijkvak 3, aangezien deze in de beschutting ligt van de Houtribdijk.

De beschouwde stormcondities hebben een dominante richting van 314 graden Noord. Dit betekent dat ze op dijkvak 2 vrijwel loodrecht invallen en weinig langtransport geven. Een minder extreme storm vanuit een andere richting zou dus voor dit dijkvak meer effect hebben en representatiever zijn. In de jaarlijkse transporten zoals gepresenteerd in Figuur 3-16 zit wel een variatie in richting.



Figuur 3-17: Langtransport bij 1/10 jaar storm. Boven: schematisch bovenaanzicht kustlijn (NB schaal x-as en y-as niet gelijk). De zwarte balk geeft het traject rondom de Maxima centrale aan waar in het model geen vooroever is meegenomen. De gestippelde lijnen geven de grenzen aan tussen de dijkvakken. Midden: langtransport tijdens 1/10 jaar storm langs de kustlijn, zonder dammen. Onder: langtransport tijdens 1/10 jaar storm langs de kustlijn, met vooroeverdam. Positief transport staat voor netto noordwaarts transport, negatief transport staat voor netto transport in zuidelijke richting.

De langtransporten zijn samengevat in Tabel 3-1. Aangezien de vooroever in combinatie met een vooroeverdam met kruin op NAP 0 m een relatief afgesloten bak wordt, is de verwachting dat deze transporten voornamelijk binnen de bak plaatsvinden. Door de hogere ligging van de vooroeverdam is het onwaarschijnlijk dat het zand richting het meer verloren gaat. In Sectie 3.3 is een inschatting gemaakt voor de benodigde buffer om het dwarstransport te compenseren. Het langtransport zorgt ervoor dat

zand in langsrichting langs de dijk getransporteerd wordt, en gaat zo van het ene dijkvak naar het andere. Waar het langstranport geblokkeerd wordt, is een buffer nodig aan benedenstroomse zijde. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de Maxima centrale, waar de vooroever onderbroken wordt. Aan beide kustlangse uiteindes van de vooroever kunnen zo netto verliezen ontstaan, daarom wordt het aanbevolen om op die locaties bufferzones aan te leggen. Ook in de bochten van de vooroever zijn grotere verliezen te verwachten.

Tabel 3-1: Samenvatting van de langstransporten bij toepassing van de vooroeverdam.

Dijkvak	Langstransport 1 jaar [m <sup>3</sup> /profiel]	Langstransport 1/10 jaar storm [m <sup>3</sup> /profiel]
1	2000	800
2-1	1500	0
2-2	1000	0
3	1500	600

Aan noordzijde van dijkvak 1 ligt de Ketelbrug, halverwege dijkvak 2 ligt de Maxima centrale en aan zuidzijde van dijkvak 3 ligt de Flevo Marina. Hier is sedimentatie ongewenst, verdere opsluiting van de vooroever en beperking van de langstransporten wordt daarom aanbevolen.

#### Effect van strekdammen

Om de verliezen aan de kopse eindes van het voorland te verminderen en om het langstransport richting Ketelbrug, Flevo Marina en de Maxima centrale te beperken, kunnen strekdammen geplaatst worden. Deze verminderen het verlies van zand uit het voorland als gevolg van langstransport. In plaats daarvan zal zand zich aan bovenstroomse zijde van de strekdammen ophopen. De aanwezigheid van de strekdammen kan de noodzaak voor langsbuffers verminderen. Naast strekdammen kunnen palenrijen om de zoveel meter langs de vooroever geplaatst worden: deze verminderen het langstransport over de vooroever en creëren verschillende secties.

