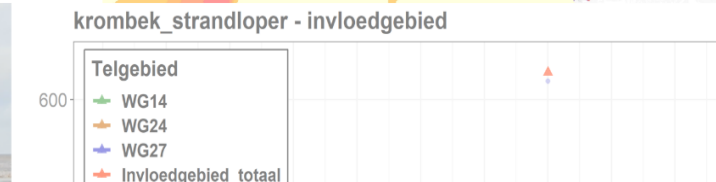
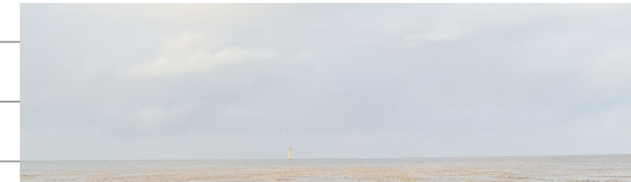
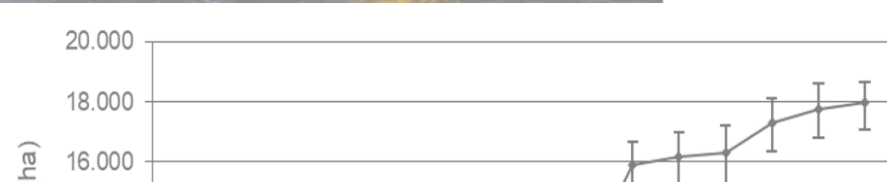
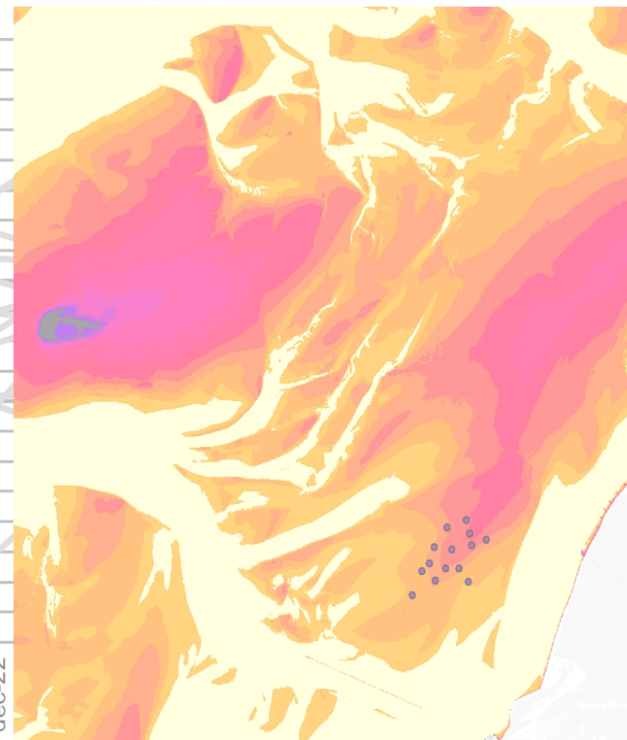
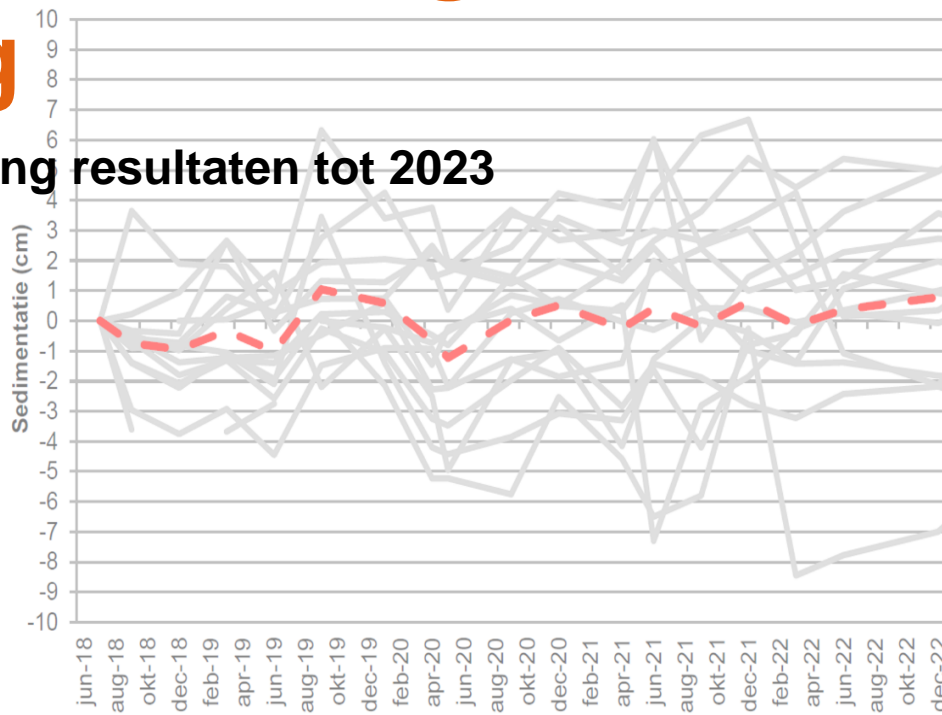


# Resultaten van monitoring Waddenzee vanwege bodemdaling door Zoutwinning

Integratie en samenvatting resultaten tot 2023  
Frisia Zout B.V.

28 april 2023



## Contactpersoon

**JELMER CLEVERINGA**  
Senior Advisor Coastal  
Morphodynamics

T +31 (0)88 4261 440

M +31 (0)6 5073 6850

E [jelmer.cleveringa@arcadis.com](mailto:jelmer.cleveringa@arcadis.com)

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137

8000 AC Zwolle

Nederland

---

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Zoutwinning onder de Waddenzee</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>Erosie- en sedimentatie op verschillende ruimtelijke schalen</b>	<b>20</b>
1.1	Zoutwinning en -productie in Harlingen	5	4.1	Structuur en functie	20
1.2	Zout is essentieel voor Nederland	5	4.2	Eerste orde effecten van bodemdaling door zoutwinning	20
1.3	Bodemdaling door zoutwinning	5	4.3	Gebiedsdekkende hoogtemetingen	20
1.4	Bodemdaling onder de Waddenzee	6	4.4	Raaimetingen	21
1.5	'Zoutwinning met "de hand aan de kraan" voor extra zekerheid	6	4.5	Spijkermetingen	23
1.6	Controle, onafhankelijkheid en transparantie	7	4.6	Sedimentsamenstelling	24
1.7	Bodemdaling onder de stad Harlingen	8	4.7	Conclusies eerste orde effecten	25
1.8	Het monitoringprogramma	8	<b>5</b>	<b>Draagkracht voor vogels</b>	<b>26</b>
1.9	Dit rapport	9	5.1	Hogere orde effecten van bodemdaling door zoutwinning	26
<b>2</b>	<b>De Waddenzee bij Harlingen</b>	<b>10</b>	5.2	Beschikbaarheid en bereikbaarheid van bodemdieren	26
2.1	Steeds meer wadplaten bij Harlingen	10	5.3	Aanwezigheid van bodemdieren op de Ballastplaat en de draagkracht per vogelsoort	27
2.2	Erosie, sedimentatie en biodiversiteit	11	5.4	Vogels op de Ballastplaat	29
2.3	Slibgehalte en biodiversiteit	11	5.5	Vogels op de hoogwatervluchtplaatsen	31
2.4	Invloed van externe factoren	13	5.6	Rol van de Ballastplaat zuid als foerageergebied	32
<b>3</b>	<b>Bodemdaling en het Hand Aan de Kraan principe</b>	<b>16</b>	5.7	Conclusies tweede en derde orde effecten	33
3.1	Zoutwinning en bodemdaling	16	<b>6</b>	<b>Conclusies en slotwoord</b>	<b>34</b>
3.2	Waterstanden en zeespiegelstijging	18	6.1	Algemene conclusies	34
3.3	Belasting gebruikruimte	19	6.2	Slotwoord	34
3.4	Conclusies t.a.v. bodemdaling door zoutwinning	19	<b>7</b>	<b>Referenties en rapporten</b>	<b>35</b>
			7.1	Rapporten Monitoring Frisia over 2022	35
			7.2	Referenties	35

7.3	Rapporten monitoring Frisia Havenmond voorgaande jaren	36
	<b>Bijlage A Actuele adviezen Auditcommissie</b>	<b>38</b>
	<b>Colofon</b>	<b>40</b>

# 1 Zoutwinning onder de Waddenzee

## 1.1 Zoutwinning en -productie in Harlingen

Frisia Zout B.V. wint zout uit ondergrondse steenzoutlagen in de omgeving van Harlingen. Dit doet Frisia door putten naar die steenzoutlagen aan te leggen en het zout op te lossen door zoet water naar beneden te spoelen. Met zout verzadigt water (genaamd pekkel) stroomt door een andere buis omhoog naar de zoutfabriek in de industriehaven van Harlingen. Dit proces wordt oplosmijnbouw genoemd. Onderaan de put in de steenzoutlaag laat Frisia een zogenaamde zoutcaverne ontstaan. Dit is een grote met pekkel gevulde holruimte waarvan Frisia de omvang kan laten toe- of afnemen. De zoutcaverne fungeert als een soort buffer die zorgt voor een pekelaanvoer met een stabiel zoutgehalte (zie figuur 1-1).

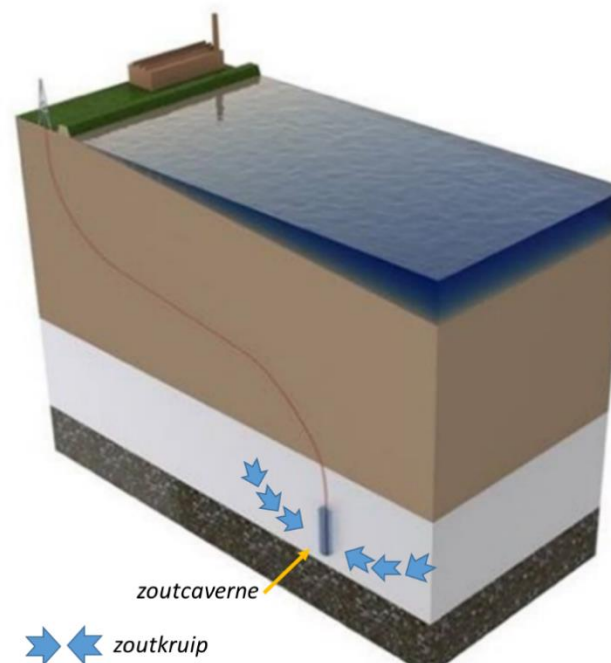
In de zoutfabriek wordt de pekkel gezuiverd van hoofdzakelijk kalk en magnesium en vervolgens ingedampt en gedroogd. Van het ingedampte en/ of gedroogde zout maakt Frisia verschillende zoutproducten. Het grootste deel van dit zout wordt verkocht aan de chemische industrie voor de productie van bijvoorbeeld glas en kunststoffen. Daarnaast wordt het zout gebruikt in de voedings- en diervoedingsindustrie en produceert Frisia blokken en tabletten voor waterontharding.

## 1.2 Zout is essentieel voor Nederland

Frisia produceert puur zout. Dat wil zeggen dat het zout van een zeer hoge kwaliteit is. Voor de zoutverwerkende industrie is deze hoge kwaliteit noodzakelijk. In de "Contourennota aanpassing Mijnbouwwet" van januari 2023 staat dat zout een essentiële grondstof voor de chemische industrie is in Nederland en Noordwest-Europa en van belang is voor producten die nodig zijn voor de energietransitie.

## 1.3 Bodemdaling door zoutwinning

De zoutwinning bij Harlingen vindt plaats in een 700 tot 1100 meter dikke zoutlaag die zich op ca. 2,5 km diepte in de aardbodem bevindt. Op die diepte heerst een hoge druk en is de temperatuur meer dan 100°C. Onder deze condities is steenzout enigszins "vloeibaar". Wanneer Frisia de druk in de zoutcaverne laat afnemen, kruipt het zout toe en wordt de zoutcaverne kleiner. Deze zoutkruip vertaalt zich naar bodemdaling in bovenliggende aardlagen (Figuur 1-1).

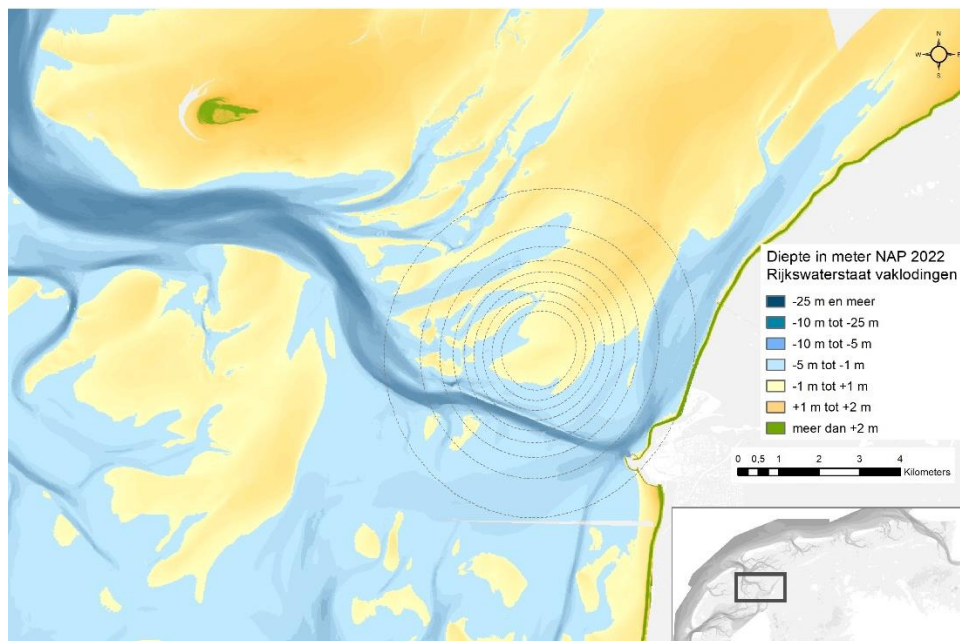


Figuur 1-1 Schematische weergave van de boring, de zoutcaverne en de zoutkruip.

Wanneer zoutwinning onder land plaatsvindt, leidt dit tot bodemdaling aan het maaiveld in de vorm van cirkels met als middelpunt de ligging van de zoutcaverne. Deze cirkels worden bodemdalingsschotels genoemd. In de buurt van Harlingen, onder agrarisch gebied, hebben ze een maximale diepte van 30 cm en een diameter van ca. 10 km. Als grens wordt voor bodemdalingsschotels 2 cm bodemdaling aangehouden. Bodemdaling van minder dan 2 cm is moeilijk



te onderscheiden van andere hoogteveranderingen aan het maaiveld en heeft geen consequenties voor andere gebruiksfuncties op het land.



Figuur 1-2 Kaart met de prognose van de totale bodemdalingsschotel aan het einde van de winning uit vier cavernes.

## 1.4 Bodemdaling onder de Waddenzee

Sinds 1 januari 2022 wint Friesland geen zout meer onder land. In overeenstemming met de Provincie Friesland en de Rijksoverheid heeft Friesland haar zoutproductie verplaatst naar een nieuw winningsgebied dat zich onder de Waddenzee bevindt. Dit gebied heet “concessie Havenmond”. In tegenstelling tot de bodemdaling door zoutwinning onder het vasteland, is de bodemdaling in de Waddenzee niet merkbaar of meetbaar aan het oppervlak. Dit werkt als volgt.

Door het getij en door de invloed van het weer is het water in de Waddenzee en de Noordzeekustzone continu in beweging. Het stromende water woelt zand en slib los (erosie), voert dit mee en zet het elders weer af (sedimentatie). Hierdoor verandert de bodem van de Waddenzee voortdurend: zandplaten verplaatsen zich, geulen slibben op de ene plaats dicht en elders ontstaan weer nieuwe

geulen. Dit proces van erosie en sedimentatie houdt de Waddenzee in stand. Het zorgt ervoor dat de wadplaten in het gehele Waddengebied kunnen meegroeien met zeespiegelstijging en lokaal met bodemdaling als gevolg van zoutwinning.

## 1.5 ‘Zoutwinning met “de hand aan de kraan” voor extra zekerheid

Voorafgaand aan de start van zoutwinning onder de Waddenzee zijn studies verricht en vergunningen verleend. Deze studies hebben aannemelijk gemaakt dat negatieve effecten van de zoutwinning op de Waddenzeenatuur op voorhand konden worden uitgesloten. In de vergunningen zijn aanvullende eisen aan de zoutwinning gesteld, zoals een maximaal toelaatbare bodemdalingssnelheid en een monitoringprogramma. Omdat de bodemdalingssnelheid bepaald wordt door de snelheid van zoutproductie, noemen we dit “zoutwinning met de hand aan de (zout-)kraan”.

De hierboven genoemde maximaal toelaatbare bodemdalingssnelheid is afhankelijk van twee zaken. Dit zijn het meegroeivermogen van het getijdenbassin van de Waddenzee waaronder de zoutwinning plaatsvindt en de snelheid van zeespiegelstijging. De snelheid van zeespiegelstijging plus de snelheid van bodemdaling mogen samen niet meer bedragen van het meegroeivermogen van dit bassin. Dit getijdenbassin heet “het Vlie”. Het exacte meegroeivermogen van het Vlie is onbekend. In de vergunningen voor de zoutproductie wordt daarom een veilige grens van 5 mm wadbodemhoogte per jaar gehanteerd. Voor de zoutwinning onder de Waddenzee wordt op dit moment een zeespiegelstijging van 2,4 mm per jaar aangehouden. De beschikbare ruimte voor bodemdaling door zoutwinning is daarom 2,6 mm per jaar. De verwachting is dat deze ruimte zal afnemen als gevolg van een sneller stijgende zeespiegel.

Naast de bovengenoemde voorwaarden rust op Friesland ook de verplichting om de Waddenzeenatuur te monitoren in het gebied waaronder de bodemdaling plaatsvindt. Wanneer uit de monitoring blijkt dat het niet goed gaat met deze natuur, moet Friesland aannemelijk maken dat dit geen gevolg van de zoutwinning is. Wanneer dit niet lukt, treedt het voorzorgsbeginsel in werking en zal de zoutwinning getemporiseerd of gestopt moeten worden. Ook dit proces is onderdeel van “zoutwinning met de hand aan de kraan”.

## 1.6 Controle, onafhankelijkheid en transparantie

In het kader van de bovengenoemde monitoring wordt ieder jaar de voortgang van de zoutwinning onder de Waddenzee gerapporteerd. Deze rapporten beschrijven de zoutproductie, caverne-ontwikkeling en de bodemdaling, maar ook de ontwikkeling van de wadplaten, bodemdieren en beschermde vogelsoorten in het gebied. Deze rapporten worden in opdracht van Frisia opgesteld door de onderzoekers die de veldstudies uitvoeren. Frisia stuurt deze rapporten naar het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

De Minister van Economische Zaken en Klimaat legt de rapporten ter controle voor aan een onafhankelijke auditcommissie, genaamd "Auditcommissie voor zoutwinning onder de Waddenzee". Deze commissie beoordeelt de kwaliteit van de rapporten. Ze adviseert de Minister t.a.v. de inhoud en publiceert haar bevindingen op het Internet. Deze publicatie maakt ze kenbaar middels een persbericht zodat iedereen in staat is het oordeel te lezen. Op deze wijze beoogt de Minister de controle op de monitoringsresultaten te scheiden van de politieke discussies die spelen rond mijnbouw in het Waddengebied. De Minister stuurt de rapporten en het advies van de auditcommissie vervolgens naar de Tweede Kamer. Dit proces wordt ieder jaar opnieuw doorlopen. Een overzicht van de meest recente opmerkingen en adviezen van de auditcommissie is te vinden in tekstbox op deze pagina. De volledige tekst is te vinden in het advies op [https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p36/p3654/3654\\_ov\\_advies\\_auditcommissie\\_zoutwinning\\_waddenzee.pdf](https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p36/p3654/3654_ov_advies_auditcommissie_zoutwinning_waddenzee.pdf). Op de website van de Commissie voor de milieueffectrapportage (<https://www.commissiemer.nl/>) zijn de adviezen te vinden door te zoeken op "Frisia". In Bijlage A is toegelicht hoe is omgegaan met de onderdelen van het advies.

