

MONITORING STUDIEGEBIED ZOUTWINNING WADDENZEE

Rapportage over 2021

Frisia Zout B.V.

16 MEI 2022



Contactpersoon

JELMER CLEVERINGA
Senior Advisor Coastal
Morphodynamics

T +31 (0)88 4261 440

M +31 (0)6 5073 6850

E jelmer.cleveringa@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137

8000 AC Zwolle

Nederland

Foto voor voorzijde Nina Fieten (14 september 2021)

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	6
1 INLEIDING	10
1.1 Doel van de monitoring	10
1.2 Doel van dit document & Leeswijzer	10
2 ZOUTWINNING ONDER WADDENZEE	11
2.1 Zoutwinning	11
2.2 Bodemdaling door zoutwinning	11
2.3 De Waddenzee en de bodemdaling door zoutwinning	12
3 OVERZICHT MEETPLAN EN MONITORINGSPROGRAMMA	15
3.1 Introductie 'Hand aan de Kraan' principe	15
3.2 Metingen	17
3.3 Monitoring	17
3.4 Planning	18
3.5 Actuele adviezen Auditcommissie en Groene wetenschap en verwerking in de monitoringrapportages	19
4 TRENDS, BANDBREEDTEN EN SIGNALERINGSWAARDEN	23
4.1 Signalering via de effectketen	23
4.2 Evaluatie van de "T0-situatie"	23
4.3 Een foutmarge op de snelheid van zeespiegelstijging	30
5 METINGEN PLEISTOCENE BODEMDALING	32
5.1 Introductie van de meetmethodes	32
5.2 Gegevens	34
5.3 Analyse	35
5.4 Voorspelbaarheid bodemdaling door zoutwinning	38
5.5 Tussenconclusies metingen Pleistocene bodemdaling	38
6 VAKLODINGEN	39

7	HOOGTE/DIEPTE RAAIEN	42
7.1	Introductie van de meetmethode	42
7.2	Gegevens	43
7.3	Analyse	43
7.4	Tussenconclusies raaimetingen	52
8	HOOGTE WADPLATEN LIDAR	53
9	SPIJKERMETINGEN OP DE BALLASTPLAAT	55
9.1	Introductie meetmethode	55
9.2	Gegevens	57
9.3	Analyse	59
9.4	Tussenconclusies Spijkermetingen	61
10	SEDIMENTSAMENSTELLING	62
10.1	Introductie meetmethode	62
10.2	Gegevens	63
10.3	Analyse	64
10.4	Adviezen Audit commissie	65
10.5	Tussenconclusie sedimentsamenstelling	66
11	ECOLOGIE	67
11.1	Ballastplaat: habitat en vogelsoorten	67
11.2	Introductie meetmethodes	68
11.2.1	Benthosbemonstering	68
11.2.2	HVP-tellingen	68
11.2.3	Hoogwatertrektellingen	69
11.3	Benthos op het zuidelijke deel van Ballastplaat	70
11.4	Draagkracht van het zuidelijke deel van de Ballastplaat	71
11.4.1	Droogvalpercentages	71
11.4.2	Beschikbare prooibiomassa per getij	73
11.5	Aantallen vogels op de telgebieden (HVP-tellingen)	74
11.6	Vogels op de Ballastplaat (hoogwatertrektellingen)	77
11.7	Tussenconclusies ecologie	79
12	AANVULLENDE GEGEVENS, INFORMATIE EN ANALYSE	80
12.1	Stappenplan nadere analyse	80
12.2	Reguliere monitoring	80

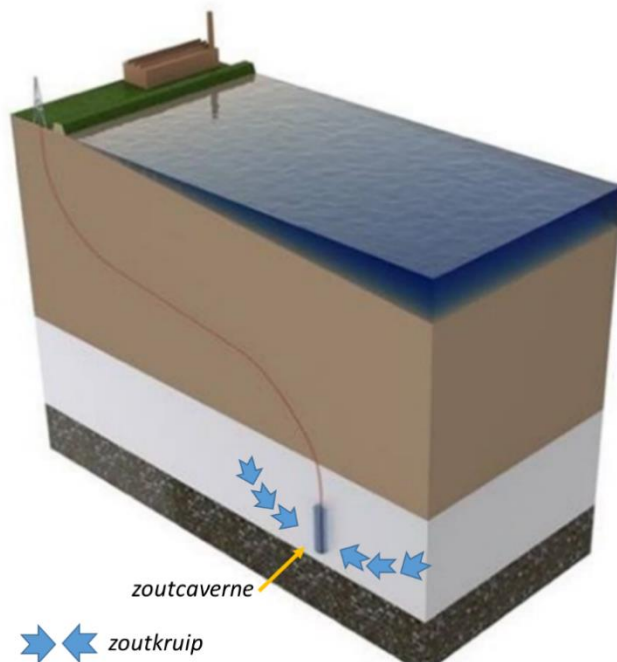
12.3	Informatie over andere activiteiten	81
13	CONCLUSIES EN VERBETERPUNTEN	82
13.1	Algemene conclusies	82
13.2	Het monitoringprogramma	82
14	REFERENTIES	84
	Bevoegde gezagen en de Auditcommissie	89
	Brondocumenten	90
	Jaarkalender	92
COLOFON		97

SAMENVATTING

Zoutwinning onder de Waddenzee

Frisia Zout B.V. wint zout uit een steenzoutlaag die zich kilometers diep in de aarde bevindt. Dit doet Frisia door water in die zoutlaag te pompen. Tijdens het pompen komt het met zout verzadigde water weer omhoog. Dit wordt pekkel genoemd. In haar fabriek verdampt Frisia het water uit de pekkel en verwerkt ze het zout tot verschillende zoutproducten.

In de zoutlaag ontstaat een met pekkel gevulde holte; de zogenaamde zoutcaverne. Als Frisia de druk in de caverne verlaagd, drukt het vloeibare steenzout de caverne langzaam dicht. Dit proces heet zoutkruip. Deze zoutkruip leidt tot bodemdaling aan het aardoppervlak.



De put van Frisia reikt onder de Waddenzee en draagt de naam Havenmond-2. Bodemdaling onder de Waddenzee moet aan strikte eisen voldoen. Deze eisen zijn opgenomen in twee vergunningen die aan Frisia zijn verleend. Een eerste eis heeft betrekking op de snelheid van de bodemdaling. De tweede eis betreft het voorkómen van schade aan de instandhoudingsdoelstellingen van de Waddenzee. Frisia dient aantoonbaar aan deze eisen te voldoen. Hiertoe voert Frisia een monitoringprogramma uit waarover zij jaarlijks rapporteert aan het bevoegd gezag. De gekozen methodiek, de resultaten en conclusies worden getoetst door de Auditcommissie voor zoutwinning onder de Waddenzee. Het advies dat volgt uit deze toetsing wordt publiekelijk gemaakt en door de minister, samen met de monitoringrapportages, aangeboden aan de Tweede Kamer. Op deze manier wordt de kwaliteit en onafhankelijkheid van dit werk geborgd.

Sedimentuitwisseling tussen de Waddenzee en de Noordzeekust

Tussen de Waddeneilanden lopen diepe geulen. Als gevolg van de getijdenbeweging stroomt zeewater door deze geulen van de Waddenzee naar de Noordzee en weer terug. Met dit water wordt veel zand en slib verplaatst. Zodoende worden de Waddenzee en de Noordzeekustzone samen ook wel een sediment-delend systeem genoemd.

De Waddenzee bestaat uit een serie deelgebieden. Ieder deelgebied heeft zijn eigen geulen die naar de Noordzee lopen. Deze deelgebieden worden ook wel getijdenbekkens of kombergingsgebieden genoemd. Het getijdenbekken waaronder de Zoutwinning plaatsvindt heet Kombergingsgebied Vlie, vernoemd naar de geul waarmee het met de Noordzee verbonden is.

De motoren achter het sediment-delend systeem zijn de stroming en de golfslag. Sediment dat met het water de Waddenzee in stroomt komt in een rustigere omgeving en dwarrelt neer. Zo groeien wadplaten. Regelmatig leidt harde wind tot golfslag in de Waddenzee. Ondiep gelegen wadplaten kunnen dan eroderen en sediment stroomt met de ebstroom terug naar de Noordzee.

Hoe groot precies de capaciteit van de bovengenoemde "sedimentmotor" is, weet niemand. Dit is van belang om in te kunnen schatten in hoeverre getijdenbekkens kunnen meegroeien met zeespiegelstijging of bodemdaling. Wetenschappers zijn het er over eens dat de kleinere bekkens makkelijker meegroeien dan de grotere. Het Vlie is een relatief groot getijdenbekken, vandaar dat er veel aandacht is voor het daadwerkelijke meegroeivermogen van dit bekken.

De vergunning voor de zoutwinning onder de Waddenzee gaat er van uit dat het getijdenbekken van het Vlie minimaal 5 mm per jaar kan groeien. Dit wordt gezien als een veilige grenswaarde omdat het daadwerkelijke meegroeivermogen waarschijnlijk hoger ligt. De snelheid van de bodemdaling (gemiddeld over het

oppervlakte van het kombergingsgebied Vlie) mag, opgeteld bij de snelheid van zeespiegelstijging daarom niet groter zijn dan deze 5 mm per jaar. Op deze manier zal bodemdaling door zoutwinning nooit bijdragen aan het “verdrinken” van de Waddenzee.

Door meer of minder zout te produceren, kan Frisia de bodemdalingssnelheid sneller of langzamer laten verlopen. Te zorgen dat de bodemdalingssnelheid plus de snelheid van zeespiegelstijging het meegroeivermogen van 5 mm per jaar niet overschrijdt, noemen we “zoutwinning met de hand aan de kraan”. Frisia heeft toestemming om een gemiddelde bodemdalingssnelheid van 0,99 mm per jaar onder het Kombergingsgebied Vlie te creëren. In 2021 bedroeg deze gemiddelde bodemdalingssnelheid onder het Vlie slechts 0,03 mm per jaar.

De bodemdaling waarover in de bovenstaande alinea wordt gesproken, is diepe bodemdaling die ook wel Pleistocene bodemdaling wordt genoemd. Bij bodemdaling onder de Waddenzee wordt meestal over diepe bodemdaling of Pleistocene bodemdaling gesproken omdat er aan het wadoppervlak geen bodemdaling wordt waargenomen. De Pleistocene daling in het centrum van de voorspelde bodemdalingsschotel bedroeg in 2021 slechts enkele millimeters. De reden voor deze beperkte bodemdaling was dat de zoutwinning in 2021 vooral leidde tot cavernevorming en slechts in beperkte mate tot zoutkruip. De komende jaren zal de bodemdaling toenemen.

Geconcludeerd kan worden dat Frisia gedurende 2021 ruimschoots binnen de gestelde grenzen is gebleven en er op basis van het Instemmingsbesluit op het Winningsplan voor zoutwinning onder de Waddenzee momenteel geen aanleiding is om de zoutwinning te beperken.

Morfologische ontwikkelingen

Om te bepalen of de diepe, Pleistocene bodemdaling aan het wadoppervlak tot uiting komt, worden verschillende metingen uitgevoerd. Dit zijn Raaimetingen en Spijkermetingen. De Raaimetingen zijn transecten waarlangs met een echolood vanaf een boot de wadplaat- of geulwandhoogte t.o.v. NAP wordt gemeten. Deze transecten liggen verspreid over het gebied dat in de toekomst onder invloed staat van bodemdaling en lopen door tot ruim buiten dat gebied. Door ieder jaar deze metingen uit te voeren wordt de morfologische ontwikkeling van de Zuidelijke Ballastplaat en haar omgeving in beeld gebracht. Daarnaast lenen deze metingen zich om veranderingen aan het wadoppervlak te correleren aan de mate van diepe bodemdaling in de Pleistocene ondergrond.

De Spijkermetingen liggen uitsluitend op de Zuidelijke Ballastplaat. Spijkermetingen zijn puntmetingen die werken met grondankers. Nadat de hoogteligging van de Spijkermetingen één maal is bepaald, meten de Spijkermetingen erosie en sedimentatie. Stel dat Raaimetingen een verlaging van de wadbodem ter hoogte van de Pleistocene bodemdalingsschotel laten zien, dan kunnen de Spijkermetingen aangeven of er sprake is van erosie, bodemdaling of meefout.

In 2021 zijn de raaimetingen voor het 6^e jaar op rij uitgevoerd. Ieder jaar tonen de metingen variaties in de wadplaathoogte van enkele centimeters. Omdat de uiteindelijke bodemdaling meerdere decimeters zal betreffen, lijkt de kwaliteit van de metingen geschikt voor het doel waartoe zij dienen. In meerdere Raaimetingen die in 2021 zijn genomen, lag de gemeten bodemhoogte tot ca. 1 decimeter lager dan in de voorgaande jaren. Het betreft twee raaien die het toekomstige bodemdalingsgebied doorkruisen en die dus vergeleken kunnen worden met de Spijkermetingen. Uit de Spijkermetingen blijkt dat er geen opvallende erosie van de Zuidelijke Ballastplaat heeft plaatsgevonden. Omdat er ook nog geen relevante Pleistocene bodemdaling wordt gemeten en het gemeten hoogteverschil ook buiten de Zuidelijke Ballastplaat wordt waargenomen, is de conclusie dat het om een meefout gaat. Hiermee is de meefout in de raaimetingen toch aan de hoge kant. Frisia zal met DEEP B.V. in overleg treden om te bepalen of de kwaliteit van deze Raaimetingen beter gecontroleerd kan worden.

De Spijkermetingen zijn gestart in de zomer van 2018 en worden vier keer per jaar uitgevoerd. Wanneer de bodemdaling door de zoutwinning aan het wadoppervlak door natuurlijke sedimentatie wordt gecompenseerd, wordt dit in de Spijkermetingen zichtbaar wanneer deze bodemdaling groter wordt dan de natuurlijke variaties in wadplaathoogte. Uit de Spijkermetingen blijkt dat de afgelopen 4 jaar er lokaal sprake kan zijn van erosie van 5 tot 10 cm of sedimentatie van 5 tot 10 cm. Dit komt overeen met de ruimtelijke variatie aan “bulten” en “plassen” die op de Zuidelijke Ballastplaat aanwezig is en die verplaatsen in de tijd als gevolg van golfslag en stroming. De gemiddelde wadplaathoogte is volgens de Spijkermetingen de afgelopen 4 jaar onveranderd gebleven (een verandering van nul ± 1 cm). Wanneer de kleinschalige variaties

in wadplaathoogte op de Zuidelijke Ballastplaat gelijk blijven aan de afgelopen 4 jaar, wordt de Pleistocene bodemdalingsschotel als extra sedimentatie zichtbaar in de Spijkermetingen wanneer deze een diepte van ongeveer 10 cm heeft bereikt.

Op basis van de hierboven besproken meetresultaten concluderen wij dat de Zuidelijke Ballastplaat de afgelopen 4 jaar gelijk is gebleven. Van veranderingen als gevolg van bodemdaling door zoutwinning is geen sprake.

Sedimentsamenstelling

Voor dit monitoringprogramma wordt de korrelgrootteverdeling van het sediment op de Zuidelijke Ballastplaat en een aantal referentiegebieden bepaald. Met een gemiddelde korrelgrootte van ca. 125 micrometer is het sediment op de Ballastplaat net iets fijner dan de referentiegebieden. Dit wordt veroorzaakt door het slibgehalte (fractie < 63 micrometer), dat op de Ballastplaat een stuk hoger is. De sedimentmetingen gaan inzicht geven in de vraag in hoeverre de extra sedimentatie die optreedt ter compensatie van de Pleistocene bodemdalingsschotel leidt tot een verandering in sedimentstructuur. Er is wel verondersteld dat wanneer de zandaanvoer ontoereikend wordt het gebied slibrijker kan worden, hoewel de effectstudies dergelijke veranderingen niet hebben laten zien. Het Slibpercentage op de Zuidelijke Ballastplaat lijkt de afgelopen 4 jaar te zijn afgenomen (van 22 tot 17% slib). Deze verandering zien we ook in een referentiegebied op de Noordelijke Ballastplaat. Andere referentiegebieden tonen andere patronen. Op basis van de geobserveerde variatie in het slibpercentage op de Zuidelijke Ballastplaat (standaarddeviatie ~5) zijn behoorlijk grote veranderingen nodig voordat deze met voldoende zekerheid kunnen worden vastgesteld. Verder toont de data dat zowel de lokale variatie in het slibgehalte als de variatie in de tijd toenemen als functie van het slibgehalte zelf. Dit kan worden verklaard doordat slib relatief mobiel is en daardoor sterk beïnvloed wordt door de waterbeweging.

Naast een mogelijk effect van bodemdaling op korrelgrootteverdeling, is het slibgehalte ook een belangrijke schakel in de effectketen. Wanneer bodemdaling een effect zou hebben op bodemdieren, gebeurt dat via veranderingen in het slibgehalte. In 2021 zijn eerste bodemdierbemonsteringen uitgevoerd op de plekken waar ook sedimentmonsters worden genomen. De relatief slibrijke gebieden op de Zuidelijke Ballastplaat komen slechts ten dele overeen met hogere biomassa's bodemdieren.

Bodemdieren

In 2021 is gestart met het monitoren van bodemdieren op de Zuidelijke ballastplaat. Tot dusver werd hiervoor gebruik gemaakt van de schelpdierdata van WMR, waarmee enkel het voedselaanbod voor de Scholekster in beeld kan worden gebracht. Bovendien lagen deze meetpunten niet midden in de toekomstige bodemdalingsschotel, waardoor de behoefte was ontstaan deze monitoring aan te passen. De bodemdierenmonitoring zal drie keer per jaar worden uitgevoerd; afgestemd op de piekaanwezigheid van de vogelsoorten die onderdeel zijn van dit monitoringprogramma.

Uit de eerste resultaten blijkt dat de bodemfauna op de Zuidelijke Ballastplaat redelijk divers is. Ondanks dat geef hoge biomassa's zijn aangetroffen, bevatte wel ieder monster verschillende macrofaunasoorten. Naast enkele schelpdiersoorten en grotere borstelwormen viel in een aantal monsters vooral de aanwezigheid van de Slijkgarnaal en het Wadslakje op.

Voor de Scholekster hebben we de aangetroffen bodemdieren omgerekend naar de beschikbare hoeveelheid voedsel. Deze hoeveelheid komt grofweg overeen met 5 a 10 gram as-vrij drooggewicht per m² wadplaat. Wat deze hoeveelheid precies betekent voor de draagkracht van de Zuidelijke Ballastplaat als foerageergebied voor de Scholekster moet nader worden bestudeerd.

Omdat er nog geen sprake is van bodemdaling door zoutwinning kan een effect op bodemdieren op dit moment worden uitgesloten. Door drie keer per jaar te bemonsteren, verwachten we spoedig inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de bodemdierensamenstelling in de tijd.

Vogels

In dit monitoringprogramma wordt aandacht besteed aan zeven vogelsoorten. De zijn de Scholekster, de Kanoetstrandloper, de Bonte strandloper, de Rosse grutto, de Wulp, de Tureluur en de Zilverplevier. Op basis van de tellingen van deze soorten op hoogwatervluchtplaatsen (HVP's) houden we hun aantalsontwikkeling in de buurt van het bodemdalinggebied, de Zuidelijke Ballastplaat, in de gaten. Deze

ontwikkeling vergelijken we met de aantalsontwikkeling van vogelpopulaties in de rest van de Westelijke Waddenzee.

De bij Sovon aangekochte dataset met HVP-tellingen bevatte niet alle tellingen voor het jaar 2021. Hierdoor kon geen representatief jaargemiddelde voor dat jaar berekend worden. Zodoende is het jaar 2021 nog niet in de trendanalyses meegenomen. Waarom dit zo gelopen is, wordt uitgezocht. Het is voor het functioneren van het Hand Aan de Kraan principe wel belangrijk dat de meest recente data beschikbaar is. Voor 2021 is dit nog niet essentieel omdat er in dat jaar nog geen relevante bodemdaling door zoutwinning heeft plaatsgevonden.

Om beter te leren begrijpen waar de vogels die op de Zuidelijke Ballastplaat foerageren precies overtijen, is in 2021 aanvullend veldwerk verricht. Hoogwatertrektellingen toonden aan hoe de vogels zich met opkomend water vanaf de Zuidelijke Ballastplaat verplaatsen en waar ze uiteindelijk overtijen. Deze resultaten laten zien dat gedurende de zomertrek slechts een klein deel (3 a 4%) van de vogels op de HVP's daadwerkelijk op de Zuidelijke Ballastplaat foerageert. Alleen voor de Scholekster, die vooral in de winter van de wadplaten afhankelijk is, geldt dat niet. Scholeksters foerageerden wel op de Zuidelijke Ballastplaat. De ondergeschikte rol van de Ballastplaat als foerageergebied (m.u.v. de Scholekster) maakt een kwantitatieve koppeling tussen de HVP-tellingen en de draagkracht van de Zuidelijke Ballastplaat als foerageergebied lastig. De komende jaren zullen er meer hoogwatertrektellingen en een laagwatertelling op de Zuidelijke Ballastplaat worden uitgevoerd om vast te stellen of dit beeld consistent is en om de daadwerkelijke aantallen foeragerende vogels op de Zuidelijke Ballastplaat vast te stellen.

Eindconclusies over monitoringjaar 2021

In 2021 is een aantal belangrijke aanpassingen aan het monitoringprogramma en de daarbij horende data-analyses verricht. Hiermee denken we een adequaat programma te hebben voor de zoutwinning onder de Waddenzee met de hand aan de kraan. Twee zaken hebben in 2022 specifiek aandacht nog. Dit zijn 1) het onderzoeken/ controleren van de meetfout op de raaimetingen en 2) het verder kwantificeren van het aantal vogels dat daadwerkelijk op de Zuidelijke Ballastplaat foerageert.

Ondanks dat de Pleistocene bodemdaling in 2021 nog zeer beperkt was, hebben we deze al wel kunnen meten. Aan het wadoppervlak wordt deze bodemdaling niet waargenomen. Er zijn in 2021 dan ook geen effecten van bodemdaling door zoutwinning op de morfologie, bodemleven of bestudeerde avifauna opgetreden.

De zoutwinning onder de Waddenzee is in 2021 binnen de daaraan gestelde grenzen gebleven en er is dan ook geen aanleiding om de productiesnelheid te verlagen.

1 INLEIDING

1.1 Doel van de monitoring

De Staatssecretaris van Economische Zaken heeft instemming verleend op het Winningsplan voor het winnen van zout onder de Waddenzee. Frisia heeft voor deze activiteit ook een vergunning vanwege de Wet natuurbescherming. In het instemmingsbesluit en de vergunning is vastgelegd dat het uitvoeren van de zoutwinning zal plaatsvinden volgens het Hand-aan-de-Kraan-principe. Indien de bodemdaling van de Pleistocene ondergrond groter is dan verwacht, dan wel nadelige effecten in de Waddenzee optreden die het gevolg zijn van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, dan zal de winningsstrategie op een zodanige wijze worden aangepast dat de effecten binnen de gestelde grenzen blijven. De metingen die worden uitgevoerd om invulling te kunnen geven aan het Hand-aan-de-Kraan principe zijn vastgelegd in het meetplan en het monitoringsprogramma.

Het Meetplan heeft betrekking op de mijnbouwkundige aspecten van de zoutwinning. Het Meetplan omvat de metingen van de Pleistocene bodemdaling, de metingen die in de ondergrond aan de caverne worden uitgevoerd en de wijze waarop bodemtrillingen worden geregistreerd.

Het Monitoringsprogramma heeft betrekking op het signaleren van onverwachte effecten in het Waddengebied, in de bodemligging en de ecologie. Het monitoringsprogramma omvat de metingen en de cyclus van meten en evalueren.

Voorafgaand aan de monitoring tijdens de zoutwinning is de nulsituatie vastgelegd. De nulsituatie bestaat niet sec uit de situatie in dat ene jaar van opname, maar uit de plaats die deze in een eventuele trend inneemt.

Het voorliggende document geeft een overzicht van het Meetplan en het Monitoringsprogramma en de resultaten van de verschillende metingen die zijn uitgevoerd vanwege de zoutwinning en Pleistocene bodemdaling onder de Waddenzee.

1.2 Doel van dit document & Leeswijzer

Het voorliggende rapport is opgesteld voor de Auditcommissie die in brede zin toezicht zal houden op de monitoring. Het doel van het voorliggende document is om een overzicht te geven van de resultaten van de meet- en monitoringsinspanningen.

Om dit rapport eigenstandig leesbaar te maken, zonder dat de informatie uit het MER, de Passende beoordeling en de achtergrondrapporten bij de lezer bekend is, is een inleidend hoofdstuk over de zoutwinning onder de Waddenzee opgenomen (hoofdstuk 2). Het overzicht van de metingen en monitoring is opgenomen in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 wordt een uitwerking gegeven van de resultaten van de metingen voorafgaand aan de zoutwinning en bodemdaling (de Tnul-situatie) in termen van trends, bandbreedtes en grenswaarden.

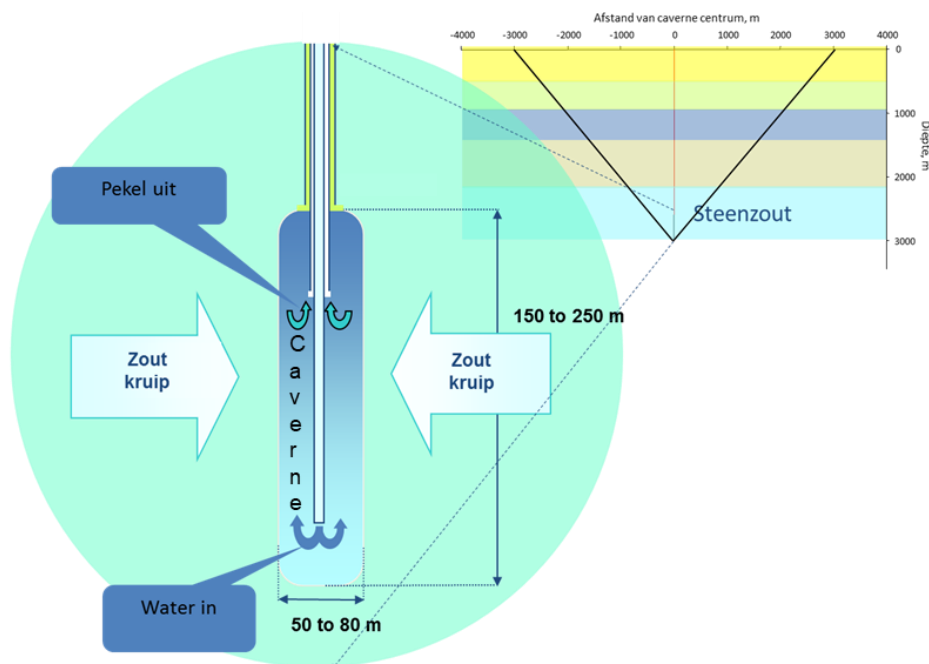
In de daaropvolgende hoofdstukken, 5 tot en met 11, wordt per meting dieper ingegaan op de meetmethode en de resultaten van de metingen. Daarbij wordt ook steeds ingegaan op de samenhang met de andere metingen. In hoofdstuk 11 worden de ecologische metingen in samenhang beschouwd. In hoofdstuk 12 wordt duidelijk gemaakt welke gegevens en informatie beschikbaar zijn in aanvulling op wat in de monitoring is opgekomen en hoe deze gegevens en informatie in voorkomende gevallen bij de interpretatie van de resultaten worden betrokken. Tenslotte wordt het rapport afgesloten met een hoofdstuk 'Integratie, conclusie en voornemens' waarin de resultaten van de metingen en monitoring in gezamenlijkheid worden beschouwd in relatie tot de zoutwinning.

2 ZOUTWINNING ONDER WADDENZEE

2.1 Zoutwinning

Frisia produceert en verkoopt kwalitatief hoogwaardige zoutproducten die worden gewonnen uit de ondergrondse zoutvoorraden in de nabije omgeving van Harlingen. De locatie waar het zout wordt verwerkt, is gevestigd in de industriehaven van Harlingen. Het zout dat Frisia wint, bevindt zich in ondergrondse lagen van 700 tot 1100 m dikte in de nabije omgeving van Harlingen op circa 2,5 tot 3 kilometer diepte. De steenzoutlagen komen uit het Perm geologische tijdperk. Frisia wint dit zout door middel van oplosmijnbouw: het ondergrondse steenzout wordt gewonnen door het in water op te lossen. De gewonnen pekelt (zoutoplossing) wordt in de zoutverwerkingslocatie in Harlingen gezuiverd, waarna zeer zuiver zout geproduceerd wordt.