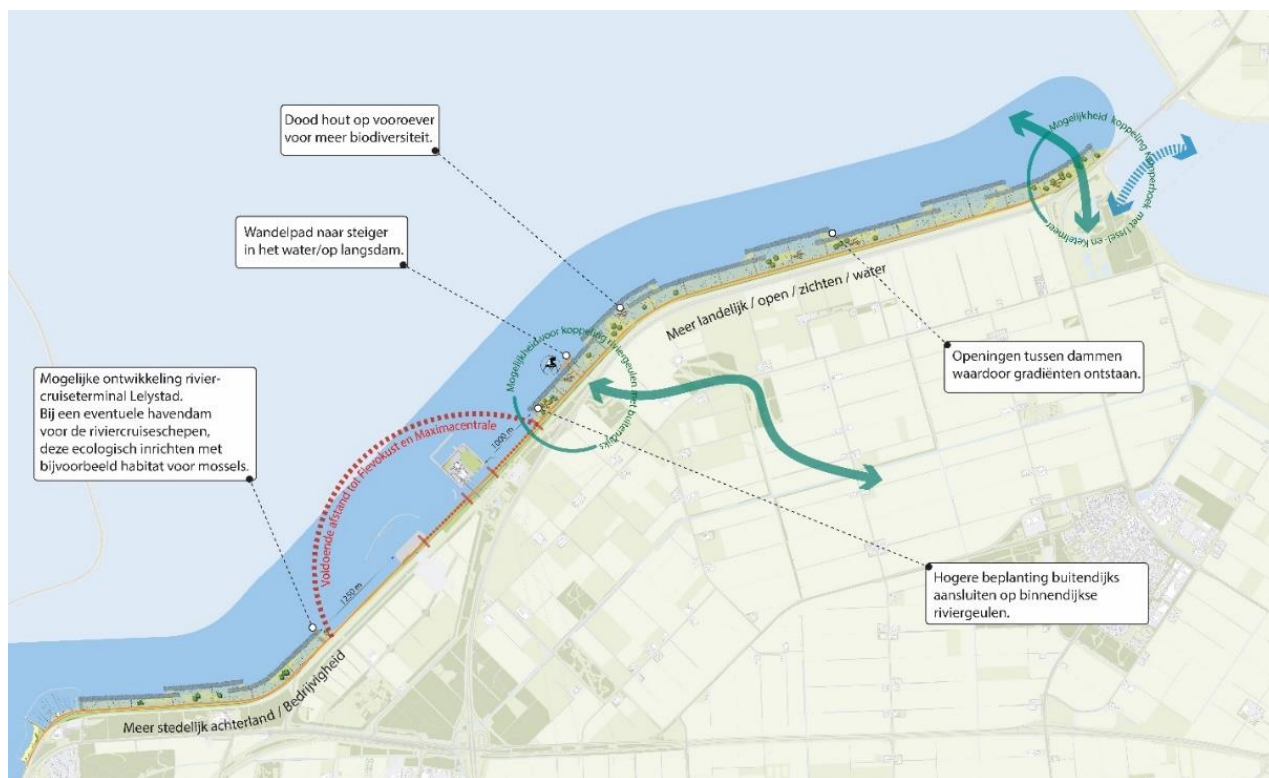


*Figuur 3-18: Schematische weergave van de locatie van strekdammen (ruimtebeslag niet op schaal).*

## 4 Wens vanuit ecologische plus

Vanuit ecologisch perspectief spelen de volgende wensen wat betreft de vooroever:

- Het dynamisch aanleggen van de vooroever (variatie in bodemhoogte, spelen met diepte): hiervan wordt verwacht dat deze variaties zich gaan uiteffenen en de vooroever teruggaat naar een evenwicht;
- Het getrappt aanleggen van de langsdam (zie ook Figuur 4-1): naar verwachting gaat meer zand verloren in dwars- en langsrichting en vergt een getrapte langsdam meer beheerinspanning.



Figuur 4-1: Getrapte langsdam.