### Actuele adviezen Auditcommissie

*Het oordeel van de Commissie voor de milieueffectrapportage (2022) is: "De rapportage over meetjaar 2021 is van goede kwaliteit en bevat degelijke achtergrondrapporten. Het monitoringsprogramma geeft een compleet en samenhangend beeld van de huidige situatie en trends in het gebied. Dit geldt zowel voor (Pleistocene) bodemdaling, als de effecten op morfologie en de natuur." De Commissie voor de milieueffectrapportage (2022) geeft een aantal algemene en specifieke adviezen en vragen voor Frisia, die hier zijn samengevat:*

- "De Auditcommissie adviseert om de meetresultaten kritisch te blijven analyseren."
- *Aan de zuidelijke rand van voorspelde bodemdalingsschotel ligt (nog) geen meetpunt van de Pleistocene meetpunt en de vraag is in hoeverre hiermee wel voldoende zicht is op de bodemdaling in deze omgeving?*
- *De kwaliteitscontrole van de raaimetingen moet gericht zijn op het tijdig (bij voorkeur al in het veld) signaleren en zo nodig corrigeren van eventuele (systematische) meetfouten.*
- *Geef in de grafieken de scheiding aan tussen de jaren waarin geen zout werd gewonnen en de jaren waarin wel zout wordt gewonnen.*
- *Geef in de grafieken trends, bandbreedten en signaleringswaarden voor de verschillende metingen.*
- *Maak inzichtelijk wat de aard en grootte van de onzekerheden bij het bepalen van de bodemdaling zijn.*
- *Analyseer of de bodemdalingsvoorspelling overeenkomt met de gemeten ontwikkelingen.*
- *Zoek contact met Rijkswaterstaat over hun LiDAR metingen en de gevolgde procedures voor het waarborgen van de kwaliteit.*
- *Gebruik de vaklodging 2022 om de trend/trendverandering in de sedimentatie in de kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep vast te stellen.*
- *Beschouw of de gebruikte referentiegebieden voor de sedimentsamenstelling als zodanig gebruik kunnen worden.*
- *Biedt de verzamelde gegevens van eigen vogeltellingen aan voor opname in de landelijke Waddenzee database (in beheer van Sovon).*

## 1.7 Bodemdaling onder de stad Harlingen

De locaties van het winningsgebied Havenmond onder de Waddenzee is zo gekozen dat er geen hinderlijke bodemdaling meer optreedt onder land. De voorspelde grens van de bodemdalingsschotel ligt met 2 cm bodemdaling aan het eind van de zoutwinning onder de industriehaven van Harlingen. Hiermee beoogt Frisia de inwoners van Harlingen en omgeving niet tot last te zijn.

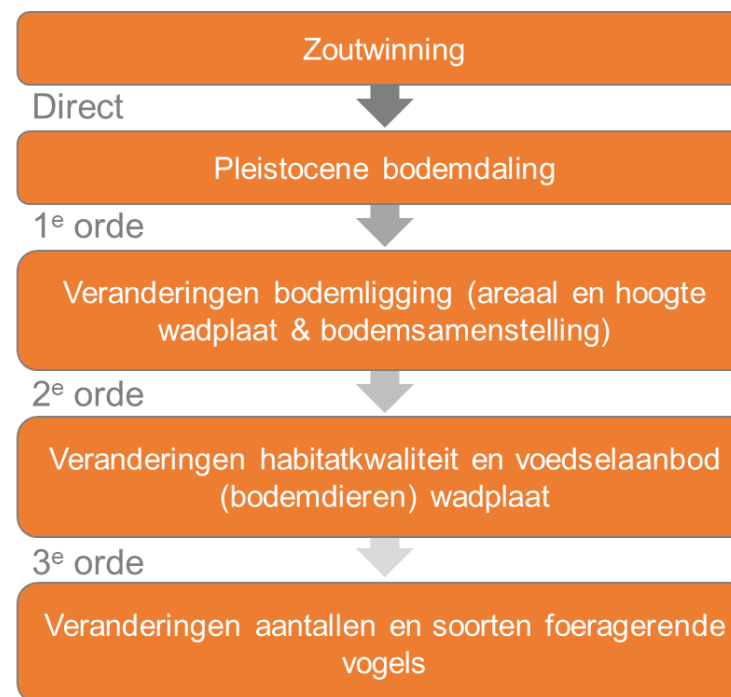
Als gevolg van problemen met bodemdaling en aardbevingen zijn er veel zorgen over mijnbouwactiviteiten in Nederland. Ook rond de zoutwinning in Harlingen. De inwoners van Harlingen en omgeving nemen de voorspellingen t.a.v. bodemdaling niet per se voor waar aan en vragen om aanvullende garanties. Met als doel invulling te geven aan deze behoefte is er een samenwerking gestart tussen de lokale overheden, vertegenwoordigers van de bewoners van Harlingen en Frisia. Deze samenwerking heet de Pilot Harlingen. Dit samenwerkingsverband heeft een aanvullend meetnet voor bodembeweging aangelegd in de stad Harlingen en maakt afspraken over maximaal toelaatbare scheefstand en het vergoeden van onverhoopte mijnbouwschade. Via de website [www.pilotharlingen.nl](http://www.pilotharlingen.nl) en inloopavonden communiceert de Pilot Harlingen met de inwoners van de stad. De Pilot Harlingen staat inmiddels in heel Nederland bekend als een voorbeeld van goede samenwerking rond een groot commercieel project.

## 1.8 Het monitoringprogramma

Het doel van het monitoringprogramma voor zoutwinning onder de Waddenzee is informatie te verzamelen op basis waarvan aan een aantal vergunningseisen kan worden voldaan. Grofweg zijn dit 1) het bepalen en karteren van de bodemdaling en 2) het meten van de ontwikkeling van de natuur boven die bodemdaling. Daarnaast wordt de ontwikkeling van de natuur ook op een aantal andere, nabijgelegen plekken gemonitord. Dit dient ter vergelijking tussen gebieden waar wel en geen bodemdaling optreedt. In dit rapport wordt per onderdeel van het monitoringprogramma kort ingegaan op het type metingen dat

verricht wordt. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de meetmethoden wordt doorverwezen naar de achterliggende onderzoeksrapporten.

De Waddenzeenatuur bestaat uit een grote hoeveelheid levende organismen en milieu-omstandigheden. In het ontwerp van het monitoringprogramma is daarom eerst nagegaan hoe bodemdaling in de diepe ondergrond zou kunnen doorwerken en een effect zou kunnen hebben op de natuur. Dit criterium wordt de effectketen genoemd. Het volgen van de effectketen helpt bij het kiezen van de relevante te monitoren onderdelen. In de effectketen is ook zichtbaar dat de afstand tussen de bodemdaling en de gevolgen steeds verder toeneemt doordat er steeds meer schakels bijkomen. Daarom wordt ook wel gesproken over directe effecten en hogere orde effecten. De effectketen ziet er als volgt uit:



Figuur 1-3 De effectketen die de samenhang tussen de zoutwinning, de bodemdaling en de veranderingen in de Waddenzee beschrijft.



Een tweede criterium bij het kiezen van de monitoringonderdelen vormen de instandhoudingsdoelen van de Waddenzee. Wettelijk gezien spreek je namelijk van natuurschade wanneer er sprake is van een significante negatieve ontwikkeling in een instandhoudingsdoel. De twee criteria leiden samen tot de volgende monitoringonderdelen.

Monitoringonderdeel	Hoofdstuk
(Pleistocene) Bodemdaling, zoutproductie, cavernevolumen,	3
Erosie- en sedimentatie, hoogteligging en sedimentsamenstelling	4
Bodemdieren op de Ballastplaat	5
Vogeltellingen op hoogwatervluchtplaatsen en monitoring van trekbewegingen tussen hoogwatervluchtplaatsen en de Ballastplaat	5

## 1.9 Dit rapport

Het voorliggende rapport is opgesteld om een beknopt en toegankelijk overzicht te geven van de resultaten van de meet- en monitoringsinspanningen die tot en met het jaar 2022 in opdracht van Frisia zijn uitgevoerd. Dit rapport is dan ook een samenvatting van de monitoringrapportages die door de verschillende onderzoekers zijn opgesteld.

In tegenstellingen tot eerdere jaren, is dit overzichtsrapport compacter omdat de integratie tussen de verschillende monitoringonderdelen en een beschrijving van de toegepaste meet- en analysemethoden reeds grotendeels in de onderliggende deelrapporten plaatsvindt. Een overzicht van deze deelrapporten is te vinden in de volgende tabel.

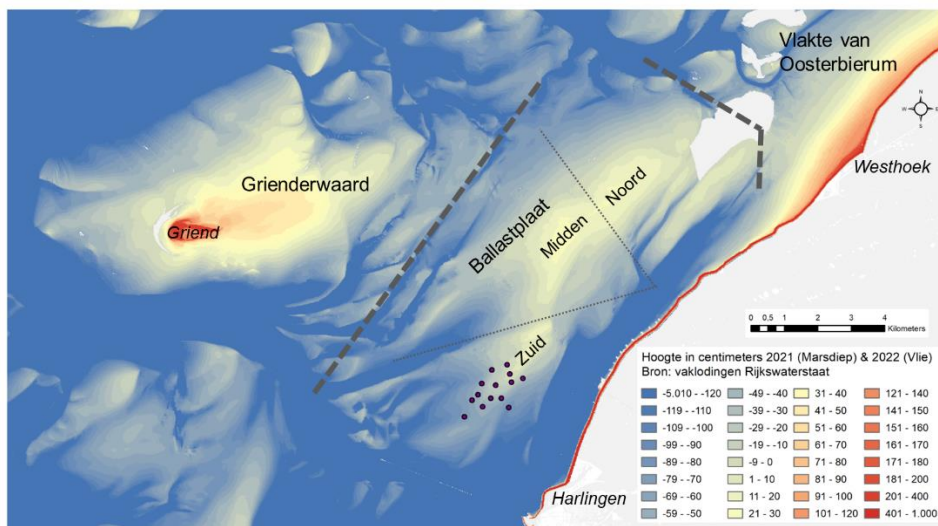
Onderwerp	Rapport
<b>Bodemdaling</b>	
	Antea, 2022. Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee; Jaarrapportage 2022. Antea projectnummer 0475051.100; definitief revisie 00; 5 januari 2023
	Chorus, T.A., 2023. Beheerscyclus Meet- en regelprotocol Havenmond over het jaar 2022. Well Engineering Partners B.V notitie versie 1.1.

Onderwerp	Rapport
<b>Bodemligging, sedimentatie en erosie</b>	
	Spaans, D. & J. Cleveringa, 2023. Monitoring situatie 2022 bodemligging studiegebied zoutwinning Waddenzee. Arcadis-rapport
	Kappers, E.F., J. Krol, M. Olivierse & R. Snoek. 2023a. Wadsedimentatie Studiegebied zoutwinning Waddenzee. Jaarrapport 2022. A&W-rapport 21-010.
<b>Sedimentsamenstelling</b>	
	Kappers, E.F., F. Versloot & R. Snoek, 2023b. Sedimentsamenstelling Studiegebied zoutwinning Waddenzee Jaarrapport 2022. A&W-rapport 21-009.
<b>Bodemdieren en wadvogels</b>	
	Kappers, E.F & F. Versloot. 2023c Draagkracht van de Ballastplaat voor foeragerende vogels Resultaten benthosbemonstering 2022; A&W-rapport 23
	Kersten, M., J. Krol, J. van der Kamp & K. Rappoldt. 2021. Aantallen en verspreiding van wadvogels op de Ballastplaat en omgeving; Verkenning van de mogelijkheden. EcoCurves rapport 31; versie april 2023.
	Wortelboer, R., & O. Bensink, 2023. Trends van vogels studiegebied zoutwinning Waddenzee 2022; T0-situatie+1 Frisia Zout. Arcadis-rapport

## 2 De Waddenzee bij Harlingen

### 2.1 Steeds meer wadplaten bij Harlingen

De Waddenzee is een smalle, grotendeels ondiepe zee die ligt ingesloten tussen het vaste land en de Waddeneilanden. Het gebied staat onder invloed van eb en vloed. Het zeewater stroomt door de geulen en over de platen het gebied in en uit. Tussen de eilanden lopen relatief diepe geulen richting het vaste land. Meer centraal onder de eilanden liggen wadplaatsystemen die droogvallen bij laagwater. De geul die tussen Vlieland en Terschelling loopt heet de Vliestroom. Het getijdenbassin dat door deze geul gevoed wordt heet “kombergingsgebied Vlie” of gewoon Vlie. In het zuiden van het Vlie, ten noordwesten van de haven van Harlingen ligt het wadplatensysteem waaronder de bodemdaling plaatsvindt. Dit systeem wordt “de Ballastplaat” genoemd. In Figuur 2-1 is een kaart opgenomen van de wadplaten in deze omgeving.

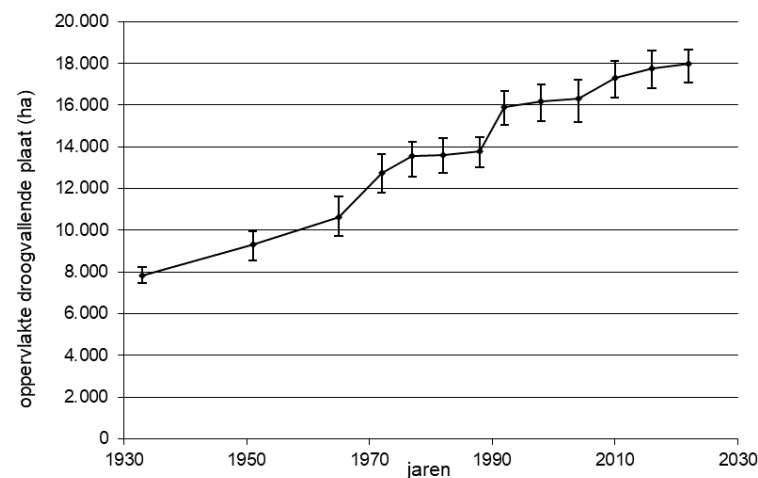


Figuur 2-1 Kaart met de hoogte van de wadplaten in 2022 van de wadplaten en onderverdeling van de aangesloten wadplaten, met de onderverdeling van de Ballastplaat in drie delen. De stippen zijn de locaties van de spijkermetingen, in het gebied waar de

bodemdaling door zoutwinning plaatsvindt. De drie belangrijke hoogwatervluchtplaatsen Griend, Westhoek en Harlingen zijn ook aangegeven.

Het zuidelijke deel van de Ballastplaat, waaronder de bodemdaling plaatsvindt, ligt relatief laag. Naar het noorden toe liggen “Ballastplaat-midden” en “Ballastplaat-noord”. Deze delen van de Ballastplaat liggen hoger en vallen daardoor langer droog. In het noordelijke deel van de Ballastplaat en op de naastgelegen Vlakte van Oosterbierum is het slibgehalte in het sediment hoger, waardoor er een andere bodemfauna en vogelfauna wordt aangetroffen.

De Ballastplaat bestond nog niet voor de afsluiting van de Zuiderzee. Waarschijnlijk is de plaat ontstaan in de luwte van de Pollendam. Figuur 2-1 toont de toename van de omvang van het wadplatenareaal voor de kust van Harlingen; van Westhoek tot Zurich. In de grafiek is te zien dat het oppervlak droogvallende wadplaten in ca. 100 jaar tijd verdubbeld is. De grootschalige sedimentatie in de Westelijke Waddenzee, waarvan dit gebied deel uitmaakt, is opgetreden na de aanleg van Afsluitdijk (Colina Alonso et al., 2021a). De toename van het plaatareaal, zoals getoond in Figuur 2-1 is onderdeel van deze sedimentatie.



Figuur 2-2 Areaal droogvallende platen in het studiegebied met voor de hele periode dezelfde niveaus van hoog- en laagwater (LAT) in combinatie met de hoogtes uit de vaklodingen (gegevens Rijkswaterstaat) uit Spaans & Cleveringa (2023).

Een consequentie van de uitbreiding van de wadplaten is dat de getijdegeulen kleiner worden. De omvang van een getijdegeul is namelijk afhankelijk van de hoeveelheid water die bij vloed naar binnen en bij eb weer naar buiten stroomt. En die hoeveelheid water neemt af wanneer de wadplaten uitbreiden. De afname van de getijdegeulen is duidelijk meetbaar bij het “Kimstergat”, de geul die vanaf de havenmonding naar het noordoosten stroomt (Oost et al., 2020). Ook de afname van de omvang van het gebied “de Boontjes” hangt samen met de toename van de wadplaten (Colina Alonso et al., 2021b).

De toename van het areaal van de wadplaten betekent dat steeds meer gebied beschikbaar komt waar wadvogels, zoals scholeksters, tijdens laagwater kunnen foerageren.

## 2.2 Erosie, sedimentatie en biodiversiteit

Sinds 2000 worden de effecten van bodemdaling onder wadplaten onderzocht door erosie en sedimentatie van het wadoppervlak te meten (Krol, 2022). Van deze metingen weten we dat afkalving van wadplaten door erosie en ophoging van wadplaten door sedimentatie regelmatig meerdere centimeters per jaar bedraagt. In extreme gevallen gaat het zelfs om decimeters. Dit komt voor wanneer bijvoorbeeld een geul of priel zich verplaatst. Dit proces is kenmerkend voor alluviale (= zandige) intergetijdengebieden zoals de Waddenzee en bijvoorbeeld de Westerschelde (Ysenbaert et al., 2002).

Uit de bovengenoemde onderzoeken blijkt dat de Waddenzeebodem dynamisch is. Enerzijds is deze dynamiek kenmerkend en dus van belang voor het voortbestaan van de Waddenzeenatuur zoals we die kennen. Anderzijds beperkt deze dynamiek de ontwikkeling van een diverse, rijke bodemfauna. Een kenmerkende, rijke bodemfauna in en op de getijdenplaten bestaat uit combinaties van schelpdiervoorkomens, worm- en kreeftachtigen. Denk bijvoorbeeld aan mossel- en kokkelbanken (Figuur 2-3). Optimaal voor een rijke bodemfauna zijn stabiele wadplaten met een hoogteligging van 20 tot 40 cm boven NAP (Beukema 1976). Het hoogste, centrale deel van de Ballastplaat-zuid ligt wat lager; onder het niveau van NAP. Desalniettemin weten we uit recent onderzoek dat de plaat relatief rijk en divers is aan bodemdieren. Dit zou te maken kunnen hebben met de relatief luwe en stabiele ligging van de plaat achter de Pollendam.

Door zijn rijkdom aan bodemfauna is de Ballastplaat relatief geschikt als foerageergebied. Dit staat tegenover het nadeel van een korte droogvalduur en een relatief grote afstand van de belangrijke hoogwatervluchtplaatsen, zoals Griend en Zwarte Haan. Het is nog niet helemaal duidelijk hoe intensief de plaat door welke vogels gebruikt wordt. Omdat dit als onderdeel van dit monitoringprogramma onderzocht wordt, zal dit in de loop der jaren steeds duidelijker worden. Tot nu toe laat dit onderzoek zien dat een aanzienlijk aantal vogels gebruik maakt van de Ballastplaat-zuid gedurende de korte periode dat deze droogvalt.

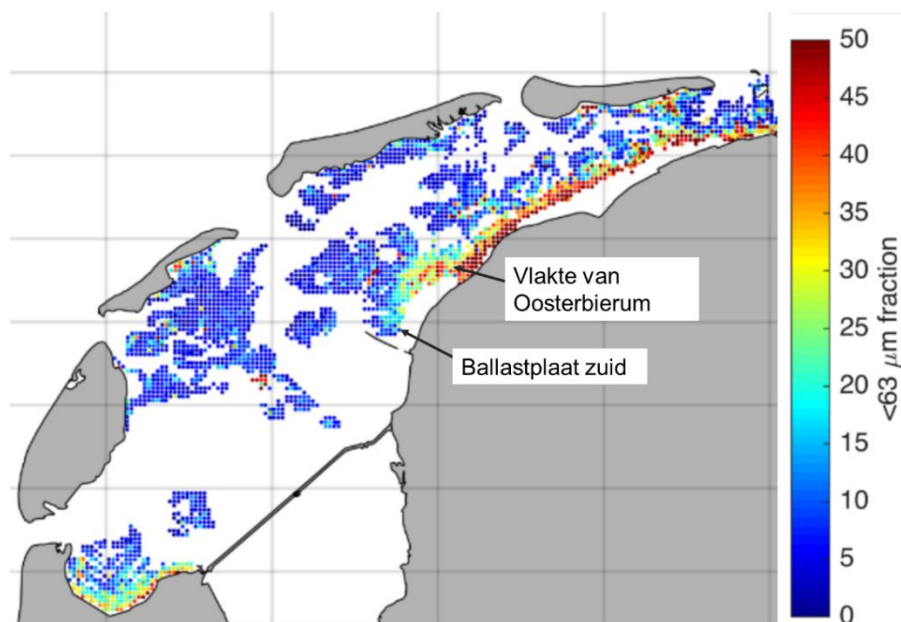


*Figuur 2-3 Jonge mosselbank op de Ballastplaat op 25 oktober 2022. De lichte kleur wordt veroorzaakt door kokkelschelpen die door de jonge mosselen als een soort ankers en beschutting uit de bodem worden getrokken.*

## 2.3 Slibgehalte en biodiversiteit

Het slibgehalte van het sediment van wadplaten is in sterke mate bepalend voor de soortensamenstelling van de bodemfauna en is zodoende ook van invloed op de vogels die in het gebied foerageren. Kenmerkend voor een slibrijke omgeving zijn kleine wormen, wadslakjes en kreeftachtigen zoals de slijkgarnaal. Vogels die in het Waddengebied gericht van deze voedselbron gebruik maken, zijn Kluten en Bergeenden. Veranderen het slibgehalte en de bodemdieren-samenstelling, dan verplaatsen de Kluten en Bergeenden zich en komen daar andere vogelsoorten voor in de plaats.

De verspreiding van slibrijk sediment, bodemdieren en vogelsoorten over het bredere Ballastplaatgebied volgt een gradiënt. Deze gradiënt vertoont relatief gemiddelde slibgehalten in het zuiden die steeds verder toenemen naarmate je noordoostelijker komt en van de Ballastplaat naar de Vlakte van Oosterbierum beweegt. De hoogste slibgehalten worden aangetroffen direct zeewaarts van de kwelders voor de Friese kust, zoals zichtbaar is in Figuur 2-4. In de nabijheid van de Vlakte van Oosterbierum het noorden van dit gebied worden dan ook grote aantallen Kluten en Bergeenden aangetroffen (Figuur 2-5).