Voordat zoutwinning kan plaatsvinden wordt een boring uitgevoerd. Hiervoor is een tijdelijke boorinstallatie (boortoren) geplaatst naast de Frisia-fabriek in Harlingen, die na afronding weer is verwijderd. De boring reikte tot in de zoutlaag. In het boorgat zijn buizen geplaatst. Via de buizen wordt water naar de zoutlaag gepompt en wordt pekelt teruggevoerd. Doordat het steenzout oplost in het water wordt een caverne gevormd in de steenzoutlaag, zoals schematisch is aangegeven in Figuur 2.1. De caverne is gevuld met pekelt, het is dus geen holle ruimte in de ondergrond. De caverne neemt in eerste instantie in omvang toe, maar stabiliseert na enkele jaren. Dat stabilisatieproces treedt op doordat het steenzout uit de omgeving naar de caverne toestroomt of kruipt.



Figuur 2-1 Schematische weergave zoutwinning door middel van oplosmijnbouw. In de cirkel de caverne. De grafiek is een schematische dwarsdoorsnede van de ondergrond, die laat zien waar de caverne zich in de ondergrond bevindt. Ook verbreiding van de Pleistocene bodemdaling is daarin aangegeven met de zwarte lijnen.

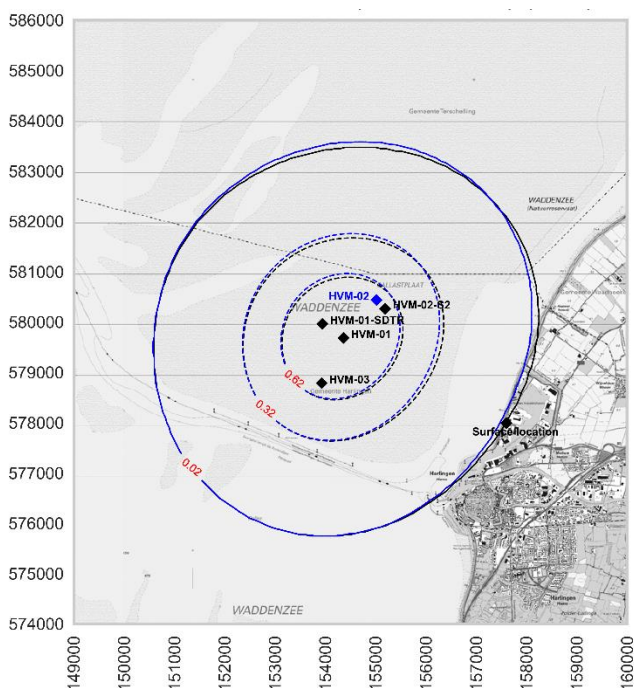
2.2 Bodemdaling door zoutwinning

De bodemdaling door de zoutwinning treedt op doordat een volume van het steenzout in de ondergrond afneemt. Het volume van de bodemdaling is gelijk aan het volume zout dat wordt gewonnen minus het volume zout dat in pekeltvorm in de caverne aanwezig blijft. De Pleistocene bodemdaling treedt op in een gebied dat wordt begrensd door, gerekend vanaf de caverne, met een hoek van 45° naar het aardoppervlak te bewegen (zie de dwarsdoorsnede van de ondergrond, rechtsboven in Figuur 2-1). Boven de caverne

wordt een ronde Pleistocene bodemdalingsschotel gevormd, waarvan de straal gelijk is aan de diepte van de caveerne. De grootste Pleistocene bodemdaling treedt op direct boven de caveerne en deze wordt kleiner naar buiten toe. De voorspelbaarheid van de bodemdaling door zoutwinning is tegenwoordig groot, zoals is gebleken uit de recente zoutwinning door Frisia onder het vasteland en de vergelijking tussen de daar voorspelde en waargenomen bodemdaling.

Figuur 2-2 toont de voorspelde Pleistocene bodemdaling aan het einde van de vergunde zoutwinning. De vorm van deze bodemdalingsschotel is niet rond, maar enigszins ovaal. Dat komt omdat de vergunde zoutwinning niet volledig vanuit één caveerne kan plaatsvinden, maar uit meerdere cavernes. De getoonde Pleistocene bodemdalingsschotel in Figuur 2-2 is de optelsom van de bodemdaling uit vier cavernes. De snelheid waarmee de Pleistocene bodemdaling optreedt, is in de eerste jaren nog beperkt, omdat dan de caveerne wordt gevormd en bedraagt dan ten hoogste enkele centimeters per jaar in het diepste punt van de Pleistocene bodemdalingsschotel. Daarna neemt de snelheid toe tot meerdere centimeters per jaar in het diepste punt van de Pleistocene bodemdalingsschotel. Aan het einde van winning van de vergunde hoeveelheid zoutwinning is de Pleistocene bodemdaling in het diepste punt ongeveer 90 cm.

De boring die in 2020 succesvol is uitgevoerd, heeft geresulteerd in een caveerne op een locatie die vrijwel overeenkomt met de locatie zoals die in de voorstudies is beschouwd. De gerealiseerde caveerne is aangegeven in Figuur 2-2. De locatie van de caveerne is bij zoutwinning direct van invloed op de locatie waar de Pleistocene bodemdaling plaatsvindt. De omvang van de Pleistocene bodemdalingsschotel is gerelateerd aan de voorziene omvang van de zoutwinning en deze is niet veranderd. De locatie van de bodemdalingsschotel is een klein beetje verschoven naar de zuidoostzijde, zoals zichtbaar is in Figuur 2-2. De voorspelde locatie van de Pleistocene bodemdalingsschotel boven de gerealiseerde caveerne geeft dezelfde verwachtingen over de gevolgen voor de morfologie en ecologie van de Waddenzee, als die waren voorzien in de effectbepaling van de zoutwinning onder de Waddenzee.



Figuur 2-2 Kaart met contouren (in m) van de voorspelde bodemdaling aan het einde van de zoutwinning uit de vier in de cavernes (HVM). Blauwe lijn oorspronkelijke voorspelling met originele locatie HVM-02. Zwarte lijn aangepaste voorspelling met gerealiseerde locatie HVM-02-S2.

2.3 De Waddenzee en de bodemdaling door zoutwinning

De gevolgen van de Pleistocene bodemdaling door de zoutwinning voor de Waddenzee zijn uitgebreid onderzocht en gerapporteerd in het kader van de MER en het traject voor het verkrijgen van de Wet Natuurbeschermingvergunning. Tijdens de Raad van State-procedure over deze vergunning zijn aanvullende analyses opgesteld en gepresenteerd. In deze paragraaf wordt beknopt ingegaan op de

gevolgen van de Pleistocene bodemdaling door de zoutwinning voor de Waddenzee. Voor een meer diepgaande analyse wordt verwezen naar de Passende beoordeling (Arcadis, 2013), het MER en de achtergronddocumenten Meegroeivermogen en gebruiksruimte (Meegroeivermogen en gebruiksruimte in de getijdebekkens Vlie en Marsdiep; Grootschalige morfologische ontwikkelingen westelijke Waddenzee; Alkyon, 2010a) en Hydromorfologie en ecologie (Effecten van zoutwinning op de ecologische waarden in de Waddenzee; Alkyon, 2010b).

Door het getij en door de invloed van het weer is het water in de Waddenzee continu in beweging. Het stromende water woelt zand en slib los (erosie), voert dit mee en zet dit 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. Die veranderingen verlopen gewoonlijk geleidelijk, maar bijvoorbeeld na een zware storm kunnen die veranderingen ineens groot zijn.

De Pleistocene bodemdaling door de zoutwinning vindt plaats onder dit dynamische waddensysteem. De geleidelijke Pleistocene bodemdaling is relatief klein ten opzichte van de natuurlijke dynamiek van de wadbodem. De dynamiek zorgt ervoor dat de Pleistocene bodemdaling weer ongedaan wordt gemaakt, mits de snelheid van deze bodemdaling beneden een bepaalde kritische grens blijft.

De zeer kleine daling van de bodem, zoals die van dag tot dag zal optreden onder de Waddenzee, wordt aan de wadbodem vrijwel direct vereffend door de steeds optredende erosie en sedimentatie. De Pleistocene bodemdaling wordt daarmee als het ware uitgesmeerd over een veel groter gebied dan de bodemdalingsschotel zelf, zoals ook bij de bodemdaling door gaswinning onder de Waddenzee het geval is. De verlaging van het wad, die optreedt na de vereffening is beduidend kleiner dan de natuurlijke variatie in de oppervlakte van de droogvallende platen. En de verlaging wordt overschaduwd door de natuurlijke erosie en sedimentatie in de Wadden die tenminste tien keer zo groot is. De snelheid waarmee de sedimentatie kan plaatsvinden is voldoende groot om de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning zelfs in het diepste en snelst dalende deel van de bodemdalingsschotel, te vereffenen. De zeer kleine verlaging van de wadbodem, die na vereffening optreedt over een groter gebied, is een tijdelijk effect van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning. De omvang van de verlaging is afhankelijk van het grootte van het gebied waarover deze vereffening plaatsvindt en is niet meetbaar of merkbaar. Het is nadrukkelijk niet het doel van het monitoringsprogramma om deze voorspelde verandering te meten, dit is immers bij voorbaat niet mogelijk. De monitoring is gericht op het signaleren van niet-voorspelde, onverwachte veranderingen in het gebied waar de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning plaatsvindt en het vaststellen van de eventuele relatie tussen dergelijke veranderingen en de zoutwinning.

De gevolgen van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning worden ook beschouwd op de schaal van de kombergingsgebieden en in relatie tot de stijging van de zeespiegel. Zeespiegelstijging heeft hele andere oorzaken dan de Pleistocene bodemdaling door delfstoffenwinning, maar de uitwerking ervan op het Waddensysteem is hetzelfde: de afstand tussen de zeebodem en de waterspiegel kan groter worden. De zeespiegel stijgt in Nederland al sinds het begin van het Holocene geologische tijdperk. De afgelopen eeuwen stijgt de zeespiegel nog steeds, ook bij het Waddengebied. Dat de Waddenzee desondanks al die tijd is blijven voortbestaan, is te danken aan het feit dat het Waddensysteem over een meegroeivermogen beschikt. De Waddenzee streeft er van nature naar om een bepaald evenwicht te bereiken tussen de hoeveelheid water en de hoeveelheid sediment (zand en slib). Door de zeespiegelstijging komt de Waddenzee in feite constant sediment tekort om die evenwichtstoestand te bereiken. Er wordt voortdurend zand en slib via de zeegaten vanuit de Noordzee en vanaf de kusten zand aangevoerd naar de Wadden. De motor voor het transport van zand en slib naar de Waddenzee is het getij. Met elke vloed komt er, behalve heel veel water, ook zand en slib uit de Noordzee in de Waddenzee terecht. Bij eb gaat telkens een groot deel van het aangevoerde zand en slib weer terug naar de Noordzee, maar een deel blijft achter. Daardoor komt de zeebodem steeds een heel klein beetje hoger te liggen, en kan de Waddenzee de zeespiegelstijging bijbenen. Zonder dit vermogen om mee te groeien, zouden alle bij droogvallende wadplaten al lang verdwenen zijn.

De omvang van de aanvoer van zand en slib is niet onbeperkt. De kombergingen in de Waddenzee hebben een kritische grens, waarbij de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt groter wordt dan de hoeveelheid zand en slib die wordt aangevoerd. Deze kritische grens wordt het daadwerkelijke meegroeivermogen genoemd. De zoutwinning heeft invloed op twee kombergingsgebieden van de Waddenzee: de komberging Het Vlie en de komberging Marsdiep. Beide grote kombergingsgebieden hebben elk een meegroeivermogen van minimaal 5 millimeter per jaar. Het begrip "meegroeivermogen" van de Waddenzee is gedefinieerd als: "Het

natuurlijke vermogen van een kombergingsgebied, uitgedrukt in mm/jaar over het hele gebied, om de relatieve zeespiegelstijging (rZSS) op lange termijn bij te houden terwijl het geomorfologisch evenwicht en de sedimentbalans in stand blijven” (Ministerie van Economische Zaken, 2006).

Zolang de snelheid van zeespiegelstijging kleiner is dan het meegroeivermogen, is er ruimte voor andere activiteiten die een vergelijkbaar effect hebben als de zeespiegelstijging. Bodemdaling door de winning van diepe delfstoffen (zout en gas) en ook de winning van oppervlakedelfstoffen (zand, schelpen) hebben een vergelijkbaar effect. Deze beschikbare ruimte voor andere activiteiten, zolang de snelheid van zeespiegelstijging kleiner is dan het meegroeivermogen, is de gebruiksruijme genoemd. De gebruiksruijme van de Waddenzee is gedefinieerd als: “Het verschil tussen het meegroeivermogen van een kombergingsgebied en de relatieve zeespiegelstijging (rZSS). Dit verschil is de ruijme die te gebruiken is (na middeling over 6 jaar, voortschrijdend gemiddeld, symmetrisch) voor menselijke activiteiten, die zandhonger genereren, bijvoorbeeld bodemdaling veroorzaakt door gaswinning (Ministerie van Economische Zaken, 2006). De relatieve zeespiegelstijgingssnelheid is het gecombineerde effect van de absolute stijging van de zeespiegel en de natuurlijke, autonome daling van de bodem.

Wanneer de snelheid van de Pleistocene bodemdaling (berekend door het gemiddelde jaarlijkse bodemdalingsvolume te delen door de oppervlakte van het kombergingsgebied) kleiner is dan de beschikbare gebruiksruijme, vindt er geen verandering plaats in de kenmerken van de Waddenzee.

De omvang van de belastbare gebruiksruijme voor de bodemdaling door Frisia is vastgelegd in het Instemmingsbesluit op het Winningsplan. Deze omvang van de belastbare gebruiksruijme is een harde randvoorwaarde voor de zoutwinning door Frisia. Het betekent dat de omvang van de bodemdaling door de zoutwinning, niet groter mag worden dan de voor Frisia belastbare gebruiksruijme. Bij dreigende overschrijding hiervan zal de zoutwinning door Frisia en daarmee de bodemdaling worden gereduceerd. Dit is de eerste stap van het Hand-aan-de-Kraanprincipe, dat in paragraaf 3.1 wordt toegelicht.

3 OVERZICHT MEETPLAN¹ EN MONITORINGSPROGRAMMA²

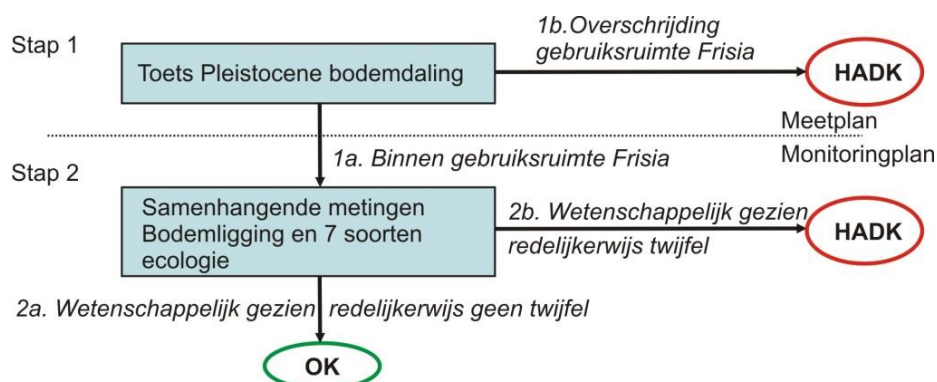
3.1 Introductie 'Hand aan de Kraan' principe

De toepassing van het 'Hand aan de Kraan'-principe is vastgelegd in de vergunningen voor de Zoutwinning Havenmond (zie ook Bijlage A). In de voorschriften bij de Natuurbeschermingswetvergunning staat:

Hand aan de Kraan

18. Tenzij er wetenschappelijk gezien redelijkerwijs geen twijfel bestaat dat er geen schadelijke gevolgen zijn of dreigen op te treden voor de natuurlijke kenmerken van het Natura 2000-gebied Waddenzee als gevolg van de bodemdaling door de onderhavige winning van zout, dient - gelet op het voorzorgsbeginsel - de winning (afhankelijk van de aard en ernst van deze schadelijke gevolgen) te worden getemporeerd dan wel gestopt opdat de schadelijke gevolgen worden voorkomen dan wel weggenomen. Deze temporisering dan wel stopzetting vindt, na overleg met vergunninghouder, plaats op de door het bevoegd gezag aangegeven wijze en conform hetgeen het bevoegd gezag hiertoe schriftelijk heeft bepaald.

Voorschrift 18 bij de Natuurbeschermingswetvergunning is uitgewerkt in de onderstaande beslisboom.



In het voorgaande hoofdstuk is uitgelegd welke veranderingen plaatsvinden in de Waddenzee in response op de bodemdaling door de zoutwinning. De relatie met het meetplan en de monitoring is als volgt:

Meetplan

De metingen zijn gericht op het vaststellen van het volume van de bodemdaling en de mate en snelheid van de bodemdaling onder de Waddenzee. Het gemeten volume aan bodemdaling, zoals dat jaarlijks optreedt,

¹ Zie hiervoor:

- Gestandaardiseerde aanvraag "Instemming meetplan in geval van zoutwinning", conform artikel 41, lid 1, Mijnbouwwet (Mbw) en artikelen 30 en 33, Mijnbouwbesluit (Mbb). Frisia Zout B.V. d.d. 31-10-2019
- Technische Bijlage bij Meet- en regelprotocol zoutwinning 'Havenmond' v.3.2, rapport Frisia Zout B.V. en Well Engineering Partners B.V., Hoogeveen 14 december 2012.
- Bijlage: Update toelichting; meetplan Havenmond; Rapport Antea projectnummer 0267807.00, definitief revisie 11 13 juli 2018
- Duisterwinkel, E., 2018. Bodemdalingsschotel in kaart brengen met geplande meetpunten. Memo Antea 2018-002.

² Met uitzondering van de jaarkalender is de inhoud over het monitoringsprogramma in dit hoofdstuk afkomstig uit: Aangepast Addendum Monitoringplan Zoutwinning Waddenzee, d.d. 23 maart 2016, referentie 078878869 0.1.

wordt gebruikt om vast te stellen of Frisia binnen de belastbare gebruikruimte opereert. De metingen aan de Pleistocene bodemdaling worden gebruikt om te verifiëren of het ruimtelijke model van de bodemdaling overeenkomt met de metingen en vormt de link met de rest van de monitoring.

Monitoring

De voorspelde response van de wadbodem op de bodemdaling door de zoutwinning is dat een onmeetbare en onmerkbare verlaging van de wadbodem optreedt en dat er in het geheel geen meetbare of merkbare gevolgen zijn voor de ecologie. Het schema voor onderlinge afhankelijkheid tussen zoutwinning, de bodemdaling en de veranderingen in de morfologie en ecologie is opgenomen in Figuur 3-1. In dit schema is zoutwinning de aanleiding en de bodemdaling van de Pleistocene ondergrond is het directe effect. De veranderingen in morfologie zijn in dit schema 1^e orde afgeleide effecten van de zoutwinning, via de Pleistocene bodemdaling. De ecologische effecten zijn 2^e orde afgeleide effecten, dat wil zeggen dat ze alleen via de 1^e orde afgeleide effecten beïnvloed worden.

Hoe verder er wordt afgedaald in het schema met onderlinge afhankelijkheden, des te meer externe invloeden ontstaan op te meten indicatoren. Hierdoor is de relatie met zoutwinning steeds onwaarschijnlijker en moeilijker vast te stellen. Het directe gevolg (Pleistocene bodemdaling) heeft een grote samenhang met de zoutwinning. De 1^e orde afgeleide gevolgen worden beïnvloed door de zoutwinning, maar tevens door een groot aantal andere factoren, zoals de 18,6 jarige cyclus in het getij. De 2^e orde afgeleide gevolgen worden beïnvloed door de 1^e orde afgeleide effecten én tevens door een groot aantal externe factoren. Omdat de gevolgen van de zoutwinning op de 1^e orde en de 2^e orde afgeleiden vele malen kleiner zijn dan de gevolgen van de natuurlijke dynamiek, zullen deze gevolgen niet meetbaar of merkbaar zijn.



Figuur 3-1 Schema met de onderlinge afhankelijkheid tussen Zoutwinning, Pleistocene bodemdaling en veranderingen in de morfologie en in de ecologie.

De monitoring is niet ingericht op het meten van de voorspelde gevolgen van de zoutwinning, omdat deze gevolgen niet meetbaar zijn. De monitoring is wel ingericht als signaleringsmeting, om vast te stellen of zich onvoorziene veranderingen voordoen in de bodemligging en als gevolg daarvan op de ecologie en om het verband tussen deze onvoorziene veranderingen en de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning uit te sluiten. Omdat onderwaterleven geen gevolgen ondervindt van eventuele bodemhoogteveranderingen als gevolg van Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, zoals is vastgesteld in de MER en de Passende Beoordeling, wordt daar niet op gemonitord.

Om die signalering mogelijk te maken is de monitoring ingericht op de analyse van trends. Door gebieden te selecteren binnen en buiten het invloedsgebied van de zoutwinning kunnen trends in het invloedsgebied met die in een groter gebied worden vergeleken. Zodoende wordt vastgesteld of de geobserveerde trend uniek is voor het invloedsgebied.

Op basis van het voorgaande is bij het samenstellen van de monitoring primair gekozen voor de monitoring van de abiotiek (de 1^e orde gevolgen in het schema in Figuur 3-1) en in beperkte mate, vanuit het voorzorgprincipe, voor de monitoring van biotiek (de 2^e orde gevolgen in het schema in Figuur 3-1).

De ecologische parameters sluiten het beste aan bij het gebied en doel van de monitoring. De parameters vormen een goede doorsnede van de ecologische benutting van het bodemdalingsgebied en zijn voldoende goed meetbaar. Door de trends in de vogels en hun voedselbeschikbaarheid en – bereikbaarheid te analyseren, worden de korte termijn fluctuaties buiten beschouwing gelaten.

Naast de monitoring die is opgenomen in het monitoringsplan, wordt in en rond de Waddenzee gemeten vanwege reguliere meetprogramma's, bijvoorbeeld door Rijkswaterstaat aan de waterstanden. Daar waar de analyse van de resultaten vraagt om aanvullende gegevens, zal dit worden betrokken vanuit de reguliere monitoring.

3.2 Metingen

De metingen betreffen de bodemdaling van de ondergrond onder de Waddenzee. In Bijlage A staan de brondocumenten met de onderbouwing van het meetplan. De onderstaande Tabel 3-1 geeft een beknopt overzicht van de metingen.

Tabel 3-1 Beknopt overzicht van het meetplan zoutwinning Waddenzee.

Metingen	Toelichting	Frequentie
Twee continue GPS¹ hoogtemetingen op het wad	Twee permanente GNSS-stations in de Waddenzee en één (referentie-) GNSS-station op het vaste land (Zweins). De meetpalen zijn in de Pleistocene ondergrond verankerd.	Continue, iedere 15 seconden
Vijf GPS hoogtemetingen op het wad en drie op het vasteland.	De meetpalen zijn permanent in het Pleistoceen verankerd. Hierop wordt jaarlijks gedurende enkele dagen een GNSS meetopstelling geplaatst.	Jaarlijks
Akoestische holruimtemetingen (sonar echometing) van omvang van caverne	De vorm en het volume van de open, met pekkel gevulde ruimte van de caverne wordt gemeten door het meetinstrument via de verbuizing in de caverne te laten zakken	Iedere 1 tot 5 jaar
Geproduceerde volume zout	De geproduceerde hoeveelheid zout wordt continue gemeten met debietmeters in de pekelleiding. Dagelijks wordt de dichtheid van de pekkel gemeten. Op basis hiervan wordt de hoeveelheid gewonnen zout berekend	Dagelijks
Waterbalans	De waterbalans berekent het volume van de caverne op basis van de hoeveelheid geïnjecteerd water, de hoeveelheid geproduceerde pekkel en de berekende zoutkruip (convergentie)	Maandelijks

1. GPS staat voor Global Positioning System. Dit is één van de verschillende Global Navigation Satellite Systemen, of GNSS.

3.3 Monitoring

De onderstaande Tabel 3-2 geeft een beknopt overzicht van de monitoring. In bijlage A staat in welke brondocumenten de onderbouwing van de monitoring is opgenomen.

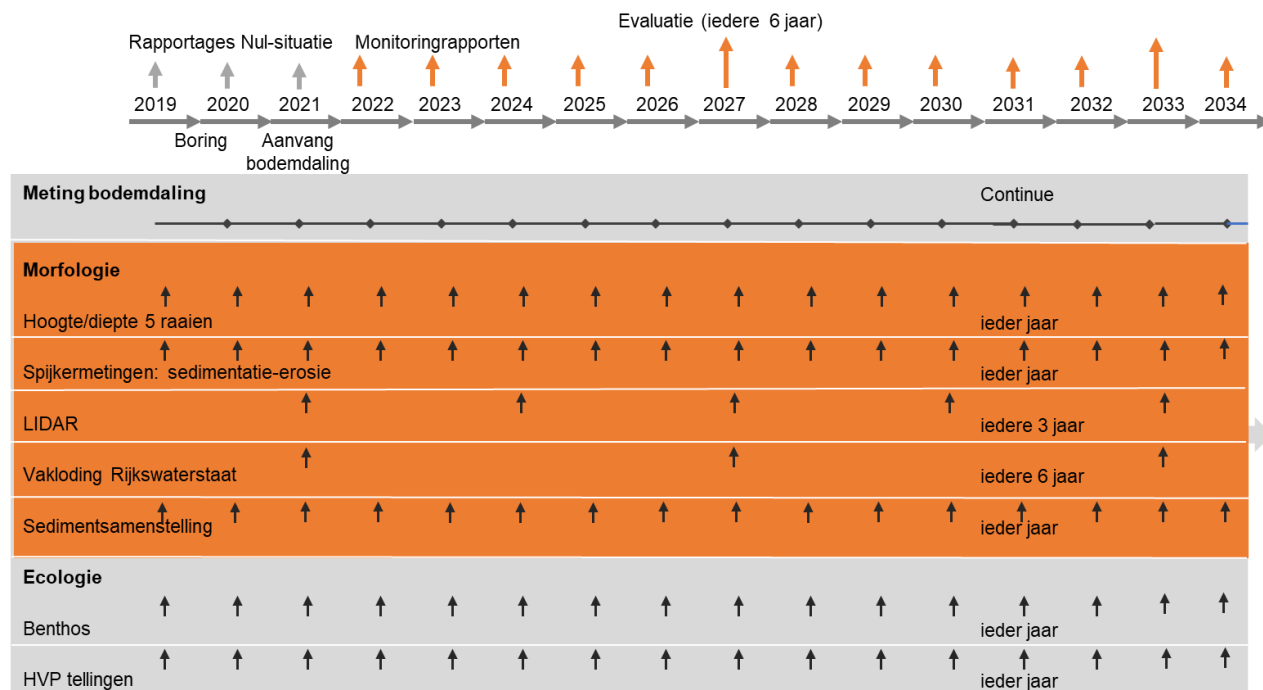
Tabel 3-2 Beknopt overzicht van het monitoringsprogramma zoutwinning Waddenzee.

Metingen	Toelichting	Frequentie	Gebied
Hoogte/diepte raaien (H7)	Primaire meting hoogte wadbodem	1 x per jaar	Vijf raaien in invloedsgebied
Spijkermetingen (H9)	Meting sedimentatie	4 x per jaar	14 meetstations op de Ballastplaat
Hoogte wadplaten LiDAR (H8)	Ruimtelijke beeld hoogte wadplaat	1 x per 3 jaar	Ballastplaat
Vaklodingen (H6)	MWTL-metingen van RWS	1 x per 6 jaar	Kombergingsgebieden
Benthos bemonstering (H11)	Ruimtelijk beeld verspreiding en biomassa bodemdieren voor vogelsoorten	1 x per jaar	12 meetstations op de Ballastplaat (bij spijkermetingen)
Sediment-samenstelling (H10)	Tijdens benthosbemonstering	1 x per jaar	Identiek aan benthosbemonstering
HVP tellingen (H11)	7 vogelsoorten	5 x per jaar	9 hoogwatervluchtplaatsen (HVP)
Ruiende bergeenden (niet meer in monitoring)		1 x per jaar	Oostzijde Ballastplaat & Vlake van Oosterbierum

3.4 Planning

De eerste boring is in 2020 afgerond en de inloofphase en caverne-ontwikkeling zijn van start gegaan. Het volume in de ondergrond is vanaf oktober 2020 afgenomen. In de eerste anderhalf tot twee jaar na het uitvoeren van de boring is nog geen sprake zijn van omvangrijke Pleistocene bodemdaling, omdat in deze fase sprake is van het inlogen en de ontwikkeling van de caverne.

In de onderstaande Figuur 3-2 zijn de metingen weer gegeven, inclusief de momenten van rapportage. De planning rond de monitoring die jaarlijks wordt doorlopen staat in bijlage B.



Figuur 3-2 Frequentie van metingen en rapportages over de jaren.