## 5 Verwachte beheerinspanning

De morfologische veranderingen van de vooroever zullen goed gemonitord moeten worden. Op basis van de hier uitgevoerde analyse is de basisvariant (vooroeverdam met kruin op NAP 0 m, plateau op NAP -1 m en een buffer rond de waterlijn) naar verwachting redelijk stabiel onder dagelijkse omstandigheden. Bij een 1/10 jaar storm erodeert de buffer deels. Naar verwachting moet de buffer na 5 – 10 jaar worden aangevuld. Na een extreme storm kan mogelijk extra beheersinspanning benodigd zijn. In langsrichting zijn verliezen van circa 2000 m<sup>3</sup>/jaar te verwachten op basis van de modelsimulaties, afhankelijk van de toegepaste langsbuffer grootte is beheer nodig. Bij toepassen van strekdammen kan dit langsverlies naar verwachting geminimaliseerd worden.

Een plusvariant, waarin wensen vanuit de ecologische plus zijn meegenomen, vergen naar verwachting meer beheerinspanning. Er zullen grotere verliezen tussen openingen in de vooroeverdam optreden, daarnaast is er meer morfodynamiek op de vooroever doordat hoogteverschillen zich gaan uiteffenen.

## 6 Conclusies, onzekerheden en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

Een van de opties om de IJsselmeerdijk te versterken is het aanbrengen van een zandige vooroever. Deze dempt en/of breekt de golven, waardoor de hoogte en bekleding van de huidige dijk niet te hoeven worden versterkt. Onder invloed van golven en stroming kan de zandige vooroever vervormen en zand wordt in dwars- (richting het IJsselmeer) en langsrichting (langs de dijk) verspreid. Inzicht in dit morfologisch gedrag is belangrijk om de haalbaarheid van een zandige oplossing te beschouwen. In dit rapport is een morfologische analyse naar een zandige vooroever beschreven.

Om aan de waterveiligheidseisen te voldoen, zijn er drie mogelijke minimale profielenvormen: een talud wat aansluit op de huidige dijk op NAP +1 m (1), een horizontaal plateau van 20 m breed op NAP 0 m (2) en een horizontaal plateau van 50 m breed op NAP -1 m (3). Vanuit ervaringen bij het zandige voorland van de Houtribdijk blijkt dat zich natuurlijk een plateau op ongeveer NAP -1 m gaat instellen, waarbij de breedte en exacte hoogteligging bepaald worden door de aanvoer van sediment in langs- en dwarsrichting. Aangezien zand wat richting het meer getransporteerd wordt, snel in relatief diep water terecht komt en daarmee verloren gaat voor de vooroever, is een buffer rond de waterlijn nodig. Deze erodeert en vult het plateau op circa NAP -1 m aan. Zonder zo'n buffer rond de waterlijn zal het plateau zich verder uitdiepen.

De bovenstaande ervaringen vanuit de Houtribdijk worden bevestigd door conceptuele LITPROF simulaties. Een plateau wat op NAP -1 m wordt aangelegd laat minder vervorming zien dan de andere twee opties, terwijl bij afwezigheid van een buffer rond de waterlijn het plateau zich verder uitdiept. Echter, ook bij aanwezigheid van een buffer rond de waterlijn laat het profiel teveel vervorming zien onder dagelijkse condities om de waterveiligheid te kunnen garanderen. Het toepassen van een vooroeverdam is hiermee noodzakelijk.

Een vooroeverdam is ook vanuit ecologisch perspectief interessant, het creëert een luwe zone. Een vooroeverdam met een kruinhoogte van NAP 0 m in combinatie met een plateau op NAP -1 m van 50 m breed blijkt de meest stabiele optie. Onder stormcondities treedt lichte uitholling van het plateau plaats, toepassing van een buffer rond de waterlijn (aansluiting op NAP +1 m, helling van 1:15) wordt daarom ook in deze situatie geadviseerd. De aanwezigheid van de buffer staat ook wat morfodynamiek toe op het voorland, wat wenselijk is vanuit ecologisch perspectief, en is wenselijk om onzekerheden in morfologisch gedrag op te vangen. Een hogere dam is wellicht vanuit waterveiligheid een interessante optie, maar haalt alle dynamiek uit het systeem en is daarom vanuit ecologisch perspectief niet interessant.