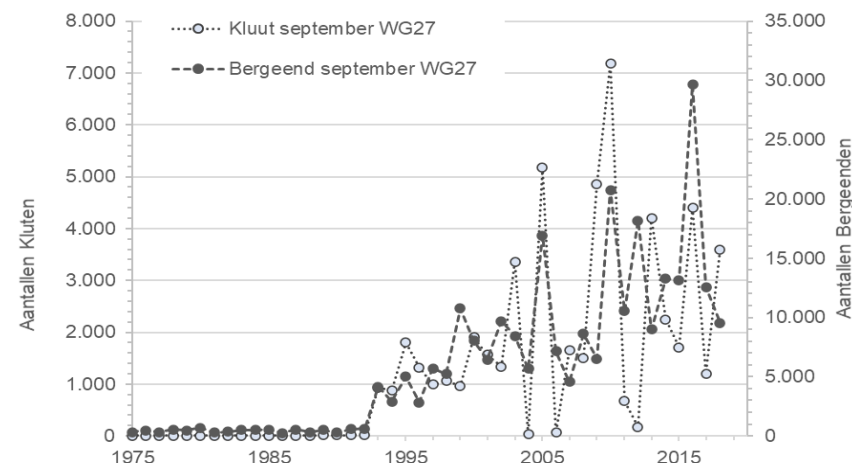


Figuur 2-4 Het percentage slib (fractie kleiner dan 63µm) van de droogvallende wadplaten rond 2010 op basis van de SIBES gegevens (uit Alonso, 2020).

De Ballastplaat zuid staat wel onder invloed van een slibrijke omgeving. De kleine wormen, wadslakjes en slijkgarnalen komen ook op de Ballastplaat zuid op sommige plekken veel voor. Hier leven ze samen met grote schelpdieren zoals kokkels, strandgapers, nonnetjes, mesheften en mossels. Maar in tegenstelling tot op de Vlakte van Oosterbierum (Compton et al., 2013 & Duijns et al., 2013), worden op de Ballastplaat de hoge dichtheden aan slijkgarnalen en wadslakjes niet over grote aangesloten gebieden aangetroffen.

Op de Ballastplaat zuid treffen we tot nu toe vooral Scholeksters, Wulpen Tureluurs, Zilverplevieren, Bonte strandlopers en Kanoetstrandlopers aan (Kerstens et al., 2023). Kluten zijn vrijwel afwezig op de Ballastplaat. Bergeenden zijn wel in grotere aantallen gezien in het gebied van de Ballastplaat, maar dan drijvend, tijdens hoogwater en niet foeragerend tijdens laagwater.

De grafiek met de aantallen Kluten en Bergeenden in Figuur 2-5 laat zien dat de beide soorten tot het begin van de jaren '90 vrijwel niet aanwezig waren. Daarna zijn de aantallen van beide soorten sterk toegenomen. Deze ontwikkeling is in verband gebracht met de opgetreden (slib)sedimentatie in het gebied van de Vlakte van Oosterbierum en de Noordelijke Ballastplaat. Door de toegenomen hoogte en slibrijkdom van het gebied zijn de waarschijnlijk de aantallen van de prooidieren (Slijkgarnaaltjes, Wadslakjes, kleine wormen) toegenomen en zijn deze bereikbaar geworden voor Kluut en Bergeend.



Figuur 2-5 Grafiek met de aantallen ruiende Bergeenden in de omgeving van de Vlakte van Oosterbierum en jaargemiddelde aantal kluten op de hoogwatervluchtplaats Friese kust WG27 (Arcadis, 2020).



## 2.4 Invloed van externe factoren

De Ballastplaat en de omliggende hoogwatervluchtplaatsen worden op verschillende manieren door externe factoren beïnvloed. Het is in het belang van dit monitoringprogramma om de invloed van deze factoren te gaan begrijpen zodat we veranderingen in natuurwaarden kunnen duiden. Factoren die we op dit moment in beeld hebben, zijn baggerwerkzaamheden (baggeren van vaargeulen en de haven Harlingen en het verspreiden van de baggerspecie), spuien van zoetwater uit het IJsselmeer (Kornwerderzand) en Friesland (Harlingen en Roptazijl), verstoring van de plaat en hoogwatervluchtplaatsen door recreanten, de toename van exotische bodemdieren en visserij. Deze factoren worden hieronder kort besproken.

### Baggerwerkzaamheden

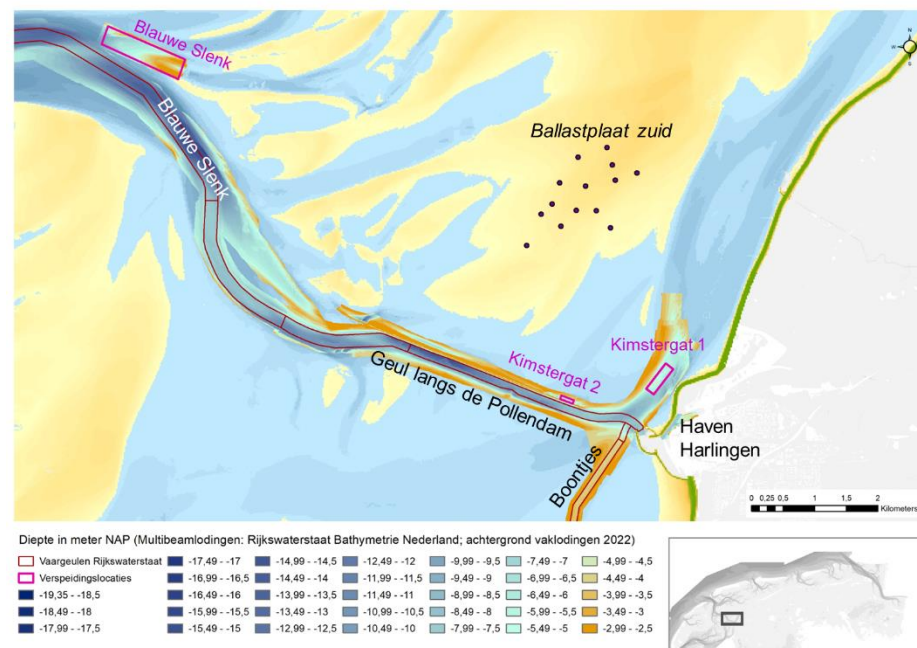
In vaargeulen in de Waddenzee wordt gebaggerd op die plekken waar een minimale diepte is afgesproken vanwege de scheepvaart. Ook in de havens die aan de Waddenzee grenzen wordt gebaggerd, om een minimale diepte te kunnen garanderen. De vaargeulen in de nabijheid van de Ballastplaat Zuid waar frequent wordt gebaggerd zijn aangegeven in Figuur 2-6, waarin ook de haven van Harlingen is aangegeven.

Het baggeren vindt plaats met verschillende technieken, zoals het gebruik van een sleehoppoerzuiger, kraanschip, verschillende vormen van agitatiebaggeren (opwoelen door waterinjectiebaggeren of het gebruik van een airset) en ploegen. Bij het gebruik van een sleehopperzuiger of kraanschip wordt het gebaggerde zand en slib (de baggerspecie) met een schip verplaatst naar een nabijgelegen verspreidingslocatie, waar de baggerspecie op de bodem wordt geplaatst.

De hoeveelheden die worden gebaggerd variëren van jaar op jaar, voor de vaargeulen zijn de gemiddelde (Gem.), laagste (Min.) en hoogste (Max.) waarde waarden aangegeven in periode 2017-2021 (uit van der Vegt & Cleveringa, 2022). De vaargeulen in de nabijheid van de omgeving van de Ballastplaat zuid waar frequent wordt gebaggerd zijn:

- Geul langs de Pollendam: Gem. 75.377 m<sup>3</sup>; Min. 15.807 m<sup>3</sup>; Max. 123.995 m<sup>3</sup>.
- Boontjes: Gem. 217.228 m<sup>3</sup>; Min. 93.989 m<sup>3</sup>; Max. 363.992 m<sup>3</sup>.
- Blauwe Slenk: Gem. 382.763 m<sup>3</sup>; Min. 243.069 m<sup>3</sup>; Max. 525.117 m<sup>3</sup>.

De hoeveelheden die in de haven van Harlingen worden gebaggerd variëren in de periode 2007-2018 tussen de 1.000.000 en 1.400.000 m<sup>3</sup> (naar Baptist et al., 2019).



Figuur 2-6 De omgeving van Harlingen met de vaargeulen en de haven waar wordt gebaggerd en de verspreidingslocaties waar de baggerspecie wordt verspreid. De stippen op de Ballastplaat zijn de locaties van de Spijkermetingen.

De verspreidingslocaties waar de baggerspecie wordt aangebracht in de nabijheid van de Ballastplaat Zuid zijn ook aangegeven in Figuur 2-6. De gebaggerde volumes uit de haven van Harlingen worden verspreid op de beide Kimstergat locaties (de locatie Kimstergat 2 wordt daarbij ook wel aangeduid als Pollendam). Ook een belangrijk deel van de baggerde volumes uit de Boontjes wordt op de Kimstergat locaties verspreid, evenals de baggerspecie uit de Geul langs de Pollendam. De gebaggerde volumes van de Blauwe Slenk worden voornamelijk naar de verspreidingslocatie Blauwe Slenk gebracht.

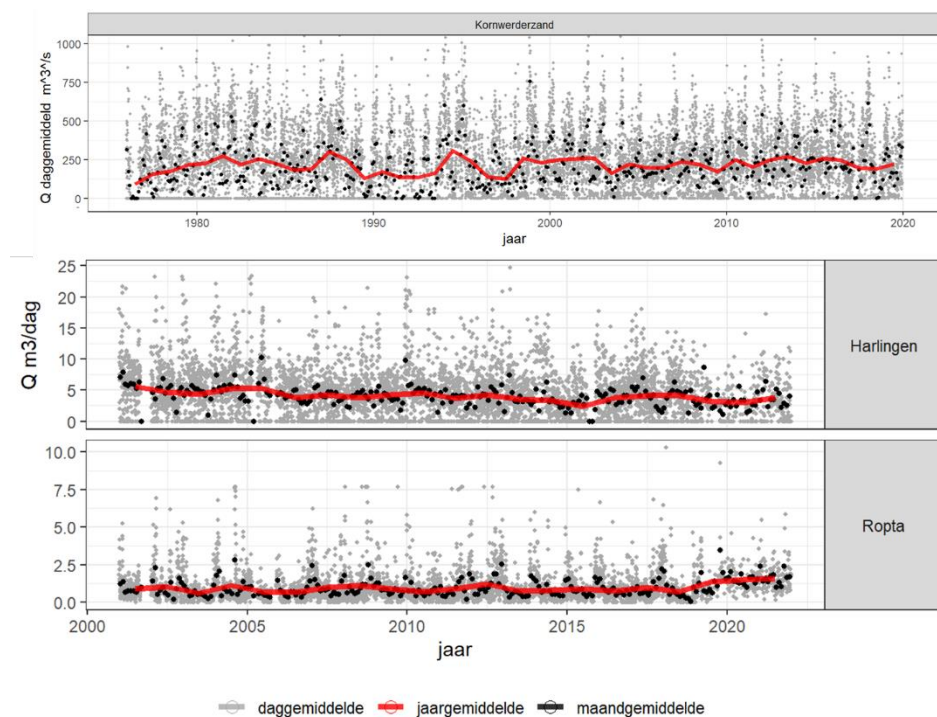
In totaal worden ieder jaar tussen de 1,4 en 2 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> baggerspecie verspreid op de drie locaties nabij de Ballastplaat zuid. Het grootste deel hiervan wordt op de beide Kimstergat locaties verspreid. Modelberekeningen laten zien dat het meeste slib dat op de verspreidingslocaties door stroming wordt geërodeerd, wordt getransporteerd via de geulen en dat ook het meeste slib in de diepere delen (geulen en haven) tot afzetting komt (van Weerdenburg et al., 2019). Een



klein deel van de verspreide baggerspecie zal bijdragen aan de sedimentatie op de Ballastplaat en dan met name in de gebieden die direct aan het Kimstergat grenzen.

### Spuien van zoetwater

Het zoutgehalte van het zeewater heeft een grote invloed op de groei, voortplanting en overleving van bodemdieren. Met name via de sluisen bij Kornwerderzand worden periodiek grote hoeveelheden zoetwater de Waddenzee ingebracht. Dat zoete water bereikt ook de Ballastplaat. Ook vanuit Harlingen en Roptazijl wordt zoetwater gespuid, direct nabij de Ballastplaat. De gespuide hoeveelheden staan in de grafieken in Figuur 2-7).



Figuur 2-7 Grafiek met de daggemiddelde afvoerdebieten vanuit de sluisen bij Kornwerderzand, Harlingen en Ropta(zijl). Bron: Digitale Systeembrapportage van de Waddenzee; Abiotische indicatoren (<https://testsysteemrapportage.nl/wadden/index.html>, geraadpleegd op 21 april 2023).

De relatief hoge biodiversiteit op de Ballastplaat suggereert dat de invloed van dit zoete water hier beperkt is. Dit weten we echter niet zeker. Ook zou dit in de toekomst kunnen veranderen. Om die redenen zijn we begonnen het zoutgehalte te monitoren. Dit zal gebeuren met loggers die we aan een meetpaal willen bevestigen zodat deze permanent onderwater staan.

### Verstoring door recreanten

Verstoring van de Ballastplaat zelf door bezoekers en droogvallende schepen valt gelukkig heel erg mee. Een grotere zorg is de verstoring van de hoogwatervluchtplaatsen, zie bijvoorbeeld Ens et al. (2021). Op verschillende plaatsen langs de Waddenzee kust wordt aan dit probleem aandacht besteed. Bijvoorbeeld in het noorden van ons onderzoeksgebied ligt de hoogwatervluchtplaats “Westhoek”. Hier heeft de beheerder een informatiezuil geplaatst (Figuur 2-8). Het is een soort stoplicht dat op rood springt tijdens hoogwater zodat recreanten weten dat het gebied verstoringsgevoelig is.



Figuur 2-8 Stoplicht bij hoogwatervluchtplaats Westhoek dat op rood springt wanneer het hoog water is en de vogels komen rusten.

### **Visserij**

Voor zover we weten is er op de Ballastplaat geen sprake van garnalenvisserij of handkockelvisserij. Wanneer dit zou veranderen, dan heeft het onderwerp aandacht nodig. Bodemberoerende visserij kan namelijk invloed hebben op de bodemdierensamenstelling in het gebied (zie hiervoor bijvoorbeeld Heidinga et al., 2022). Op dat moment moet worden gekeken of sprake is van interactie met de monitoring voor de zoutwinning.

### **Exoten**

Het overgrote deel van de biomassa bodemdieren in de Waddenzee bestaat inmiddels uit exotische soorten krabben, schelpdieren, wormen, etc. Een deel van deze exoten heeft een invasief karakter en is zodoende in staat de bodemdierensamenstelling sterk te beïnvloeden. Dit kan een probleem zijn voor de beschermde natuurwaarden van het gebied. Zo is een Mosselbank die door Japanse oesters wordt overgroeid minder geschikt als foerageergebied voor steenlopers, scholeksters en zilvermeeuwen. Op de Ballastplaat worden (nog) geen oesters aangetroffen. Een invasieve exoot die er wel vrij algemeen is, is het Mesheft (Amerikaanse zwaardschede). Over het algemeen beperken Mesheften zich tot sublitorale habitats. De reden dat ze vrij talrijk zijn op de Ballastplaat heeft mogelijk te maken met de beperkte droogvalduur. De Mesheften komen niet in de benthosbemonsteringen naar voren omdat ze snel kunnen graven en daardoor moeilijk te vangen zijn. Mochten ze zich uitbreiden dan zien we dit direct in het monitoringprogramma omdat de jonge Mesheften (broedjes) wel goed bemonsterd worden.

### 3 Bodemdaling en het Hand Aan de Kraan principe

De resultaten die in dit hoofdstuk centraal staan, zijn afkomstig uit deze rapporten:

*Antea, 2022. Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee; Jaarrapportage 2022. Antea projectnummer 0475051.100; definitief revisie 00; 5 januari 2023*

*Chorus, T.A., 2023. Beheerscyclus Meet- en regelprotocol Havenmond over het jaar 2022. Well Engineering Partners B.V notitie versie 1.1.*

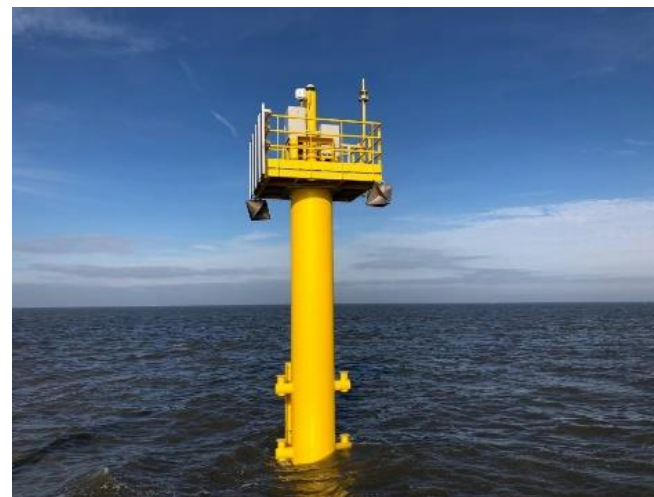
#### 3.1 Zoutwinning en bodemdaling

Bodemdaling wordt bepaald door veranderingen in hoogteligging in de tijd te registreren en te analyseren. Op het land worden hiervoor vaak vaste punten bezocht die meestal op wegen zijn aangebracht. Samen vormen deze punten een netwerk. De hoogteligging van de punten wordt met zeer nauwkeurige waterpassen ingemeten. Naast deze waterpassingen wordt op een aantal punten de hoogteligging continu gemeten met een GPS waarvan de antenne op een gefundeerde constructie is bevestigd. GPS-metingen zijn minder nauwkeurig dan waterpassingen, maar omdat het er zoveel zijn, kan er een betrouwbaar gemiddelde worden berekend.

Op het wad zijn er geen wegen en gefundeerde constructies. Om toch bodemdaling te kunnen meten, zijn er daarom palen diep in de wadbodem gezet. Deze palen dalen mee met de bodemdaling. Het monitoringprogramma voor zoutwinning onder de Waddenzee beschikt over verschillende soorten meetpalen. Twee grote meetpalen steken altijd boven water uit (Figuur 3-1). Ze zijn voorzien van GPS-meetstations en meten continu de hoogteligging. Deze twee staan min of meer centraal in het bodemdalingsgebied opgesteld. Daarnaast is er een aantal meetpalen die 6 meter diep in de wadbodem staan, maar niet boven het zand uitsteken. Tijdens een jaarlijkse meetcampagne worden deze palen opgezocht en wordt er bovenop deze palen een GPS-meetstation geplaatst (Figuur 3-2). Dit station moet een aantal dagen meten om met voldoende nauwkeurigheid de hoogte van de paal te bepalen. Dit type meetpalen zijn verspreid over het bodemdalingsgebied op verschillende

afstanden van het centrum van de toekomstige bodemdalingsschotel neergezet. Op deze wijze beschrijven ze samen in de loop van de tijd de ontwikkeling van de vorm van de bodemdalingsschotel.

De ruimtelijke verdeling van de bodemdaling is zichtbaar in de kaart met zowel de permanente metingen als de jaarlijkse metingen in Figuur 3-3. Zichtbaar is dat de grootste bodemdaling optreedt in de meetpunten CGP S2 en WPM06 nabij de caverne. Verder van de caverne is de omvang van de bodemdaling kleiner.

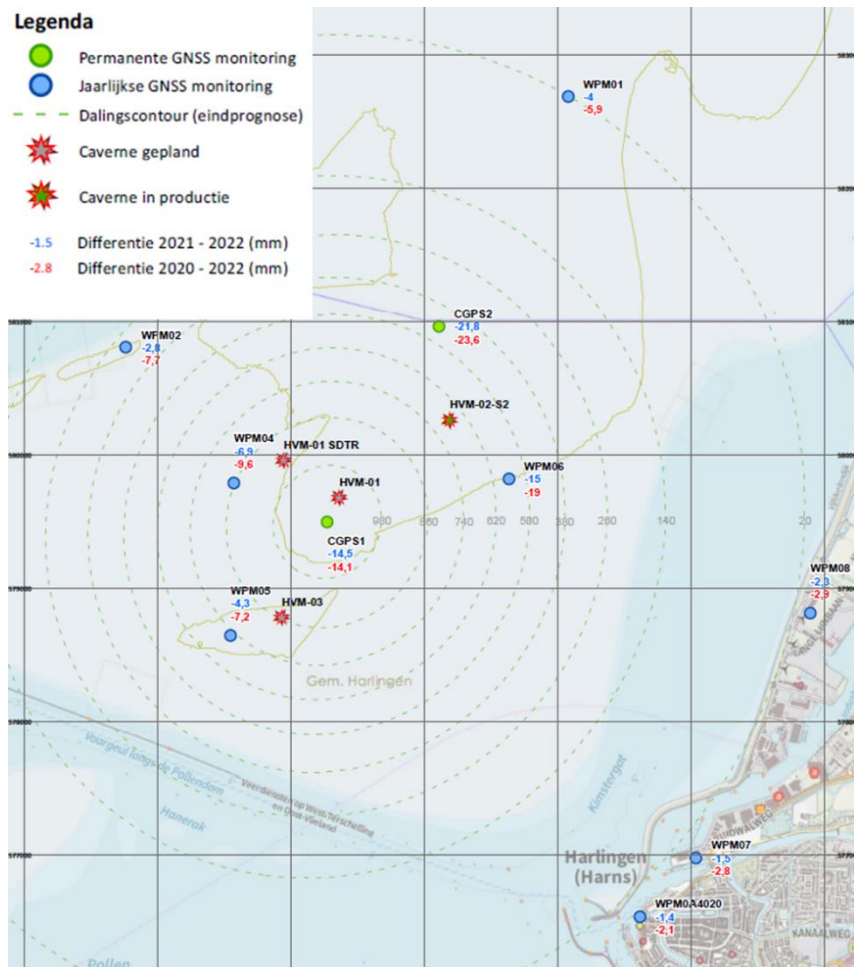


*Figuur 3-1 Een van de twee continue meetpalen die permanent in de Waddenzee zijn opgesteld, bij hoogwater.*



*Figuur 3-2 Opbouw van een tijdelijk GPS-meetstation op de Ballastplaat in de Waddenzee.*





Figuur 3-3 Kaart met resultaten van de jaarlijkse GPS hoogtemetingen (Antea, 2023). Verschillen in millimeters. De contouren (stippellijn) representeren de voorspelde diepe bodemdaling in 2052.