Iedere zes jaar, aansluitend aan het beschikbaar komen van de metingen van de bodemligging door Rijkswaterstaat (vakloding), wordt een volledige evaluatie van het monitoringsprogramma opgesteld.

3.5 Actuele adviezen Auditcommissie en Groene wetenschap en verwerking in de monitoringrapportages

Op basis van de ervaringen die gaandeweg worden opgedaan met het uitvoeren van de metingen, het verwerken en analyseren van de uitkomsten en de wijze van rapporteren vindt bij iedere jaarcyclus een optimalisatie plaats. De advisering door de Auditcommissie en de discussies tijdens bijeenkomst van de Groene bijeenkomst spelen hierin een belangrijk rol. In Tabel 3-3 zijn de opmerkingen van de Auditcommissie³ aangaande het monitoringsprogramma weergegeven.

Tabel 3-3 Overzichtstabel met opmerkingen en aandachtspunten van de onafhankelijke Auditcommissie voor monitoring en analyse.

Onderdeel	Opmerking	Waar te vinden in de rapportage
Algemeen	Een heldere samenvatting van de belangrijkste conclusies en leerpunten, met aandacht voor trendontwikkelingen, bandbreedten en signaleringswaarden, ontbreekt echter. De Auditcommissie adviseert deze alsnog toe te voegen.	In dit rapport is veel aandacht besteed aan een heldere samenvatting. Aandacht voor trends en bandbreedten beperkt zich tot enkele opmerkingen vanwege de complexiteit van deze materie
Pleistocene bodemdaling	De Auditcommissie acht de bodemdalingsprognose realistisch. Wel merkt ze op dat eventuele onzekerheden bij het bepalen van de bodemdaling niet expliciet weergegeven zijn. Daarom adviseert	Komvorming nabij het aardoppervlak als gevolg van bodemdaling door zoutwinning is

³ Zoutwinning Waddenzee; Advies Auditcommissie over monitoringsprogramma en nulmeting. 8 december 2021 / projectnummer: 3573

Onderdeel	Opmerking	Waar te vinden in de rapportage
	de Auditcommissie om na te blijven gaan wat de aard en grootte van de onzekerheden zijn en of de bodemdalingsvoorspelling overeen blijft komen met de werkelijke ontwikkeling.	relatief goed voorspelbaar. Deze voorspelbaarheid en residuele onzekerheden worden besproken in paragraaf 5.5.
Morfologie	De verschillen tussen LiDAR en raaimetingen lopen op van 0,05 tot 0,30 meter, waarbij de raaimetingen systematisch hoger uitvallen. De reden voor deze verschillen is niet duidelijk. Het gebruik van Ground Control Points (GCP's) speelt een cruciale rol bij de inpassing van LiDAR beelden, maar het monitoringsrapport geeft hier geen duidelijkheid over. Er is ook geen technisch rapport van de uitvoerder van de LiDAR metingen toegevoegd. Daardoor is niet duidelijk hoe de gegevens zijn ingewonnen, hoe deze zijn bewerkt en vervolgens via GCP's zijn "ingepast". De Auditcommissie heeft daardoor onvoldoende inzicht in de procedures en nauwkeurigheden van de LiDAR metingen. Ze beveelt daarom aan deze ontbrekende informatie in de volgende rapportage toe te voegen.	Het technisch rapport over de LiDAR hoogtemetingen uit 2019 wordt toegevoegd. De beschrijving over het beperkte aantal GCP's in het gebied en de beperkte mogelijkheid om deze uit te breiden is opgenomen in het voorliggende rapport (paragraaf 8)
Natuur	Als het monitoringsprogramma ontoereikend is om resultaten te verklaren, dan wordt op dat moment ad-hoc gezocht naar mogelijke oorzaken. Dat gebeurt dan op basis van onderzoek dat nog geen onderdeel is van het monitoringsprogramma. De Auditcommissie beveelt aan om op voorhand inzichtelijk te maken welke stappen in zo'n geval doorlopen zullen worden. Omschrijf daartoe in de volgende rapportage een plan van aanpak.	In paragraaf 12.1 van het voorliggende rapport wordt ingegaan op de stappen die worden doorlopen bij onvoorziene bevindingen.
	Op aanraden van de Auditcommissie wordt trendspotter gebruikt om trends in vogelaantallen te bepalen. De Auditcommissie beveelt aan om in het volgende rapport het gebruik van trendspotter te evalueren. Bekijk of de gebruikte gegevens voldoende betrouwbaarheid opleveren en of trends jaar op jaar inzichtelijk zijn. Onderzoek ook of ruimtelijke variatie in het model kan worden meegenomen.	Gedurende het afgelopen jaar de betrouwbaarheid van de gebruikte gegeven onderzocht. De trends in de vogelaantallen zijn in deze monitoring uitgevoerd met het pakket TRIM. De motivatie hiervoor staat in het achtergrondrapport "Monitoring Tnul-situatie ecologie studiegebied zoutwinning Waddenzee; Data-analyse" (Wortelboer & Bensink, 2022)
	Het tellen van de verschillende vogelsoorten vindt (deels) plaats door vrijwilligers. Uit het monitoringsrapport blijkt dat er geen rekening wordt gehouden met de kans dat tellingen niet, of minder goed, uitgevoerd worden. De Auditcommissie beveelt aan om in een volgende rapportage te beschrijven hoe deze situaties voorkomen kunnen worden of wat mogelijke alternatieven zijn.	In 2021 zijn twee hoogwater-trektellingen uitgevoerd en dit wordt in 2022 uitgebreid naar drie momenten in het jaar. Deze metingen worden uitgevoerd in aanvulling op de HVP-tellingen en richten zich op de piekaantallen van de relevante soorten. Mogelijk kunnen deze tellingen op termijn als alternatief dienen indien onvoorziene HVP-tellingen niet zouden voldoen. Zie paragraaf 11.2.3 en Kersten et al. (2021).
	Uit het rapport blijkt dat de zilverplevier af valt als te monitoren soort. Er wordt gesteld dat deze vogel te weinig voorkomt op de wadplaten. De Auditcommissie merkt op dat deze soort met meer dan 1.000 individuen in het gebied voorkomt. De wadplaten hebben daarmee een wezenlijk aandeel in het behalen van de	De Zilverplevier is meegenomen in de analyse van de vogelaantallen, zie paragraaf 0.

Onderdeel	Opmerking	Waar te vinden in de rapportage
	doelen voor het Natura 2000-gebied. De Auditcommissie adviseert de tellingen van deze soort daarom wel te betrekken in de jaarrapporten.	
	In het monitoringsrapport worden regelmatig de termen 'hoogwatervluchtplaats' en 'telgebied' door elkaar gehaald. In een telgebied kunnen meerdere hoogwatervluchtplaatsen aanwezig zijn. De Auditcommissie beveelt aan om in vervolgrapporten scherper te zijn op het gebruik van de twee termen.	In de rapportages is scherper gelet op het consequente gebruik van deze terminologie.
	Voor het onderzoek naar de sedimentsamenstelling wordt een steekproef over een diepte van 20 centimeter genomen. Vervolgens wordt alleen de bovenste 4 centimeter gebruikt voor onderzoek. Hierdoor is het complex om een relatie te leggen met bodemfauna: sommige soorten leven dieper dan 4 centimeter, waar het sediment ook een andere korrelgrootte kan hebben. Daarom beveelt de Auditcommissie aan om het nut van een tweede bemonstering (op bijvoorbeeld 15 cm diepte) te onderzoeken. Daarmee wordt mogelijk betere informatie over sedimentverschillen verkregen en kan dit bovendien effectiever gekoppeld worden aan het onderzoek naar bodemfauna.	De beschouwing van het nut van een tweede, diepere bemonstering staat in paragraaf 10.4.
	De Auditcommissie adviseert om ook aan te geven op welke manier resultaten van het bodemfauna-onderzoek geanalyseerd kunnen worden. Mogelijk zijn hiervoor veranderingen in gemiddelde en maximale dichtheden bruikbaar en is een trendprogramma niet nodig	De bemonstering en analyse van de bodemdieren als voedsel voor foeragerende wadvogels is in 2021 geheel aangepast, zie hiervoor het achtergrondrapport "Draagkracht van de Ballastplaat voor foeragerende vogels; Analyse pilot benthosbemonstering 2021" (Fieten, 2022) en paragrafen 11.3 en 11.4.
	De Auditcommissie adviseert om in het hoofdrapport alsnog duidelijke conclusies en leerpunten te presenteren op basis van de driejarige nulmeting. Denk hierbij aan trends, bandbreedten en signaleringswaarden.	De leerpunten op basis van de nulmeting zijn opgenomen in hoofdstuk 4.
	Pleistocene bodemdaling wordt op zeven locaties gemeten, voornamelijk in het centrum van de bodemdalingsschotel. Er ontbreken echter één of twee meetpunten aan de zuidelijke rand van deze schotel. ¹¹ De Auditcommissie beveelt aan om te beschrijven of, en hoe, het ontbreken van een meetpunt in dit gebied de bodemdalingsprognose beïnvloedt.	De motivatie voor het gebruik van 5 meetpunten in plaats van zeven is opgenomen in hoofdstuk 5.
	Afgelopen jaar zijn twee nieuwe raaien toegevoegd. Uit het monitoringsrapport blijkt dat deze wel gemeten zijn, maar de meetresultaten niet in het rapport zijn opgenomen. In het rapport ontbreekt bovendien een onderbouwing van de gekozen ligging van deze raaien. De Auditcommissie beveelt aan om in de volgende rapportage deze ligging te onderbouwen en de meetresultaten te presenteren. Betrek de twee nieuwe raaien ook bij de nulmeting.	De eerste meting van de twee nieuwe raaien heeft plaatsgevonden in 2021. De rapportages over 2021 zijn daarom de eerste rapportage waarin deze zijn opgenomen. In hoofdstuk 7 staat de argumentatie voor de locatiekeuze en staan de eerste resultaten van de meting.
	Uit het rapport en de aanvulling daarop blijkt dat in eerste instantie foutieve gegevens uit het laboratorium zijn gedeeld over de korrelgroottes van het sediment. De oorzaak hiervan is onbekend. De Auditcommissie beveelt aan dit nader te onderzoeken en de uitkomst hiervan in de volgende rapportage te delen	Frisia heeft het laboratorium van het NIOZ bezocht en samen met het hoofd van het laboratorium de registraties en bijhorende controles van de analyses nagelopen. Hierbij

Onderdeel	Opmerking	Waar te vinden in de rapportage
-----------	-----------	---------------------------------

zijn geen afwijkingen geconstateerd waardoor het onduidelijk blijft wat er is misgegaan.

Donderdag 21 april heeft de bespreking met de Groene Wetenschap plaatsgevonden, waarbij vooral aandacht is besteed aan de integratie van de monitoring via de voedselbeschikbaarheid op het zuidelijke deel van de Ballastplaat, waar de bodemdaling door de zoutwinning zal plaatsvinden, het gebruik van TRIM om trends te berekenen en de hoogwatertrektellingen om vast te stellen hoeveel vogels op het zuidelijke deel van de Ballastplaat foerageren.

De waterstanden op het zuidelijke deel van de Ballastplaat zijn marginaal anders dan de gemeten waterstanden in Harlingen. De gemeten waterstanden in Harlingen kunnen worden gebruikt om veranderingen in de bereikbaarheid van de zuidelijke Ballastplaat te bepalen. Tijdens is de bespreking is benoemd dat het hoogtemodel dat is opgebouwd rond de meetpunten voor sedimentatie en benthos een goede eerste orde benadering geeft om veranderingen in de bereikbaarheid van het gebied voor foerageren de vogels te bepalen. De bemonstering van het benthos in het veld en de vertaling naar het dieet geeft voldoende inzicht in de beschikbaarheid van het voedsel voor verschillende vogelsoorten. De vogelaantallen voor 1994 blijken voor veel telgebieden in belangrijke mate te bestaan uit geïnterpoleerde data, waardoor de waarde van de langjarige trends (vanaf 1970) naar verwachting minder betrouwbaar is dan de meer recente (na 1994) ontwikkelingen van de aantallen. De hoogwatertrektellingen laten zien dat niet alle vogelsoorten die op de verschillende HVP's aankomen gebruik maken van de Ballastplaat. De analyses dienen hierop te worden aangepast.

Omdat de variatie in de aanwezigheid van vogelsoorten sterk veranderd gedurende een jaar, wordt geadviseerd niet langer gebruik te maken van jaargemiddelden (omdat die zelden voorkomen). Het advies is om bijvoorbeeld de drie hoogste waarden te middelen die er gedurende een jaar zijn geteld.

In 2022 is voorzien in het uitvoeren van drie hoogwatertrektellingen in mei, juli en september, om daarmee de piekvoorkomens van de verschillende soorten te dekken. In 2022 is ook voorzien in het uitvoeren van een laagwatertelling vanuit de permante meetpaal voor de Pleistocene bodemdaling in de Ballastplaat, om vast te stellen hoeveel vogels van de verschillende soorten op dit deel van de plaat foerageren.

4 TRENDS, BANDBREEDTEN EN SIGNALERINGSWAARDEN

4.1 Signalering via de effectketen

De integratie van de uitkomsten van de metingen en de monitoring zal plaatsvinden volgens de onderlinge samenhang tussen abiotische en de biotische aspecten in de effectketen (Figuur 3-1). Dit is het eenvoudigst uit te leggen door af te dalen in de effectketen en te kijken naar de vogelaantallen op de HVP's. De geselecteerde vogelsoorten gebruiken de wadplaten in het invloedsgebied om te foerageren als de platen zijn drooggevallen. Het voedsel van de vogelsoorten bestaat uit verschillende soorten bodemdieren. Voor de vogels is niet alleen belangrijk hoeveel bodemdieren aanwezig zijn, maar ook hoe groot het areaal aan wadplaat is en hoelang de wadplaat droogvalt zodat kan worden gefoerageerd. Voor de bodemdieren is ook de sedimentsamenstelling van belang. De verschillende soorten bodemdieren hebben een voorkeur voor meer slibrijke, of meer zandrijke wadplaten. Ook vogels hebben een voorkeur voor bepaalde bodemsamenstellingen.

Indien zich een trendmatige verandering voordoet in de vogelaantallen op de HVP's nabij het invloedsgebied, dan zal worden gekeken in hoeverre de beschikbaarheid van voedsel voor deze steltlopers is veranderd op de Ballastplaat. De beschikbaarheid van voedsel hangt af van het aanwezige bodemleven, het areaal aan droogvallende platen, de droogvalpercentages (die worden bepaald door de hoogte van de platen in combinatie met de waterstanden) en de sedimentsamenstelling. Hierbij zal een verband worden gelegd met de voedselvoorkeuren (soorten en omvang van de prooien) van de verschillende vogelsoorten. Vervolgens wordt ook gekeken naar veranderingen in de bodemligging en de bodemsamenstelling, om vast te stellen of hierin veranderingen zijn opgetreden die van invloed kunnen zijn op de bodemdieren. En ook wordt gekeken naar de eventuele relatie tussen veranderingen in de bodemhoogte en bodemsamenstelling en de bodemdaling door de zoutwinning. In Bijlage D is in het signaleringsschema opgenomen hoe de integratie van monitoringsuitkomsten via de effectketen tot stand komt.

4.2 Evaluatie van de "T0-situatie"

Met T0-situatie bedoelen we de gemeten situatie voordat er invloed van bodemdaling door zoutwinning plaatsvond. De zoutwinning onder de Waddenzee is gestart in september 2020, wat betekent dat de metingen die tot en met het tweede kwartaal van 2020 zijn gedaan nog tot de T0-situatie behoren. In het onderhavige monitoringprogramma gebruiken we de T0-situatie als een set eerste replica's in de op te bouwen meetreeksen. Hier komen we in de onderstaande tekst op terug.

T0-situaties kunnen op verschillende manieren worden gebruikt. Wanneer de data zich daarvoor leent, kan de T0-situatie worden ingezet in een statistische analyse. Er is dan een dataset die de periode voor (T0) en de periode tijdens (T1) de activiteit beschrijft. Getoetst kan worden of deze twee datasets gemiddeld van elkaar verschillen. Dit kent de volgende uitdagingen.

1. De situatie (responsevariabelen) in meetopstellingen verandert altijd in de loop van de tijd;
2. Er zijn altijd verschillen in ontwikkeling tussen zogenaamde CONTROLE- en IMPACT-gebieden;
3. De T0-dataset en de T1-dataset moeten met elkaar in balans zijn (balans + homogeniteit);
4. Er moet meestal gecorrigeerd worden voor temporele en ruimtelijke onafhankelijkheid;
5. Door veel toetsen uit te voeren treedt kanskapitalisatie op.

Hieronder volgt een toelichting op deze punten vanuit het oogpunt van de onderhavige monitoring..

Wanneer je bovenstaande punten in acht neemt, dan kun je een statistische toets gebruiken om de gemeten waarden in de T0 periode te vergelijken met een T1 periode van min of meer gelijke tijdsspan. Hoe meer bodemdaling is opgetreden, des te groter de effectgrootte. Echter, des te later in de tijd je de T1-dataset kiest, des te groter is de kans dat er allerlei verandering optreden waarvan je het effect meet (punt 1).

Als correctie voor veranderingen die in het onderzoeksgebied in de loop van de tijd optreden, wordt vaak een vergelijking met een controle (referentie) uitgevoerd. In het monitoringprogramma zijn dat de zogenaamde referentiegebieden: gebieden die zich vergelijkbaar zouden gedragen, maar niet onder invloed staan van bodemdaling door zoutwinning. Toetsen in de tijd en in vergelijking met een referentie noem je de BACI-methode. BACI staat voor Before-After-Control-Impact. Dit was één van de meest gebruikte methoden in effectenstudies. De methode bleek minder geschikt voor veldstudies omdat er altijd verschillen zijn in de

ontwikkeling van een “Impact-gebied” en het “Control-gebied” (punt 2). Deze verschillen in ontwikkeling hebben de neiging gemiddeld groter te worden wanneer gebieden verder uiteen liggen en wanneer er meer tijd verstrijkt. Voor veldstudies is daarom voor de Beyond-BACI-methode gepleit (Green, 1979). De gedachte achter Beyond-BACI is dat je de BACI set-up meervoudig uitvoert, bijvoorbeeld 20 keer. Van belang zijn dan niet de individuele verschillen tussen de ontwikkelingen in de sets van Impact- en Control gebieden, maar het consistente verschil dat de hele populatie aan replica’s laat zien. De power van Beyond-BACI is dan ook erg laag. Uit het onderzoek naar de effecten van mosselzaadvijverij in de Waddenzee kwam naar voren dat een effectgrootte van minimaal 25% detecteerbaar was (Smaal et al., 2013). Dit was op basis van ca. 30 replica’s. Het toevoegen van replica’s in het onderzoeksgebied leidde tot pseudoreplicatie en het vergroten van het gebied bracht de introductie van nieuwe ecologische situaties en dus variatie met zich mee. Kort gezegd was een hogere statistische power niet haalbaar. Voor de zoutwinning onder de Waddenzee is het niet mogelijk om van Beyond-BACI gebruik te maken. Het is namelijk niet te doen en ook niet wenselijk om t.b.v. de effectenstudie op tientallen plaatsen in de Waddenzee bodemdaling door zoutwinning te veroorzaken.

Een veel gebruikt alternatief voor de bovengenoemde methode is tijdserie-analyses. In verreweg de meeste tijdserie-analyses wordt onderzocht in hoeverre bepaalde verklarende variabelen correleren met de ontwikkeling in een responsvariabele. Met andere woorden: lijkt er een verband te zijn tussen de ontwikkeling van bijvoorbeeld vogelaantallen op de Ballastplaat en allerlei variabelen die gemeten worden in het monitoringprogramma? In een dergelijke analyse is T0 niet meer dan één of enkele replica’s in de dataset. Het gaat hierbij dan ook niet meer om de gemiddelde verandering t.o.v. T0, maar om een eventuele negatieve trendmatige ontwikkeling en of die (kort gezegd) correleert met bodemdaling. Er zijn echter ook tijdserie-analyses die wel toetsen tegen een zogenaamde (T)0-situatie. In deze analyses vertegenwoordigt de T(0)-situatie de “volledige” natuurlijke bandbreedte aan variatie in de meting; bijvoorbeeld de hele natuurlijke variatie in bodemdierenbiomassa op de Ballastplaat. Wanneer je die variatie kent, kunt je bepalen of er effecten van bodemdaling optreden die groter zijn dan de natuurlijke dynamiek van het systeem. Dergelijke methoden zijn ontwikkeld t.b.v. ecotoxicologisch onderzoek in mesocosmexperimenten (Kersting, 1984). Het werk van Kersting laat zien dat het vaststellen van de natuurlijke dynamiek (normal operating range) erg veel tijd in beslag neemt. Het positieve nieuws is dat het monitoringsprogramma gebruik maakt van een aantal lange monitoringreeksen (vogels en schelpdieren) die al een heel aardig beeld geven van de natuurlijke dynamiek. Bekend is dat deze natuurlijke dynamiek in de Waddenzee erg groot is. Schelpdierbiomassa’s op de Ballastplaat variëren tussen “torenhoge waarden” en “praktisch afwezig”. Het heeft geen zin om pas de hand aan de kraan te leggen wanneer de schelpdieren meerdere jaren volledig verdwenen zijn (bij wijze van spreken). Vandaar dat we met de T0-situatie niet voor ogen hebben om de gehele natuurlijke dynamiek in beeld te hebben.

In het monitoringprogramma gebruiken we de T0-situatie dus niet om tegen te toetsen en ook niet om de natuurlijke dynamiek zonder bodemdaling door zoutwinning mee in beeld te krijgen, maar als een set eerste replica’s in de op te bouwen meetreeksen. Deze reeksen hebben als doel om nadelige ontwikkelingen (afnames) te signaleren.

In tijdserie-analyses hebben de begin en eindwaarden van de tijdreeks vaak een sterk effect op de trendlijn. Het is daarom erg belangrijk dat de T0-metingen een correct beeld van de werkelijkheid geven. In monitoring is een veel voorkomende valkuil dat de metingen in de loop van de tijd steeds beter worden waardoor de over- of onderschatting in de loop van de tijd verdwijnt en daardoor een trend ontstaat. Een sprekend voorbeeld hiervan is de LiDAR-data van Pinkgat en Zoutkamperlaag waarbij al jaren gediscussieerd wordt over de slechte kwaliteit van de eerste metingen die zorgen voor een relatief groot areaal wadplaten boven een bepaalde NAP-hoogte. In de onderhavige evaluatie van de T0-situatie bespreken we daarom de kwaliteit van de eerste meetwaarden.

Tijdserie-analyses zijn vaak vormen van non-lineaire regressie waarin rekening wordt gehouden met temporele afhankelijkheid in de data. De uitdaging met monitoringdata is dat er naast schending van temporele onafhankelijkheid ook schending is van ruimtelijke onafhankelijkheid en van homogeniteit, etc. (punten 3 en 4). Er is geen commerciële software beschikbaar die kan corrigeren voor al dit soort kwaliteitsbeperkingen in één model. Schending van de bovengenoemde statistische aannames leidt bijna altijd tot een onderschatting van de variatie of tot een overschatting van de statistische steekproefgrootte en dus tot een type 1 fout.

Het vijfde is een algemene stelregel in de data-analyse: Door veel toetsen uit te voeren neemt de kans toe dat sprake is van een toevallige correlatie.

Gegeven de bovenstaande discussie beschouwt de onderhavige evaluatie van de T0-situatie steeds twee aspecten van het monitoringprogramma:

- a. Is de indeling en kwaliteit van het monitoringprogramma adequaat om trendanalyses uit te voeren voor de relevante niveaus van de gekozen effectketen?
- b. Is de indeling en kwaliteit van het monitoringprogramma adequaat om relaties tussen afhankelijke en verklarende variabelen te berekenen op basis van multiregressie-analyses?

Metingen Pleistocene bodemdaling

Continue metingen GPS - Meetpalen

De meetpalen staan gunstig gepositioneerd en worden adequaat onderhouden, zodat geen storingen optreden. De dataverzameling verloopt prima. De palen staan ook gunstig wanneer er een tweede caveerne in gebruik zou worden genomen. De meetpalen blijken al behoorlijk stabiel te zijn, er is hooguit sprake van een zeer lichte daling als gevolg van zetting. Deze daling is zeer klein in verhouding tot de bodemdalingssnelheid die de komende jaren wordt verwacht. Zodoende verwachten we dat deze eerste data een goede basis vormen als startpunt van de te meten trend. Voor deze en de onderstaande dataset geldt dat ze tevens wordt ingezet ter kalibratie van de bodemdalingsmodellering.

Peilmerkclusters

Er is gekeken in hoeverre de peilmerkclusters representatief verspreid liggen over het gebied. Hierbij gaat het om de vraag in hoeverre er een punt zou moeten worden toegevoegd in het zuidwesten van de Ballastplaat. Wanneer echter wordt uitgegaan van een symmetrisch ontwikkelende bodemdalingsschotel, dan is dat niet nodig. De ligging van de peilmerkclusters is zodanig dat ze goed verspreid liggen over de straal van de toekomstige bodemdalingsschotel. Antea voert jaarlijks de hoogtemetingen uit en dit levert goede resultaten op. De data is van goede kwaliteit en geschikt om invulling te geven aan het Meet- & Regelprotocol.

In de effectketen wordt diepe bodemdaling vergeleken met de ontwikkeling van de sedimenthoogte aan het oppervlak. Dit gebeurt door de gemodelleerde bodemdaling met de geïnterpoleerde daling aan het oppervlak te gaan vergelijken. Omdat het hierbij gaat om modellering van dezelfde bodemdalingsschotel als in het Meet- & Regelprotocol, kan geconcludeerd worden dat de verzameling van de informatie t.b.v. de bodemdalingsmodellering toereikend is.

In de kalibratie van de bodemdalingsmodellering ligt de focus op het vergelijken van zogenaamde dubbel differences. Dit zijn verschillen in hoogteligging die tussen meetpunten ontstaan gedurende een bepaalde tijdsperiode. Hiervoor heb je stabiele meetpunten nodig die minimaal twee keer gemeten zijn en is het niet van belang dat metingen starten in de T0-situatie. Omdat de lokale Pleistocene bodemdalingssnelheid goed meetbaar zal zijn, kunnen in de loop van het monitoringprogramma meetpunten worden bijgeplaatst indien daar aanleiding toe is.

Aspect	Voldoen de metingen van de Pleistocene bodemdaling	Opmerking
A	✓	-
B	✓	-

Ontwikkeling van de sedimenthoogte en -samenstelling in het bodemdalingsgebied

Hoogte/diepteraaien

De metingen zijn praktisch gezien goed uitvoerbaar. Er zijn in 2021 twee raaien toegevoegd. Hiermee liggen de raaien redelijk evenwichtig verdeeld over het toekomstige bodemdalingsgebied. De dichtheid van de raaimetingen is relatief hoog in het deel van het bodemdalingsgebied waar de verwachte bodemdaling het grootst is. In gesprek met De Groene Wetenschap werd opgemerkt dat de raaien ook relatief veel aandacht besteden aan geulen naast het bodemdalingsgebied. De vraag was waarom daarvoor gekozen is. Het antwoord was dat inzicht in geulontwikkeling bepalend kan zijn voor de morfologische ontwikkeling van de Ballastplaat. De Groene Wetenschap geeft aan dat de hoogte-ontwikkeling de Ballastplaat-Midden interessant zou kunnen worden omdat dit het gebied is waar vogels naartoe zouden uitwijken wanneer de ecologische waarde van de Zuidelijke Ballastplaat zou afnemen. Deze mogelijkheid zullen we in 2022 nader bestuderen en mogelijk implementeren.

De kwaliteit van de raaimetingen voldoet. Hoogteverschillen tussen overlappende raaien bedragen enkele centimeters. Op basis van deze metingen kan manifestatie van een bodemdalingsschotel aan het wadoppervlak geregistreerd worden.

In hoeverre de correlatie met de diepe bodemdaling op het niveau van delen van raaien of op het niveau van een enkel hoogtemodel (soort hoogtekaart) moet plaatsvinden, wordt nog bestudeerd.

Spijkermetingen

De spijkermetingen worden ingezet om meerdere keren per jaar de verandering in wadplaahtoogte t.o.v. NAP mee te nemen in de berekening van de oogstbare hoeveelheid voedsel per getij voor de betreffende vogelsoorten. Zodoende wordt een locatie waar spijkermetingen worden gedaan representatief geacht voor een omliggend gebied. Net zoals dat voor de benthosdata en de korrelgrootteverdeling van het sediment het geval is. Naast de bovengenoemde rol in het monitoringprogramma, zijn de spijkermetingen ook bedoeld om, bij gemeten daling aan het wadoppervlak, aan te geven of het gaat om bodemdaling of erosie.