De buffer kan het best tegen de dijk aangelegd worden, onder stormcondities zal deze buffer deels eroderen en zich over het plateau gaan verplaatsen. Een buffer die aansluit op NAP +1 m en een helling heeft van 1:15 zorgt ervoor dat uitdieping van het plateau wordt verminderd. Bij een 1/10 jaar storm erodeert de buffer maar blijft het sediment binnen de vooroeverdam. Bij een 1/67.000 jaar storm treedt ook verlies over de vooroeverdam op.

Ook in langsrichting treden verliezen op. Deze zullen voornamelijk optreden waar het langstransport wordt onderbroken, dat wil zeggen bij de kopse eendes van de vooroever of bij bochten. Op basis van de modellering gaat aan de kopse eendes van de vooroever circa 2000 m<sup>3</sup> per jaar verloren. Zonder verdere opsluitconstructies moeten hiervoor buffers aan de kopse eendes van de vooroever worden aangebracht. Verliezen in de langsrichting kunnen worden beperkt door de toepassing van strekdammen op de kopse eendes van de vooroever. Daarnaast beperkt dit de hoeveelheid zand die richting de Ketelbrug, Maxima

centrale en Flevo Marina worden getransporteerd. Eventuele tussenliggende constructies zoals palenrijen, kunnen in een latere fase worden toegevoegd.

## 6.2 Aandachtspunten en onzekerheden

Door beperkingen van de software en het unieke laag-energetische milieu van het IJsselmeer is het moeilijk om een goede inschatting te maken van het sedimenttransport. De inschatting van een maakbaar profiel zoals hierboven beschreven is er daarom een waar een aantal aandachtspunten en onzekerheden bij horen. Daarnaast zijn er een aantal aanbevelingen voor vervolgonderzoek welke worden meegegeven voor een volgende fase van ontwerp:

- Door het relatief diepe IJsselmeer en het ontbreken van getijdewerking moet elke zandkorrel die buiten het vooroever gebied beland als verloren beschouwd worden. Waar normaal gesproken naar netto transport gekeken wordt is dat in deze situatie een onderschatting en zal er zowel naar netto als ondergrens en bruto als bovengrens gekeken moeten worden;
- De stabiliteit van de vooroever hangt sterk af van het IJsselmeerpeil, wanneer hier in de toekomst wijzigingen in plaats vinden zal dit een direct effect hebben op de stabiliteit van de vooroever. Het IJsselmeerpeilbesluit is weliswaar recent genomen en het risico op wijzigingen gedurende de levensduur van de dijk lijkt dan ook klein;
- De morfologische berekeningen zijn uitgevoerd met het model LITPACK. Zoals elk model heeft ook LITPACK een aantal beperkingen en aandachtspunten. De resultaten zijn dan ook op basis van expert judgement en onderstaande aandachtspunten in acht nemende geïnterpreteerd:
  - Er is gerekend met het IJsselmeerpeil, door storm zal het peil echter variëren door op- of afwaaiing wat effect heeft op de resultaten;
  - Er is gerekend met een sedimentgrootte van 0,350 mm, dit is vrij grof waardoor er minder transport is dan wanneer er gerekend wordt met een fijnere fractie. Daartegenover staat dat er zich in de werkelijkheid een laag fijn (kleiig) materiaal en vegetatie zal ontwikkelen op de vooroever wat zorgt voor extra stabiliteit;
  - Golfhoogtes aan de teen van de dijk worden door LITPACK onderschat door dissipatie langs het profiel;
- Daarnaast dient er bij de interpretatie van de modelleringsresultaten rekening gehouden te worden met het volgende:
  - Het model is niet gekalibreerd of gevalideerd vanwege gebrek aan data;
  - Het model kan goed gebruikt worden om verschillende scenario's relatief ten opzichte van elkaar te vergelijken (bijv. in scenario x is het langstransport 20% groter dan in scenario y);
  - Er zit grote onzekerheid in de absolute volumes en snelheden (zowel voor langs- als dwarstransport). Dit is typerend voor morfologische modelberekeningen, een onzekerheidsmarge van 100% dient in ogenschouw te worden genomen.
- Naast golfgedreven sediment transport treedt er in het IJsselmeer ook een langsstroming op als gevolg van storm opzet en scheefstand. Deze stroming kan een significant effect hebben op de morfologie en lokaal sterk variëren. Daarnaast kan door de aanwezigheid van constructies lokale terugstroming optreden;
- Er is voor het onderhoud gekeken naar zowel dagelijkse als extreme condities (1:10 jaar). Het effect van meerdere 1:1 of 1:2 jaar stormen achter elkaar is niet afzonderlijk berekend maar wordt verwacht binnen de vastgestelde bandbreedte te liggen.