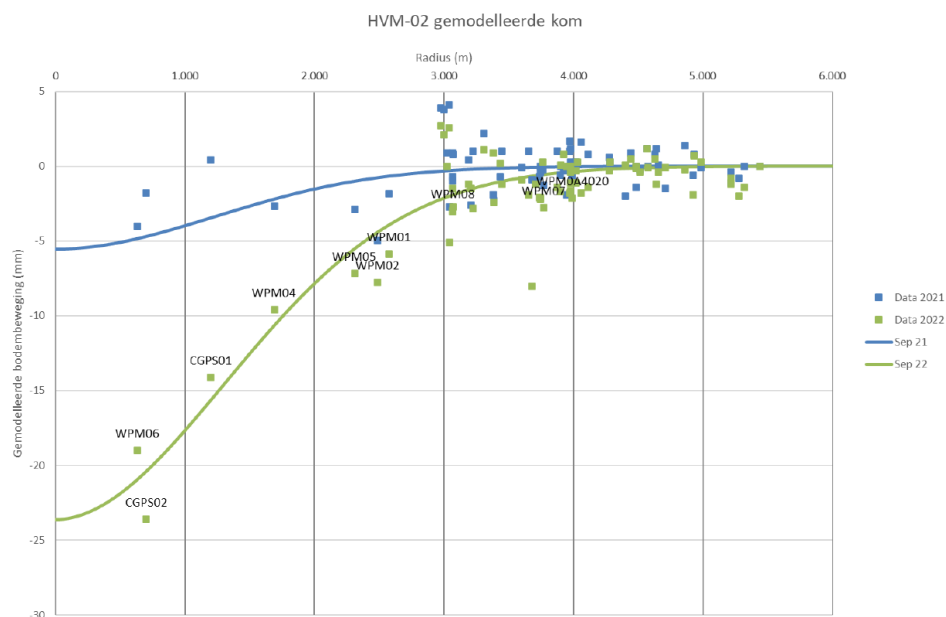
Voor het berekenen van de bodemdalingsschotel en de gemiddelde bodemdalingssnelheid zijn naast bodemdalingmetingen ook het volume geproduceerd zout en de omvang van de caverne van belang. Deze informatie geeft namelijk aan hoeveel volume bodemdaling er heeft plaatsgevonden. Voor het bepalen van de omvang en vorm van de caverne wordt een zogenaamde

“holruimtekening” uitgevoerd. Dit gebeurt met een akoestisch meetinstrument dat men via het boorgat de caverne in laat zakken. Sinds de start van de winning onder de Waddenzee heeft Frisia ieder jaar een nieuwe holruimtekening uitgevoerd. Om de geproduceerde hoeveelheid zout te bepalen wordt continue het debiet van de pekelstroom uit de caverne gemeten. Dit gebeurt met flowmeters die in duplo zijn uitgevoerd. Ook wordt de pekelstroom dagelijks bemonsterd om de zoutconcentratie te bepalen. Op basis van deze informatie wordt berekend hoeveel volume er aan de diepgelegen zoutlaag wordt onttrokken. De resultaten van deze bepalingen en berekeningen staan in Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Zoutproductie, volume van de holruimte (caverne), het berekende convergentievolume en het bodemdalingvolume op basis van het ruimtelijke bodemdalingmodel in 2021 en 2022.

	2021	2022
1. Geproduceerd zout (x 1000 kg) per jaar	365.969	461.042
2. Volume holruimte (m <sup>3</sup> ) per jaar	299.956	574.116
3. Convergentie volume (m <sup>3</sup> ) per jaar	84.144	183.019
4. Cumulatieve bodemdalingvolume (m <sup>3</sup> )	72.659	325.433

In Tabel 3-1 is ook het bodemdalingvolume weergegeven op basis van het ruimtelijke (kom)model van de bodemdaling, dat is geoptimaliseerd op basis van de bodemdalingmetingen. De vergelijking van de gemeten bodembeweging ten opzichte van de gemodelleerde kom staat in Figuur 3-4. De gemodelleerde bodemdaling op basis van de meetpunten is groter dan het convergentievolume. De verklaring voor dit verschil wordt gevonden in de nazettingseffecten van de Pleistocene meetpunten, die nog doorwerken in de meetresultaten. Met name de meetpunten op het land die buiten, of op de rand van, de bodemdalingsschotel van HVM-02 liggen zullen vanwege nazettingseffecten de gemodelleerde bodemdalingsschotel breder maken dan de daadwerkelijke bodemdalingsschotel veroorzaakt door zoutwinning. Het volume van de gemodelleerde bodemdalingsschotel dat is gebaseerd op de metingen is gebruikt voor de berekeningen van de gemiddelde bodemdalingssnelheid in het kombergingsgebied en de gebruikruimte in paragraaf 3.3.



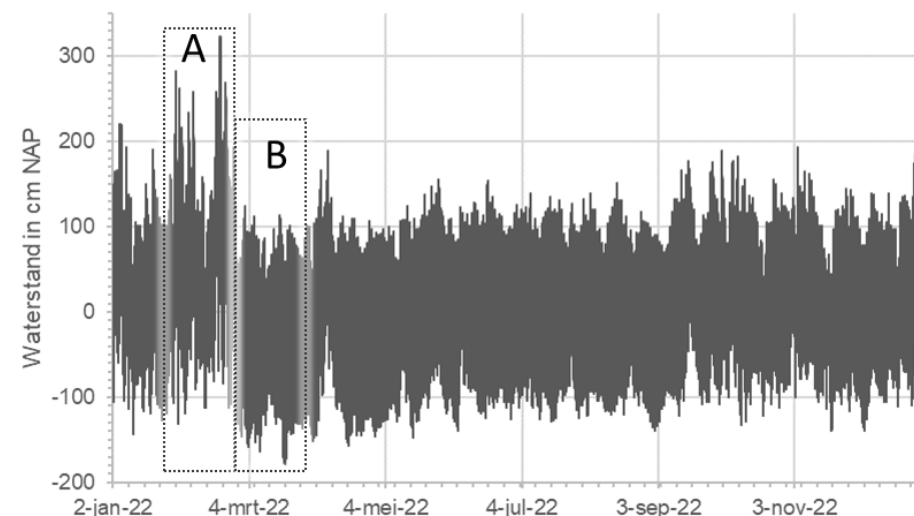
Figuur 3-4 Gemeten bodemdaling (punten) en de gemodelleerde bodemdaling op basis van het bodemdalingsvolume (lijnen) in september 2021 en 2022.

### 3.2 Waterstanden en zeespiegelstijging

De waterstanden zoals die optreden in de Waddenzee zijn belangrijk voor de bereikbaarheid van de Ballastplaat voor de wadvogels die daar foerageren. Als onderdeel van dit monitoringprogramma worden ze gebruikt om de voedselbereikbaarheid voor beschermde vogelsoorten op de Ballastplaat te berekenen. Deze voedselbereikbaarheid is een maat voor de draagkracht van het gebied voor foeragerende vogelsoorten.

Op de lange termijn, over perioden van tientallen jaren, bepalen de gemiddelde waterstanden de ontwikkeling van de zeespiegel. De snelheid waarmee de zeespiegel stijgt is bepalend voor de maximaal toelaatbare bodemdalingssnelheid en daarom een belangrijk onderdeel van het Hand Aan de Kraan principe.

De waterstanden nabij de Ballastplaat worden gemeten bij het “Waterstandsstation Harlingen” door Rijkswaterstaat. Een overzicht van gemeten waterstanden in 2022 is weergegeven in figuur 3-5. De laagst gemeten waterstand was -170cm t.o.v. NAP terwijl enkele weken daarvoor +320 cm t.o.v. NAP werd gemeten. In figuur 2 zijn twee tijdsblokken weergegeven waarin deze extreme waterstanden voorkwamen. Deze blokken zijn aangegeven met A en B en laten goed zien hoe sterk de waterstanden variëren als gevolg van het getij en het weer. Veel van de laagwaterstanden lagen in 2022 onder de NAP -1 m en de hoogwaterstanden kwamen zelden boven de NAP +1 m uit. De Ballastplaat valt onder deze omstandigheden per getijdencyclus een aantal uur droog. Sterk verhoogde waterstanden, zoals in figuur 3-5A hebben tot gevolg dat de Ballastplaat niet droogvalt.

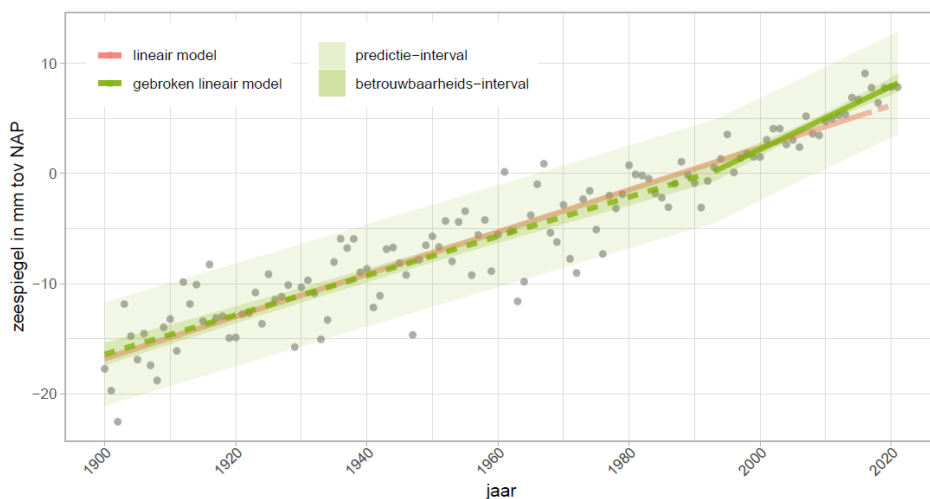


Figuur 3-5 Grafiek met de gemeten waterstanden in Harlingen in 2022 (gegevens Rijkswaterstaat).

Wanneer de variaties in de waterstanden die optreden door de wind over het hele jaar worden beschouwd, dan leiden deze tot een gemiddeld iets hogere of iets lagere gemiddelde zeestand. In de nieuwe “Zeespiegelmonitor” van Deltares (Stolte et al., 2023) is met behulp van nieuwe berekeningen aan de windinvloed een analyse van de zeespiegelstijging uitgevoerd. Nadat de effecten van wind



en door langjarige variaties in het getij uit de waarnemingen zijn gefilterd, maken Stolte et al. (2023) onderscheid tussen de snelheid van zeespiegelstijging voor en na 1993. Voor 1993 lag de trend op 1,8 mm per jaar en na 1993 op 2,9 mm per jaar (figuur 2-2). Dit is van belang bij het vaststellen van de belasting van het meegroeivermogen van het Vlie, hetgeen in de volgende paragraaf wordt besproken.



Figuur 2-2 Jaargemiddelde zeespiegel (grijze stippen) gemiddeld voor de stations Vlissingen, Hoek van Holland, IJmuiden en Harlingen, gecorrigeerd voor de windopzet en het nodaal getij, met de lineaire trend en gebroken lineaire trend (uit Stolte et al., 2023).

### 3.3 Belasting gebruiksruimte

Zoals toegelicht in hoofdstuk 1 van dit rapport mogen de gemiddelde bodemdalingssnelheid en de snelheid van zeespiegelstijging opgeteld niet meer bedragen dan 5 mm per jaar. 5 mm per jaar wordt gezien als een snelheid waarmee de wadplaten in het Vlie prima kunnen groeien. Dreigt deze grens te worden overschreden dan moet Frisia de zoutproductie zodanig aanpassen dat dit niet gebeurt.

De ruimte tussen de 5 mm grens en de snelheid van zeespiegelstijging heet “de gebruiksruimte”. Bij het vigerende zeespiegelstijgingsscenario van 2,4 mm per

jaar bedraagt de gebruiksruimte 2,6 mm per jaar. Wanneer we de nieuwste berekening uit het rapport van Stolte et al. (2023) hanteren, is de gebruiksruimte 2,1 mm per jaar.

Op basis van de bodemdalingsvolumes in Tabel 3-1 in combinatie van met de omvang van het kombergingsgebied Vlie van 668 km<sup>2</sup> is de gemiddelde bodemdalingssnelheid door de zoutwinning 0,34 mm/jaar. De belasting van de gebruiksruimte van het Vlie als gevolg van bodemdaling door de zoutwinning ligt daarmee ruim binnen de beschikbare gebruiksruimte.

### 3.4 Conclusies t.a.v. bodemdaling door zoutwinning

- De gemeten bodemdaling is in overeenstemming met de vergunde hoeveelheid.
- De gemeten bodemdaling is iets groter dan de omvang die volgt uit de zoutproductie en de omvang van de caverne, waarschijnlijk doordat een deel van de meetpunten wordt beïnvloed door nazetting.
- Het cavernevolumen ligt ruim onder het maximum volume van 1.250.000 m<sup>3</sup>.
- De gemiddelde bodemdalingssnelheid, opgeteld bij de snelheid van zeespiegelstijging ligt ruim beneden de gebruiksruimtegrens van 5 mm per jaar. Dit geldt ook wanneer er rekening wordt gehouden met de uitkomsten van de meest recente Zeespiegelmonitor.

Geconcludeerd kan worden dat Frisia binnen de vergunde grenzen is gebleven.

## 4 Erosie- en sedimentatie op verschillende ruimtelijke schalen

De resultaten die in dit hoofdstuk centraal staan, zijn afkomstig uit deze rapporten:

*Spaans, D. & J. Cleveringa, 2023. Monitoring situatie 2022 bodemligging studiegebied zoutwinning Waddenzee. Arcadis-rapport*

*Kappers, E.F., J. Krol, M. Olivierse & R. Snoek. 2023a. Wadsedimentatie Studiegebied zoutwinning Waddenzee. Jaarrapport 2022. A&W-rapport 21-010.*

*Kappers, E.F., F. Versloot & R. Snoek, 2023b. Sedimentsamenstelling Studiegebied zoutwinning Waddenzee Jaarrapport 2022. A&W-rapport 21-009.*

### 4.1 Structuur en functie

Wadplaten vormen een beschermd habitatype. Hierbij gaat het om het oppervlak en de kwaliteit van de wadplaten. Kwaliteit wordt uitgedrukt in de termen “structuur en functie”. Deze structuur betreft de variatie in de fysische structuur, zoals variatie in hoogteligging en sedimentstructuur, maar ook biogene structuren, zoals schelpdierbanken, horen daarbij. In principe hoeft niet op iedere wadplaat de volledige diversiteit aan structuuraspecten te worden aangetroffen. De beoordeling van de staat van de droogvallende wadplaten wordt op de schaal van de hele Nederlandse Waddenzee gedaan.

De Ballastplaat Zuid is een relatief laaggelegen wadplaat. Volgens de ecotopenkaart, waarop voor droogvallende wadplaten verschillende structuurtype worden aangegeven (Baptist et al., 2019), is op de Ballastplaat slechts één type ecotoop aanwezig. Op kleine ruimtelijke schaal is de variatie echter behoorlijk groot. Langs de ooststrand van de plaat ligt een dikke laag zeer fijn slib. Dit gebied valt niet vaak droog en er leven weinig bodemdieren die op een 2mm-zeef blijven liggen. De plaat zelf bestaat uit een stevige ondergrond met daarop variërend zachte en stevige structuren. In de bodem zijn op

verschillende plaatsen hoge dichtheden kokkels en strandgapers te vinden en in de zomer van 2022 heeft zich een jonge mosselbank gevormd (Figuur 2-3).

Wat betreft de “functie” van de wadplaten wordt in dit monitoringprogramma gefocust op de foerageerfunctie voor vogels. Dat wil zeggen, op hoe geschikt de wadplaten zijn voor vogels om eten te verzamelen. Dit komt in hoofdstuk 5 aan bod.

### 4.2 Eerste orde effecten van bodemdaling door zoutwinning

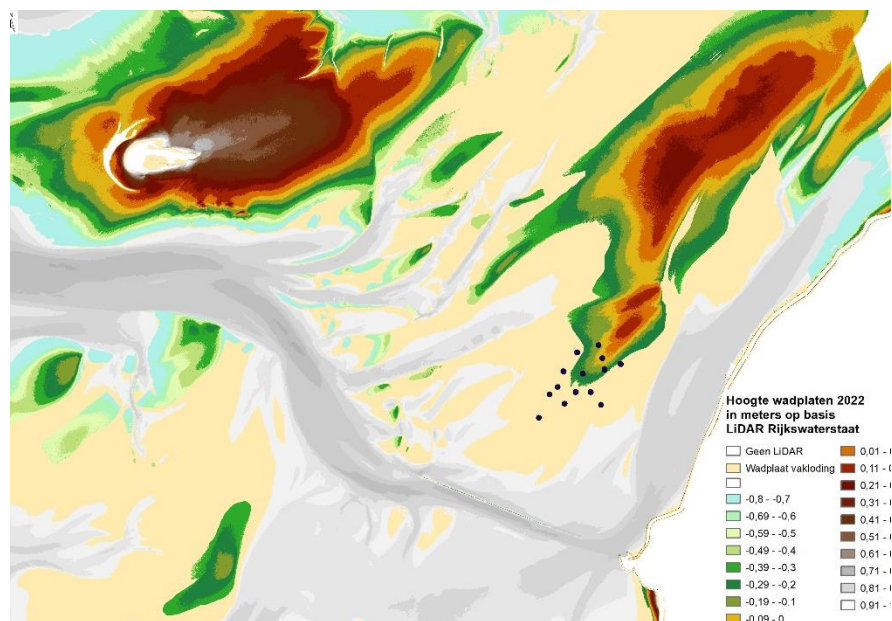
Wanneer de bodem onder de wadplaten daalt hoeft dit geen effect te hebben op de structuur van het wadoppervlak erboven. De theorie luidt namelijk dat er gedurende een jaar sowieso sprake is van enkele centimeters erosie en sedimentatie. Wanneer daaronder bodemdaling optreedt, leidt dat niet tot een andere structuur aan het oppervlak. Onder omstandigheden met zeer weinig erosie en/of sedimentatie is het voorstelbaar dat er door bodemdaling een tijdelijke depressie in de wadplaat ontstaat. Dit kan dan leiden tot vormverandering, verandering in hoogteligging of sedimentstructuur. Dit noemen we “eerste orde effecten” van bodemdaling (Figuur 1-3).

Om dit goed in de gaten te houden maken we gebruik van drie typen metingen om veranderingen in wadplaathoogte te bepalen en één type meting om de samenstelling van het sediment te bepalen. Deze worden hieronder besproken.

### 4.3 Gebiedsdekkende hoogtemetingen

Op grote schaal wordt de hoogteligging van het gebied in kaart gebracht aan de hand van “LiDAR” opnames. LiDAR is een soort laserscanner waarmee vanuit een vliegtuig meerdere metingen per m<sup>2</sup> worden uitgevoerd. Deze meting vinden eens per drie jaar plaats en zijn vergelijkbaar met andere LiDAR-metingen in het Waddengebied. Het nadeel van LiDAR is dat de wadplaat goed droog moet vallen en dat is op de Ballastplaat een probleem. Ten eerste ligt de plaat relatief laag in het getijdengebied en ten tweede blijft er eigenlijk altijd water achter op de Ballastplaat Zuid (dit is ook te zien in Figuur 2-3). In dit monitoringprogramma spelen de LiDAR-opnames een rol bij de interpretatie van grootschalige veranderingen van en rond de plaat. De meest recente LiDAR-meting is in september 2022 uitgevoerd door Rijkswaterstaat. De data is eind april 2023 beschikbaar gekomen. Deze nieuwe resultaten zijn ter illustratie opgenomen in

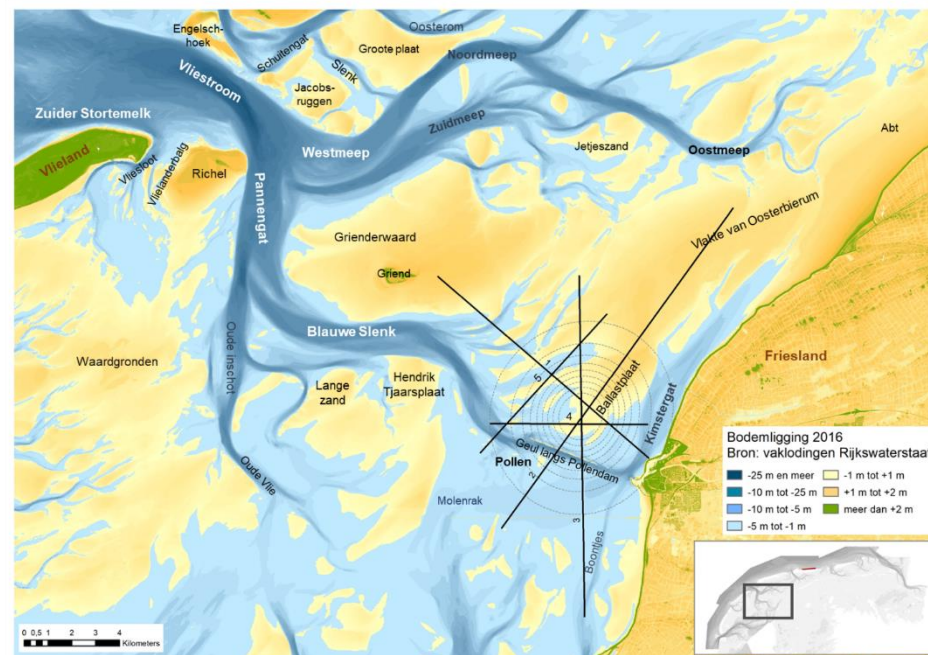
Figuur 4-1. Zichtbaar is dat de LiDAR hoogtemetingen zeker niet het hele areaal aan droogvallende wadplaten dekken. Bij de Ballastplaat vallen meer dan de helft van de Spijkermetingen buiten de dekking van de LIDAR opname van 2022. Er was vanwege de late beschikbaarheid van de gegevens nog geen tijd om ze te controleren en te analyseren voor deze rapportage.