De bereikbaarheid van de meetpunten is beperkt. Met name in de winterperiode kan het lastig zijn de lager gelegen meetpunten te bereiken. Voor de spijkermetingen is dit probleem wat kleiner dan voor de benthosbemonstering die bij die punten plaatsvindt. Ondanks deze beperkingen loopt de dataverzameling voor de spijkermetingen goed.

De Groene Wetenschap vroeg zich af in hoeverre het toevoegen van bijvoorbeeld twee meetlocaties op de overgang van het zuidelijke naar het middendeel van de Ballastplaat een goed idee kan zijn. De reden hiervoor is dat uit de resultaten (vogeltellingen) blijkt dat dit hoger gelegen gebied van belang zou kunnen zijn voor foeragerende vogels. Deze mogelijke uitbreiding wordt dit jaar nader onderzocht.

LiDAR-metingen & Vaklodingen

De LiDAR-hoogtemetingen van de droogvallende platen geven ruimtelijk aanvullende informatie op de raaimetingen en de Spijkermetingen, van de droogvallende platen (LiDAR) en van de platen en geulen in het gehele kombergingsgebied. Zoals in de rapportage over het monitoringsjaar van 2020 besproken is, ligt het zuidelijk deel van de Ballastplaat te laag om LiDAR adequaat toe te kunnen passen voor het vaststellen van de absolute hoogte. Ground-control points zijn beperkt tot de zuidwestzijde van het aandachtsgebied, zodat daarmee geen correctievlak kan worden geconstrueerd, zoals dat bij het Pinkegat-Zoutkamperlaag is gebeurd (Deltares, 2020). Dit is geen probleem, omdat voor de monitoring van de hoogte de raaimetingen voldoen en voor de sedimentatie/erosie de Spijkermetingen voldoen. Voor het verkrijgen van inzicht in de aanwezigheid van bodemvormen op de (hogere) droogvallende delen is de LiDAR wel geschikt. De vaklodingen geven de context van de morfologische ontwikkelingen in het gehele kombergingsgebied.

Aspect	Voldoen de metingen van de bodemhoogte	Opmerking
A	✓	-
B	✓	In hoeverre de correlatie met de diepe bodemdaling op het niveau van delen van raaien of op het niveau van een enkel hoogtemodel (soort hoogtekaart) moet plaatsvinden, wordt nog bestudeerd.

Sedimentsamenstelling

De analyses tijdens de T0-periode geven een goed beeld van de ontwikkeling van de sedimentsamenstelling op en rond de Ballastplaat. De ruimtelijke verschillen blijken groot te zijn. De vraag is in hoeverre metingen buiten het bodemdalingsgebied nodig zijn. NIOZ verzamelt dezelfde data als onderdeel van de SIBES. Wanneer er in de toekomst een analyse nodig is om de bepalen hoe de sedimentsamenstelling in andere delen van de Waddenzee ontwikkelt, kan op die dataset worden teruggevallen.

Er zijn problemen geweest met de data-analyses door het NIOZ. De resultaten waren onverwacht en weken systematisch af van voorgaande jaren terwijl er in het veld geen bijzonderheden waren waargenomen. Het NIOZ heeft daarom de monsters opnieuw geanalyseerd waarna de resultaten goed leken te zijn. Frisia heeft het laboratorium van het NIOZ bezocht en samen met het hoofd van het laboratorium de registraties en bijhorende controles van de analyses nagelopen. Hierbij zijn geen afwijkingen geconstateerd waardoor het onduidelijk blijft wat er is misgegaan.

Aspect	Voldoen de metingen van de sedimentsamenstelling	Opmerking
A	✓	Aanvullende gegevens vanuit SiBES zijn, indien gewenst, beschikbaar om vast te stellen wat de ruimtelijke variatie is in de sedimentsamenstelling.
B	✓	-

Ecologie

Bodemdieren

Tot dusver is gebruik gemaakt van de schelpdierdata van WMR, de zogenaamde Kokkelsurvey, die 5 monsterpunten in het bodemdalingsgebied heeft liggen. Vorig jaar is vastgesteld dat deze schelpdierdata geschikt is voor de Scholekster, maar niet voor de andere vogelsoorten. Besloten is om een eigen benthosurvey te starten parallel aan de spijkermetingen (zie Fieten, 2022). Zodoende kunnen we veranderingen in bodemhoogte en erosie/sedimentatie direct ruimtelijk koppelen aan veranderingen in benthos. De benthosurvey zal drie keer per jaar worden uitgevoerd: in mei, september en december. De metingen in het voorjaar en de zomer zijn gebaseerd op de vogeltrek en die in december is specifiek voor de overwinterende scholeksters. De spijkermetingen worden tijdens dezelfde surveys gemeten. Zodoende kunnen deze ook in de tijd aan elkaar gekoppeld worden. Dit geheel leent zich ervoor dat er niet één maar drie keer per jaar een meting van de oogstbare hoeveelheid voedsel per getij plaatsvindt. Waardoor er relatief snel een geschikte dataset ontstaat t.b.v. trendanalyses. Een ander voordeel is dat er geen extrapolatie van biomassa's bodemdieren hoeft plaats te vinden van het tijdstip van bemonsteren naar het tijdstip waarop de vogels in aantallen pieken.

De benthosurvey is specifiek ontworpen om een sleutelrol te vervullen in het monitoringprogramma. De metingen zijn in ruimte en tijd afgestemd op de andere aspecten van het monitoringprogramma. Daarnaast is de maaswijdte van de zeef en het taxonomisch niveau waarop geïdentificeerd wordt, afgestemd op dieetkenmerken van de verschillende vogelsoorten.

De komende jaren willen we nog een aantal tests uitvoeren om te onderzoeken welke bronnen van variatie de meeste invloed hebben op de monitoringsresultaten. In de huidige benadering gaan we er van uit dat met name de ruimtelijke variatie in de biomassa bodemdieren de belangrijkste is. Vandaar dat we per monsterlocatie drie benthosmonsters nemen die vervolgens worden samengevoegd.

In 2021 zijn eerste bemonsteringen uitgevoerd die een goede eerste indruk geven van het benthos op de Zuidelijke Ballastplaat. In vergelijking met de schelpdierdata van WMR blijkt dat de schelpdierbiomassa's op de Zuidelijke Ballastplaat momenteel hoger zijn dan de WMR survey laat zien.

Aspect	Voldoen de metingen van de bodemdieren	Opmerking
A		De pilot bemonsteringen in 2021 bieden zicht op een monitoring die specifiek gericht is op de zuidelijke Ballastplaat. Door deze drie keer per jaar uit voeren wordt snel een tijdserie opgebouwd die zich leent voor trendanalyse
B		De benthosmonitoring is specifiek gericht op het leggen van verbanden tussen vogelaantallen en de geschiktheid van de Zuidelijke Ballastplaat als foerageergebied

Vogels

De getelde aantallen vogels op de HVP's, die worden gecombineerd in telgebieden geven aantrekkelijke langjarige reeksen die uitstekend bruikbaar zijn om trends te bepalen. Hierbij zijn wel enkele inhoudelijke kanttekeningen te plaatsen. Uit de analyses ten behoeve van deze T0-evaluatie blijkt dat de omvang van de inputting in de HVP vogeltellingen van Sovon voor 1994 dermate omvangrijk is dat deze data ongeschikt wordt geacht voor de beoogde tijdserie-analyses (Wortelboer & Bensink, 2022). Verder kwam uit discussies binnen de Groene Wetenschap naar voren dat het gebruik van jaargemiddelden voor de analyses van de vogelaantallen ongeschikt is. Deze jaargemiddelden doen geen recht aan de piekaantallen waarin bepaalde soorten het gebied bezoeken en bieden daardoor een onderschatting van de benodigde draagkracht van het gebied. In andere studies (monitoring bodemdaling Ameland) wordt gebruik gemaakt van het gemiddelde van de drie hoogste telwaarden per jaar. Het advies is om dat ook voor dit monitoringprogramma te gaan doen.

In 2021 zijn twee hoogwatertrektellingen uitgevoerd. Uit de uitgevoerde tellingen bleek dat de gekozen HVP's niet allemaal tot het invloedsgebied behoren. De analyses worden in de toekomst hierop aangepast. Deze tellingen toonden aan dat de benutting van de Ballastplaat als geheel door de verschillende vogelsoorten goed kan worden vastgesteld. Om vast te kunnen stellen welke vogels ook daadwerkelijk van het invloedsgebied, de Zuidelijke Ballastplaat, gebruik maken, zijn aanvullende laagwatertellingen nodig. Op basis van deze aanvullende tellingen kan beter dan nu worden geverifieerd of veranderingen in de vogelaantallen in de telgebieden nabij de Ballastplaat samen kunnen hangen met het oogstbare voedsel. De eerste laagwatertelling staat voor 2022 gepland.

De timing van de laagwatersverspreidingsstellingen en de laagwatertrektellingen komt overeen met de pieken in de aanwezigheid van de verschillende vogelsoorten. Het bureau Ecosense houdt dit in de gaten. Zodoende zijn deze tellingen geschikt om het gebruik van de Ballastplaat door de vogels te toetsen op het moment dat we er daadwerkelijk geïnteresseerd in zijn. Op termijn zouden deze tellingen de HVP-tellingen van Sovon kunnen vervangen, maar voorlopig is het de moeite waard om beide dataset naast elkaar te ontwikkelen en de vergelijken.

Aspect	Voldoen de metingen van de vogels	Opmerking
A		Uit de evaluatie van de vogeltellingen blijkt dat de volgende aanpassingen in de data-analyse aan te bevelen zijn <ul style="list-style-type: none"> • Metingen van voor 1994 moeten worden uitgesloten van de analyses • Jaargemiddelden geven geen goed beeld van het gebruik van het invloeds- of referentiegebied en leiden tot een onderschatting van de benodigde draagkracht. • Tijdserie-analyses zullen aan de hand van de tool TRIM worden uitgevoerd
B		Aanvullende hoogwatertrektellingen en laagwatersverspreidingsstellingen gaan verder inzicht geven in het gebruik van de Ballastplaat door verschillende vogelsoorten, om zo de relatie tussen het oogstbare voedsel en de aantallen in de telgebieden te duiden. Het is mogelijk dat deze data op termijn de analyse van HVP-data kan vervangen.

Aanvullende metingen

Waterstanden

Ten behoeve van het berekenen van de voedselbereikbaarheid moet een inschatting kunnen worden gemaakt van de droogvalduur en –frequentie van de Zuidelijke Ballastplaat. Dit kan op basis van de tool Intertides of op basis van de gemeten waterstanden bij het dichtstbijzijnde meetstation. Dit is het meetstation Harlingen. Ecocurves heeft een Intertides berekening gemaakt, welke Arcadis heeft vergeleken met de gemeten waterstanden bij het meetstation Harlingen. Uit deze vergelijking bleek dat er slechts een minimaal verschil was tussen beide benaderingen en dat beide kunnen worden ingezet in dit monitoringprogramma.

Wind

De windkracht en –richting bepalen in sterke mate de waterstanden in de Waddenzee. De timing van een serie stormen kan zodoende bepalen of de gemiddelde droogvalduur in een bepaald jaar hoog of juist laag uitvalt. Data over de opgetreden windsterkte en -windrichting is beschikbaar via het KNMI.

Zoutgehalte

Bodemdieren zijn gevoelig voor veranderingen in het zoutgehalte van het water. Met name in de periode van rekrutering kan het effect op juveniele dieren of larvale stadia groot zijn. Het zoutgehalte van het water dat met vloed over de Ballastplaat heen stroomt, wordt bepaald door het spuiregiem bij Harlingen en Kornwerderzand. De spuidebieten zijn beschikbaar. Actuele metingen van het zoutgehalte in de Westelijke Waddenzee ontbreken. Onderzocht wordt of het loggen en analyseren van het zoutgehalte boven de Ballastplaat van meerwaarde kan zijn voor dit monitoringprogramma.

Temperatuur

Periodiek vindt massale sterfte van (commerciële) schelpdiersoorten plaats op de droogvallende platen van de Waddenzee. Met name van de Kokkel is dit een bekend fenomeen. In hoeverre dit ook andere benthossoorten treft weten we niet. Deze massale sterfte wordt vaak gekoppeld aan een hoge watertemperatuur (waarschijnlijk niet aan de temperatuur tijdens laagwater). Onderzocht wordt of het loggen en analyseren van de temperatuur van het water boven de Ballastplaat van meerwaarde kan zijn voor dit monitoringprogramma.

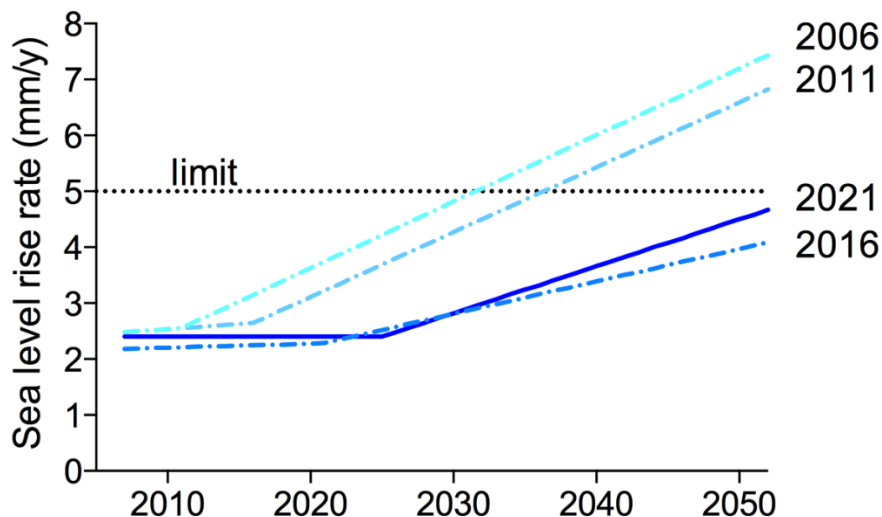
Baggerspecie

Op de verspreidingslocatie Kimstergat 1 en 2 wordt baggerspecie verspreid dat afkomstig is uit de haven van Harlingen en uit verschillende vaargeulen in de omgeving. Het totale volume dat wordt verspreid op deze locatie ligt boven 1 miljoen m³ per jaar. De beide verspreidingslocaties liggen ten zuidwesten van de Ballastplaat. Gegevens over de hoeveelheid en de samenstelling (zand/slib) kunnen worden opgevraagd bij de betrokken beheerders (Port of Harlingen en Rijkswaterstaat). Indien zich aanwijzingen voordoen dat de verspreiding van de baggerspecie gevolgen heeft voor bijvoorbeeld de sedimentsamenstelling, dan kan een analyse plaatsvinden van de verspreiding van de baggerspecie.

4.3 Een foutmarge op de snelheid van zeespiegelstijging

Zeespiegelstijging is een lastig begrip. Je zou zeespiegelstijging kunnen beschrijven als een interpretatie van de ontwikkeling van de waterstanden. Het resultaat wordt dan ook bepaald door welke meetstations en welke meetreeks (jaren) je daarbij gebruikt. Nog belangrijker is het model dat je gebruikt om de langjarige ontwikkeling in het zeewaterniveau te beschrijven. Welk model je kiest, hangt af van je doelstelling. Als je het zeeniveau in het jaar 2100 wilt inschatten, heb je weinig aan historische data. Wil weten wat de snelheid van stijging op dit moment is, dan zijn de daadwerkelijke metingen van groot belang.

Eens per vijf jaar stellen onderzoekers van TNO, Deltares en het KNMI samen een advies op waarin staat hoe snel de zeespiegel de daaropvolgende vijf jaar zal stijgen. Wanneer de minister dit advies overneemt, is het zeespiegelstijgingsscenario een voorschrift om de gebruiksruimte voor mijnbouw onder de Waddenzee vast te stellen. Figuur 4-1 laat de zeespiegelscenario's zien die de sinds de introductie van het Hand-aan-de-Kraan-systematiek zijn voorgeschreven voor het berekenen van de gebruiksruimte.



Figuur 4-1 Vier scenario's voor zeespiegelstijging (het vlakke deel van elke curve aan de linkerzijde) en bijhorende richtscenario's (het steile deel aan de rechterzijde) voor mijnbouw onder de Waddenzee. De stippellijn met 'limit' is het meegroeivermogen van het kombergingsgebied Vlie.

We weten zeker dat het waterniveau langs de Nederlandse kust de komende jaren niet met 2,4 mm per jaar toeneemt. Het waterniveau fluctueert immers heel erg sterk en kan hier gemiddeld vele centimeters van afwijken. De voorspelling van 2,4 mm per jaar houdt eigenlijk in dat wanneer we de komende 5 jaar nieuwe data verzamelen en dan met hetzelfde model de lange tijdreeks aan data nogmaals met hetzelfde model analyseren, die 2,4 mm per jaar dan de beste modelfit is. De onderzoekers hebben aangegeven dat de kans vrij groot is dat ze er 1,5 mm per jaar naast zullen zitten. Dat deze foutmarge zo klein is, komt omdat deze vooral op de waterstandendata is gebaseerd. Ze is niet erg afhankelijk van de zeer onzekere IPCC scenario's voor de lange termijn⁴. In Figuur 4-1 zijn de 4 opvolgende voorspellingen weergegeven. Hierin is te zien dat de voorspelde zeespiegelstijgingsscenario's (de vlakke delen van de lijnen aan de linkerzijde van de grafiek zich consequent tussen de 2,2 en 2,5 mm per jaar bevinden. De onzekerheidsmarge van 1,5 mm per jaar past dan ook goed bij het beeld van de afgelopen 20 jaar. In het advies aan de minister zit ook altijd een zogenaamd richtscenario voor de periode daarna. Dit richtscenario wordt wel gebaseerd op de mondiale modellering van de zeespiegelstijging en hoe die zich zou kunnen vertalen naar de Nederlandse kust. Deze

⁴ En heldere analyse van de onzekerheden in dit scenario is te vinden op de webpagina van Hessel Voortman: <https://www.hesselvoortman.nl/2021/11/10/onafhankelijke-controle-van-de-zeespiegelscenarios-van-het-ipcc/>

richtscenario's zijn dan ook zeer onzeker. De richtscenario's (de steile delen van de lijnen aan de rechterzijde) verschillen veel sterker van elkaar

Frisia heeft de opdracht gekregen om in haar jaarlijkse rapportages aan het bevoegd gezag rekening te houden met de onzekerheid op het scenario voor zeespiegelstijging van 1,5 mm per jaar. Als handreiking hierbij heeft de minister aangegeven dat hiervoor een jaarlijkse rapportage van Deltares, genaamd de Zeespiegelmonitor, geraadpleegd kan worden. Omdat geen nieuwe Zeespiegelmonitor is verschenen en andere actuele updates van de waargenomen zeespiegelstijging bij ons niet bekend zijn, is hier geen nadere uitwerking aan gegeven.

In de bovenstaande alinea's is geprobeerd duidelijk te maken dat zeespiegelstijgingsscenario's voor mijnbouw onder de Waddenzee robuust zijn gebleken en dat een foutmarge van ~1,5 mm per jaar niet nieuw is, maar reeds impliciet onder deel is van de eerder berekende scenario's. Zolang de methode om zeespiegelstijgingsscenario te berekenen niet wijzigt, zijn snelle verandering in het scenario uitgesloten. Immers, de lange meetreeks wordt slechts in beperkte mate beïnvloedt door de laatste vijf jaar aan data.

De Hand-aan-de-Kraan-systematiek houdt overigens expliciet rekening met het feit dat de zeespiegelstijging niet zonder foutmarge voorspeld wordt. Daarom zijn conservatieve aannames gedaan m.b.t. het meegroeivermogen van de wadplaten.

In onze berekeningen van de draagkracht van de Zuidelijke Ballastplaat voor foerageerde vogels wordt rekening gehouden met de veranderingen in de waterstanden van jaar-op-jaar. In de berekeningen voor de gemiddelde bereikbaarheid van de voedselrijke delen worden namelijk de gemeten waterstanden gebruikt. Op deze wijze geven we invulling aan het advies om naast een zeespiegelstijgingsscenario voor de komende vijf jaar ook jaarlijks (en in de toekomst, gekoppeld aan de bodemdierbemonstering die drie keer per jaar), de invloed van de variaties in de waterstanden te evalueren.

5 METINGEN PLEISTOCENE BODEMDALING

In het monitoringrapport “Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee; Jaarrapportage 2021” (Antea, 2022) zijn de resultaten van de metingen aan de Pleistocene bodemdaling opgenomen.

5.1 Introductie van de meetmethodes⁵

De meetmethodes zijn gericht op het vaststellen van de Pleistocene bodemdaling onder de Waddenzee. Het gaat daarbij zowel om het vaststellen van het bodemdalingsvolume, als om het vaststellen van de ruimtelijke verbreiding van de Pleistocene bodemdaling.

De metingen aan de Pleistocene bodemdaling onder Waddenzee worden uitgevoerd met twee permanente meetopstellingen (meetpalen), die continue de hoogte meten (locaties in Figuur 5-1). Deze meetpalen zijn verankerd in de Pleistocene ondergrond, zodat hoogteveranderingen de Pleistocene ondergrond direct worden gemeten. Een van de permanente meetopstellingen is nabij het punt geplaatst waar volgens de prognose de grootste en snelste Pleistocene bodemdaling plaats zal vinden. De andere permanente meetopstelling is verder naar het noordoosten geplaatst, waar de omvang van de Pleistocene bodemdaling kleiner is. De gegevens van de twee permanente meetopstellingen geven daarmee inzicht in het verschil in Pleistocene bodemdaling nabij en verder van de zoutwincavernes. Jaarlijks worden verificatiemetingen uitgevoerd aan beide permanente meetopstellingen, waarvoor in de directe nabijheid van de meetpaal nog één controlepaal onder de wadbodem tot in het Pleistoceen is geplaatst en drie controlepalen ondieper zijn verankerd.

In aanvulling op de twee permanente meetopstellingen zijn in het wad op vijf locaties meetpalen onder de wadbodem aangebracht, die tot in het Pleistoceen reiken (locaties in Figuur 5-1). Deze locaties zijn gekozen op basis van de ruimtelijke verdeling ten opzichte van de voorspelde bodemdalingsschotel in combinatie met de waterdiepte in het gebied. De waterdiepte mag niet te groot zijn, omdat anders de werkzaamheden niet kunnen worden uitgevoerd. Op deze meetpalen wordt namelijk ieder jaar gedurende ongeveer 5 dagen een tijdelijke meetopstelling geplaatst, waarbij de hoogte wordt ingemeten. Het type meting dat dan wordt uitgevoerd is geheel vergelijkbaar met de metingen van de permanente meetopstellingen. Ook voor deze metingen geldt dat aanvullende verificatiemetingen worden uitgevoerd, waarvoor controlepalen zijn geplaatst.

Door de plaatsing van deze meetpalen wordt het ruimtelijke beeld van de Pleistocene bodemdaling compleet gemaakt en kan worden gecontroleerd of deze Pleistocene bodemdaling inderdaad plaatsvindt volgens de voorspellingen. Het totale aantal meetpunten zoals dat nu is geplaatst, is toereikend voor deze controle. De jarenlange ervaring van bodemdalingsmetingen bij zoutwinning onder land heeft aangetoond dat de bodemdalingsschotel nauwkeurig met een relatief eenvoudig modelvergelijking te beschrijven is. Met de meetpunten, die strategisch op verschillende afstanden van het voorziene diepste punt geplaatst zijn, kunnen de variabelen van bovengenoemde wiskundige vergelijking worden vastgesteld. Met de resulterende vergelijking kan vervolgens de bodemdaling op elk punt in het invloedsgebied berekend worden. Met deze controle wordt tevens geverifieerd of de omvang de bodemdalingsschotel overeenkomt met de omvang die met andere metingen is bepaald.

⁵ De inhoud van deze paragraaf is afkomstig uit:

- Technische Bijlage bij Meet- en regelprotocol zoutwinning ‘Havenmond’ v.3.2, rapport Frisia Zout B.V. en Well Engineering Partners B.V., Hoogeveen 14 december 2012.
- Gestandaardiseerde aanvraag “Instemming meetplan in geval van zoutwinning”, conform artikel 41, lid 1, Mijnbouwwet (Mbw) en artikelen 30 en 33, Mijnbouwbesluit (Mbb). Frisia Zout B.V. d.d. 31-10-2019
- Bijlage: Update toelichting; meetplan Havenmond; Rapport Antea projectnummer 0267807.00, definitief revisie 11 13 juli 2018
- Duisterwinkel, E., 2018. Bodemdalingsschotel in kaart brengen met geplande meetpunten. Memo Antea 2018-002.

De omvang van de bodemdaling wordt berekend op basis van het geproduceerde zoutvolume, in combinatie met de waterbalans, die inzicht geeft in de omvang van de caverne. Ook worden holruimte metingen uitgevoerd om het volume van de caverne te controleren en vanwege mijnbouwkundige doeleinden.



Figuur 5-1 Kaart met de locaties van de monitoringslocaties voor de Pleistocene bodemdaling. De groene contour geeft de uiterste (20 mm) contour van de Pleistocene bodemdaling aan het einde van winning van het totale vergunde zoutvolume weer.

Te meten bodemdalingssnelheid en berekende bodemdalingssnelheid

In dit rapport wordt gesproken over de bodemdalingssnelheid in cm/jaar in het diepste punt van de bodemdalingsschotel. Verder van het centrum van de bodemdalingsschotel zijn de snelheden lager. Dit is de snelheid zoals die wordt gemeten met de peilmerken in de Pleistocene ondergrond. Bij het bepalen van de gebruiksruimte wordt ook gerekend met een bodemdalingssnelheid. Dit is echter geen waarde die in het veld wordt gemeten. De bodemdalingssnelheid die wordt gebruikt in de gebruiksruimteberekening is namelijk de gemiddelde bodemdalingssnelheid over het hele kombergingsgebied van het Vlie. De waarde van de gemiddelde bodemdalingssnelheid wordt berekend door het opgetreden bodemdalingssdalingsvolume (in m³/jaar) te delen door de oppervlakte van het kombergingsgebied (in m²). De gemiddelde bodemdalingssnelheid wordt vrijwel altijd uitgedrukt in mm/jaar, om de vergelijking met het meegroeivermogen (5 mm/jaar voor het Vlie) en de zeespiegelstijging makkelijk te maken.

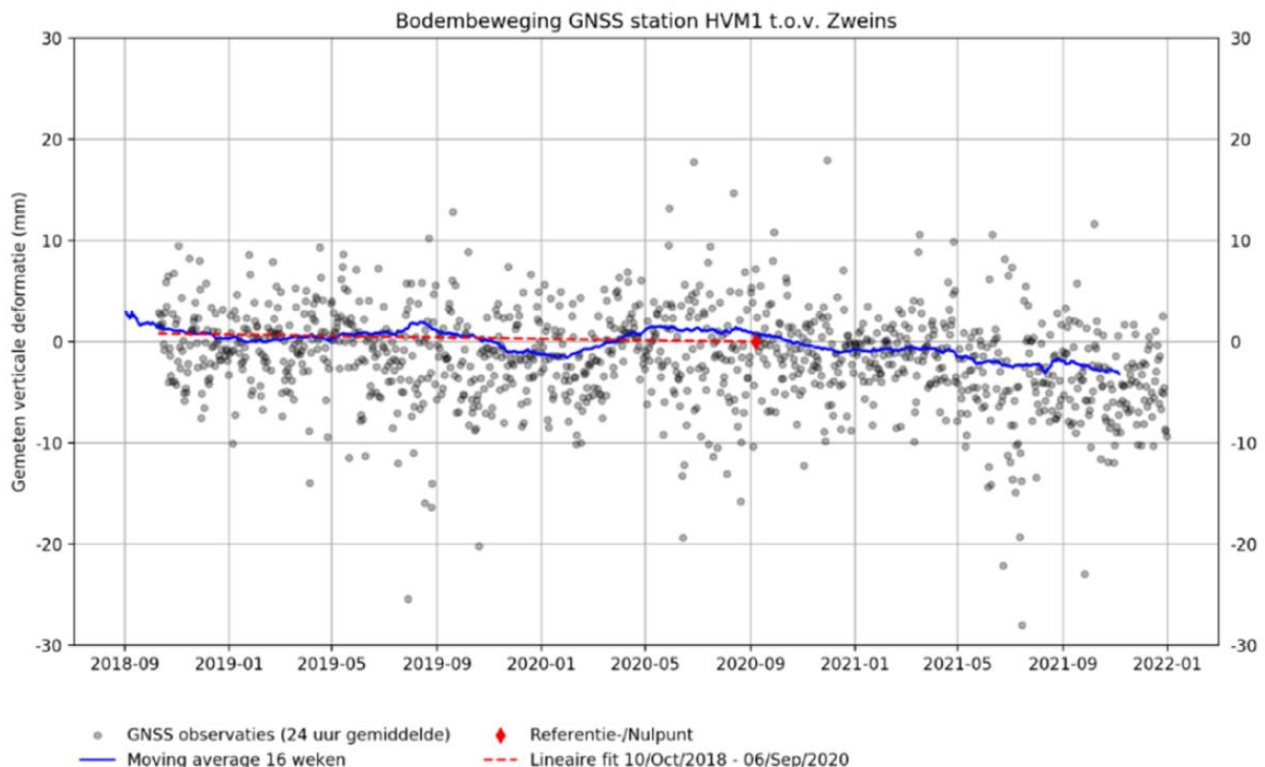
De gemiddelde bodemdalingssnelheid over het kombergingsgebied is altijd veel kleiner dan de bodemdalingssnelheid van de bodemdalingsschotel. De twee snelheden hebben fysisch gezien verschillende betekenissen en dienen niet met elkaar vergeleken te worden. Het is ook niet mogelijk om de

ene bodemdalingssnelheid naar de andere -snelheid om te rekenen. Vanwege de verschillen tussen deze twee waarden is het altijd belangrijk te controleren welk soort bodemdalingssnelheid het betreft.