Naast deze aandachtspunten zijn er een aantal aanbevelingen voor de vervolgfase;

- Om alle aspecten van transport goed in beeld te brengen zal er uitgebreider gemodelleerd moeten worden, zowel op het golfgedreven transport als het windgedreven transport (3D). Aandachtspunten hierbij zijn ook de ruimtelijke variatie langs de IJsselmeerdijk en de keuze voor stormcondities (zo zijn voor alle dijkvakken dezelfde stormcondities gehanteerd wat voor het relatief beschutte dijkvak 3 waarschijnlijk een conservatieve benadering is);
- In de toekomst zal RWS Xbeach gebruiken als toetsingsmodel voor zandige oplossingen, dit model voldoet momenteel echter nog niet voor deze complexe situatie;
- Expertsessies zijn nodig in de volgende fase om het ontwerp verder te valideren en uit te werken.

## 7 Referenties

Rijkswaterstaat. (2018). *Peilbesluit IJsselmeergebied*.



## **Bijlage 3: Memo zettingsanalyse vooroeverdam**

## Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.  
Maritime & Aviation

Aan: David-Jan Smeenge  
 Van: Clara Spoorenberg  
 Datum: 24 oktober 2021  
 Kopie: Sander Post en Bente de Vries  
 Ons kenmerk: BH5290-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0033  
 Classificatie: Projectgerelateerd  
 Goedgekeurd door: Sander Post

**Onderwerp: Resultaten zettingsanalyses vooroeverdam ontwerploop 2**

## 1 Inleiding

RHDHV doorloopt samen met Waterschap Zuiderzeeland het dijkversterkingstraject voor de IJsselmeerdijken van normtraject 8-3. In het kader van de variantenafweging, is de vooroevervariant benoemd als mogelijke dijkversterkingsvariant. Omdat de vooroever volledig in on-voorbelast terrein wordt aangelegd (voormalige Zuiderzeebodem), is de verwachting dat hier grote zettingen zullen optreden.

Om inzicht te krijgen in de omvang van deze zettingen ten behoeve van de bepaling van hoeveelheden, is in voorliggende notitie het resultaat van de zettingsanalyse opgenomen.

Doel van deze notitie is het verschaffen van inzicht in de omvang van de zettingen. Daarnaast worden enkele uitvoerings- (stabiliteit) en onderhoudsaspecten benoemd, waarmee rekening gehouden moet worden.