Figuur 4-1 Kaart met de hoogteligging van de wadplaten volgens de meest recente LiDAR-opname door Rijkswaterstaat. Omgeving van Harlingen, met de Ballastplaat (met de punten van de Spijkermetingen) en de Grienderwaard.

## 4.4 Raaimetingen

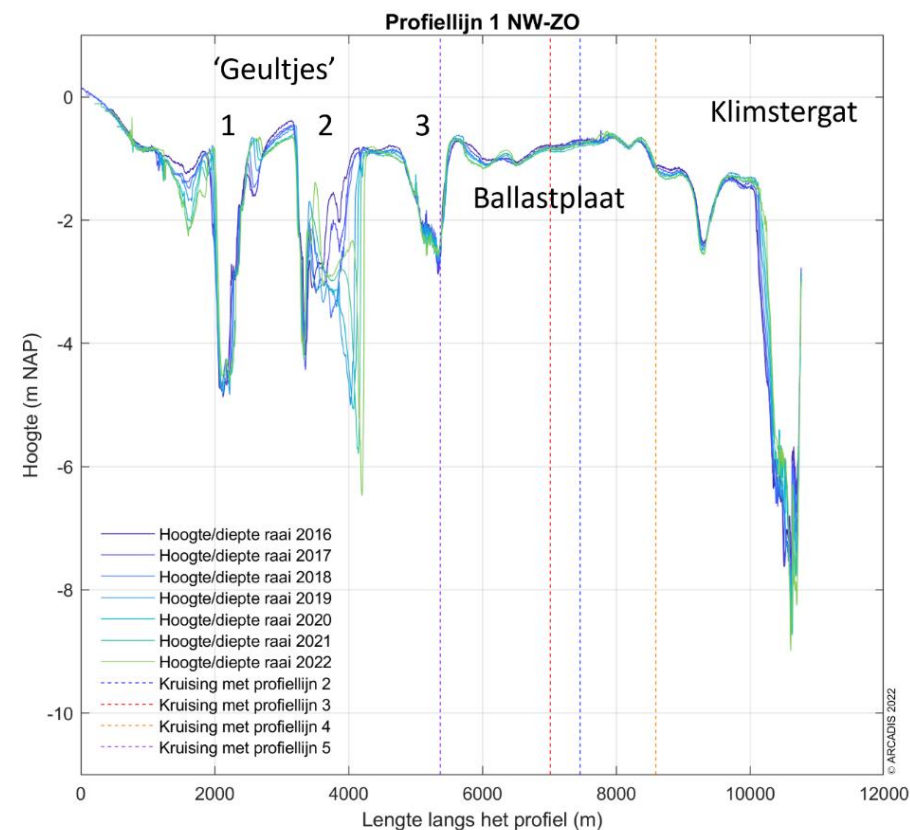
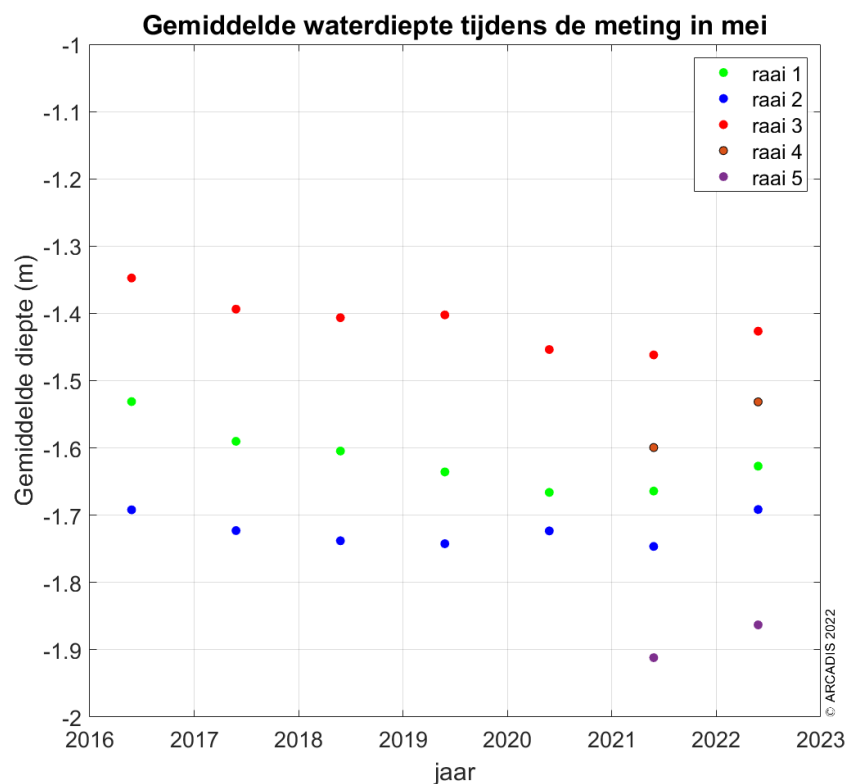
Een tweede type meting is de “Raaimeting”. Ieder jaar wordt er met hoogwater over de Ballastplaat heen gevaren en wordt de hoogte van de plaat en diens omgeving bepaald. Dit gebeurt door telkens over vaste raaien te varen, die zijn aangegeven in Figuur 4-2. Ieder jaar kunnen de nieuwe raaien met die van de voorgaande jaren worden vergeleken. Raaimetingen zijn niet gebiedsdekkend, maar doorkruisen het bodemdalingsgebied verschillende keren. Zodoende kan bepaald worden of er sprake is van bodemdaling aan het wadoppervlak.



Figuur 4-2 Ruime omgeving rond de geprognosticeerde contouren van de bodemdalingsschotel aan het einde van de zoutwinning in het kombergingsgebied van het Vlie. Voor de vijf raaien van de hoogte/dieptemetingen geldt dat tot 2021 de raaien 1-3 zijn ingemeten en vanaf 2021 de raaien 1-5.

De hoogte/diepte raaien die één keer per jaar op de Ballastplaat worden gemeten, laten zien dat er geen afwijkende ontwikkelingen plaatsvinden. Deze metingen laten ook zien dat de meting van de hoogte in 2021, die op sommige plekken een tijdelijke uitschieter was. Deze meting lag namelijk op sommige plekken bijna 1 decimeter onder de metingen van de jaren er voor. Dit komt duidelijk tot uitdrukking in de gemiddelde hoogte per jaar, die is weergegeven in Figuur 4-3. Alle vijf gemiddelde dieptes in 2022 liggen boven de gemiddelde dieptes uit 2021. Uit een gesprek met de uitvoerder van de raaimetingen is gebleken dat geen sprake is geweest van een structurele meetfout en dat het meetprotocol voldoende cross-checks bevat bij aanvang en tijdens de metingen om structurele fouten uit te sluiten.





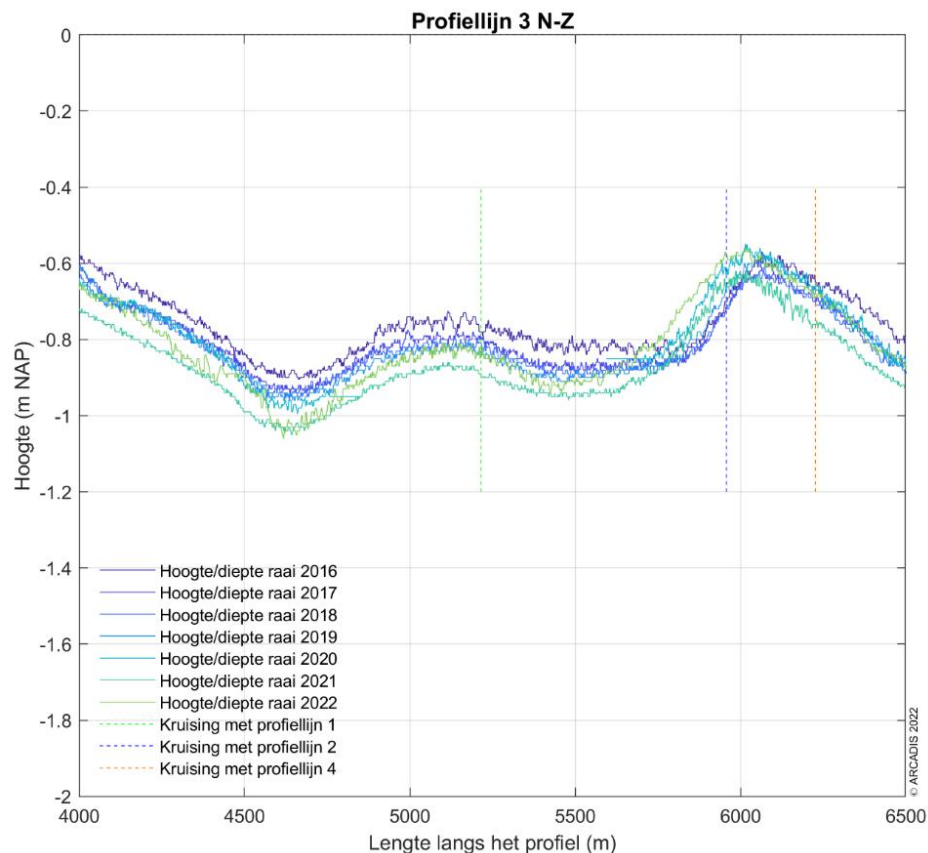
Figuur 4-3 Plot van de gemiddelde waterdiepte per raai voor alle meetmomenten. Binnen de raai zijn alleen de punten meegenomen waar voor elk jaar een dieptemeting beschikbaar is in de berekening van de gemiddelde diepte (Spaans & Cleveringa, 2023).

Figuur 4-4 Hoogte zoals gemeten in dwarsprofiel langs raai 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 – 2022 (locatie in Figuur 4-2), (Spaans & Cleveringa, 2023).

In de raaimetingen is duidelijk zichtbaar dat de grotere veranderingen met name plaatsvinden in en rond de getijdegeulen. Ter illustratie is in Figuur 4-4 de ingemeten diepte in raai 1 weergegeven, waarbij de grote veranderingen plaatsvinden bij de drie geultjes aan de noordwestzijde in de raai. Ook het Klimstergat aan de zuidoostzijde van de meetraai is veranderlijk. In vergelijking met de geulen verandert de hoogte van de Ballastplaat slechts beperkt.

Om de veranderingen op de Ballastplaat in beeld te krijgen moet worden ingezoomd op het hoogtebereik van de wadplaat. Dit is gedaan in Figuur 4-5, waarin zichtbaar is dat de hoogte van de alle metingen uit de periode 2016-2022 binnen een bandbreedte van ruim 10 centimeter liggen. In de dwarsdoorsnede zijn enkele glooiingen zichtbaar met een hoogte van enkele decimeters en lengtes van 100-en meters. Deze glooiingen zijn waarschijnlijk dwarsdoorsnedes van grootschalige bodemvormen op de plaat. Tenminste één van de bodemvormen, namelijk die ter hoogte van de kruising met profiellijnen 2 en 4,

lijkt te verplaatsen naar het zuiden. Het “bibberen” van de hoogtelijnen is geen meetfout, maar het gevolg van de aanwezigheid van kleinschalige bodemvormen op de plaat in de vorm van megaribbels, met lengtes van een meter tot enkele meters en hoogtes van centimeters tot decimeters. Deze bodemvormen worden ook visueel waargenomen tijdens de bemonsteringen van de Ballastplaat.



Figuur 4-5 Hoogte zoals gemeten in dwarsprofiel langs profiellijn 3 op de Ballastplaat, van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016 – 2022 (locatie in Figuur 4-2), (Spaans & Cleveringa, 2023).

## 4.5 Spijkermetingen

Een derde type meting is de “Spijkermeting”. Spijkermetingen zijn zeer nauwkeurige metingen die vier keer per jaar worden uitgevoerd. De Spijkermetingen zijn puntmetingen, d.w.z. dat ze representatief zijn voor een zeer klein gebied. In zo’n gebied liggen 4 meetpunten op ca. 4 m<sup>2</sup>. De 4 metingen worden samen gemiddeld tot één waarde voor die locatie. Op de Ballastplaat Zuid liggen de Spijkermetingen verspreid over het gebied. De gedachte is dat ze gezamenlijk een representatieve steekproef zijn voor de hoogteontwikkeling van de plaat. Op de locaties waar de Spijkermetingen worden uitgevoerd, wordt ook de bodemdierensamenstelling en sedimentstructuur gemeten, zodat deze resultaten met elkaar vergeleken kunnen worden. Een volledige uitleg van de Spijkermetingen en resultaten is te vinden in Krol et al (2023).

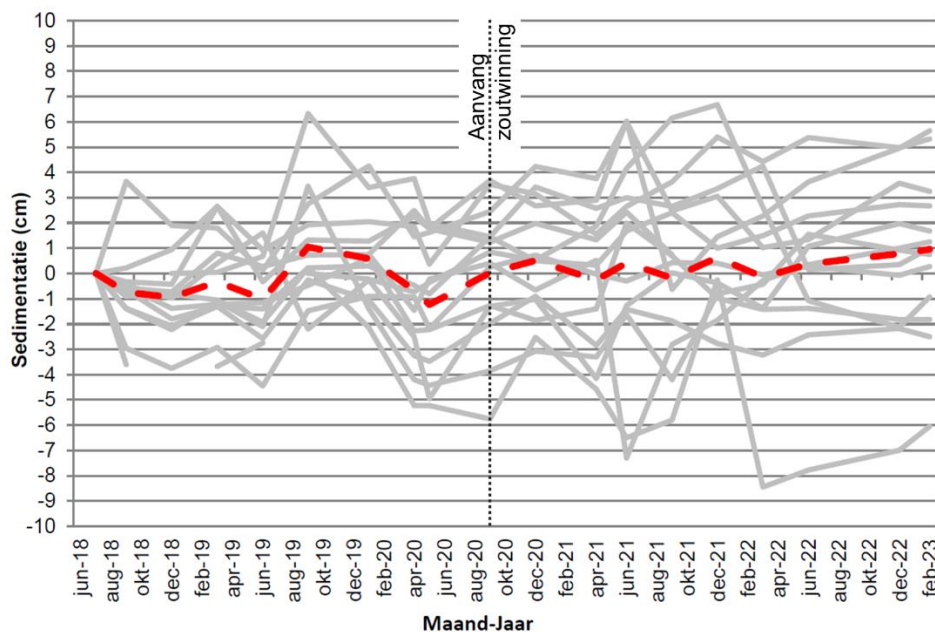
De Spijkermetingen meten de relatieve verandering in bodemhoogte. Omdat de Spijkermetingen zo nauwkeurig zijn, is het mogelijk om op termijn de gevolgen van de bodemdaling te meten in de vorm van een versterkte sedimentatie op punten die meer in het centrum van de bodemdalingskom liggen.

De Spijkermetingen op de Ballastplaat zijn gestart in 2018. Sinds de start zien we erosie en sedimentatie optreden variërend van -8 tot +6 cm. Dit is vergelijkbaar met andere gebieden in de Waddenzee waar deze metingen worden uitgevoerd. De Spijkermetingen laten zien dat niet alleen sprake is van trendmatige erosie of sedimentatie, maar ook dat van meting op meting variatie optreedt. Dit is zichtbaar in de pieken en dalen in de grijze lijnen in Figuur 4-6, die ook doorwerken in fluctuaties in de gemiddelde waarde voor alle stations (de rode lijn in Figuur 4-6). Dit soort fluctuaties zijn ook geobserveerd in de Spijkermetingen in de kombergingsgebieden Borndiep en Friesche zeegat (Krol, 2022). Het is plausibel dat op de wadplaten kleine variaties tot enkele centimeters in de hoogte optreden. Variaties in de hoogte treden onder andere op door tijdelijke sedimentatie van met name slib onder rustige omstandigheden, die wordt gevolgd door erosie tijdens hoger energetische condities. Ook de verplaatsing, groei en krimp van grootschalige bodemvormen op de wadplaat resulteren in kleine hoogteveranderingen. Ten slotte kunnen ook biologische activiteiten leiden tot kleine veranderingen, bijvoorbeeld doordat menging van zand en slib optreedt door bioturbatie en doordat de porositeit toeneemt door biologische activiteit.

De grafiek in Figuur 4-6 laat zien dat gemiddeld voor alle Spijkermetingen vrijwel geen sprake is van erosie of sedimentatie. Gemiddeld veranderd de plaathoogte



niet, hetgeen aangeeft dat de plaat sinds 2018 stabiel is geweest. In Figuur 4-6 is de start van de zoutwinning aangegeven. Sinds die start is de bodemdaling langzaam opgang gekomen.



Figuur 4-6 Gemiddelde sedimentatie van de stations BP10 t/m BP140 (grijze lijnen) en overall gemiddelde van alle stations (rode stippenlijn) op Ballastplaat bijgewerkt t/m februari 2023, uit Kappers et al, 2023a.

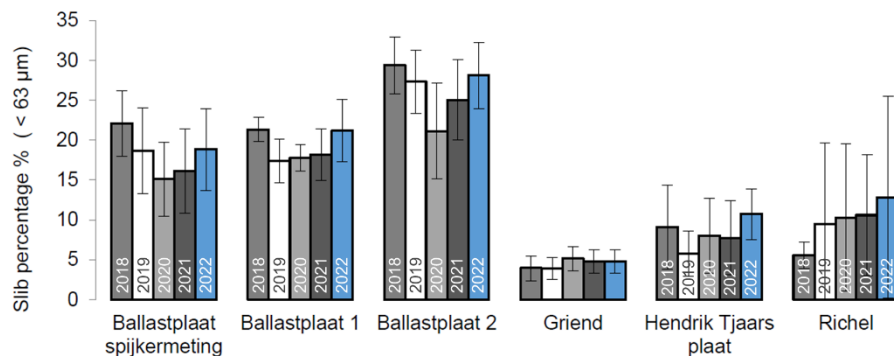
## 4.6 Sedimentsamenstelling

Om vast te stellen of en hoe de korrelgrootte en het slibgehalte van de toplaag van de wadplaten veranderen, wordt de sedimentsamenstelling gemeten. Eén keer per jaar wordt op verschillende plekken op de Ballastplaat en op een aantal andere plaatgebieden, een monster verzameld van de bovenste 4 centimeter van de wadplaat. Van deze monsters wordt de sedimentstructuur bepaald door de korrelgrootteverdeling te meten. Deze korrelgrootteverdeling gaat over hoeveel zand en slibkorrels er van welke grootte in de bodem aanwezig zijn. In

een zandige omgeving vind je vooral grotere zandkorrels, terwijl je in een slikrijke omgeving relatief veel heel erg kleine korreltjes aantreft.

De korrelgrootte van het sediment zegt veel over de heersende stromingscondities. Als stroming en golfslag domineren, leidt dit tot een zandige slibarme bodem. Onder rustige hydrologische omstandigheden kan slib bezinken en vind je fijne sedimenten. De korrelgrootteverdeling is belangrijk voor het bodemleven. Omdat slib meestal rijk is aan organisch materiaal, is het van belang voor bodemdieren die sediment eten. Daarnaast is het slibgehalte van belang voor de stabiliteit van de graafgangen van verschillende bodemdieren. Een te zachte bodem met te veel organisch materiaal kan verstikkend werken. Voor een rijke bodemfauna is een gemiddeld slibgehalte of een dunne sliblaag boven op een iets stevigere bodem optimaal. Deze condities vinden we tot nu toe op de Ballastplaat Zuid. Veranderingen in de korrelgrootteverdeling van het sediment vormen een belangrijke schakel tussen de eerste en tweede orde effecten in dit monitoringprogramma. De volledige rapportage van dit monitoringonderdeel is terug te vinden in (Kappers 2023b).