5.2 Gegevens

Monitoringslocaties Pleistocene bodemdaling

De gegevens van de metingen aan de Pleistocene bodemdaling zijn opgenomen in het rapport “Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee; Jaarrapportage 2021” (Antea, 2022). De grafieken met de meetresultaten van de permanente meetstations zijn opgenomen in Figuur 5-2 en Figuur 5-3. De meetwaarden die met stippen worden weergegeven zijn de 8-uur gemiddelde meetwaarden, deze hebben een grote spreiding vanwege een verscheidenheid aan effecten die een rol spelen bij bodemdalingmetingen met GNSS. Enerzijds wordt dat toegewijd aan verstoringen op de signalen vanuit de GNSS satellieten (bijvoorbeeld reflecties, obstructies, verstoringen in de atmosfeer, en weerseffecten). Deze verstoringen veranderen over tijd en verschillen per locatie. Anderzijds zijn er ook getijde-effecten en effecten van sterke wind die de bodem ongelijk doet bewegen. De daadwerkelijke meetfrequentie van de GPS signalen is elke 15 seconde, maar voor het weergegeven van de individuele metingen is in de grafieken gekozen voor een periode van 8 uur. De keuze hierin heeft geen verdere invloed op de bepaling van de groundbeweging. De bodembeweging kan alleen nauwkeurig worden bepaald over een langere termijn en daarom zijn in de grafieken de moving averages weergegeven, als ook de lineaire fit tot aan het moment dat de zoutwinning is gestart.

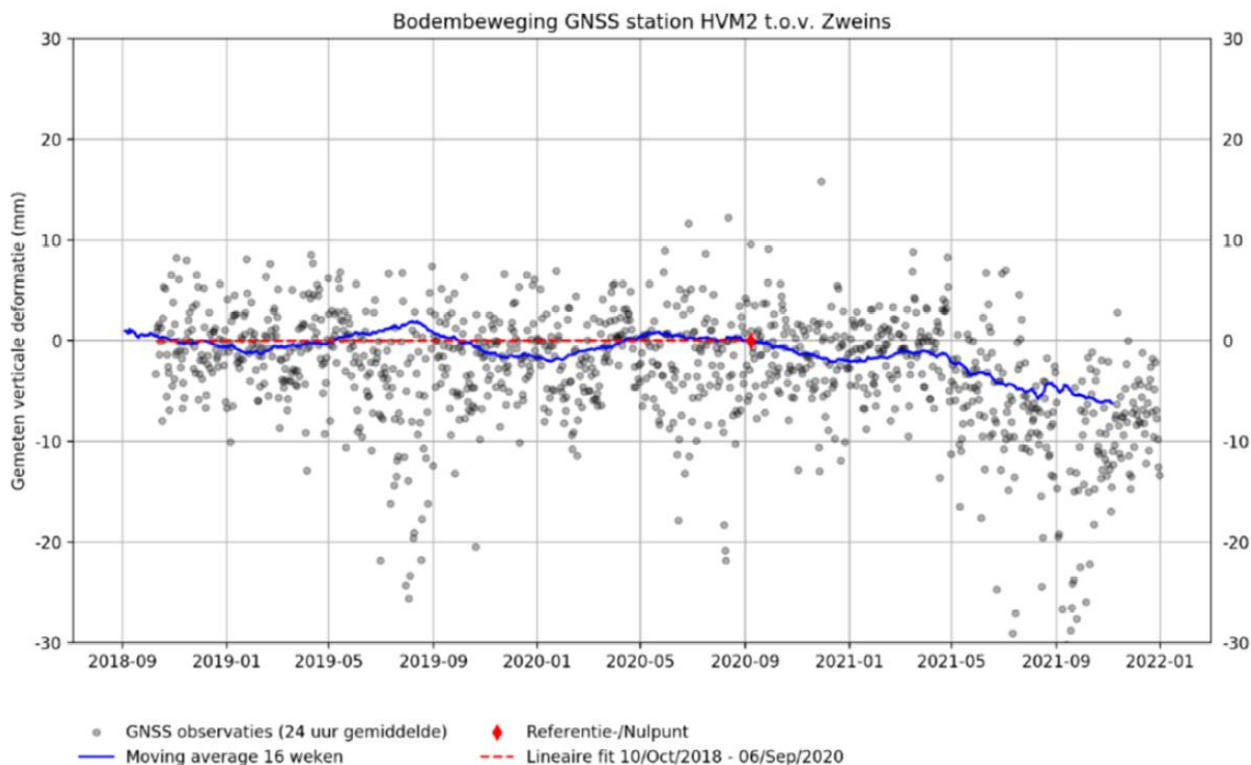


Figuur 5-2 Grafiek met de resultaten van de continue GNSS-monitoring van station CGPS01(uit Antea, 2022).

De stations CGPS01 en CGPS02 zijn vóór aanvang van de zoutwinning nagenoeg stabiel. In de periode oktober 2018 (start metingen) tot september 2020 is er een bodembeweging gemeten van -0.80 mm van CGP01 en van 0,07 mm van station CGPS02. Sinds de start van de zoutwinning op 7 september 2020 tot en

met 31 december 2021 is een daling gemeten van -3,3mm (gemiddeld -2,5 mm per jaar) van CGPS01 en van -5,9 mm (gemiddeld -4,5 mm per jaar) bij CGPS 02.

De gegevens aan de peilmerken die jaarlijks worden opgenomen geven geen aanleiding om aan de nauwkeurigheid van de continue metingen te twijfelen. De hoeveelheid bodemdaling die gedurende 2021 optrad is echter nog te klein om het geomechanische model mee te kalibreren of op aan te passen.



Figuur 5-3 Grafiek met de resultaten van de continue GNSS-monitoring van station CGPS01 (uit Antea, 2022).

Bodemdalingsvolume

Het totale bodemdalingsvolume (convergentievolume) door zoutwinning aan het einde van 2021 bedraagt 115.430 m³. Tabel 5-1 laat de zoutproductie zien, evenals het cavernevolumen en het convergentievolumen. Het volume is bepaald aan de hand van de productie van het zout en een meting van de omvang van de caverne.

Tabel 5-1 Gemeten volumeontwikkeling van de Havenmond zoutproductie en van de cavernes.

HVM-02	1/jan/20	1/jan/21	1/jan/22
Zoutproductie (m ³)	0	30.689	353.182
Open caverne vol. (m ³)	0	25.813	279.573
Convergentie vol. (m ³)	0	8.766	115.430

5.3 Analyse

Monitoringslocaties Pleistocene bodemdaling

De omvang van de Pleistocene bodemdaling onder de Waddenzee is in 2021 meetbaar, maar nog wel zeer klein. Voor de individuele meetpunten is de daling nog te klein om met zekerheid van de meetfout te kunnen

worden onderscheiden. Echter, het feit dat de omvang van het gemeten signaal een toeneemt richting het centrum van de voorspelde bodemdalingsschotel, geeft vertrouwen dat er daadwerkelijk Pleistocene bodemdaling door zoutwinning gemeten wordt.

Belasting gebruiksruimte

Input voor de toetsing zijn het meegroeivermogen van 5 mm/jaar, het vigerende scenario voor zeespiegelstijging en het bodemdalingssdalingsvolume en de -schotel.

Bij de toetsing van het bodemdalingssvolume aan de beschikbare gebruiksruimte worden de volgende stappen doorlopen:

- A. Berekening van de belasting per kombergingsgebied: op basis van de ruimtelijke bodemdalingsschotel zal worden vastgesteld welk volume van de schotel in de kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep ligt. Daarna wordt alleen het Vlie beschouwd, omdat de gebruiksruimte in het Vlie eerder limiterend is dan die in het Marsdiep.
- B. Het bodemdalingssvolume per jaar wordt gemiddeld over een periode van 6 jaar.
- C. Het bodemdalingssvolume per jaar wordt omgerekend naar de gemiddelde bodemdalingssnelheid in mm/jaar, door het te delen door het oppervlakte van het kombergingsgebied van het Vlie.
- D. De gemiddelde bodemdalingssnelheid per jaar wordt vergeleken met de beschikbare gebruiksruimte voor Frisia van 0,99 mm/jaar (=het voor Frisia beschikbare bodemdalingssvolume van 624.000 m³/jaar / oppervlakte kombergingsgebied). De uitkomst van deze berekening is het gevraagde antwoord.

Naarmate de snelheid van zeespiegelstijging in gehanteerde scenario toeneemt, neemt de totale beschikbare hoeveelheid gebruiksruimte af. Zodra de totale beschikbare gebruiksruimte kleiner wordt dan 0,99 mm/jaar + de gebruiksruimte voor andere diep delfstoffenwinning wordt deze grens gehanteerd.

Nota bene, door deze beschrijving lijkt het alsof alleen toetsing achteraf plaatsvindt. Dat is niet zo, met de productie van pekeltuut Frisia op het bodemdalingssvolume, zodat in de praktijk nooit een overschrijding zal plaatsvinden.

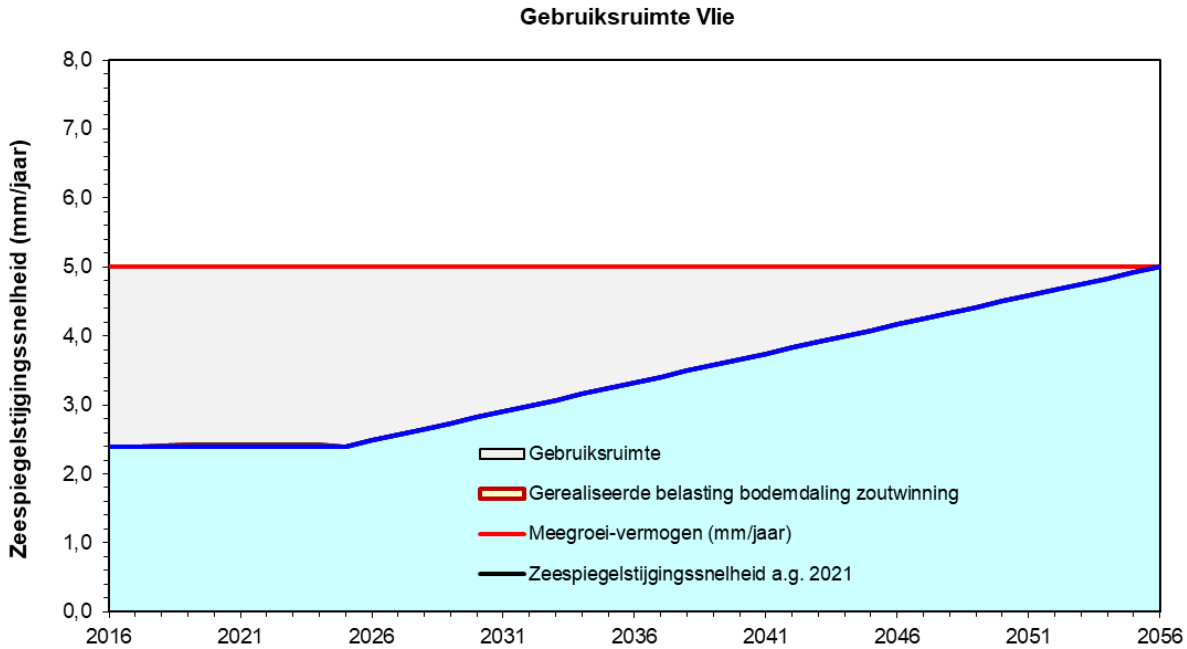
De bovenstaande stappen A, B, C en D zijn doorlopen voor het volume van de Pleistocene bodemdaling in 2021 van 106.664 m³ (totale bodemdalingssvolume 115.430 m³ eind 2022 minus bodemdalingssvolume 8.766 m³ eind 2021).

- A. Berekening van de belasting per kombergingsgebied: vanwege de positie van de caverne aan de noordoostzijde belast het volledige bodemdalingssvolume alleen het kombergingsgebied Vlie.
- B. Het gemiddelde bodemdalingssvolume over een periode van 6 jaar bedraagt 19.238 m³. (=115.430 m³/ 6 jaar)⁶.
- C. De gemiddelde bodemdalingssnelheid over de oppervlakte van het kombergingsgebied van het Vlie is 0.03 mm/jaar (= 19.238 m³/ 632 km²).
- D. De gemiddelde bodemdalingssnelheid van 0,03 mm/jaar is beduidend kleiner dan de beschikbare gebruiksruimte voor Frisia van 0,99 mm/jaar (=het voor Frisia beschikbare bodemdalingssvolume van 624.000 m³/jaar / oppervlakte kombergingsgebied).

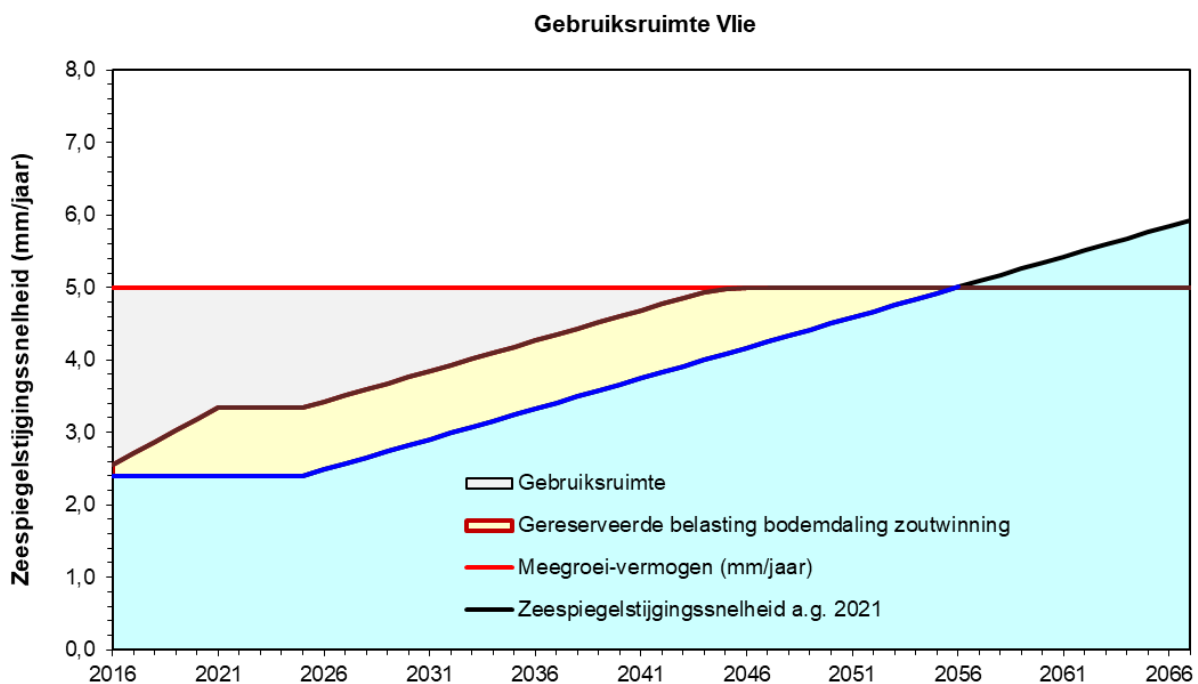
Gegeven de bovenstaande resultaten kan worden geconcludeerd dat de zoutwinning onder de Waddenzee voldoet aan de voorwaarde dat deze binnen de beschikbare gebruiksruimte blijft.

⁶ In de eigenlijke berekening wordt het bodemdalingssvolume per jaar gemiddeld over zes jaar en daarna worden de gemiddelden per jaar opgeteld. Voor de toegankelijkheid van deze berekening is dat hier niet weergegeven

Figuur 5-4 toont de grafiek met de gebruiksruimte van het Vlie. Vanwege de beperkte omvang van het bodemdalingsvolume door zoutwinning is de belasting van de gebruiksruimte door de zoutwinning niet zichtbaar in de grafiek. De gereserveerde gebruiksruimte is aangegeven in Figuur 5-5



Figuur 5-4 Grafiek met de daadwerkelijke belasting van de gebruiksruimte van het Vlie door de Pleistocene bodemdaling als gevolg van zoutwinning. Zeespiegelstijgingsscenario conform adviesgroep met bij de zeespiegelstijging tot 2026. De snelheid van stijging na 2026 is een lineaire toename tot 4,5 mm/jaar in 2050. Vanwege de beperkte omvang van het bodemdalingsvolume door zoutwinning is de belasting van de gebruiksruimte door de zoutwinning niet zichtbaar.



Figuur 5-5 Grafiek met de in het instemmingsbesluit gereserveerde belasting van de gebruiksruimte van het Vlie door de Pleistocene bodemdaling als gevolg van zoutwinning. Zeespiegelstijgingsscenario conform adviesgroep met bij de zeespiegelstijging tot 2026. De snelheid van stijging na 2026 is een lineaire toename tot 4,5 mm/jaar in 2050.

5.4 Voorspelbaarheid bodemdaling door zoutwinning

Bodemdaling door zoutwinning is relatief voorspelbaar. Dit komt omdat de bodemdaling veroorzaakt wordt door zoutkruip en niet door compactie van gesteenten i.c.m. depletie van aangrenzende aquifers en onzekerheden rond doorlaatbaarheid van breuken en connectiviteit tussen zogenaamde blokken in een geologisch model. Een zoutcaverne is gelegen in een dikke, relatief homogene zoutlaag die zich plastisch gedraagt. Dit leidt tot cirkelvormige bodemdalingsschotels per zoutcaverne. De ruimtelijke homogeniteit van de bodemdaling wordt nog versterkt doordat de zoutwinning onder de Waddenzee niet plaatsvindt in de bovenste zoutlaag (de Zechstein-3-laag). De relatieve homogeniteit en plasticiteit van de Zechstein-3-laag boven de laag waar de zoutwinning plaatsvindt, zorgen ervoor dat ook de doorvertaling van de diepe bodemdaling door de overburden ruimtelijk verdeeld wordt. Zodoende kan met een beperkt aantal metingen voor diepe bodemdaling worden volstaan.

5.5 Tussenconclusies metingen Pleistocene bodemdaling

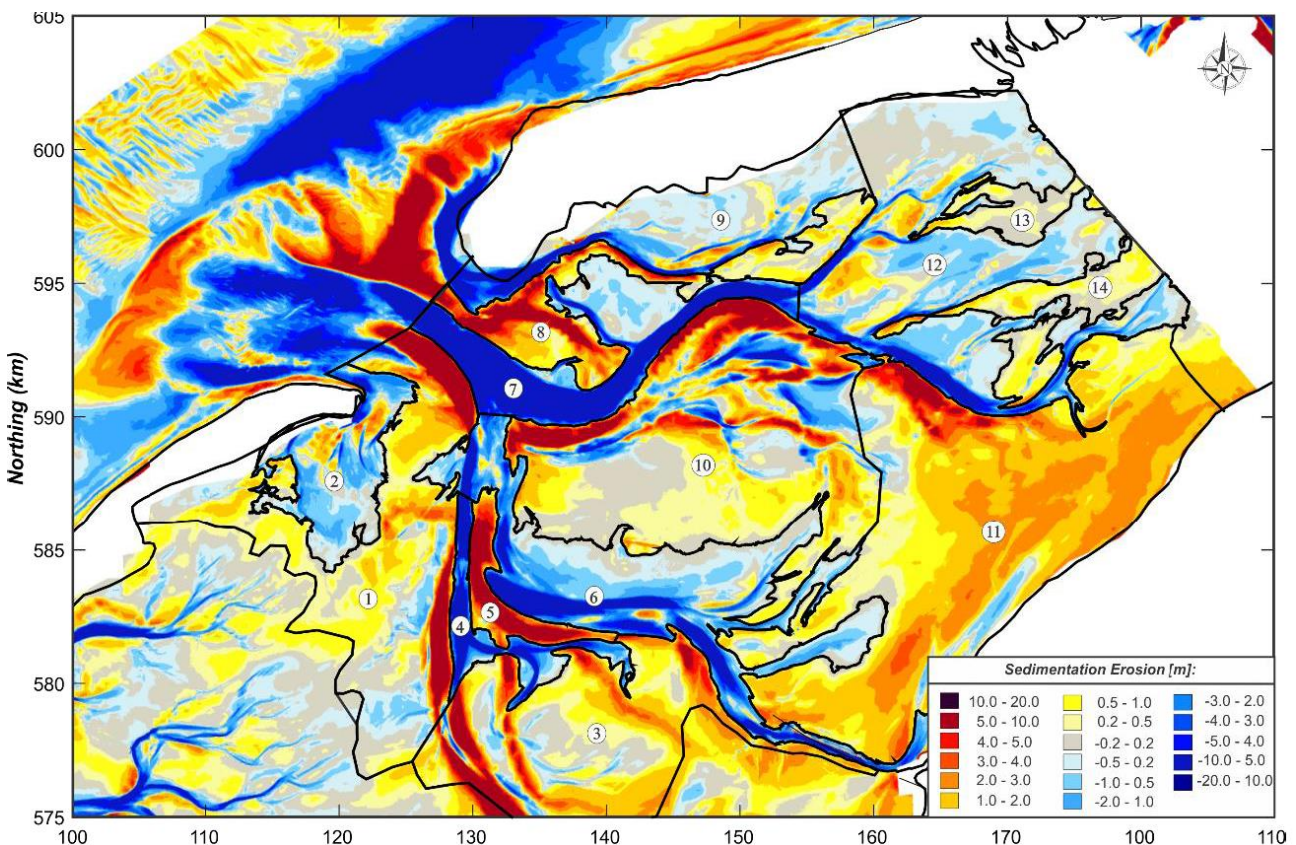
De veldmetingen van de Pleistocene bodemdaling zijn in 2021 succesvol uitgevoerd en geanalyseerd. Uit de resultaten blijkt dat de metingen de gewenste nauwkeurigheid hebben. De veldmetingen geven een eerste indruk van de ontwikkeling van een Pleistocene bodemdalingsschotel. De omvang van de bodemdaling past binnen de beschikbare gebruiksruimte.

6 VAKLODINGEN

In het monitoringrapport “Monitoring situatie 2021 bodemligging studiegebied zoutwinning Waddenzee. Arcadis-rapport” (Spaans, D. & J. Cleveringa, 2022) zijn in Bijlage B de resultaten van de hoogte/diepte raaien opgenomen.

Vaklodingen worden per kombergingsgebied in de Waddenzee 1 keer in de 6 jaar uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat. De vaklodingen maken deel uit van de MWTL (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands). De dieptemetingen van de geulen worden uitgevoerd met een (singlebeam) echolood dat is gemonteerd op een vaartuig, dat is uitgevoerd met nauwkeurige plaatsbepaling- en registratieapparatuur. Al varend wordt de diepte onder het schip gemeten. De hoogte van de droogvallende platen wordt ingemeten met LiDAR. De gegevens van de lodingen van de geulen en de LiDAR van de platen worden gecombineerd in een gebiedsdekkend grid met een resolutie van 20 m x 20 m. Iedere zes jaar worden door Rijkswaterstaat vaklodingen uitgevoerd van het kombergingsgebied van het Vlie, waarbij de meest recente opname die van 2016 is. In 2022 staat de uitvoering van de nieuwe vakloding van het Vlie op het programma, zodat in de rapportage over 2022 de informatie uit de nieuwe vakloding kan worden opgenomen.

De vaklodingen zijn uitstekend bruikbaar om de grootschalige en langjarige ontwikkelingen in beeld te brengen. In het studiegebied voor de zoutwinning treden een aantal structurele langjarige veranderingen op, die zichtbaar zijn in de opeenvolgende vaklodingen. Dit is geïllustreerd met de verschilkaarten tussen vakloding 1933-2015 van Elias (2019) in Figuur 6-1. In de verschilkaart is polygoon 11 de Vlake van Oosterbierum, met de Ballastplaat het grootste gebied met sedimentatie in het kombergingsgebied van het Vlie. Ook tegenwoordig vindt hier nog sedimentatie plaats. Ook bij de wadplaten Lange zand en Hendrik Tjaarsplaten (polygoon 3 in Figuur 6-1) heeft sedimentatie plaatsgevonden.



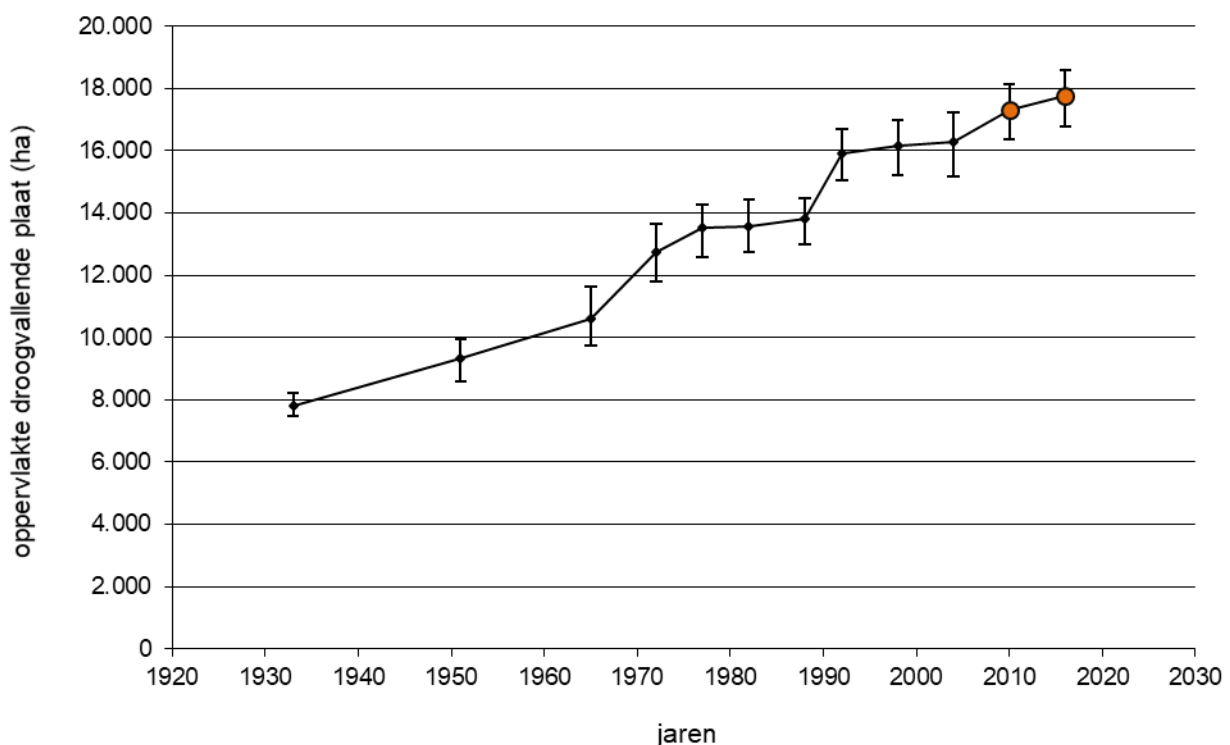
Figuur 6-1 Een overzicht van de sedimentatie-erosie patronen (1933-2015) en polygoon indeling in het bekken van het Zeegat van het Vlie (uit Elias, 2019). Polygoon 11 is de Vlake van Oosterbierum, die ook de Ballastplaat omvat.

Verder springen de gevolgen van de verplaatsing en lokale verdieping en verondieping van geulen in het oog. In de verschilkaarten manifesteren deze ontwikkelingen van de geulen als rood-blauwe banden, zoals bij 4, 5 en 6 in Figuur 6-1. Deze grote veranderingen domineren het beeld, maar leveren voor het overgrote

deel geen structurele veranderingen op in het plaat- en het geulareaal, omdat het plaatareaal dat door erosie aan de ene zijde verdwijnt door de sedimentatie aan de andere zijde wordt aangevuld.