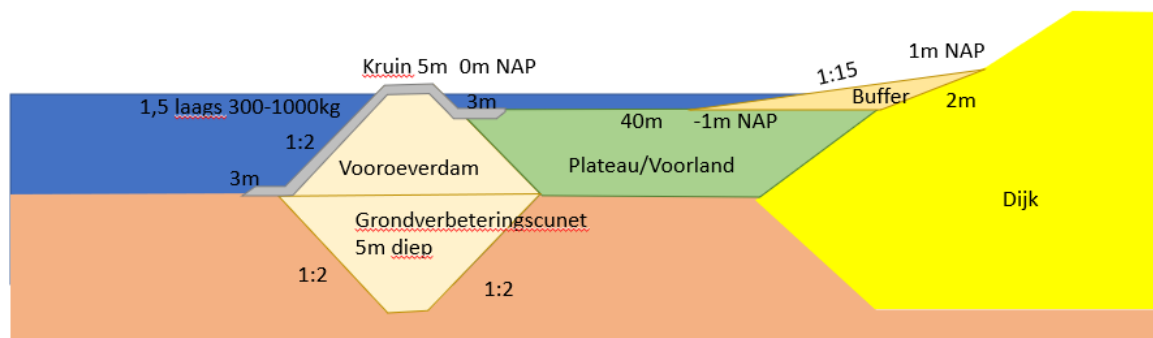
## 2 Uitgangspunten vooroevergeometrie

In het kader van deze zettingsanalyses behorend bij ontwerploop 2 zijn onderstaande 2 vooroevervarianten beschouwd. Opgemerkt wordt dat in een eerdere fase reeds een groot aantal vooroevergeometrieën is beschouwd. Van deze varianten lag veelal het overgrote gedeelte boven het IJsselmeerpeil. Ook was geen grondverbeteringscunet voorzien en werd de gehele ophoging in zand uitgevoerd.

In de geometrie van de vooroevers in ontwerploop 2, bestaan uitsluitend de vooroever, grondverbetering en buffer uit zand. Het plateau wordt met gebiedseigen grond gevuld en bovendien onder IJsselmeerpeil afgewerkt.



Figuur 1: Vooroevergeometrie dijkvak 1 en 2



Figuur 2: Vooroevergeometrie dijkvak 3

### 3 Uitgangspunten zettingsanalyse

Aan de hand van een quick scan van de in het voorland aanwezige bodemgegevens (DINO loket), zijn de SOS bodemscenario's<sup>1</sup> D7 en D8 als maatgevend beschouwd. Deze bodemopbouw wordt gekenmerkt door een afwisseling van (humeuze) klei- en veenlagen. In bodemopbouw E2 is de volledige Holocene deklaag als veenpakket geschematiseerd. Deze bodemopbouw is niet aangetroffen in het recente veldonderzoek en evenmin in de voorlandboringen uit de DINO database. Echter, aangezien deze bodemopbouw wel een scenariokans heeft, is deze als bovengrens voor het bepalen van de zettingen aangehouden. De aan de hand van bodemopbouw D7 en D8 berekende zettingen kunnen beschouwd worden als realistisch gemiddelde.

Voor het afleiden van de samendrukkingsparameters is gebruik gemaakt van tabel 2b uit de Eurocode, aangevuld met lokale gebiedskennis. In zijn de gehanteerde samendrukkingsparameters opgenomen.

Tabel 1: Samendrukkingsparameters zettingsanalyse vooroever IJsselmeerdijken (karakteristieke waarden)

SOS code [-]	Beschrijving [-]	$\gamma_{dr}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{nat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]	RR [-]	CR [-]	$C_\alpha$ [-]
H_Vhv_v / H_Vbv_v	Hollandveen / Basisveen	10,5	10,5	$5,3 \cdot 10^{-7}$	0,1022	0,3067	0,0153
H_Mp_k	Zeeklei (diep en ondiep)	16	16	$3,5 \cdot 10^{-8}$	0,0767	0,2300	0,0092
H_Mkw_z&k / P_Wdz_zf	Kwelder- en wadzanden	18	20	$1 \cdot 10^{-6}$	0,0019	0,0058	0
H_Mp / P_Mg / P_Rg	(Cunet)zand	18	20	n.v.t.	0,0013	0,0038	0

Met:  $\gamma$  = volumegewicht (respectievelijk boven – dr = droog en onder – nat – water)  
 $c_v$ , RR, CR en  $C_\alpha$  = samendrukkingsparameters NEN-Bjerrum