De jaarlijkse metingen aan de sedimentsamenstelling laten geen grote verschuivingen zien in de korrelgrootteverdelingen en in de slibgehalten (Figuur 4-7). De kleine verschillen die optreden in de korrelgroottes en slibgehalten passen uitstekend bij de observaties aan de Spijkermetingen, die kleine fluctuaties in de hoogte laten zien. Veel van de processen die zijn beschreven bij fluctuaties in de Spijkermetingen, zoals de tijdelijke opbouw van een sliblaag onder rustige omstandigheden, hebben een relatie met de sedimentsamenstelling. Om te kijken of er een samenhang is in de meetresultaten van de sedimentsamenstelling en de sedimentatie en erosie, is een eerste verkenning gedaan van de correlatie. Deze verkenning gaf geen aanwijzingen voor samenhangende ontwikkelingen.



Figuur 4-7 Overzicht van het gemiddeld slibpercentage (= % sediment met een korrelgrootte  $< 63 \mu\text{m}$  in diameter) en bijbehorende standaarddeviaties voor 2018 t/m 2022 op de verschillende gebieden. De locaties “Ballastplaat spijkermeting” en “Ballastplaat 1” liggen ter plaatse van het gebied waaronder bodemdaling door de zoutwinning plaatsvindt. “Ballastplaat 2” ligt daarbuiten, net als de drie andere gebieden. (uit Kappers et al, 2023b).

## 4.7 Conclusies eerste orde effecten

- Sinds de afsluiting van de Zuiderzee is het sedimentvolume voor de kust bij Harlingen en daarmee ook het wadplatenareaal toegenomen. Deze toename lijkt nog steeds door te gaan (Figuur 2-2).
- De Ballastplaat is een relatief slikrijke omgeving. Uit de data blijkt nog geen graduele verandering in de korrelgrootteverdeling van het sediment.
- De tot dusver gemeten erosie en sedimentatie in het onderzoeksgebied passen bij de normale dynamiek van wadplaten zoals we die kennen uit andere studies.
- De verschillende metingen geven tot dusver geen aanleiding om te veronderstellen dat de bodemdaling door zoutwinning leidt tot veranderingen in de morfologie van de Ballastplaat.

## 5 Draagkracht voor vogels

De resultaten die in dit hoofdstuk centraal staan, zijn afkomstig uit deze rapporten:

*Kappers, E.F & F. Versloot. 2023c Draagkracht van de Ballastplaat voor foeragerende vogels Resultaten benthosbemonstering 2022; A&W-rapport 23*

*Kersten, M., J. Krol, J. van der Kamp & K. Rappoldt. 2021. Aantallen en verspreiding van wadvogels op de Ballastplaat en omgeving; Verkenning van de mogelijkheden. EcoCurves rapport 31; versie april 2023.*

*Wortelboer, R., & O. Bensink, 2023. Trends van vogels studiegebied zoutwinning Waddenzee 2022; T0-situatie+1 Friesland Zout. Arcadis-rapport*

### 5.1 Hogere orde effecten van bodemdaling door zoutwinning

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de ecologische monitoring beschouwd. Het gaat om de resultaten van de bemonstering van bodemdierensamenstelling op de Ballastplaat Zuid, de trektellingen van de vogels op de Ballastplaat Zuid en de vogeltellingen op de hoogwatervluchtplaatsen. De aanwezigheid van de bodemdieren en vogels op de Ballastplaat wordt niet direct beïnvloedt door de zoutwinning en de bodemdaling. Eventuele veranderingen in de plaathoogte en sedimentsamenstelling vormen de schakel tussen de bodemdaling en de bodemdieren. De beschikbaarheid en bereikbaarheid van bodemdieren vormen vervolgens de schakels naar de vogels. Daarom worden de veranderingen bij bodemdieren en vogels beschouwd als hogere (2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup>) orde effecten (zie ook de schematische weergaven in de effectketen in Figuur 1-3).

### 5.2 Beschikbaarheid en bereikbaarheid van bodemdieren

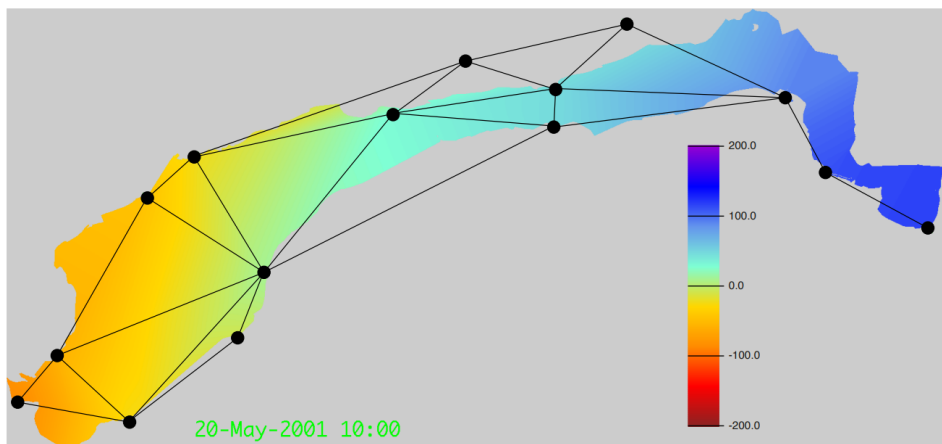
Zoals in dit rapport verschillende keren terugkomt, kent de Ballastplaat Zuid een rijke en diverse gemeenschap bodemdieren. In dit monitoringprogramma zijn we specifiek geïnteresseerd in deze bodemdieren als voedingsbron voor

vogelsoorten. Daarom meten we de ontwikkelingen in de bodemdieren drie keer per jaar. Twee keer tijdens de vogeltrek (mei en september) en één keer in de winterperiode. De bemonstering in de winterperiode is speciaal voor de scholekster die dan van de wadplaten als foerageergebied afhankelijk is.

De biomassa aanwezige bodemdieren wordt omgerekend naar voedselbeschikbaarheid via de diëten van de verschillende vogelsoorten. Hierbij wordt rekening gehouden de omvang van individuele bodemdieren. Voor bijvoorbeeld de Kanoetstrandloper geldt dat alleen kleine schelpdieren meetellen omdat hij zijn prooi in zijn geheel inslikt. Deze diëten zijn gebaseerd op eerder verricht onderzoek (zie Kappers et al, 2023, voor een toelichting hierop en de gebruikte bronnen). Voor veel prooidieren en vogelsoorten geldt echter dat er geen specifieke informatie over hun relatie beschikbaar is. Voor het berekenen van voedselbeschikbaarheid gaan we dan ook uit van gelijkenis tussen prooidieren: wanneer bekend is dat een vogelsoort één soort “kleine wormen” eet, gaan we ervan uit dat hij alle soorten kleine worden eet. Determinatie van een deel van de macrofauna vindt dan ook plaats op familie-niveau. Dit betekent dat we niet onderzoeken met welke soort Slijkgarnaal of Wadslakje we te maken hebben. We noteren eenvoudigweg respectievelijk *Corophium* en *Hydrobia*.

Naast voedselbeschikbaarheid is ook voedselbereikbaarheid van belang. Op de wadplaten wordt dit voor foeragerende vogels bepaald door de droogvalduur en -frequentie. Voor het berekenen van de voedselbereikbaarheid wordt de getijdensimulator Intertides van Ecocurves gebruikt (Rappoldt et al., 2020). Intertides berekent de droogvalduur op iedere gewenste locatie in de Waddenzee aan de hand van een (driehoeks-) interpolatie tussen de getijdenstations (Figuur 5-1).

De combinatie tussen voedselbeschikbaarheid en voedselbereikbaarheid is een maat voor de kwaliteit van de Ballastplaat Zuid als foerageergebied voor vogels. In dit monitoringprogramma noemen we dat de “draagkracht” van het gebied omdat het indicatief is voor de hoeveelheid vogels die van dit gebied gebruik zouden kunnen maken. Hiervoor is het maximale aantal gebruikers (vogels) van belang. Omdat we nog onvoldoende kennis hebben om uit te rekenen om hoeveel vogels dit precies zou gaan, zien we voorlopig alleen in hoeverre deze draagkracht toe- of afneemt. Voor deze berekeningen maken we gebruik van de rekenregels uit het model WADMAP (Rappoldt et al. 2019).



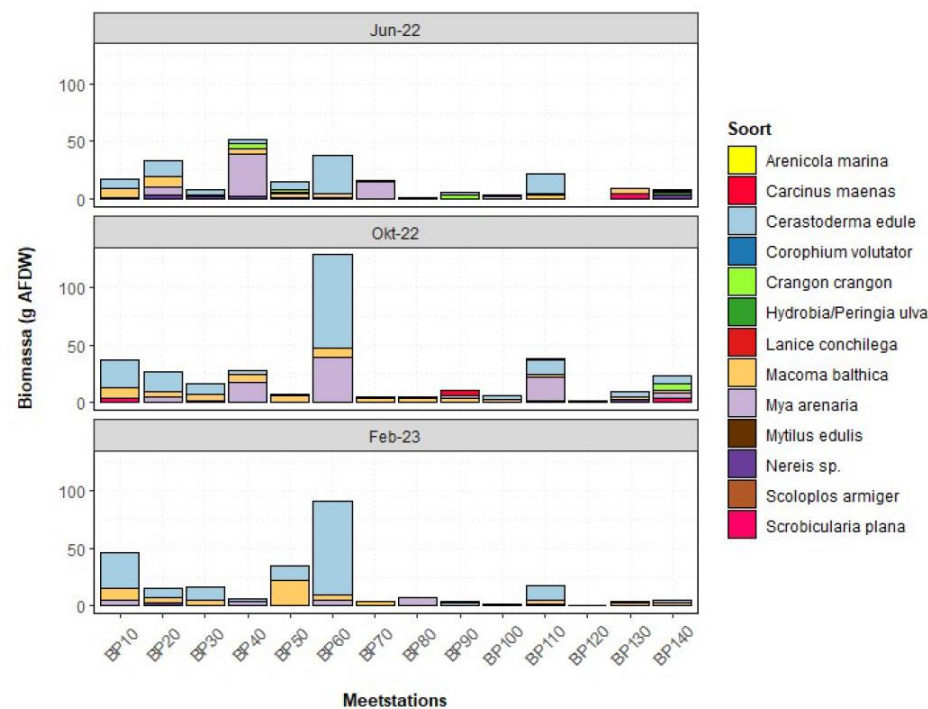
Figuur 5-1 Voorbeeld van een door Intertides uitgevoerde interpolatie van de waterstanden in de gehele Waddenzee op basis van de gemeten waarden op de verschillende getijdstations in de Waddenzee (zwarte stippen) uit Rappoldt et al. (2020).

Eerder onderzoek naar relatie tussen de bovengenoemde draagkracht en de aanwezigheid van vogelaantallen op hoogwatervluchtplaatsen heeft aangetoond dat de verspreiding van een deel van de vogelsoorten zich goed laat voorspellen op basis van de berekende draagkracht (Ens et al. 2019). In dit onderzoek wordt aan een hoogwatertelgebied een laagwaterspreidingsgebied toegewezen. De verwachting is dat de laagwaterspreiding naar de Ballastplaat nog in onvoldoende mate bekend is om dit goed te kunnen doen. De auteurs adviseren dan ook om dit beter te onderzoeken. In dit monitoringprogramma wordt daarom niet alleen gebruik gemaakt van de data van de hoogwatertelgebieden, maar ook onderzoek verricht naar de migratie van vogels tussen de hoogwatertelgebieden en laagwaterspreidingsgebieden.

### 5.3 Aanwezigheid van bodemdieren op de Ballastplaat en de draagkracht per vogelsoort

De bodemdieren op de Ballastplaat zijn bemonsterd in juni en oktober 2022 en in februari 2023 (de laatste meting was voorzien in december 2002, maar deze

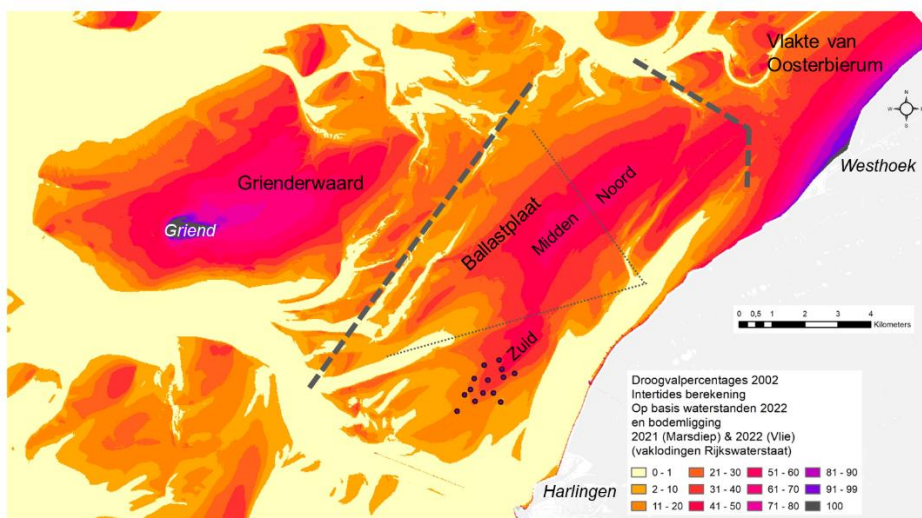
is vanwege hoge waterstanden een aantal keer uitgesteld), tegelijkertijd met de Spijkermetingen. De methodes voor bemonstering, analyse en de bepaling van het asvrijdrooggewicht per m<sup>2</sup>, staan in Kappers et al. (2023c). Figuur 5-2 geeft de aanwezigheid van de biomassa per soort op alle bemonsterde punten weer. In deze figuur is zichtbaar dat de grootste bijdrages aan de biomassa worden geleverd door verschillende schelpdieren, zoals de Kokkel *Cerastoderma edule*, de Strandgaper *Mia arenaria* en het Nonnetje *Limecola (Macoma) balthica*. Dit zijn overigens niet de soorten waarvan de grootste aantallen aanwezig zijn op Ballastplaat, dat zijn namelijk verschillende soorten wormen. In mei waren op enkele locaties ook grote aantallen Wadslakjes *Peringia (Hydrobia) ulvae* aanwezig. Wat heel duidelijk naar voren is dat de verschillen in biomassa en in soortensamenstelling tussen de veertien bemonsterde punten groot zijn.



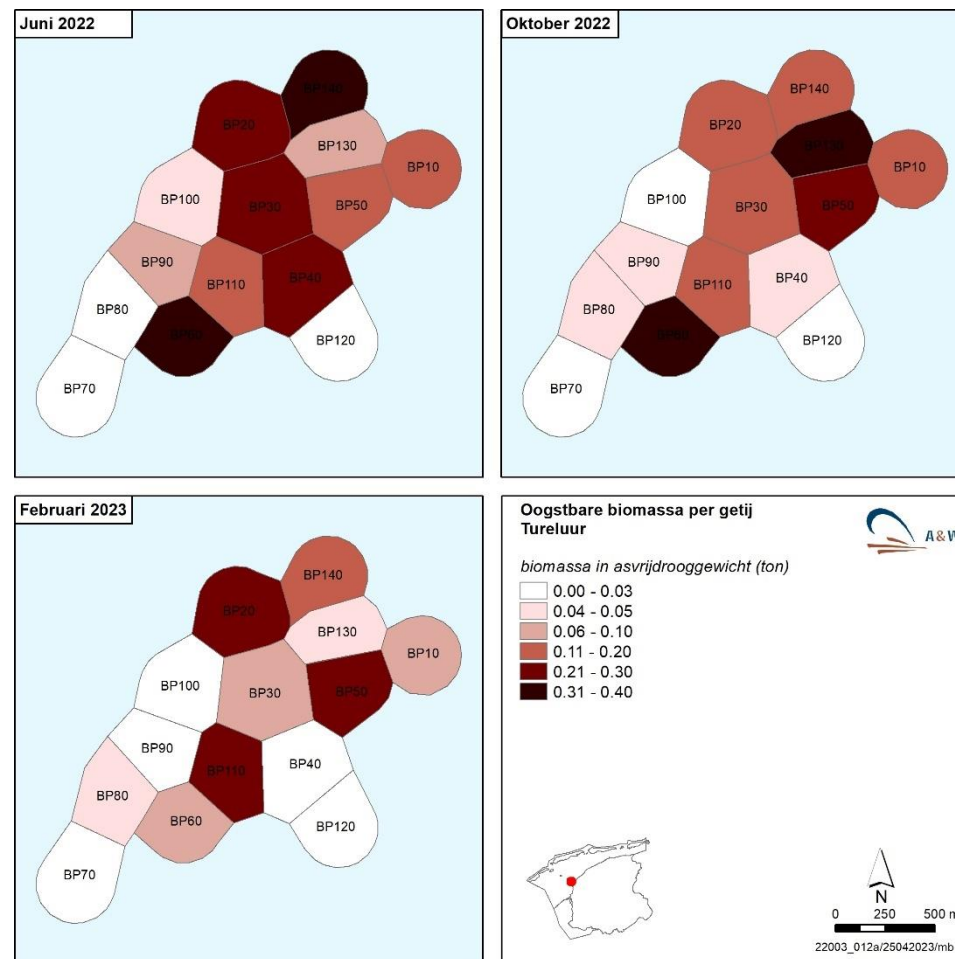
Figuur 5-2 Biomassa in asvrijdrooggewicht per vierkante meter van benthossoorten over alle bemonsterde meetstations van de Ballastplaat in juni, oktober (2022) en februari (2023)



Het dieet per vogelsoort is bepaald op basis van actuele inzichten, waarbij rekening is gehouden met de soorten bodemdieren en hun omvang. Dit levert voor iedere vogelsoort per monsternmoment en per meetstation inzicht in het beschikbare voedsel, zoals is uitgewerkt in Kappers et al. (2023). Vervolgens is per meetstation met het droogvalpercentage (Figuur 5-3) berekend hoeveel voedsel per getij beschikbaar is voor iedere vogelsoort. Het resultaat van de berekeningen is dat voor iedere vogelsoort per bemonstering op een kaart de beschikbare prooidierbiomassa is bepaald. Een voorbeeld van deze resultaten staat in Figuur 5-4, waarbij de oogstbare biomassa voor de Tureluur in beeld is gebracht. Uit deze kaarten wordt duidelijk dat niet overal op de Ballastplaat evenveel voedsel beschikbaar is voor de Tureluurs. Deze verschillen zijn het gecombineerde resultaat van de aanwezigheid van prooien van de Tureluur en van de bereikbaarheid daarvan. De drie kaarten laten ook zien dat op de drie verschillende momenten in de tijd de oogstbare biomassa duidelijke verschilt.



Figuur 5-3 Kaart met de droogvalpercentages van de wadplaten (0%: valt nooit droog; 100%: altijd droog). De stippen zijn de locaties van de spijkermetingen. De drie belangrijke telgebieden Griend, Westhoek en Harlingen zijn ook aangegeven.

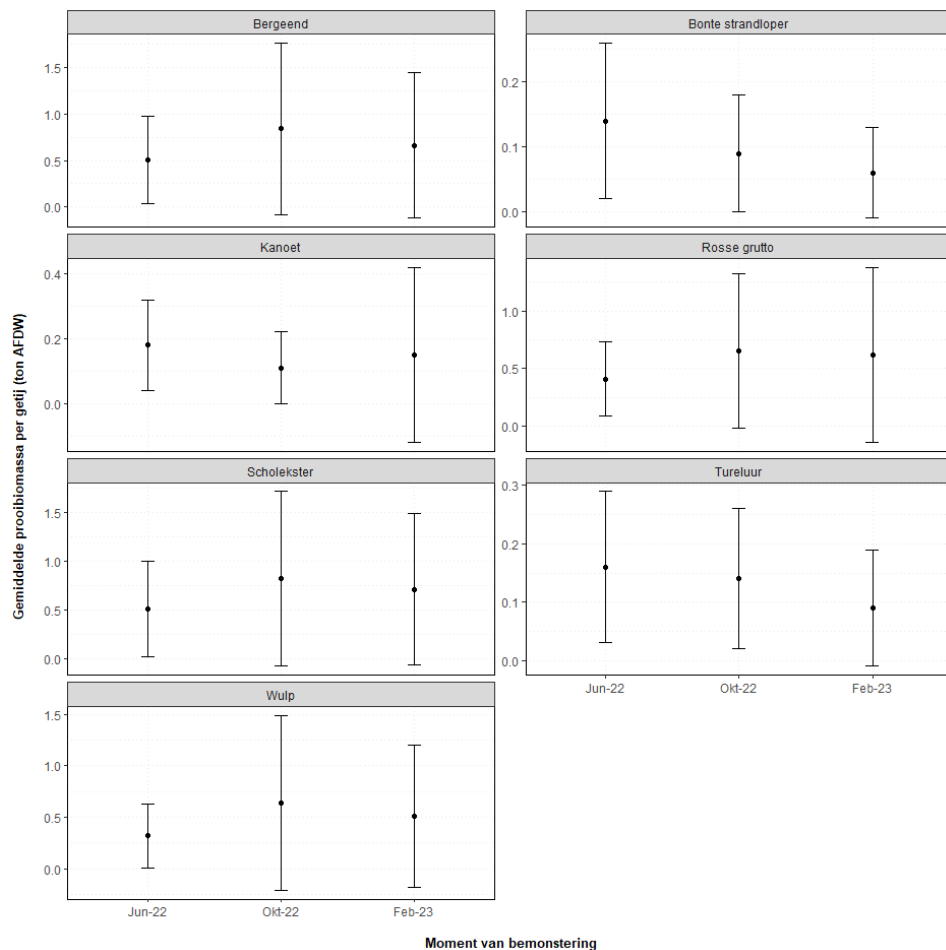


Figuur 5-4 Kaart met de van de oogstbare biomassa per getij voor de Tureluur voor de verschillende momenten van bemonstering.