In de kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep is het areaal en de hoogte van de droogvallende platen als gevolg van de forse sedimentatie aanzienlijk toegenomen, nadat in 1932 de Zuiderzee van de Waddenzee is afgedamd door het voltooiën van de Afsluitdijk. In de Passende Beoordeling Zoutwinning onder de Waddenzee is een beschrijving opgenomen van de autonome ontwikkeling van 1932 tot en met 2004 van het plaatareaal in het studiegebied voor de zoutwinning. Dat die trend onverminderd doorzet, wordt bevestigd door de resultaten van vaklodingen die in 2009 en 2015 (Marsdiep) en 2010 en 2016 (Vlie) zijn uitgevoerd. In de onderstaande grafiek (Figuur 6-2), zijn deze recente gegevens verwerkt (de twee oranje punten). De toename van het oppervlakte droogvallende platen in de periode 1992-2016 bedroeg gemiddeld 80 ha/jaar. Deze gemiddelde toename is meer dan twee keer zo groot als de in de Passende Beoordeling gehanteerde toename van 30 ha/jaar in de periode 1992-2004. Merk op dat de toename van het plaatareaal een netto toename betreft: het is de optelsom van wat er aan plaatareaal bijkomt en verdwijnt.

Variaties in de snelheid van sedimentatie in de Waddenzee en daarmee in de veranderingen van de arealen treden overal op in de Waddenzee. Oorzaken kunnen zijn de variaties die optreden in het getij (bijvoorbeeld onder invloed van de 18,6 jarige cyclus), variaties in het windklimaat, verschillen in biologische activiteit van bijvoorbeeld mosselen en andere producenten van faecal pellets en ook menselijke activiteiten baggeren en verspreiden en zandwinning. Van de genoemde veranderingen is niet duidelijk welke oorzaak of combinatie van oorzaken daar aan ten grondslag liggen. Het is belangrijk om bij het analyseren van de ontwikkelingen rekening te houden met de variaties die in de waargenomen trends kunnen optreden.



Figuur 6-2 Grafiek met de arealen droogvallende plaat in de opeenvolgende vaklodingen van het studiegebied.

De toegevoegde waarde van vaklodingen is dat deze op de schaal van de kombergingsgebieden en daarmee ook op de schaal van het studiegebied, een overzicht bieden van alle morfologische ontwikkelingen. Zowel de ontwikkelingen van de droogvallende platen als de getijdegeulen worden met de metingen in beeld gebracht. Hiermee bieden de vaklodingen een uitbreiding van het lokale beeld dat wordt verkregen met de raaimetingen. De vaklodingen zijn niet geschikt om vast te stellen of de sedimentatie in de kombergingsgebieden voldoende groot is om de zeespiegelstijging en de Pleistocene bodemdaling bij te houden. De omvang van die sedimentatie is ten opzichte van de omvang van het kombergingsgebied

dusdanig klein, dat deze niet waargenomen kan worden. Om desondanks een uitspraak te kunnen doen over het vermogen om mee te groeien met de stijgende zeespiegel is de gebruiksruijnte methodiek ontwikkeld.

7 HOOGTE/DIEPTE RAAIEN

In het monitoringrapport “Monitoring situatie 2021 bodemligging studiegebied zoutwinning Waddenzee. Arcadis-rapport” (Spaans, D. & J. Cleveringa, 2022) zijn de resultaten van de hoogte/diepte raaien opgenomen.

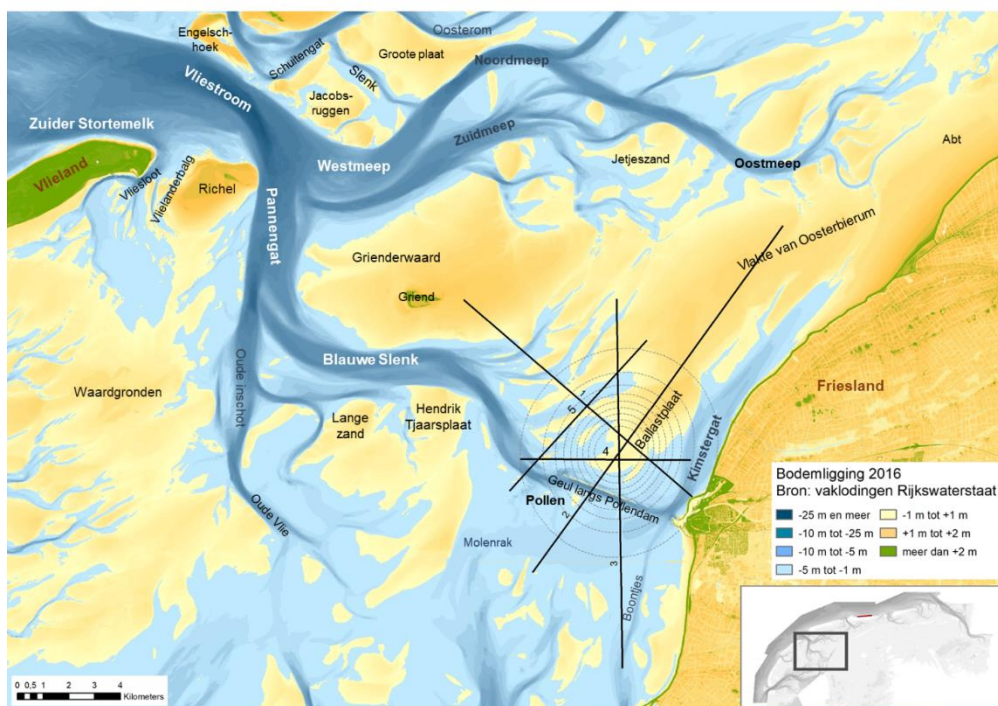
7.1 Introductie van de meetmethode

De metingen van de diepte/hoogte worden uitgevoerd met een (singlebeam) echolood dat is gemonteerd op een ondiepstekend vaartuig, dat is uitgevoerd met nauwkeurige plaatsbepaling- en registratieapparatuur. Tijdens hoogwater wordt varend de diepte onder het schip gemeten. Omdat in het interessegebied de hoogte van de droogvallende platen beperkt is, kan op deze wijze zowel de hoogte van de platen, als de diepte van de geulen worden gemeten.

Het doel van deze metingen is om vast te stellen welke veranderingen in de hoogte/diepte optreden. De ruimtelijke resolutie van de metingen sluit aan bij de omvang van de Pleistocene bodemdaling. De frequentie van de aanvullende metingen is relatief hoog, dat wil zeggen dat er vaak wordt gemeten in verhouding tot de omvang van de Pleistocene bodemdaling. Doordat de meetraaien doorlopen tot buiten het gebied met Pleistocene bodemdaling worden referentiegebieden ingemeten.

De frequentie is 1 keer per jaar bodemliggingsmetingen in drie raaien in het invloedsgebied. In de onderstaande kaart (Figuur 7-1) is aangegeven hoe deze raaien lopen. De meetraaien lopen niet direct naast de permanente meetpalen waar de bodemdaling van de pleistocene ondergrond wordt gemeten, zodat lokale effecten rond deze locatie de metingen niet beïnvloeden. Door de raaien op drie locaties te laten kruisen worden drie punten verkregen waar een onderlinge vergelijking van de metingen kan plaatsvinden.

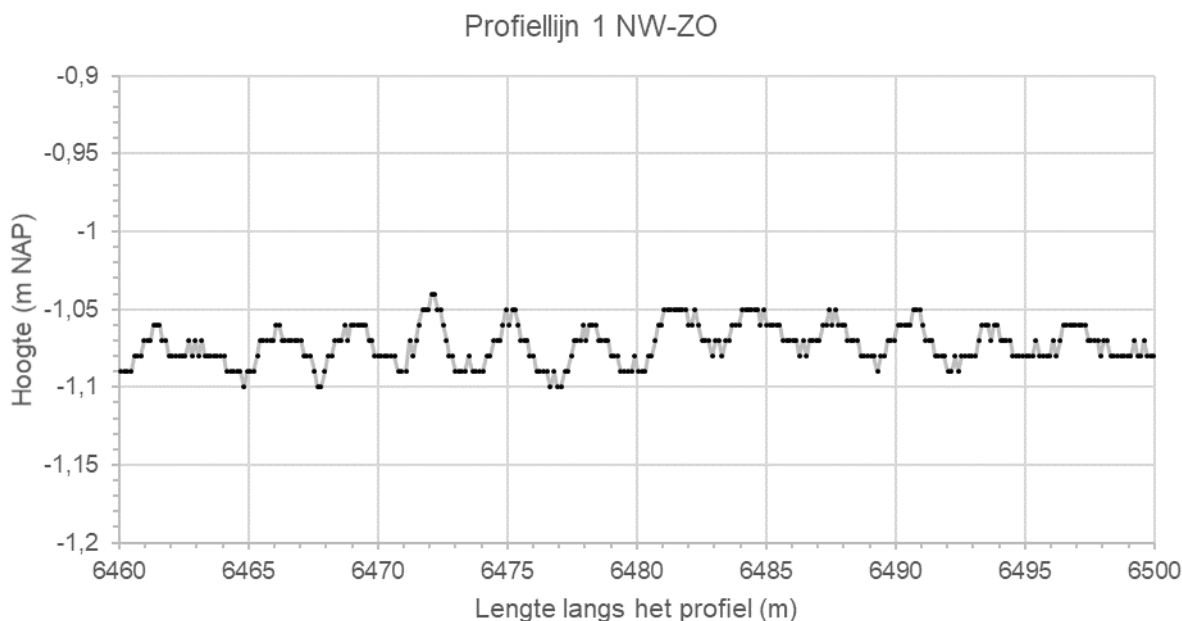
Frisia Zout B.V. is de opdrachtgever voor het uitvoeren van deze meting. In 2016-2021 zijn de metingen uitgevoerd door Deep B.V.



Figuur 7-1 Overzichtskaat van het gebied waar Pleistocene bodemdaling door zoutwinning kan optreden, met daarbij een overzicht van de hoogte/diepte raaien die jaarlijks worden gemeten (de raaien 4 en 5 zijn in 2021 aan het programma toegevoegd).

7.2 Gegevens

Jaarlijks worden drie dezelfde raaien ingemeten, zoals aangegeven in Figuur 7-1. De metingen worden tijdens hoogwater varend uitgevoerd met een ondiep stekend meetschip. Tot heden zijn er hoogte/diepte raaien ingewonnen in 2016, 2017, 2018, 2019⁷, 2020 en 2021. Om een indruk te geven van het detail waarmee deze metingen worden uitgevoerd is in Figuur 7-2 een deel van veertig meter weergegeven met de meetpunten. Elke meter zijn er meer dan vijf meetpunten beschikbaar, zodat ook kleine bodemstructuren zichtbaar worden. In de het voorbeeld zijn ribbels zichtbaar, die een hoogte hebben van maximaal 5 centimeter van trog tot top en een lengte van 3 tot 4 meter (van trog tot trog).



Figuur 7-2 Detail van het dwarsprofiel langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens 2018.

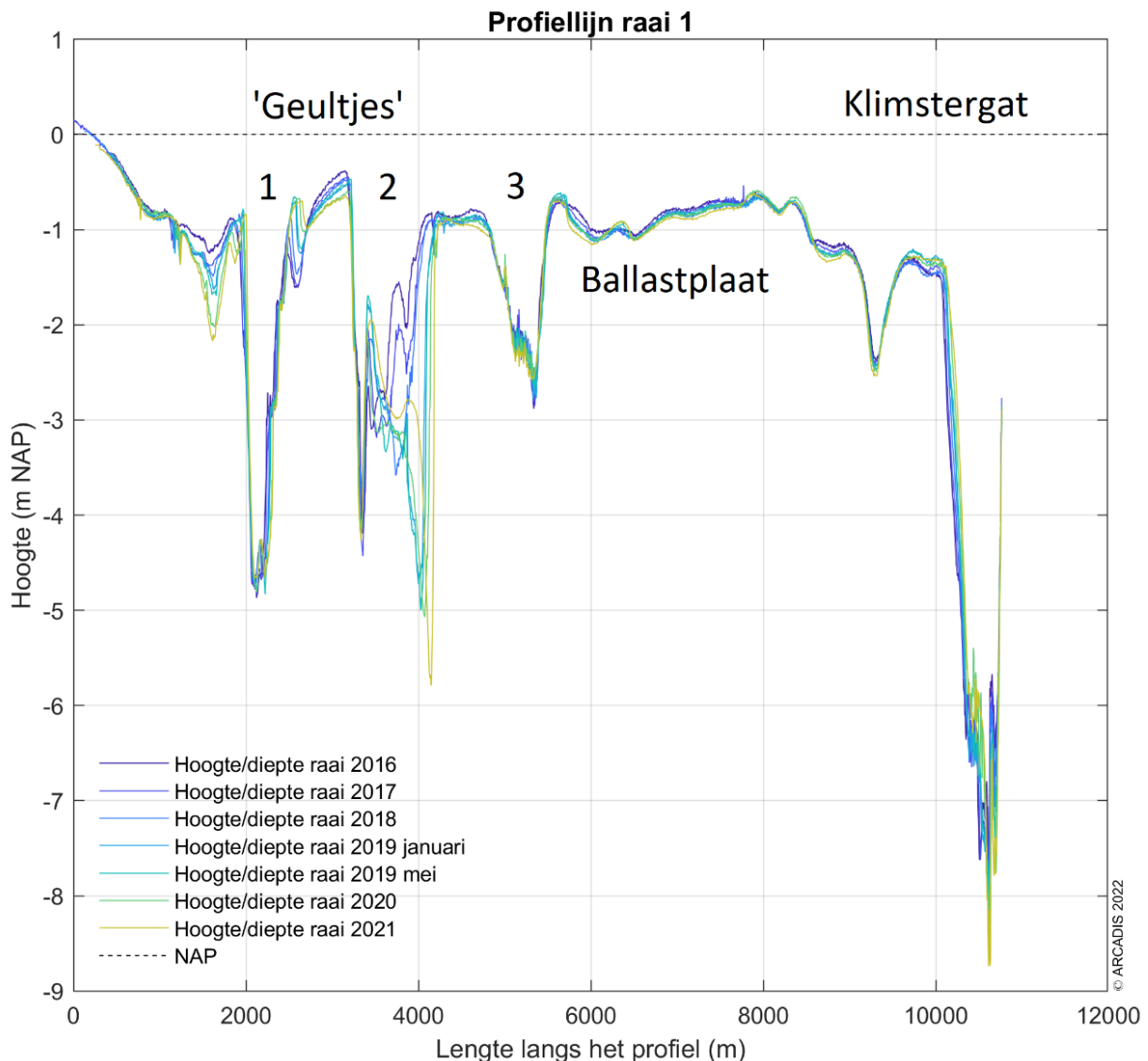
7.3 Analyse

De hoogte/diepte raaien zijn met succes ingemeten in 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 en 2021. Het studiegebied leent zich, door de relatief lage ligging van de platen ter plaatse van het studiegebied, uitstekend voor het uitvoeren van deze varende metingen. De metingen zijn per jaar onderling consistent binnen de betrouwbaarheids-bandbreedte van enkele centimeters. De controlepunten waar de raaien elkaar kruisen laten dit duidelijk zien. De metingen uit de opeenvolgende jaren laten plausibele veranderingen in de hoogte en morfologie zien. De raaimetingen zijn daarom uitstekend bruikbaar voor het uitvoeren van de monitoring.

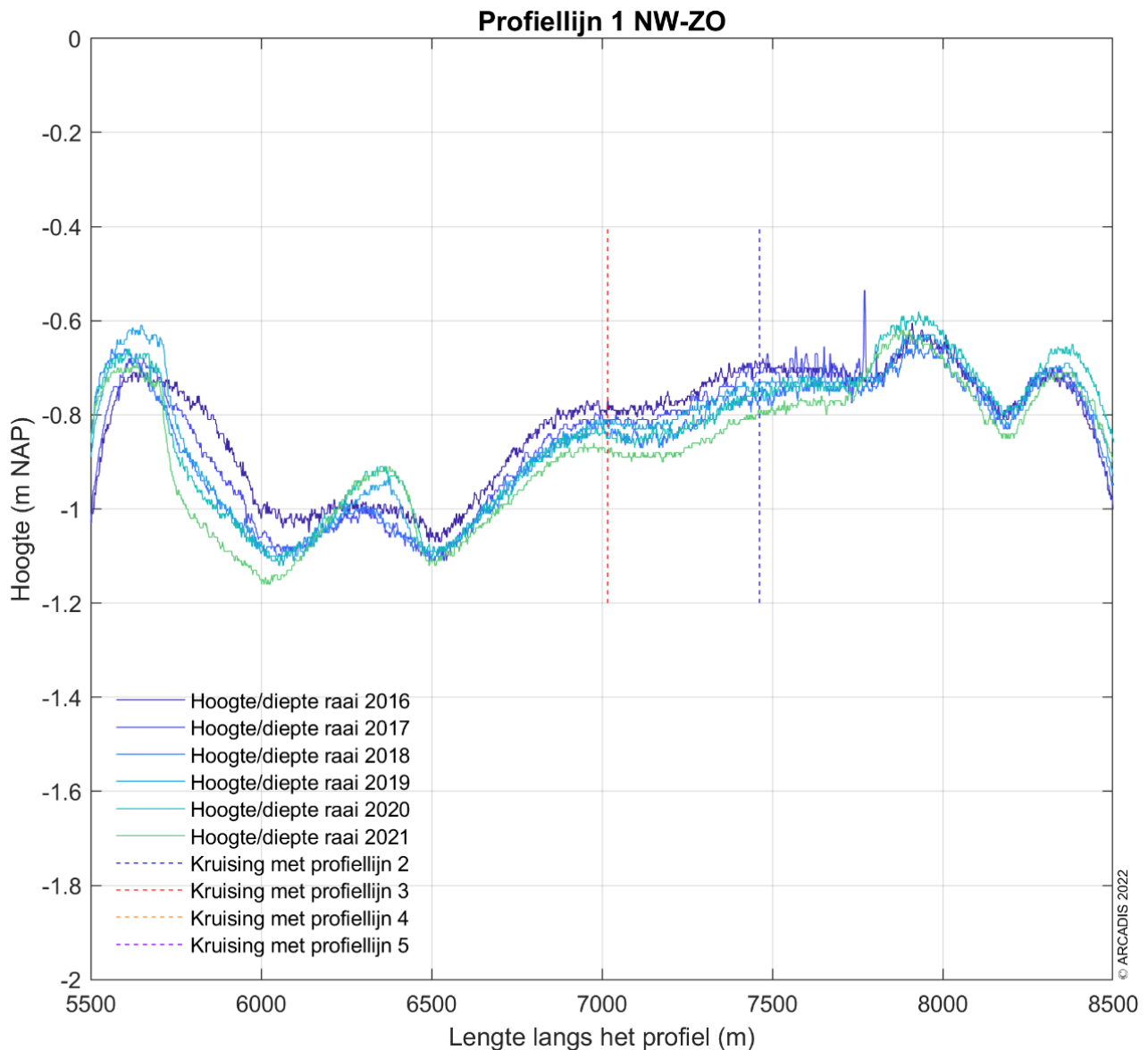
De overeenkomsten en beperkte verschillen tussen de drie opeenvolgende opnamen zijn zichtbaar in dwarsdoorsneden van de drie profiellijnen met de opeenvolgende metingen van 2016-2021. De overzichtsdwarsdoorsnede van profiellijn 1 staat in Figuur 7-3. In dit overzicht is zichtbaar dat de grotere veranderingen optreden rond de geulen in het gebied. Op deze schaal lijken de droogvallende platen slechts beperkt te veranderen. Om duidelijk te maken dat er wel degelijk kleine veranderingen optreden op de droogvallende platen is een ingezoomd detail toegevoegd van de Ballastplaat in Figuur 7-4. Deze uitsnede laat duidelijk zien dat geen sprake is van een vlakke of uniform hellende wadplaat, maar dat glooiingen

⁷ In 2019 heeft de uitvoerder van de metingen deze al in januari uitgevoerd, vanwege planning-technische redenen. Omdat dit beduidend eerder is dan mei en omdat in 2019 ook een LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen is uitgevoerd is besloten om alsnog in mei een raaimeting uit te voeren. De beide metingen uit 2019 zijn verwerkt, omdat de extra meting in januari inzicht oplevert in de ontwikkelingen en de variaties in de gemeten bodemhoogte.

aanwezig zijn, met een lengte van honderden meters. Dit zijn aansneden van bodemvormen op/in de plaat. De veranderingen die optreden in de bodemhoogte hangen voor een belangrijk deel samen met deze bodemvormen. In deze dwarsdoorsnede zijn kleine hoogteverschillen tussen de opnames zichtbaar, die lokaal tot 2 decimeter oplopen aan de noordwestzijde van deze uitsnede van raai. Tussen 6700 m en 7800 m liggen de opnames van de opeenvolgende jaren steeds lager. Ondertussen, is het na opnames in zes opeenvolgende jaren mogelijk om voor dit deel van de Ballastplaat van een trendmatige verlaging te spreken. Tussen 6000 m en 6500 m is de bodem(vorm) hoger komen te liggen. Ten zuidoosten van 78000 m varieert de bodemligging.

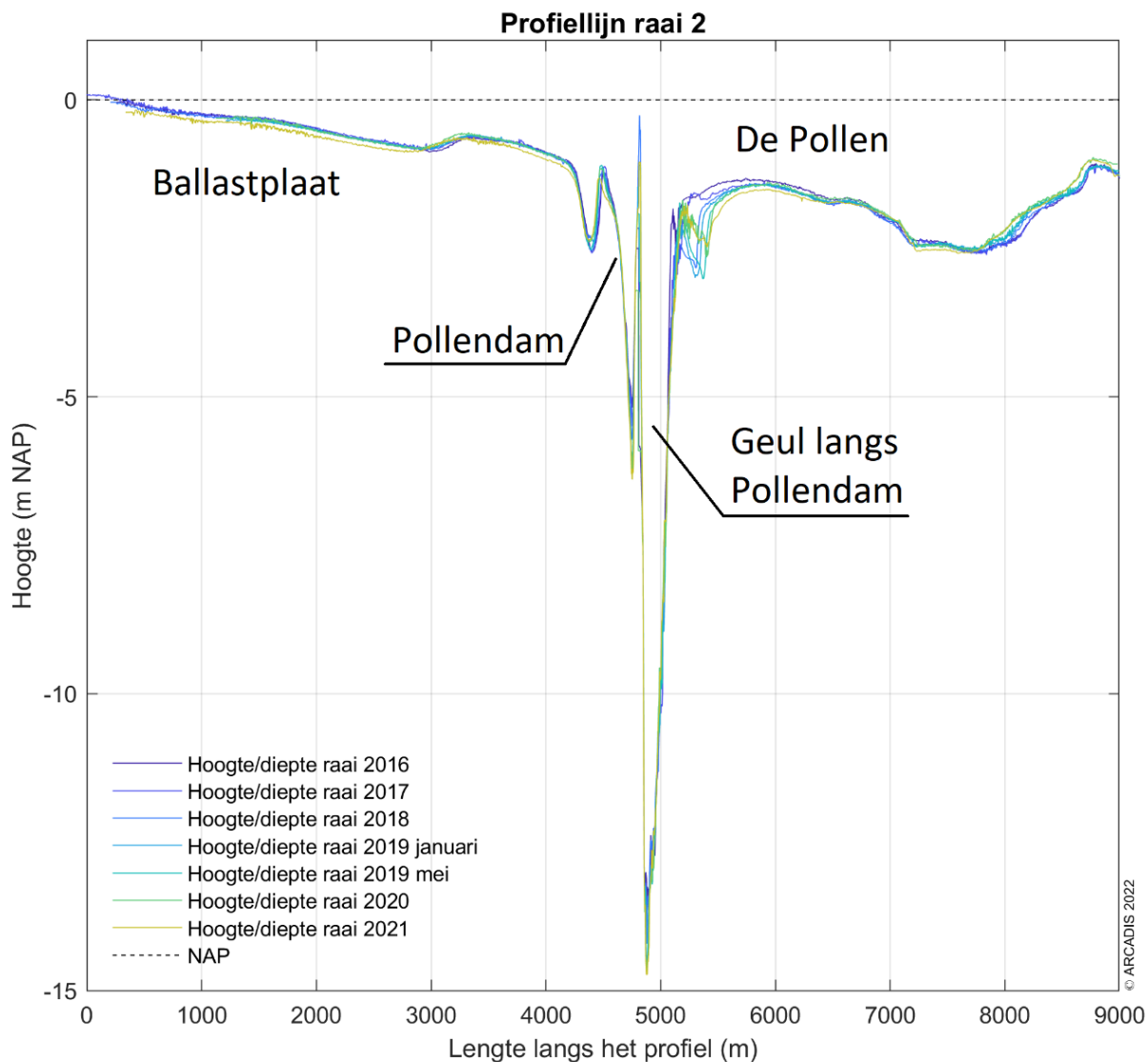


Figuur 7-3 Dwarsprofiel langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2021. De nummers 1, 2 3 hebben betrekking op de drie naamloze geultjes.

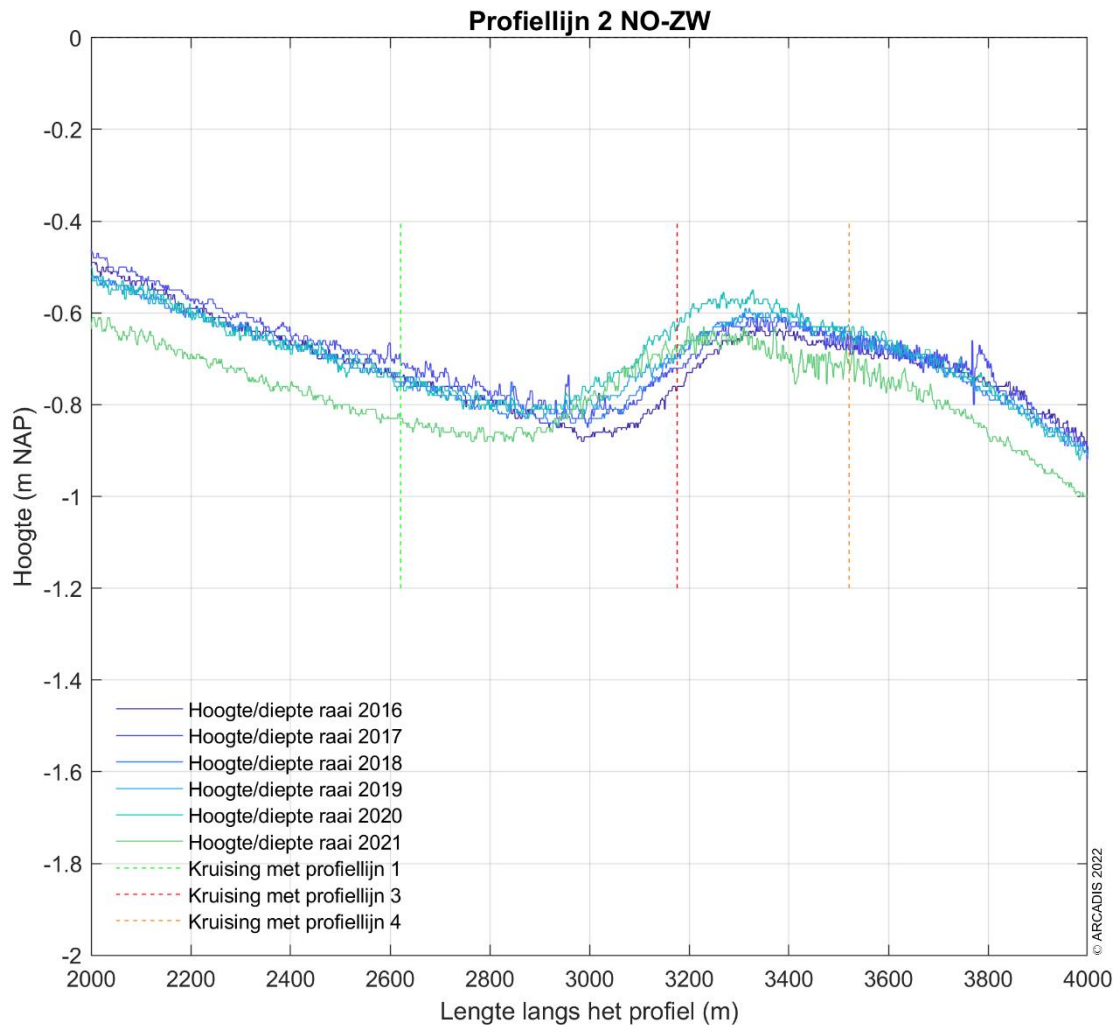


Figuur 7-4 Ingezoomd dwarsprofiel van de Ballastplaat langs profiellijn 2 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2021 (Detail van Figuur 7-3).