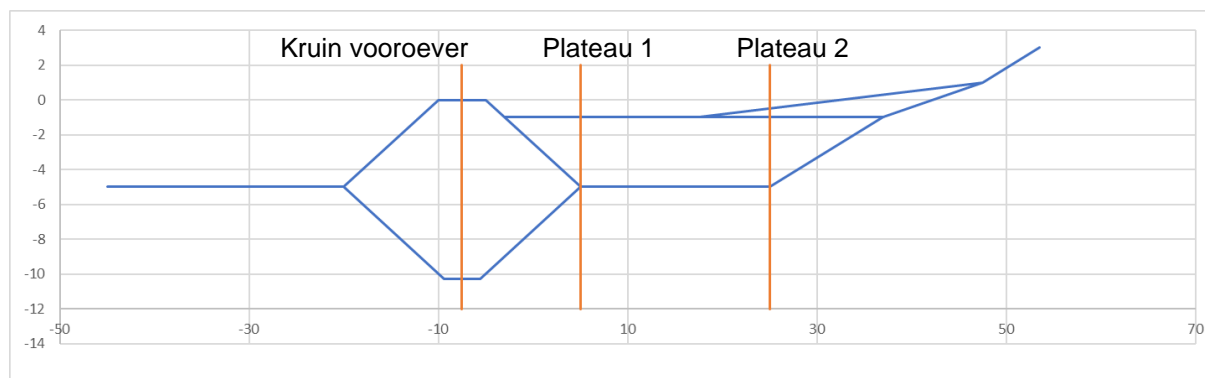
Voor ophoogzand is gerekend met een volumegewicht van 18/20 kN/m<sup>3</sup> (respectievelijk boven en onder water) en voor gebiedeigen grond in het plateau is gerekend met een volumegewicht van 15 kN/m<sup>3</sup>. Opgemerkt wordt dat er van uit is gegaan dat veen dat vrijkomt bij het baggeren van het cunet niet geschikt is om als materiaal in het plateau te verwerken. Dit omdat veen lokaal lichter is dan water en daardoor weg kan drijven.

De berekeningen zijn uitgevoerd met D-Settlement (versie 20.1).

<sup>1</sup> In de veiligheidsanalyses is de bodemopbouw schematisatie conform het SOS (Stochastische Ondergrond Schematisatie) aangehouden.

## 4 Resultaten zettingsanalyses

In Figuur 3 zijn de rekenverticalen aangegeven waarvoor de zettingen zijn bepaald. Zowel de bodemopbouw (SOS schematisering), de bodemhoogte van het IJsselmeer (NAP -3,5 à -5 m) als de diepte van het cunet (NAP -8 à -10,5 m, afhankelijk van de hoogte van de zandondergrond) variëren. Daarnaast zijn er onzekerheden in het gehanteerde zettingsmodel, en de toegepaste samendrukkingsparameters. Daarom wordt geadviseerd een onzekerheidsmarge van 25% toe te passen op de berekende zettingen. In Tabel 2 zijn de te verwachten zettingen opgenomen.



Figuur 3: Rekenverticalen zettingsanalyses

Tabel 2: Verwachte zettingen vooroever ontwerploop 2

Bodemhoogte	Kruin vooroever*		Plateau 1		Plateau 2**	
	Gemiddeld	+/- 25%	Gemiddeld	+/- 25%	Gemiddeld	+/- 25%
IJsselmeer						
NAP -3,5 m***	0,45 à 0,75	0,9 à 1,4	0,6	0,45 à 0,75	0,4	0,3 à 0,5
NAP -4,5 m	0,4	0,3 à 0,5	0,7	0,5 à 0,9	0,6	0,45 à 0,75
NAP -5,0 m	0,4	0,3 à 0,5	1,2	1,0 à 1,5	0,6	0,45 à 0,75

\* Deze waarde is van toepassing op zowel de buiten- als de binnenkruinlijn.