De variatie in de tijd in de beschikbare biomassa is in beeld gebracht in Figuur 5-5 voor zeven vogelsoorten, door de gemiddelde beschikbare biomassa over alle punten op de Ballastplaat te berekenen. De beschikbare biomassa verschilt per vogelsoort. De laagste waarden voor Bonte strandloper, Kanoetstrandloper en Tureluur, de hoogste voor Bergeend, Wulp en Scholekster. Deze verschillen



zijn met name het gevolg van de voedselvoorkeuren van de verschillende soorten. Per vogelsoort verschilt het patroon in de gemiddelde beschikbare biomassa. Vrijwel alle mogelijke variaties treden op, alleen een toename in opeenvolgende waarden zit er niet tussen. Ook de standaarddeviatie varieert duidelijk in de tijd en per soort.



Figuur 5-5 Grafiek met de gemiddelde biomassa met de standaarddeviatie voor alle monsterlocaties per getij per vogelsoort voor de drie bemonsteringsmomenten. Let op: de waarden op de y-as zijn voor iedere soort anders.

Het belangrijke resultaat van monitoring van de bodemdieren op de Ballastplaat in 2022 en begin 2023 is dat duidelijk is geworden dat het gebied een rijke en gevarieerde bodemfauna heeft. Daarmee is voor veel verschillende wadvogels voedsel beschikbaar, gedurende een groot deel van het jaar.

## 5.4 Vogels op de Ballastplaat

Na de eerste twee verkennende tellingen in 2021 zijn in 2022 drie tellingen uitgevoerd om de trek van de foeragerende wadvogels tussen de Ballastplaat naar en de hoogwatervluchtplaatsen in beeld te brengen. Deze tellingen hebben als doel om het belang van de Ballastplaat Zuid voor foeragerende vogels scherp te krijgen. Uiteindelijk willen we aan de hand van de trektellingen de volgende vragen beantwoorden.

- Welk vogelsoorten maken daadwerkelijk gebruik van het bodemdalingsgebied om te foerageren?
- Hoeveel procent van welke vogelsoort is afkomstig van welke hoogwatervluchtplaats?

Daarnaast willen we de rol van de Ballastplaat Zuid beter begrijpen bij verschillende omstandigheden (verhoging of verlaging van het tij).

De drie tellingen in 2022 zijn uitgevoerd op 20 mei, 3 augustus en 29 september om daarmee de pieken van de voorjaars- najaarstrek te dekken. De uitkomsten van de tellingen zijn samengevat in Tabel 5-1. Ze worden beschouwd als een goede eerste indruk.

De Scholekster, waarvan in september al vrij grote aantallen op de Ballastplaat foerageren, vliegen vrijwel allemaal naar het rustgebied (telgebied) op de dijk bij Harlingen (nabij de Frisia-fabriek). Andere vogelsoorten overtijen daar vrijwel niet. De goed herkenbare en telbare Wulpen vliegen bijvoorbeeld vooral naar Westhoek en een deel naar Griend.

In Tabel 5-1 zijn niet alleen getallen opgenomen bij de verschillende vogelsoorten, maar er staan ook enkele vraagtekens in. In het rapport van Kerstens et al. (2023) zijn hiervoor toelichtingen opgenomen, waarvan hieronder een beknopte weergave volgt. De vraagtekens bij de tellingen in mei zijn het gevolg van beperkt zicht, waardoor van met name de kleinere vogelsoorten op en van de Ballastplaat zuid niet goed konden worden geteld. In september waren de aantallen van de Kanoet op de hoogwatervluchtplaats niet goed te tellen, omdat veel vogels binnendijks verbleven.

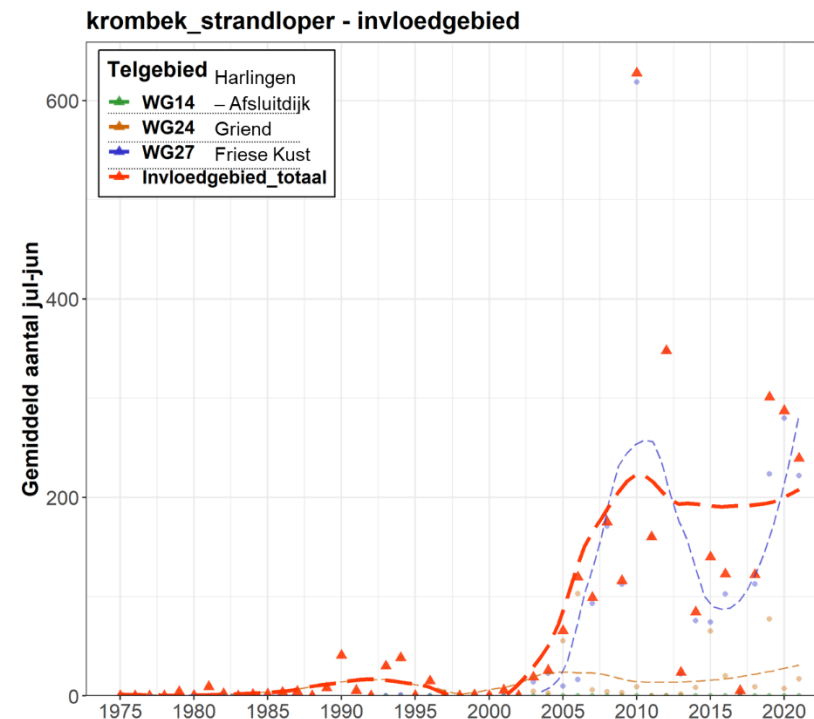
De waarnemingen in 2022 en 2021 laten in ieder geval zien dat vrijwel geen Kluten foerageren op de Ballastplaat, ondanks de tegenwoordige aanwezigheid van veel Kluten op het nabijgelegen telgebied Zwarte Haan. Hiermee wordt bevestigd dat het niet nodig is om de aantallen van de Kluut te beschouwen als onderdeel van het monitoringsprogramma. Ook de Steenloper is vrijwel geheel afwezig en deze soort is terecht geen onderdeel van het monitoringsprogramma.

Tabel 5-1 Eerste schattingen van de maximale aantallen wadvogels op Ballastplaat-Zuid en het seizoen (maand) wanneer deze optreden. Tevens is aangegeven van welke hoogwatervluchtplaatsen (HVP's) deze vogels gebruik maken (uit Kerstens et al, 2023).

	maand	aantal	HVP's
Scholekster Zilverplevier	sep	2000	90% Harlingen, 5% Westhoek, 5% Griend
	mei	?	
Wulp Rosse Grutto	sep	500	40%(?) Westhoek, > 1% Griend
	aug	1000	40%(?) Westhoek, > 25% Griend
Tureluur Kanoet	mei	500	?
	aug	500	100% Griend
Bonte Strandloper	aug	1000	100% Westhoek-Zwarte Haan
	mei	?	
	aug	1000	100% Griend
Drieteenstrandloper Steenloper Kluut	sep	?	100% Griend
	mei	?	
	aug	1500	100% Griend, 0%(?) Westhoek
Steenloper Kluut	sep	2500	95% Griend
	mei	?	100% Griend
Steenloper Kluut	aug	nihil	
	sep	nihil	

In de lijst van vogels die aanwezig zijn op de Ballastplaat ontbreekt de Krombekstrandloper. De Krombekstrandloper is in de rapportage “Trends van vogels studiegebied zoutwinning Waddenzee” (Wortelboer & Bensink, 2023) toegevoegd als achtste soort waarvan de aantalsontwikkelingen zijn beschouwd. Figuur 5-6 laat de jaargemiddelde aantallen zien op de hoogwatervluchtplaatsen nabij de Ballastplaat, die laag zijn in vergelijking met de andere vogelsoorten. Tot 2000 werden op de hoogwatervluchtplaatsen nabij de Ballastplaat nauwelijks Krombekstrandlopers waargenomen. Tussen 2000 en 2010 zijn de waargenomen aantallen op hoogwatervluchtplaatsen Friese kust: Zwarte Haan – Harlingen (WG27) snel toegenomen, met in één jaar zelfs een jaargemiddelde van meer dan zeshonderd exemplaren. Op de twee andere hoogwatervluchtplaatsen nabij de Ballastplaat worden vrijwel geen

Krombekstrandlopers waargenomen. De trendlijn van de hoogwatervluchtplaatsen in de rest van de Westelijke Waddenzee (referentiegebied) laat een tegenovergestelde ontwikkeling zien, met een sterke afname tot rond 2000, gevolgd door een nog verdere afname.



Figuur 5-6 Ontwikkeling in jaargemiddelde aantallen (juli - juni) Krombekstrandloper in de periode juli 1975 t/m juni 2022 voor de telgebieden in het invloedgebied. Jaartallen op de x-as geven het jaartal aan het begin van elke telperiode (juli - juni) aan (Wortelboer & Bensink, 2023).

Op basis van deze waarnemingen lijkt dus een verschuiving te hebben plaatsgevonden van de hoogwatervluchtplaatsen in het referentiegebied naar de Friese kust in het invloedgebied. Waarom deze verschuiving is opgetreden, is niet bekend. Ook voor een aantal andere soorten heeft een toename plaatsgevonden van de aantallen bij de Friese kust, zoals bij de Tureluur, Wulp en Zilverplezier (zie de rapportage “Trends van vogels studiegebied zoutwinning

Waddenzee”, (Wortelboer & Bensink, 2023) evenals voor de Kluut en de (ruiende) Bergeend (zie Figuur 2-5). Eerder is de veronderstelling geuit dat de toename van een aantal soorten het gevolg is van de toename van de foerageermogelijkheden, doordat het areaal droogvallende plaat is toegenomen en de hoogte van de droogvalduur ook is toegenomen (Arcadis, 2020). Het is mogelijk dat, net als de Kluut, de aantallen van de Krombekstrandloper op de Ballastplaat Zuid zeer laag zijn, ondanks de grotere aantallen op de hoogwatervluchtplaats Friese kust. Aan de laagwatertrektellers zal worden gevraagd om te kijken naar de eventuele aanwezigheid van Krombekstrandloper op de Ballastplaat Zuid.

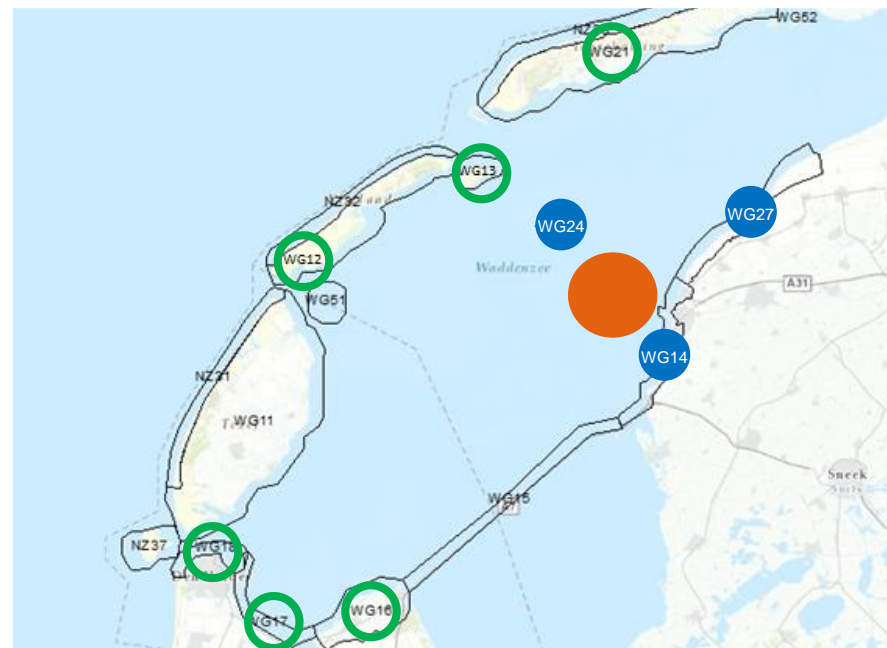
De eerste teljaren op de Ballastplaat hebben eerste inzichten, maar ook veel vragen opgeleverd. Het is moeilijk te zien in hoeverre de Ballastplaat Zuid alleen staat, of dat de trek vooral via Ballastplaat-midden loopt. Ook geven de verschillende trektellingen nog een inconsistent beeld. Hierdoor zijn de onderzoekers nog niet zo ver gegaan dat de ze de hoogwatervluchtplaats-analyses op de trektellingen hebben aangepast.

## 5.5 Vogels op de hoogwatervluchtplaatsen

Sovon is het kennisinstituut dat vogeltellingen in Nederland coördineert en de data archiveert. Voor vogelaantallen op de hoogwatervluchtplaatsen in en rond de Waddenzee is data vanaf 1975 beschikbaar. Op basis van deze data, die elk jaar met nieuwe gegevens wordt aangevuld, bestuderen we de trends in de vogelaantallen in de buurt van het bodemdalingsgebied en vergelijken dit met een aantal andere hoogwatervluchtplaatsen in de Westelijke Waddenzee (figuur 5-7).

Uit onderzoek naar de bruikbaarheid van de data bleek dat de tellingen van voor 1995 minder betrouwbaar zijn. Dit heeft te maken met het beperkte aantal tellingen uit de periode van voor 1995 in de database. Voor de ontbrekende gegevens wordt in de Sovondatabase aan “inputting” gedaan. Dat wil zeggen dat de in dit geval de ontbrekende gegevens worden geschat op basis van interpolatie. Wanneer er te weinig data beschikbaar is en te veel geïnterpoleerd moet worden, zijn de resultaten onbetrouwbaar. Het is daarom verstandig alleen naar de trends te kijken na 1995. In Tabel 5-2 staat een overzicht van de waargenomen trends in de afgelopen 10 jaar. Wat direct duidelijk is bij het

bekijken van de tabel is dat trends voor de verschillende vogelsoorten duidelijk verschillen en ook dat de trends in het referentiegebied en het invloedsgebied niet voor alle soorten hetzelfde is. Overigens geldt dit ook op het niveau van de individuele hoogwatervluchtplaatsen, zoals zichtbaar is in de grafiek met de aantallen Krombekstrandlopers (Figuur 5-6).



Figuur 5-7 Ligging van het gebied waar bodemdaling kan optreden (oranje cirkel), De blauwe cirkels zijn de hoogwatervluchtplaatsen die tot het invloedsgebied gerekend worden en groen cirkels worden als referentiegebied gehanteerd (uit Wortelboer & Bensink, 2023).

De ontwikkelingen in de vogelaantallen zijn geen gevolg van de bodemdaling, De bodemdaling door de zoutwinning is in september 2020 begonnen en de tot nu toe beperkte bodemdaling heeft geen gevolgen gehad voor de bodemligging en de beschikbaarheid en bereikbaarheid van het voedsel van de vogels.

Tabel 5-2 Trend in de afgelopen 10 jaar, op basis van de trends in jaargemiddelde aantallen en de MSI (Multi-Species Index) voor de acht vogelsoorten (op basis van Wortelboer en Bensink, 2023). (+)=(sterke) toename; = stabiel; (-) (sterke) afname.

Vogelsoort	Referentiegebied	Invloedsgebied
Bonte strandloper	-	++
Kanoetstrandloper	--	-
Krombekstrandloper	+	=
Rosse grutto	-	+
Scholekster	-	-
Tureluur	+	++
Wulp	-	-
Zilverplevier	=	=
Totaal	-	+

De afname van de aantallen scholeksters past in de landelijke trend die al een tijd aan de gang is (Ens et al., 2009). Deze grootschalige ontwikkeling werkt door in de gehele Waddenzee. De scholekster is een soort waarvan de trektellingen laten zien dat de aantallen op de Ballastplaat Zuid waarschijnlijk gekoppeld zijn aan de aantallen op het telgebied op de dijk bij Harlingen. Ook de Wulp is in relatief grote aantallen aanwezig op de Ballastplaat Zuid, maar de trektellingen laten zien dat deze vogels zich verspreiden over verschillende hoogwatervluchtplaatsen. In potentie is het volgen van de aantallen Scholeksters als indicator van het gebruik van de Ballastplaat daarom eenvoudiger dan het beschouwen van de Wulp. Overigens geldt ook voor de Wulp dat de aantallen overal afnemen. De aantallen van de Tureluur en de Bonte strandloper zijn sterk toegenomen in het invloedsgebied. Bij de Tureluur is ook sprake van een toename op andere hoogwatervluchtplaatsen in de Westelijke Waddenzee, bij de Bonte strandlopers is juist sprake van een afname in de referentiegebieden. De Rosse Grutto kent ook een toename in het invloedsgebied en een afname in de referentiegebieden. Het is nog niet duidelijk waardoor de toename van deze drie soort in het invloedsgebied wordt veroorzaakt. De werkhypothese is voorlopig dat de draagkracht voor deze soorten in de nabijheid van de Friese kust (WG27) is toegenomen. Dit geldt ook voor de toename van de aantallen Kluten en ruiende Bergeenden (Figuur 2-5) in dezelfde omgeving.

## 5.6 Rol van de Ballastplaat zuid als foerageergebied

De Ballastplaat Zuid is relatief rijk aan voedsel voor de verschillende vogelsoorten, maar de bereikbaarheid ervan is beperkt. In de buurt liggen grote aaneengesloten gebieden die langer droogvallen en ook rijk zijn aan voedsel (Duijns et al., 2022). De vraag is welke rol de Ballastplaat Zuid speelt voor het foerageren door de verschillende vogelsoorten.

De vergelijking tussen de vogelaantallen op de hoogwatervluchtplaatsen en de aantallen op de Ballastplaat geeft een eerste gevoel voor het belang van de Ballastplaat zuid als foerageergebied in vergelijking met de rest van de Ballastplaat, de Grienderwaard en de Vlakte van Oosterbierum. Een eerste grove vergelijking van de waargenomen vogelaantallen op de Ballastplaat Zuid in Tabel 5-1 en de aantallen die op de hoogwatervluchtplaatsen worden waargenomen (in Wortelboer & Bensink, 2023), laat voor de meeste vogelsoorten zien dat de aantallen op de hoogwatervluchtplaatsen een veelvoud zijn van de aantallen die op de Ballastplaat Zuid worden aangetroffen. Alleen voor de Tureluur en de Zilverplevier komen de aantallen op de hoogwatervluchtplaatsen overeen met de aantallen op de Ballastplaat Zuid. Overigens gaat deze directe vergelijking niet helemaal op, omdat de aantallen op de hoogwatervluchtplaatsen de jaargemiddelde aantallen betreffen, waardoor de piekvoorkomens in het jaar worden uitgemiddeld. De aantallen in Tabel 5-1 betreffen juist de aantallen per periode. Het kan daarom nog steeds zo zijn dat de 1000 Tureluurs op de Ballastplaat Zuid in augustus, onderdeel zijn van een veel groter aantal dat in die periode aanwezig was op de hoogwatervluchtplaats Friesche kust (Westhoek-Zwarte Haan, WG27). Toekomstige trektellingen in combinatie met aangepaste analyses van de hoogwatervluchtplaats tellingen zullen dit duidelijker maken.

De resultaten van de trektellingen (Kerstens et al., 2023) in combinatie met de aantallen op de hoogwatervluchtplaatsen (in Wortelboer & Bensink, 2023) zijn nog niet voldoende om een weging toe te kennen aan de aantallen op de hoogwatervluchtplaatsen, om daarmee de relatie met de vogelaantallen op de Ballastplaat zuid beter vast te stellen, maar ze geven al wel bruikbare inzichten. Op basis van de waargenomen aantallen vogels op de Ballastplaat Zuid (zie Tabel 5-1) constateren we dat grotendeels de juiste vogelsoorten op de hoogwatervluchtplaatsen (zie Tabel 5-2) worden beschouwd. Voor de Krombekstrandloper geldt dat op de Ballastplaat tijdens de trektellingen moet



worden gekeken of de soort daar werkelijk ontbreekt. Ook de aanwezigheid van de Drieteenstrandloper moet nog worden gecontroleerd in het veld, hoewel op grond van de voorkeur van deze soort voor zandige ondergronden niet wordt verwacht dat er grote aantallen op de relatief slibrijke Ballastplaat aanwezig zullen zijn.

## 5.7 Conclusies tweede en derde orde effecten

Omdat geen sprake is van eerste orde effecten van de bodemdaling door de zoutwinning is het niet plausibel dat sprake zou zijn van tweede orde effecten op de aanwezige bodemdieren en al helemaal niet derde orde effecten, op de vogelaantallen. De conclusies zijn met name gericht op het vaststellen van het belang van de Ballastplaat voor foeragerende vogels. Zo kan in de toekomst, indien zich wel eerste orde effecten zouden voordoen, een meer eenduidig verband worden gelegd met de bodemdieren en foeragerende vogels.

- De Ballastplaat Zuid is rijk aan bodemdieren met als gevolg dat er verschillende prooidieren voor verschillende vogelsoorten aanwezig zijn.
- De beschikbare biomassa prooidieren per getij verschilt per vogelsoort, is ruimtelijk gedifferentieerd en varieert in de tijd.
- De trektellingen van de vogels naar en van de Ballastplaat geven een eerste inzicht in de aantallen van de verschillende soorten die tijdens hun piekvoorkomens daar in 2022 foerageerden en van welke hoogwatervluchtplaats zij afkomstig waren.
- Geen enkele van de acht vogelsoorten waarvan de jaargemiddelde ontwikkelingen worden beschouwd, laat een ontwikkeling in het studiegebied zien die aanleiding geeft om een relatie met de bodemdaling te veronderstellen. Dit wordt ook niet verwacht, omdat de omvang van de bodemdaling nog heel beperkt is en er geen nadelige veranderingen in de bodemhoogte en sedimentsamenstelling zijn waargenomen.