In de dwarsdoorsnede van profiellijn 2 (Figuur 7-5) is nog duidelijker dan in profiellijn 1 zichtbaar dat de veranderingen in de morfologie voornamelijk optreden bij de geulen. De veranderingen bij de droogvallende platen zijn beperkt. De veranderingen in de geulen treden op rond de Pollendam, met name aan de zuidwestzijde van de dam, op de overgang van de geul naar de sublitorale (niet droogvallende) platen van de Pollen. De overgang van de geul naar de sublitorale plaat is gaandeweg naar het zuidwesten verplaatst en de hoogte van de plaat is afgenomen tussen 5000 m en 6000 m. Figuur 7-6 laat een detail van de Ballastplaat zien uit profiellijn 2. Hierin is duidelijk zichtbaar dat in dit deel van profiellijn de gemeten hoogte in 2021 lager is dan die in de voorgaande jaren. Deze redelijk forse verlaging van bijna 10 centimeter is niet structureel opgetreden in deze uitsnede. Tussen 3000 en 3400 m op de Ballastplaat wijzen de hoogteveranderingen op het verplaatsen van dit hogere deel van de wadplaat in noordoostelijke richting. De hoogte afname van bijna 10 cm is groter dan de omvang van de sedimentatie en erosie die wordt gemeten met de Spijkermetingen (zie hoofdstuk 9). Daarom zullen nog controles worden uitgevoerd, bijvoorbeeld op exacte de ligging van de meetpunten ten opzichte van de meetraai, om te verifiëren of dit daadwerkelijke hoogteveranderingen betreffen op dat dit gevolg is van de inwinning of verwerking

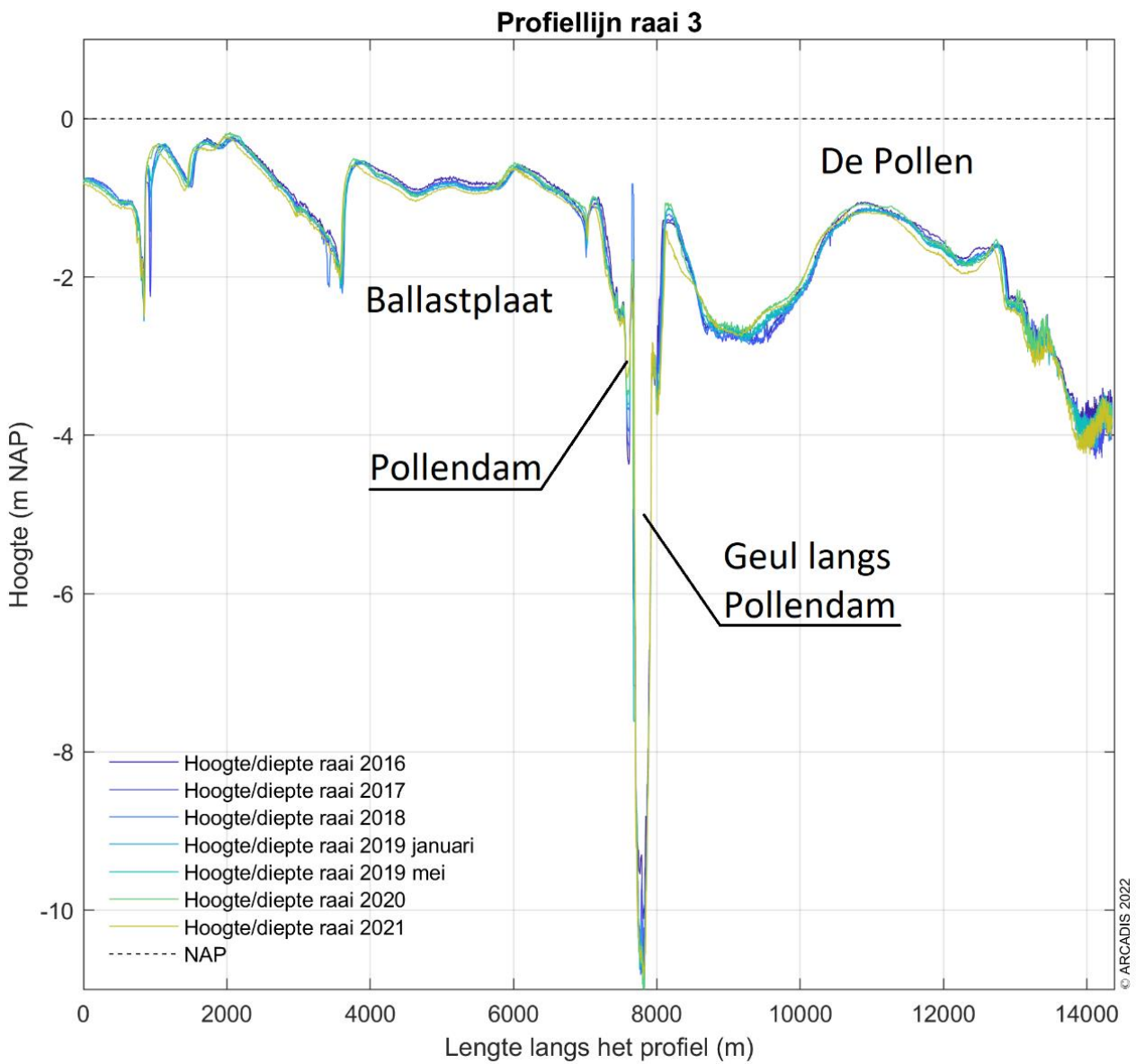


Figuur 7-5 Dwarsprofiel langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2021.

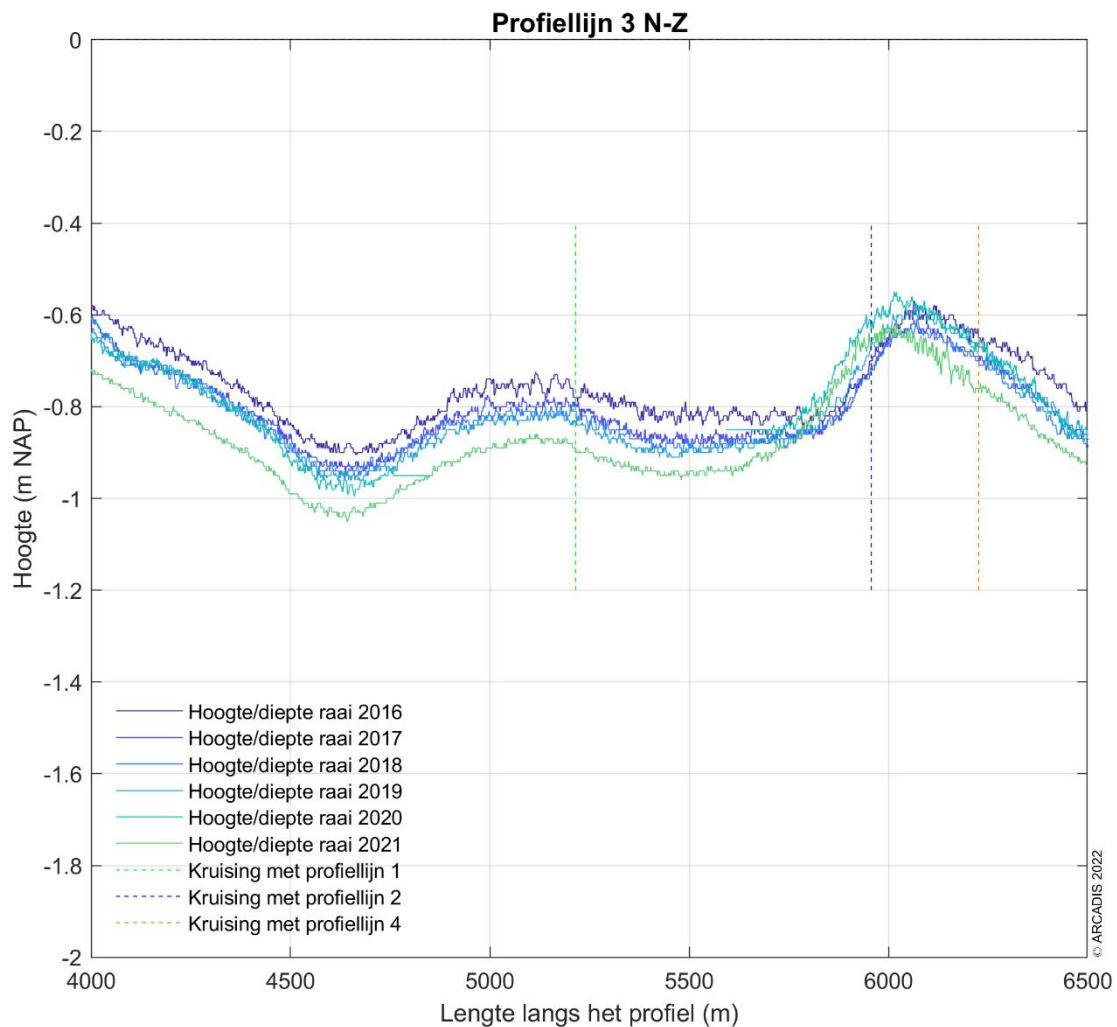


Figuur 7-6 Ingezoomd dwarsprofiel langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2021 (Detail van Figuur 7-5).

De overzichtsdwarsdoorsnede van profiellijn 3 in Figuur 7-7 laat zien dat de verschillen tussen de opeenvolgende metingen bij de geulen in deze dwarsdoorsnede beperkt zijn in vergelijking met profiellijn 1. Figuur 7-8 toont een detail van de Ballastplaat waarin opvalt dat in het deel van 4800 tot 5800 de hoogteligging in de opeenvolgende metingen steeds iets lager ligt. Voor de structureel diepere ligging van de meting van 2021 gelden dezelfde opmerkingen over controles van de metingen als die bij raai 2 zijn gemaakt. Vanwege de beperkte hoogteverschillen en het beperkte aantal opnamen is het nog niet mogelijk om van een trendmatige verandering te spreken.

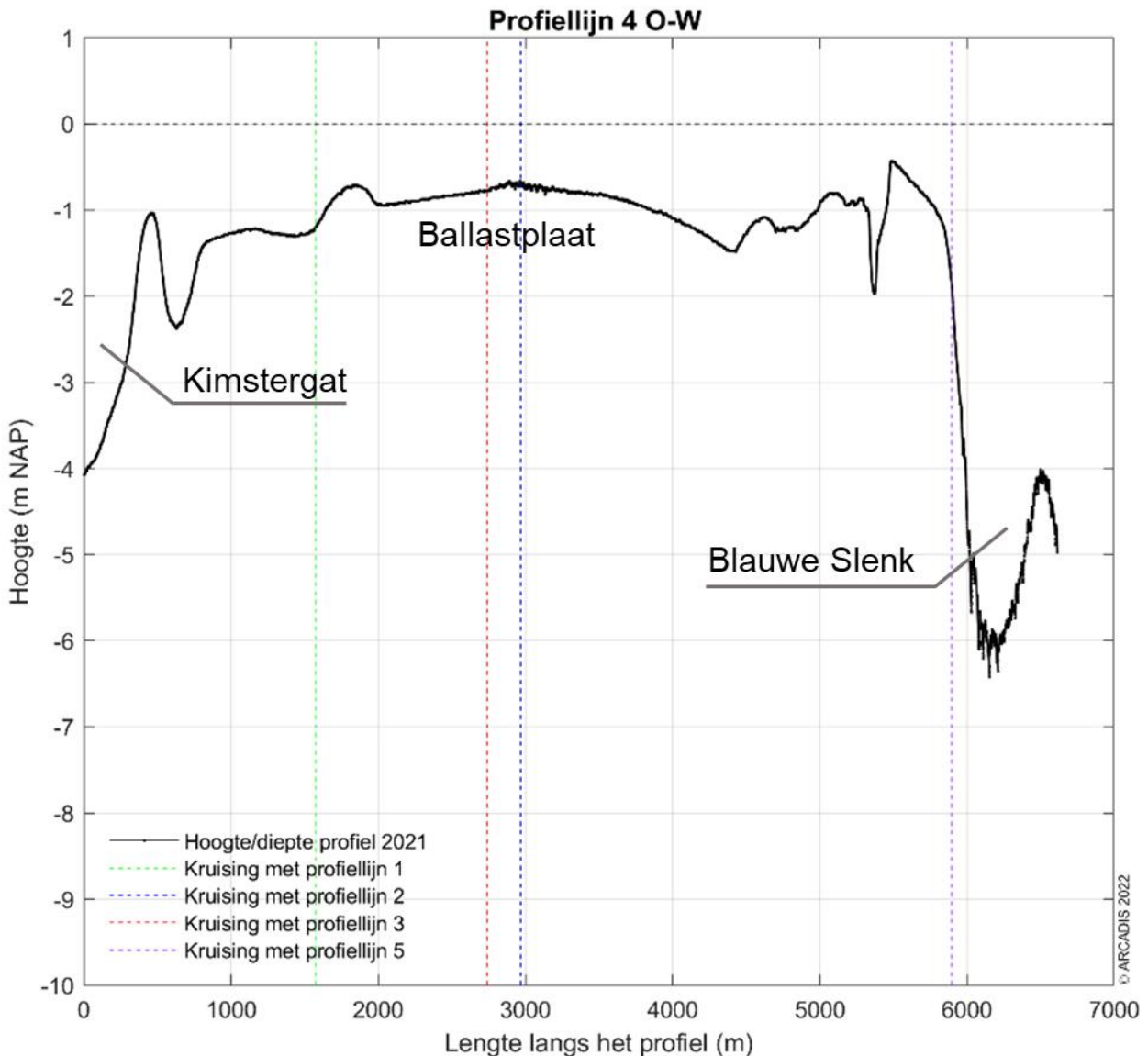


Figuur 7-7 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2020.



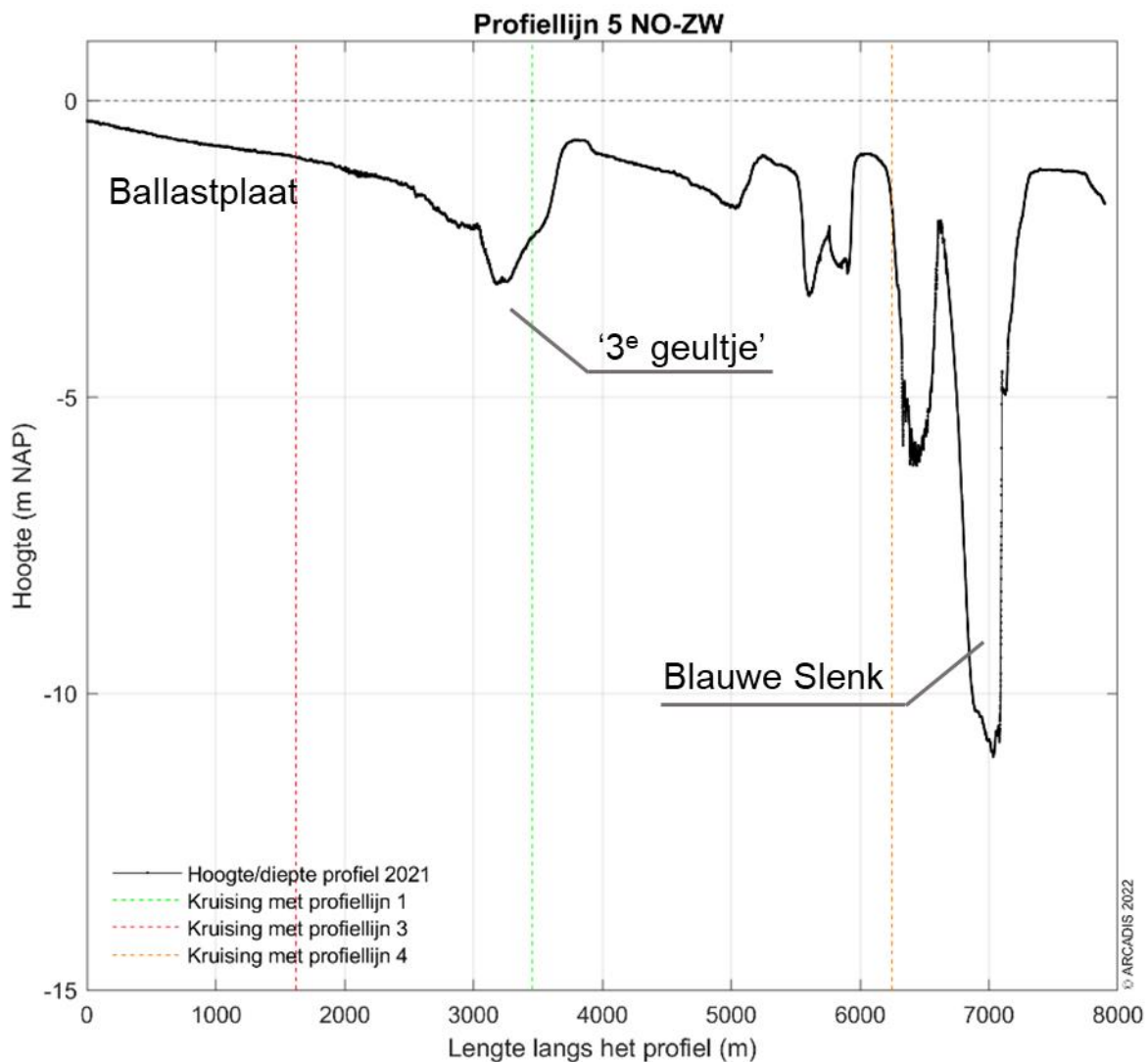
Figuur 7-8 Ingezoomd dwarsprofiel van de Ballastplaat langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2020 (Detail van Figuur 7-7).

Figuur 7-9 toont profiellijn 4, waar in 2021 voor het eerst een raaimeting heeft plaatsgevonden. Deze lijn heeft oost-west oriëntatie, met aan de oostzijde de getijdegeul Kimstergat en aan de westzijde de getijdegeul Blauwe Slenk. Daartussen ligt het lage deel van de Ballastplaat, met een hoogte die net tot in het intergetijdebereik komt. Dit deel van de plaat is dermate laag dat het lang niet tijdens iedere laagwater droogvalt. In de dwarsdoorsnede is duidelijk zichtbaar dat geen sprake is van een geleidelijke overgang van de Ballastplaat naar de geulen, maar dat er sprake is van lokaal hogere en lagere delen. Deze hogere en lagere delen zijn geen individuele wadplaten en geultjes, daarvoor is de omvang te beperkt. Van het beschrijven van veranderingen is hier nog geen sprake, omdat één opname beschikbaar is. Met toekomstige opname van profiellijn 4 komen de ontwikkelingen van het lage deel van de Ballastplaat en de aangrenzende geulen jaarlijks in beeld.



Figuur 7-9 Dwarsprofiel langs profiellijn 4 van oost naar west voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021.

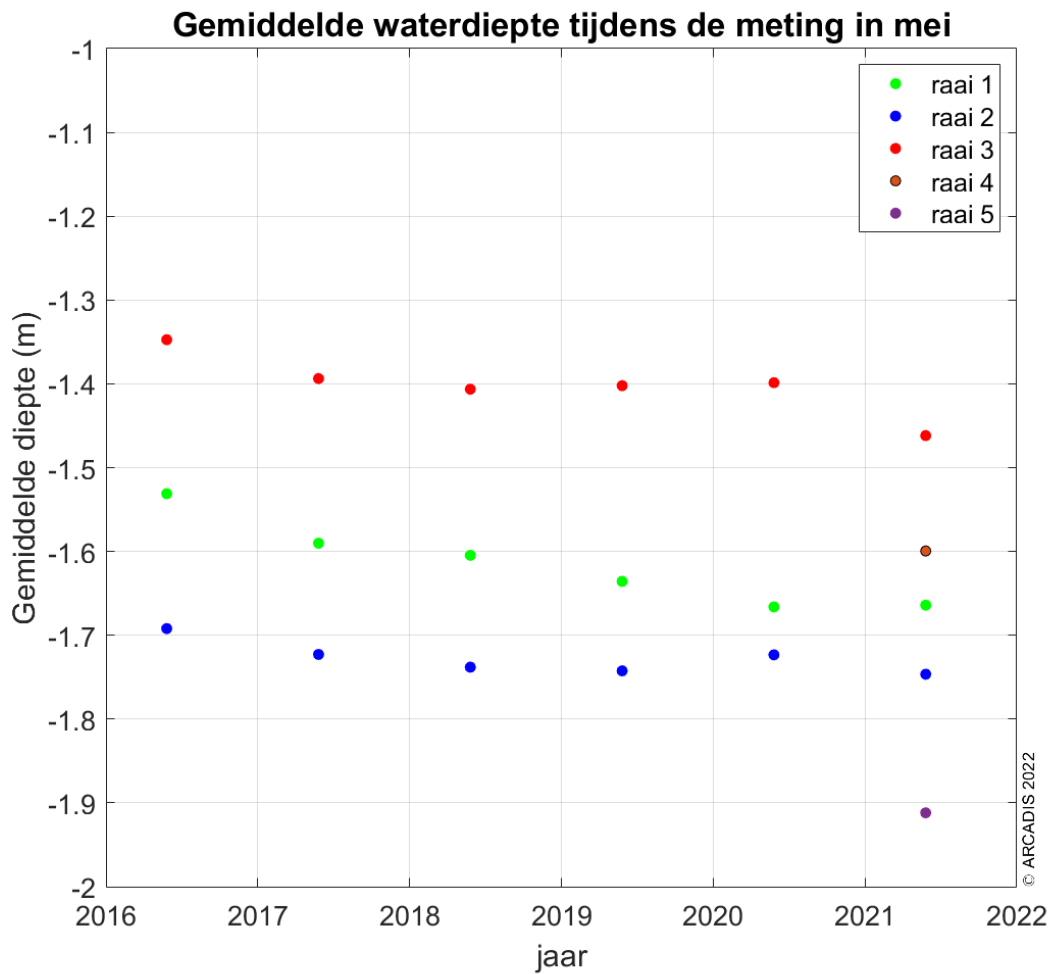
Figuur 7-10 laat de dwarsdoorsnede ter plaatse van profiellijn 5 zien. Net als bij profiellijn 4 is sprake van één opname uit 2021, zodat nog geen veranderingen worden beschreven. In de toekomst geven de veranderingen in deze lijn inzicht in het gebied aan de noordwestzijde van het gebied waar bodemdaling plaatsvindt. Op basis van de vaklodgingen is dit gebied geïdentificeerd als meer veranderlijk dan de Ballastplaat.



Figuur 7-10 Dwarsprofiel langs profiellijn 5 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2021.

Om de ontwikkelingen in de raaidiepte toegankelijk weer te geven, is gekeken naar veranderingen in de gemiddelde diepte per raai. Om tot een consistente berekening te komen zijn alleen de punten meegenomen waarvan voor elk jaar een meetwaarde beschikbaar is. De gemiddelde diepte per raai per jaar is weergegeven in Figuur 7-11.

In de grafiek met de gemiddelde diepte (Figuur 7-11) is zichtbaar dat de gemiddelde diepte in raai 1 is toegenomen van iets meer dan NAP -1,5 m naar ruim -1,65 m. Deze toename is het gevolg van veranderingen in de geultjes die onderdeel vormen van deze raai. In raai 2 leiden de morfologische veranderingen tot een kleine toename van de gemiddelde diepte, zoals zichtbaar is in Figuur 7-11. In vergelijking met 2020 is de gemiddelde waterdiepte voor raai 2 min of meer gelijk gebleven. In raai 3 leiden de veranderingen ook tot afname van de gemiddelde diepte van de geulen en platen.



Figuur 7-11 Grafiek met de gemiddelde diepte in meter t.o.v. NAP per raai langs de verschillende profielen voor alle raaimetingen. Alleen de delen waar elk jaar is gemeten zijn meegenomen in de berekening van de gemiddelde diepte.

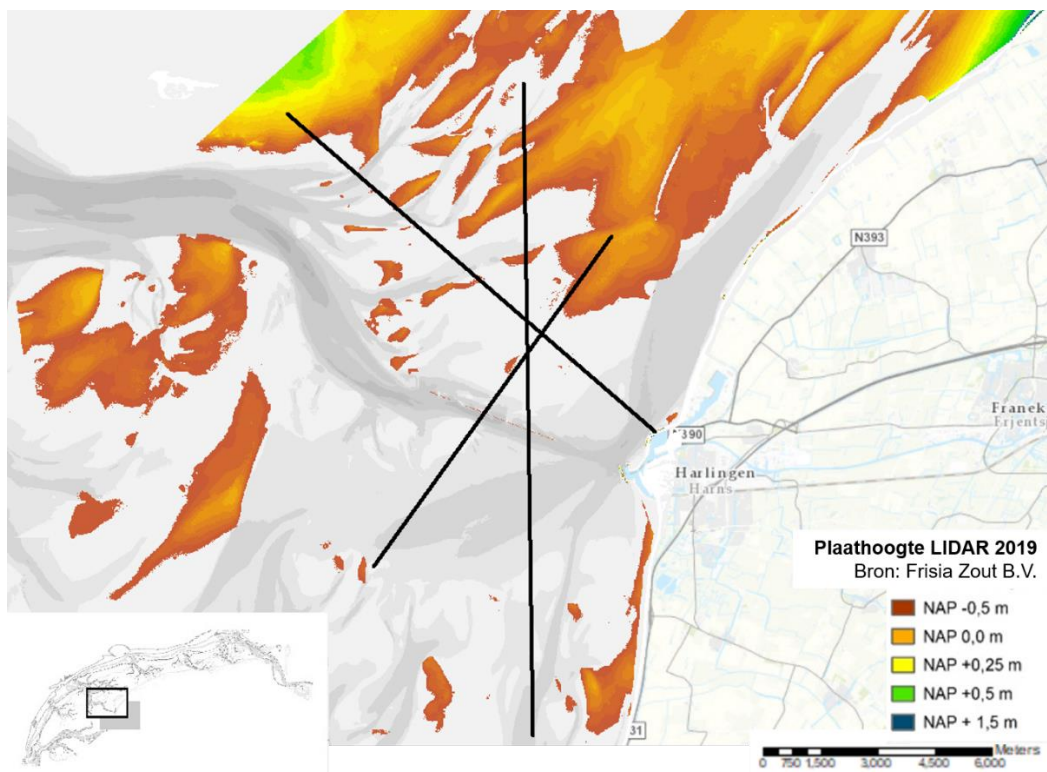
7.4 Tussenconclusies raaimetingen

Uit de raaimetingen blijkt dat er sprake is van afname van de gemiddelde plaathoogte in een groot deel van het gebied. Dit blijkt vooral uit de raaien die lopen vanuit het zuidwesten naar het noordoosten. In deze raaien is de verandering tussen 2020 en 2021 opvallend groot. Omdat er nog geen relevante Pleistocene bodemdaling heeft plaatsgevonden en omdat het over een relatief groot gebied wordt waargenomen, kan dit geen effect zijn van de zoutwinning.

8 HOOGTE WADPLATEN LIDAR

In het monitoringrapport “Monitoring situatie 2021 bodemligging studiegebied zoutwinning Waddenzee. Arcadis-rapport” (Spaans, D. & J. Cleveringa, 2022) zijn in Bijlage A de resultaten van de hoogte/diepte raaien opgenomen.

LiDAR-metingen zijn hoogtemetingen die worden uitgevoerd vanuit een vliegtuig (of een helikopter, nog niet met een drone⁸), met behulp van een naar de grond gerichte laserbundel en plaatsbepalingsapparatuur (die niet alleen de x, y en z-positie van het vliegtuig vaststelt, maar ook corrigeert voor de bewegingen van het vliegtuig). Al vliegend wordt de hoogte gemeten in een baan onder het vliegtuig. Door een vliegpatroon in raaien komen de banen met enige overlap langs elkaar te liggen en wordt een gebiedsdekkende opname verkregen. De primaire metingen van de hoogte van de droogvallende platen en het sublitoraal zijn de raaimetingen die in het voorgaande hoofdstuk zijn besproken. De LiDAR-hoogtemetingen leveren aanvullende informatie met betrekking tot de ruimtelijk ontwikkeling in het droogvallende gebied. De LiDAR-metingen zijn niet bedoeld als signaleringsmeting en worden daarom niet jaarlijks uitgevoerd, zoals de raaimetingen, maar iedere drie jaar. Het Ballastplaatgebied dat is geselecteerd voor de LiDAR-opnamen is ruimer dan het gebied met de Pleistocene bodemdaling. Het opnamegebied sluit aan bij de raaimetingen, die zijn verlengd tot buiten het gebied met bodemdaling in de vaste (Pleistocene) ondergrond. Op deze wijze wordt zowel een gebied ingemeten waaronder sprake is van Pleistocene bodemdaling, als een gebied waar dat niet het geval is. In 2019 is volgens de planning de plaat hoogte met LiDAR opgemeten in opdracht van Frisia. De met LiDAR gemeten plaat hoogte in 2019 is weergegeven in Figuur 8-1. In 2022 wordt in opdracht van Rijkswaterstaat een LiDAR-hoogtemeting uitgevoerd van de droogvallende delen van het kombergingsgebied Vlie, als onderdeel van de vaklodingen. Deze data zal waarschijnlijk in 2023 beschikbaar komen.