\*\* De zettingen ter plaatse van plateau 2 zijn gemiddeld genomen iets lager dan plateau 1. Dit hangt samen met de invloed van het cunet dat zich onder de bestaande dijk bevindt.

\*\*\* Bij deze geringe bodemhoogte van het IJsselmeer, heeft het cunet nauwelijks breedte aan de onderzijde. Daardoor vallen de berekende zettingen ter plaatse van de kruin van de vooroever hoger uit.

### Aanscherping Ontwerploop 3

In ontwerploop 2 is voor de aanvulling tussen de vooroeverdam en de IJsselmeerdijk een gemiddeld volumegewicht aangehouden van 15 kN/m<sup>3</sup>, uitgaande van aanvulling met lokaal (humeus) kleihoudend materiaal dat onder water wordt aangebracht en niet verdicht wordt. Indien een aanzienlijk zwaarder materiaal wordt toegepast als opvulmateriaal zal de zetting toenemen. Uit de zettingsanalyse blijkt dat wanneer een materiaal met een volumegewicht van 17,5 kN/m<sup>3</sup> wordt aangebracht, de zettingen toenemen met slechts 10 à 15%. Doordat de volledige vooroever onder het IJsselmeerpeil ligt, is het effect op de berekende zettingen beperkt. In de keuze van het toe te passen materiaal, dient het volumegewicht wel beschouwd te worden voor het bepalen van de hoeveelheden ten behoeve van de kostenafweging. In Ontwerploop 3 zal ten opzichte van ontwerploop 2 een 10% hoger zettingspercentage aangehouden.

Voor het bepalen van de hoeveelheden kunnen de berekende gemiddelde waarden gehanteerd worden. De onzekerheidsmarge van +/- 25% heeft betrekking op de te verwachten variaties in optredende zettingen in het gebied ten gevolge van variaties in bodemopbouw, parameters, modelonzekerheden, etc.

## 5 Aanvullende (uitvoerings)aspecten vooroever

Uit diverse projecten in het IJssel- en Markermeer blijkt dat de uitvoering van ophoogwerkzaamheden op de relatief slappe voormalige Zuiderzeebodem problemen met zettingen en/of uitvoeringsstabiliteit met zich meebrengen. Oorzaak hiervan is niet uitsluitend de samendrukkingsgevoeligheid van de Holocene klei- en veenlagen, maar ook de lage  $c_v$ -waarde, waardoor langdurig (zeer) hoge wateroverspanningen in de ondergrond kunnen ontstaan.

Door het toepassen van een cunet ten behoeve van de vooroeverdam en het vullen van het plateau met gebiedseigen grond, wordt een groot deel van de hieraan gerelateerde risico's gemitigeerd.

Een tweede punt van aandacht betreft de morfologische processen in het IJsselmeer. Ter plaatse van enkele eilanden in het IJssel- en Markermeer is naast de omvangrijke zettingen, ook flinke erosie opgetreden ten gevolge van het onder water zakken van de ophogingen, waardoor golfwerking meer grip kreeg op het aangebrachte sediment.

Door de vooroever op een zandcunet aan te leggen, wordt dit risico aanzienlijk verkleind.

Een derde aandachtspunt betreft de hoeveelheid benodigd gebiedsmateriaal in het plateau. Hiervoor kan materiaal uit het gebaggerde cunet worden gebruikt, verwacht wordt echter dat dit niet volstaat om het plateau volledig te vullen. Het veen uit het cunet kan niet worden toegepast in het plateau, vanwege het risico op wegdrijven. Humeuze klei is naar verwachting wel zwaar genoeg om te kunnen worden toegepast. Vrijkomend materiaal uit de dijk, zoals bijvoorbeeld keileem, is weliswaar geschikt als vulmiddel, echter het gewicht hiervan is veel hoger dan van de Holocene kleilagen, waardoor de zettingen hoger zullen uitvallen.