## 6 Conclusies en slotwoord

### 6.1 Algemene conclusies

Na de start van de productie in 2020 is de bodemdaling onder Ballastplaat Zuid nu meetbaar op gang gekomen. De gemeten en berekende bodemdaling valt binnen de grenzen van de vergunningen. Deze bodemdaling lijkt iets groter te zijn dan de omvang die volgt uit de berekende zoutproductie en groei van de zoutcaverne, maar de conclusie is dat dit nog valt binnen de meetfout.

De gemiddelde bodemdalingssnelheid, opgeteld bij de snelheid van zeespiegelstijging ligt met 2,74 mm per jaar ruim beneden de gebruiksruimtegrens van 5 mm per jaar. Ook wanneer er rekening wordt gehouden met de uitkomsten van de meest recente Zeespiegelmonitor (Stolte et al., 2023), wordt de gebruiksruimtegrens niet overschreden.

De morfologische ontwikkelingen van de wadplaten en geulen zetten zich op een vergelijkbare wijze voort als in de tientallen jaren ervoor. In de omgeving van Harlingen, neemt het areaal droogvallende platen nog steeds toe. In het studiegebied voor de zoutwinning bedraagt deze toename ca. 77 ha per jaar.

In het bodemdalingsgebied zelf geven de Spijker- en Raaimetingen geen aanleiding om te veronderstellen dat de bodemdaling door zoutwinning leidt tot veranderingen in de morfologie van de Ballastplaat. Dit geldt ook voor de metingen van de sedimentsamenstelling.

Omdat 1<sup>ste</sup> orde effecten (fysische veranderingen als gevolg van bodemdaling) niet zijn aangetroffen, worden 2<sup>de</sup> (voedselbeschikbaarheid) en 3<sup>de</sup> orde (aanwezige vogelfauna) effecten niet verwacht. De variatie in draagkracht voor foeragerende vogels, of in de vogelaantallen zelf tonen geen zorgwekkende ontwikkelingen die op een mogelijke negatieve relatie met bodemdaling door zoutwinning duiden.

Geconcludeerd kan worden dat de zoutwinning onder de Ballastplaat Zuid tot dusver geen effect heeft op de beschermde natuurwaarden van de Waddenzee.

### 6.2 Slotwoord

Dit is de eerste keer dat dit samenvattende rapport van de monitoringresultaten beknopt is weergegeven. We verwachten op deze manier de achtergrond en de resultaten toegankelijker te presenteren, zonder de kwaliteit ervan te kort te doen. Zodoende hopen we met deze rapportage een groter aantal belanghebbenden te bereiken en te interesseren voor de achterliggende rapporten.

Het monitoringsprogramma heeft de afgelopen jaren meer focus gelegd op de Ballastplaat. In dit rapport wordt zelf veelvuldig over de Ballastplaat Zuid gesproken. Met deze focus proberen we de schakels van de effectketen en hun onderlinge relaties nauwgezet in beeld te krijgen. Met name de rol van de Ballastplaat Zuid in de laagwatersverspreiding van vogels heeft nog veel aandacht nodig omdat dit de betekenis van toekomstige bodemdaling voor beschermde natuurwaarden gaat helpen duiden.

## 7 Referenties en rapporten

### 7.1 Rapporten Monitoring Frisia over 2022

- Antea, 2022. Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee; Jaarrapportage 2022. Antea projectnummer 0475051.100; definitief revisie 00; 5 januari 2023
- Chorus, T.A., 2023. Beheerscyclus Meet- en regelprotocol Havenmond over het jaar 2022. Well Engineering Partners B.V notitie versie 1.1.
- Kappers, E.F., J. Krol, M. Olivierse & R. Snoek. 2023a. Wadsedimentatie Studiegebied zoutwinning Waddenzee. Jaarrapport 2022. A&W-rapport 21-010.
- Kappers, E.F., F. Versloot & R. Snoek, 2023b. Sedimentsamenstelling Studiegebied zoutwinning Waddenzee Jaarrapport 2022. A&W-rapport 21-009.
- Kappers, E.F & F. Versloot. 2023c Draagkracht van de Ballastplaat voor foeragerende vogels Resultaten benthosbemonstering 2022; A&W-rapport 23
- Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.
- Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden
- Kersten, M., J. Krol, J. van der Kamp & K. Rappoldt. 2021. Aantallen en verspreiding van wadvogels op de Ballastplaat en omgeving; Verkenning van de mogelijkheden. EcoCurves rapport 31; versie april 2023.
- Spaans, D. & J. Cleveringa, 2023. Monitoring situatie 2022 bodemligging studiegebied zoutwinning Waddenzee. Arcadis-rapport
- Wortelboer, R., & O. Bensink, 2023. Trends van vogels studiegebied zoutwinning Waddenzee 2022; T0-situatie+1 Frisia Zout. Arcadis-rapport.

### 7.2 Referenties

- Baptist et al. 2019 Beneficial use of dredged sediment to enhance salt marsh development by applying a 'Mud Motor': evaluation based on monitoring.
- Baptist, M., J.T. Wal, E. Folmer, U. Gräwe, K. Elschot, 2019. An ecotope map of the trilateral Wadden Sea. Journal of Sea Research. 152
- Beukema, J. J. 1976. Biomass and species richness of the macro-benthic animals living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea. Netherlands Journal of Sea Research 10:236-261.

- Colina Alonso, A., B. Smits & J. Vroom, 2021b. Stijging baggerhoeveelheden vaargeul Boontjes. Deltares rapport met Kenmerk: 11206799-007-ZKS-0001. Versie 1.0.
- Colina Alonso, A., Smits, B.P., Vroom, J. (2021). Stijging Baggerhoeveelheden Vaargeul Boontjes. Deltares rapport 11206799-007-ZKS-0001 versie 1.0.
- Colina Alonso, A., Van Maren, D. S., Elias, E. P. L., Holthuijsen, S. J., & Wang, Z. B., 2021b. The contribution of sand and mud to infilling of tidal basins in response to a closure dam. Marine Geology, 439, 106544.
- Commissie voor de milieueffectrapportage, 2022. Zoutwinning Waddenzee; Advies Auditcommissie over monitoringsjaar 2021. Commissie voor de milieueffectrapportage Kenmerk 17 november 2022 / projectnummer: 3654
- Compton, T. J., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekinga, A., ten Horn, J., Smith, J., Galama, Y., Brugge, M., van der Wal, D., van der Meer, J., van der Veer., H. W., & Piersma, T. (2013). Distinctly variable mudscapes: Distribution gradients of intertidal macrofauna across the dutch wadden sea. Journal of sea research, 82, 103-116.
- Duijns, S.; Holthuijsen, S.; Koolhaas, A.; Piersma, T. (2013). Het belang van de Ballastplaat voor wadvogels in de westelijke Waddenzee : een literatuurstudie naar de effecten van zoutwinning op de aanwezige wadvogels. NIOZ-rapport, 2013(8). NIOZ: Texel. 49 pp.
- Duijns S., K. Troost, E. van Winden, H. Schekkerman, C. Rappoldt, J. Nienhuis & E.O. Folmer, 2022. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag - rapportage tot en met monitoringjaar 2021. Sovon-rapport 2022/30.
- Ens B. J., J. van der Meer, K. Troost. E. van Winden, H. Schekkerman & K. Rappoldt, 2019 Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag; Rapportage t/m monitoringjaar 2018. Sovon-rapport 2019/22.
- Ens B.J., Eckhardt R., Kampichler C., Kleefstra R., Schekkerman H., van Wijk J. & Nienhuis J. 2021. Aard en omvang verstoring van overtijdende wadvogels voor de kwelder bij Westhoek. Sovon-rapport 2021/30. Sovon Vogelonderzoek Nederland.
- Ens, B.J., B. Aarts, K.H. Oosterbeek, M. Roodbergen, H. Sierdsema, R. Slaters & W. Teunissen. 2009b, Onderzoek naar de oorzaken van de dramatische achteruitgang van de Scholekster in Nederland. Limosa 82 (2), 83-92.
- Heidinga, D.E., J. Latour & M. Bekkema. 2022. Impact bodemberoering door garnalenvisserij in de Waddenzee. Altenburg en Wymenga; A&W-notitie : 22-388.

- Krol, J., 2022. Sedimentatie metingen op het wad van Ameland, Paesens, Piet Scheve plaat, Engelsmanplaat en Schiermonnikoog; rapport 2021. Rapport Natuur Centrum Ameland.
- Oost, A.P., J. Cleveringa & M. Taal, 2019. Morfologie Kombergingsgebieden Marsdiep en Vlie; Beheerbibliotheek Waddenzee, versie 2019. Deltares rapport 11203669-000-ZKS-0006.
- Rappoldt, C., B.J. Ens en H. Schekkerman, 2019. Wadvogel habitat model Wadmap; Technische documentatie. EcoCurves rapport 30.
- Rappoldt, C., O.R. Roosenschoon, D.W.G. van Kraalingen, 2020. InterTides maps of the intertidal by interpolation of tidal gauge data. EcoCurves rapport 19.
- Stolte, W., F. Baart, S. Muis, M.P. Hijma, M. Taal, D. Le Bars & S. Drijfhout, 2023. Zeespiegelmonitor 2022. Deltares rapport met kenmerk 11209266-000-ZKS-0001.
- Van der Vegt, H. & J. Cleveringa. 2022. Dynamische Vaargeulbeheer Waddenzee. Deltares rapport met kenmerk 11208040-009-ZKS-0003.
- Van Weerdenburg, R., J. Vroom & B. van Maren, 2019. Transport of Mud Motor sediment; Modelling hydrodynamics and sediment transport. Deltares rapport met kenmerk 1209751-012-ZKS-0002
- Ysebaert, T., P. Meire, P. M. J. Herman, and H. Verbeek. 2002. Macrobenthic species response surfaces along estuarine gradients: prediction by logistic regression. Marine Ecology Progress Series 225:79-95.

Website: <https://testsysteemrapportage.nl/wadden/index.html> Digitale Systeemrapportage van de Waddenzee; Abiotische indicatoren (geraadpleegd op 21 april 2023)

## 7.3 Rapporten monitoring Frisia Havenmond voorgaande jaren

### Rapporten Monitoring Frisia Havenmond over 2020

- Antea, 2021. Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee; Jaarrapportage 2020". Rapport Antea.
- Arcadis, Monitoring studiegebied zoutwinning Waddenzee; Rapportage over 2021. Arcadis rapport.

- Fieten, N. Van der Zee, E., R. Snoek, 2021. Sedimentsamenstelling Studiegebied Zoutwinning Waddenzee; Jaarrapport 2021. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek in samenwerking met WaterProof, Feanwâlden, AW rapport 21-009.
- Spaans, D. & J. Cleveringa, 2021. Monitoring situatie 2021 bodemligging studiegebied zoutwinning Waddenzee. Arcadis-rapport
- Wortelboer, R., & O. Bensink, 2022. Monitoring Tnul-situatie ecologie studiegebied zoutwinning Waddenzee; Data-analyse. Arcadis-rapport
- Fieten, N. 2022. "Draagkracht van de Ballastplaat voor foeragerende vogels; Analyse pilot benthosbemonstering 2021". A&W rapport 22-003.
- Van der Zee, E., J. Krol, N. Fieten, R. Snoek. 2021. Wadsedimentatie Studiegebied Zoutwinning Waddenzee; Jaarrapport 2021. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, in samenwerking met Natuurcentrum Ameland en WaterProof, Feanwâlden. AW rapport 21-010.
- Kersten, M., J. Krol, J. van der Kamp & K. Rappoldt. 2021. Aantallen en verspreiding van wadvogels op de Ballastplaat en omgeving; Verkenning van de mogelijkheden. EcoCurves rapport 31.

### Rapporten Monitoring Frisia Havenmond over 2020

- Arcadis, 2021. Monitoring T0-situatie studiegebied zoutwinning Waddenzee – Rapportage over 2020, Arcadis.
- Antea, 2021. Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee; Jaarrapportage 2020". Rapport Antea.
- Van der Zee, E., J. Krol, M. Olivierse, R. Snoek. 2021a. Wadsedimentatie Studiegebied Zoutwinning Waddenzee; Jaarrapport 2020..Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, in samenwerking met Natuurcentrum Ameland en WaterProof, Feanwâlden.
- Van der Zee, E., R. Snoek, M. Olivierse, L. Perk 2020b. Sedimentsamenstelling Studiegebied Zoutwinning Waddenzee; Jaarrapport 2020. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek in samenwerking met WaterProof, Feanwâlden
- Bergsma, J., S. de Haan & J. Cleveringa, 2020. Monitoring t0-situatie bodemligging Waddenzee; Zoutwinning havenmond. Arcadis-rapport
- B. Kater, B.& K. Wesdorp, 2021. Monitoring Tnul-situatie ecologie studiegebied zoutwinning Waddenzee; Data-analyse. Arcadis-rapport.



### Rapporten Monitoring Frisia Havenmond over 2019

- Arcadis, 2020. Monitoring T0-situatie studiegebied zoutwinning Waddenzee – Rapportage over 2019, Arcadis, 30 juni 2020
- Antea, 2020. Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee; Jaarrapportage 2019”. Rapport Antea projectnummer 0453266.100 19 maart 2020.
- Van der Zee, E., J. Krol, M. Olivierse, R. Snoek. 2020a. Wadsedimentatie Studiegebied Zoutwinning Waddenzee; Jaarrapport 2019. A&W-rapport 2527.19 Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, in samenwerking met Natuurcentrum Ameland en WaterProof, Feanwâlden.
- Van der Zee, E., R. Snoek, M. Olivierse, L. Perk 2020b. Sedimentsamenstelling Studiegebied Zoutwinning Waddenzee; Jaarrapport 2019. A&W-rapport 2525.19 Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek in samenwerking met WaterProof, Feanwâlden
- Bergsma, J. & J. Cleveringa, 2020. Monitoring t0-situatie bodemligging Waddenzee; Zoutwinning havenmond. Arcadis-rapport
- Kater, B., K. Wesdorp & H. van Lavieren. 2020. Monitoring Tnul-situatie ecologie studiegebied zoutwinning Waddenzee; Data-analyse. Arcadis-rapport

### Rapporten Monitoring Frisia Havenmond over 2018

- Antea, 2019. Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee; Rapportage GNSS metingen Oktober 2018 - September 2019”. Rapport Antea 11 decmeber 2019
- E. van der Zee, J. Krol, M. Olivierse, R. Snoek. 2018a. Wadsedimentatie Ballastplaat 2018.Jaarrapport 2018. A&W-rapport 2527 Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden
- E. van der Zee, R. Snoek, M. Olivierse, L. Perk 2018b. Sedimentsamenstelling Ballastplaat. Jaarrapport 2018. A&W-rapport Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden
- Bergsma, J. & J. Cleveringa, 2019. Monitoring t0-situatie bodemligging Waddenzee concept; Zoutwinning havenmond. Arcadis-rapport 079824510 0.1
- Lysen, L. 2019. Monitoring Tnul-situatie ecologie studiegebied zoutwinning Waddenzee; Data-analyse. Arcadis-rapport

## Bijlage A Actuele adviezen Auditcommissie

De Commissie voor de milieueffectrapportage (2022) geeft een aantal algemene en specifieke adviezen en vragen voor Frisia, die in de onderstaande tabel zijn samengevat en waarbij aangegeven op welke wijze met het advies is omgegaan.

Samengevat advies	Verwerking
“De Auditcommissie adviseert om de meetresultaten kritisch te blijven analyseren.”	De kritische beschouwing van de individuele meet- en monitoringsonderdelen is een terugkerend onderwerp, zowel door de individuele onderzoekers en onderzoeksgroepen, als door de groep van onderzoekers samen. Aan dit punt wordt extra aandacht besteed door voorafgaand aan de rapportage de onderzoekers bijeen te brengen en de monitoringresultaten met de groep door te spreken. Gezien de fase waarin het monitoringprogramma verkeert, lag in deze bijeenkomsten de focus tot dusver vooral op de analysemethoden.
Aan de zuidelijke rand van voorspelde bodemdalingsschotel ligt (nog) geen meetpunt van de Pleistocene meetpunt en de vraag is in hoeverre hiermee wel voldoende zicht is op de bodemdaling in deze omgeving?	Naar aanleiding van het advies van Auditcommissie wordt gekeken naar een aanvulling van het netwerk van jaarlijkse GNSS hoogtemetingen met een meetpunt aan de zuidzijde van de voorspelde bodemdalingsschotel. Momenteel kijkt Antea of het mogelijk is om een meetpunt op de Pollendam te plaatsen.
De kwaliteitscontrole van de raaimetingen moet gericht zijn op het tijdig (bij voorkeur al in het veld) signaleren en zo nodig corrigeren van	Uit een gesprek met de uitvoerders van de raaimetingen is gebleken dat het meetprotocol voldoende cross checks bevat bij aanvang en tijdens de metingen om structurele fouten uit te sluiten.

eventuele (systematische) meetfouten.	
Geef in de grafieken de scheiding aan tussen de jaren waarin geen zout werd gewonnen en de jaren waarin wel zout wordt gewonnen.	Dit is tot nu toe in beperkte mate gedaan. Deze scheiding was op zijn plaats geweest in de grafieken met de vogelaantallen, bodemdalingsmetingen en de Spijkermetingen. Helaas is dit alleen voor de Spijkermetingen doorgevoerd. Frisia zal dit nogmaals ter discussie stellen bij de rapporteurs.
Geef in de grafieken trends, bandbreedten en signaleringswaarden voor de verschillende metingen.	Het toevoegen van de bandbreedtes is zoveel als mogelijk structureel doorgevoerd. Trends zijn onderdeel van de vogelaantallen op de hoogwatervluchtplaatsen. Signaleringswaarden voor draagkracht voor foeragerende vogels kunnen pas worden vastgesteld wanneer er een beeld is van de temporele variatie (dit staat overigens een regressieanalyse voor bijvoorbeeld vogelaantallen als functie van draagkrachtwaarden niet in de weg).
Maak inzichtelijk wat de aard en grootte van de onzekerheden bij het bepalen van de bodemdaling zijn.	In het rapport over de bodemdaling (Chorus, 2023) wordt inzicht gegeven in de onzekerheden rond de bepaling van het bodemdalingsvolume en de bijdrage van de verschillende componenten daaraan. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de onzekerheid op de berekende bodemdaling op basis van de productiecijfers en de berekende bodemdaling op basis van de bodemdalingmetingen.
Analyseer of de bodemdalingsvoorspelling overeen komt met de gemeten ontwikkelingen.	Deze analyse is onderdeel van het rapport over de bodemdaling (Chorus, 2023) en is ook opgenomen in het voorliggende rapport, zie paragraaf 3.1 en Figuur 3-4.
Zoek contact met Rijkswaterstaat over hun LiDAR metingen en de gevolgde procedures voor het waarborgen van de kwaliteit.	Met Rijkswaterstaat is contact gezocht over de uitvoering van de vaklodgingen, waarvan de LiDAR hoogtemetingen deel uitmaken. Hieruit is gebleken dat metingen voor het Vlie in september 2022 zijn uitgevoerd. De kwaliteitseisen voor de LiDAR metingen komen overeen met die voor de actuele AHN hoogtemetingen van het vasteland.

<p>Gebruik de vakloding 2022 om de trend/trendverandering in de sedimentatie in de kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep vast te stellen.</p>	<p>Deze analyse is uitgevoerd voor het plaatareaal in het studiegebied (Figuur 2-2). Ook is gekeken naar de omvang van de sedimentatie t.o.v. de voorgaande (2016) meting en is vastgesteld dat netto sedimentatie is opgetreden (niet gerapporteerd). Voor een trendanalyse zal worden afgestemd met deskundigen welke analysemethode hiervoor de voorkeur verdient.</p>
<p>Beschouw of de gebruikte referentiegebieden voor de sedimentsamenstelling als zodanig gebruik kunnen worden.</p>	<p>De sedimentsamenstelling (korrelgrootte en slibpercentage) van de referentiegebieden is dermate afwijkend van de Ballastplaat zuid dat deze niet goed bruikbaar zijn. Er is een plan gemaakt om sedimentmonsters te nemen op de Ballastplaat Midden. Deze dienen dan als referentie en helpen bij de interpretatie van veranderingen in sedimentstructuur in het gebied. In 2023 wordt in het veld verkend of de op de kaart gekozen locaties in de praktijk geschikt zijn. Op deze locaties wordt ook onderzocht of er bodemdieren kunnen worden bemonsterd.</p>
<p>Biedt de verzamelde gegevens van eigen vogeltellingen aan voor opname in de landelijke Waddenzee database (in beheer van Sovon).</p>	<p>Dit aanbod staat. De gegevens zijn op dusdanige wijze opgenomen in de rapportage van Kersten et al. (0223) dat deze zijn op te nemen in andere studies en databases.</p>

## Colofon

RESULTATEN VAN MONITORING WADDENZEE VANWEGE  
BODEMDALING DOOR ZOUTWINNING  
INTEGRATIE EN SAMENVATTING RESULTATEN TOT 2023

**KLANT**

Frisia Zout B.V.

**AUTEUR**

Jelmer Cleveringa

**DATUM**

28 april 2023

**STATUS**

Definitief

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)

**Arcadis Nederland B.V.**

Postbus 137  
8000 AC Zwolle  
Nederland

T +31 (0)88 4261 261

**Arcadis.** Improving quality of life