Figuur 8-1 Detailkaart van het gebied waar bodemdaling door zoutwinning kan optreden, met de LiDAR opname van 2019. Ter indicatie is de ligging van de drie hoogte/diepteraaien aangegeven.

⁸ LiDAR-metingen met een drone zijn technisch wel uitvoerbaar, maar (nog) niet mogelijk boven het volledige studiegebied, vanwege praktische bezwaren (omvang gebied in verhouding tot de accucapaciteit), de algemene regels over het besturen van drones (afstand tot de dronepiloot) en specifieke regels over het vliegen met drones boven Natura 2000-gebieden.

De LiDAR-hoogtemetingen zijn zeer geschikt voor de identificatie van structuren in de droge delen van het wad. Ook de veranderingen in het droogvallende wad zijn in potentie te volgen. Het is echter lastig gebleken om de absolute hoogtebepalingen van de LiDAR-metingen voldoende nauwkeurig te krijgen om hier belangrijke conclusies aan te verbinden (zie Van der Lugt et al, 2020). De hoogtemetingen in raaien die jaarlijks zijn uitgevoerd voor Frisia in 2016-2021 zijn op dit moment de benchmark voor de hoogte. Omdat in de opeenvolgende metingen een consequente ontwikkeling in de hoogte wordt gemeten, wordt verondersteld dat de waarden in de raaimetingen de juiste zijn. De raaimetingen van 2016 en 2019 zijn vergeleken met de LiDAR-hoogtemetingen uit de betreffende jaren en daaruit blijken grotere en kleinere verschillen in delen van de metingen.

De vergelijking van de raaimetingen en de LiDAR-hoogtemetingen uit 2016 en 2019 laat zien dat in Profiellijn 1, ter hoogte van de Grienderwaard en bij de 'geutjes' de plaathoogte gemeten met de LiDAR tot 15 cm hoger, tot 15 cm lager ligt dan de waarden uit de raaimetingen. De LiDAR hoogtemetingen in profiellijn 2, op het hogere deel van de Ballastplaat, geven meetwaarden die in 2016 tot 20 cm hoger liggen dan de raaimetingen, terwijl de LiDAR-hoogtemetingen in 2019 tot 30 cm lager liggen dan de raaimetingen. Voor profiellijn 3 geldt tenslotte dat LiDAR-hoogtemetingen voor 2016 tot 10 cm lager liggen dan de raaimetingen in de Grienderwaard. Bij de metingen 2019 liggen de LiDAR-hoogtemetingen tot 15 centimeter lager, maar is er een klein gebiedje waar de LiDAR-metingen tot 5 centimeter hoger zijn.

De verschillen leveren geen structurele aanpassingen op die kunnen worden gebruikt om de LiDAR-hoogtemetingen te corrigeren. Daarvoor ontbreken systematische verschillen. Ook de hoogtes van vaste referentiepunten ('ground control points') langs de kust zijn hiervoor niet bruikbaar, mede omdat deze alleen aan de zuidwestzijde van het gebied aanwezig zijn en hier geen correctieveld uit kan worden bepaald. Ook de twee vaste meetpalen in de Ballastplaat bieden geen bruikbare referentiepunten, omdat deze aan de zuidwestzijde van het gebied liggen, zodat het gehele noordwestelijke tot noordoostelijke gebied geen referentiepunten kent.

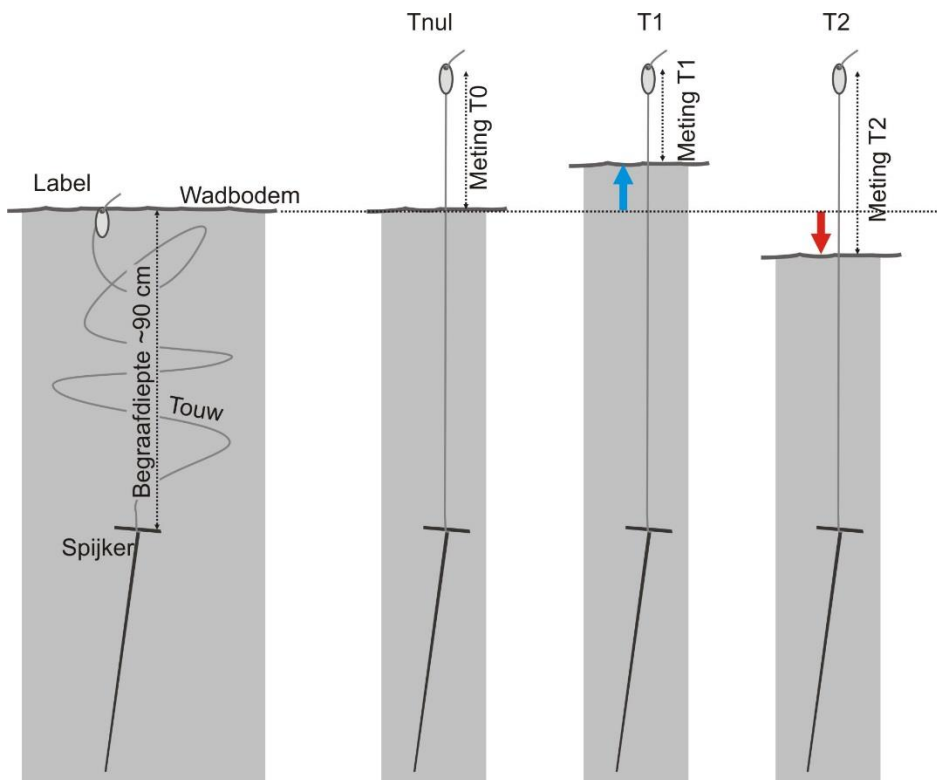
De primaire metingen van de hoogte van de droogvallende platen en het sublitoraal zijn de raaimetingen die in het voorgaande hoofdstuk zijn besproken. De raaimetingen hebben een hoge mate van betrouwbaarheid en zijn in de tijd goed te koppelen aan andere metingen, waaronder de Spijkermetingen van de sedimentatie. Dat betekent dat de samenhang in het meetprogramma goed kan worden geborgd met de raaimetingen. Op basis van de raaimetingen zal worden vastgesteld hoe hoog de wadbodem van jaar op jaar is. De opeenvolgende raaimetingen, met inbegrip van de interne controlepunten, geven vertrouwen in deze kwaliteit van deze hoogtemetingen en de nauwkeurigheid bedraagt enkele centimeters. De LiDAR-hoogtemetingen leveren aanvullende informatie met betrekking tot de ruimtelijk ontwikkeling in het droogvallende gebied. Deze ruimtelijke informatie is zinvol om de waarnemingen aan de morfologische veranderingen met de Raaimetingen en de sedimentatiesnelheden uit de Spijkermetingen te relateren aan de morfologische setting.

9 SPIJKERMETINGEN OP DE BALLASTPLAAT

In het monitoringrapport “Wadsedimentatie Studiegebied Zoutwinning Waddenzee; Jaarrapport 2020” (van der Zee et al., 2021) zijn de resultaten van de Spijkermetingen opgenomen.

9.1 Introductie meetmethode

Spijkermetingen, of wadsedimentatiemetingen, worden uitgevoerd met een op 60 tot 90 cm diepte begraven ondergronds merk (de spijker), waaraan een touw met label is bevestigd (Figuur 9-1 en Figuur 9-2). De afstand tussen het label en de wadbodem wordt opgemeten. Per meetstation zijn vier van deze spijkers begraven, die iedere meting worden opgenomen. Per opname is daarmee een gemiddelde met een spreiding beschikbaar van de afstand tussen het label en de wadbodem. Uitgaande van een stabiele positie van de spijker in de ondergrond betekent een toename van de afstand dat er lokaal erosie heeft plaatsgevonden (getoond bij T2 in figuur 1) en omgekeerd, een afname van de afstand betekent dat er lokaal sedimentatie heeft plaatsgevonden (getoond bij T1 in figuur 1).



Figuur 9-1 Schematische doorsnede van de wadbodem met een spijkermeting, met aan de linkerkant de verschillende onderdelen en aan de rechterkant drie metingen.

Spijkermetingen zijn alleen praktisch uitvoerbaar op droogvallende platen, die relatief stabiel zijn. Relatief stabiel wil zeggen dat er geen erosie mag optreden die de stabiliteit van het ondergrondse merk in gevaar brengt. Dat kan bijvoorbeeld gebeuren door een verplaatsende geul. Alleen op droogvallende platen zijn bij laagwater de labels terug te vinden en kan de afstand tussen label en wadbodem worden opgemeten.

De spijkermetingen leveren gedetailleerde gegevens over de ontwikkeling van de hoogte van de droogvallende wadplaat en het optreden van erosie dan wel sedimentatie. De spijkermetingen zijn volledig onafhankelijk van de andere hoogtemetingen (raaimetingen en LiDAR) en bieden daarmee de mogelijkheid om de waargenomen ontwikkelingen met raaimetingen en LiDAR van de hoogte te verifiëren.



Figuur 9-2 Touwtje met ring, dat is bevestigd aan een spijker die in de ondergrond is verankerd (uit Van der Zee et al., 2018a).

Op basis van de ervaringen met de spijkermetingen bij de gaswinningen Ameland en Waddenzee is vastgesteld dat het éénmaal per jaar uitvoeren van de spijkermetingen risicovol is, omdat de kans dan groot wordt dat meetpunten beschadigen of niet worden teruggevonden. Tevens neemt de waarde van de metingen toe door deze vaker uit te voeren. Indien sprake is van een trendmatige ontwikkeling is deze met een grotere nauwkeurigheid te bepalen bij het frequenter uitvoeren van de metingen. Het gebiedsbezoek heeft duidelijk gemaakt dat het uitvoeren van meer dan vier metingen per jaar (zoals gebeurt bij de gaswinning) praktisch niet uitvoerbaar is op de Ballastplaat, vanwege de relatief lage ligging van het gebied en de onmogelijkheid het gebied vanaf de vaste wal te bereiken. Het uitvoeren van de metingen vier keer per jaar is daarmee een praktisch optimum voor dit gebied. Hierbij wordt gestreefd naar de volgende planning:

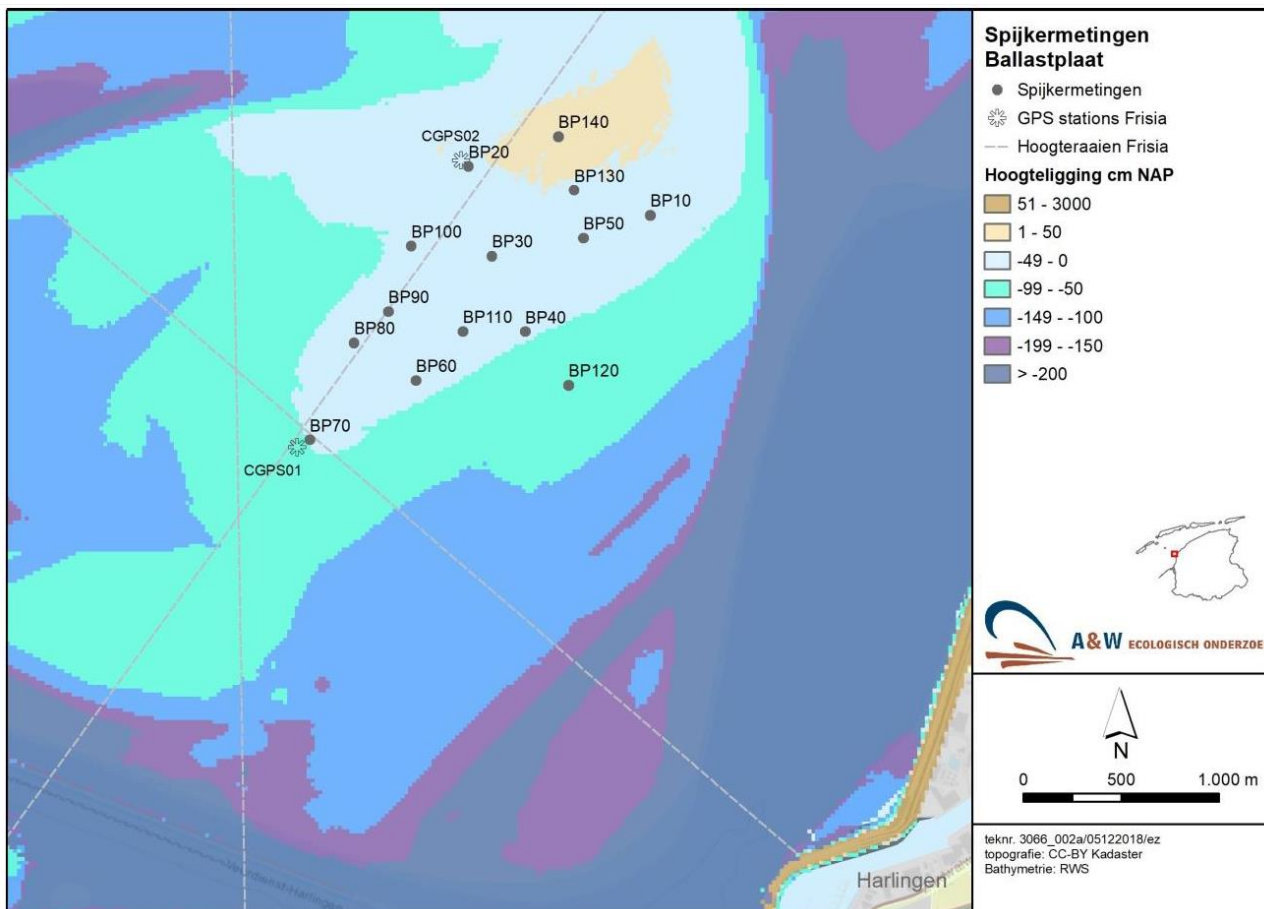
1. Vóór het broedseizoen in maart;
2. In mei om de 2de spijkermeting te laten samenvallen met een raaimeting;
3. In juli (na het broedseizoen en vóórdat overwinterende vogels massaal terugkeren);
4. In september (na het broedseizoen en vóórdat overwinterende vogels massaal terugkeren).

De locaties voor de spijkermetingen zijn gekozen in de nabijheid van de raaimetingen, zodat de onderlinge verificatie mogelijk blijft. Het aantal meetpunten en de locatie ervan is nader bepaald aan de hand van de LiDAR opname uit 2016 en verschilkaarten met eerdere jaren. Op deze wijze kan zo recent mogelijke informatie worden gebruikt over de hoogte van de plaat en de vereiste stabiliteit.

Frisia Zout B.V. is de opdrachtgever voor het uitvoeren van deze meting. De metingen worden uitgevoerd door Bureau Altenburg en Wymenga, in samenwerking met het Natuurcentrum Ameland en WaterProof.

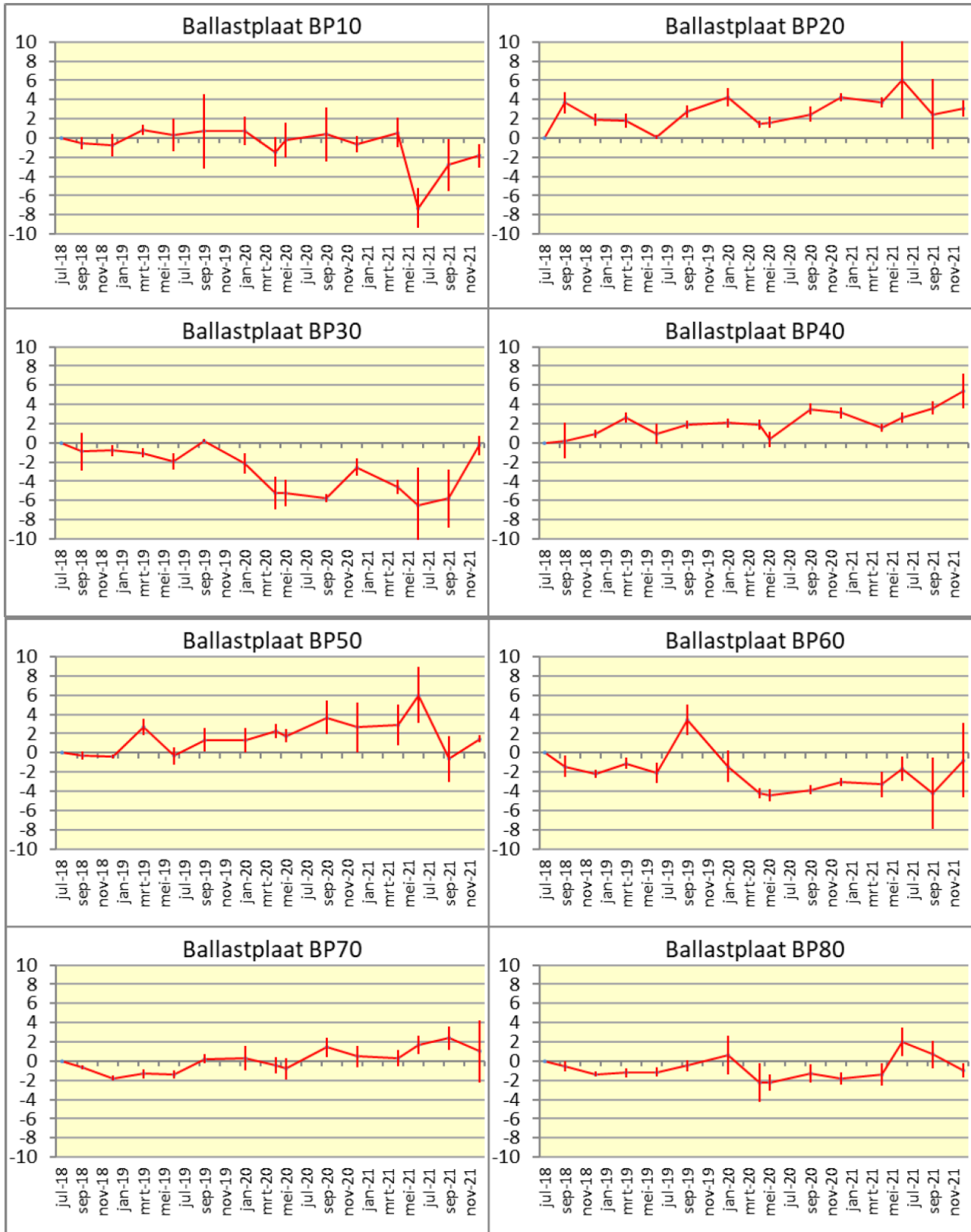
9.2 Gegevens

In juni 2018 zijn 12 meetstations uitgezet. In september 2018 is een dertiende station toegevoegd en in juni 2019 een veertiende. In Figuur 9-3 zijn de locaties van de stations ingetekend. Er wordt viermaal per volledig jaar gemeten, waarbij de meetstations tijdens laagwater lopend over het wad bezocht worden. Hiervoor is een getij nodig met een laagwaterstand van tenminste -100cm NAP. De absolute hoogte (ten opzichte van NAP) van de eerste dertien meetstations is in september 2020 ingemeten met een DGPS-RTK. Het laagstgelegen station heeft een hoogte van NAP -0,86 m en het hoogstgelegen station heeft een hoogte van NAP -0,02 m.

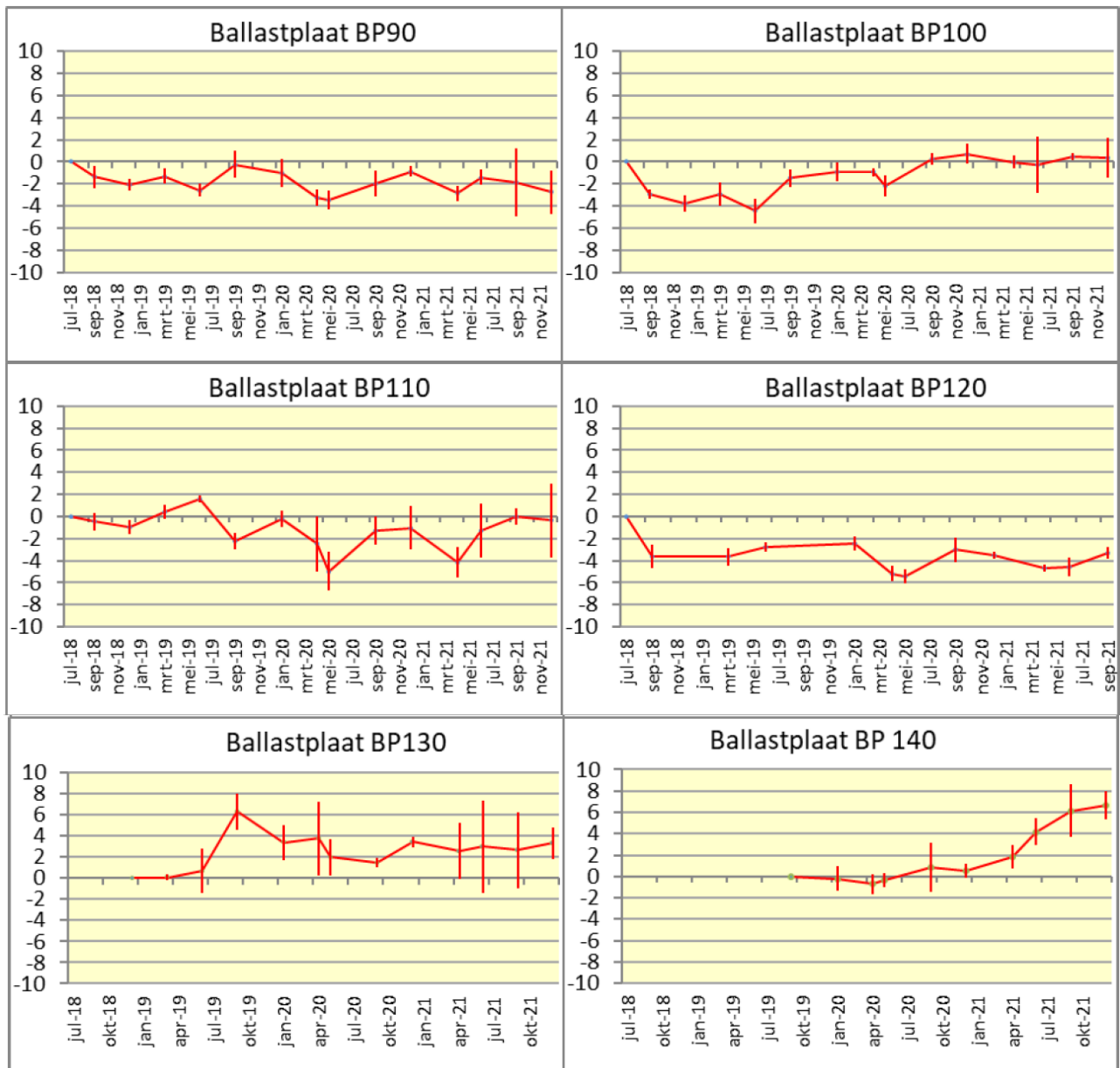


Figuur 9-3 Meetstations van de spijkermetingen en de twee vaste GPS stations op de Ballastplaat (uit van der Zee et al., 2020).

Omdat de meeste stations in juni 2018 zijn geplaatst, zijn voor de meeste stations vijftien metingen uitgevoerd. De resultaten per meetstation zijn opgenomen in de grafieken in Figuur 9-4 en Figuur 9-5.



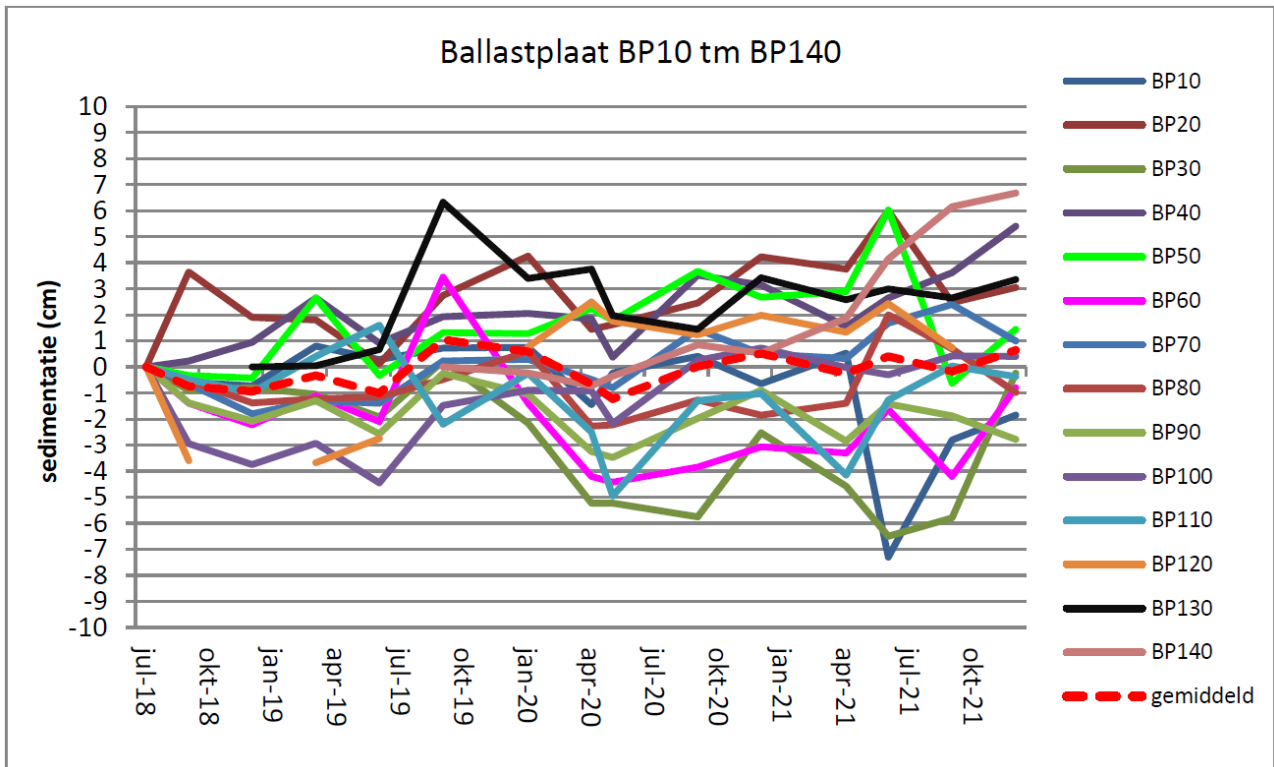
Figuur 9-4 Grafieken met de gemiddelde sedimentatie en standaarddeviatie (balken) van de meetstations BP10-BP80 op Ballastplaat bijgewerkt t/m december 2021. Op Y-as sedimentatie in cm (uit van der Zee, 2021a).



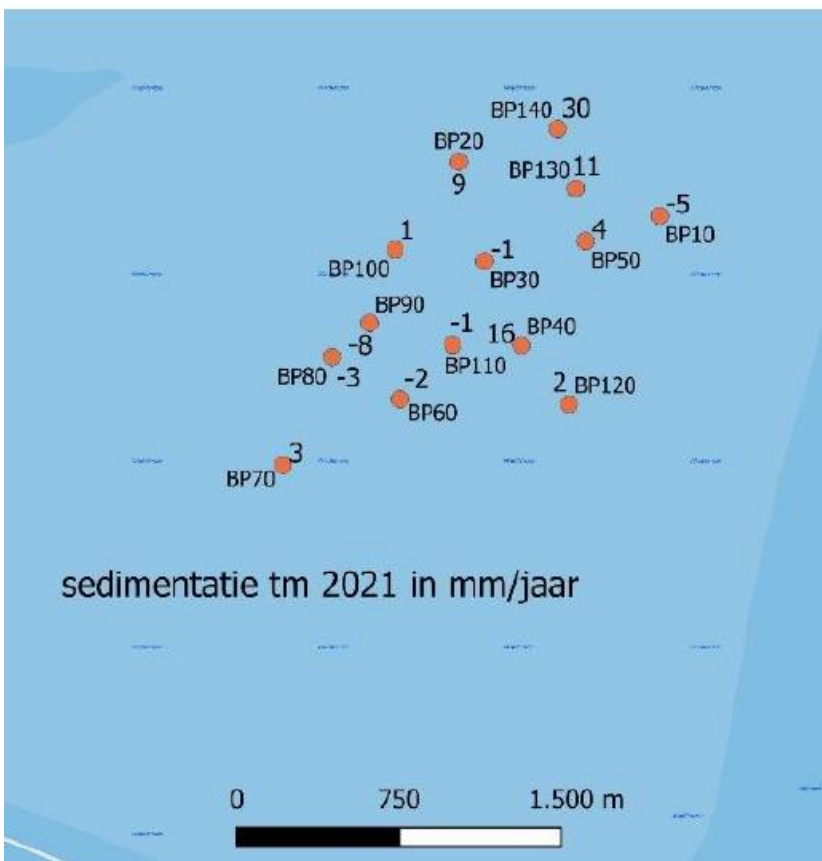
Figuur 9-5 Grafieken met de gemiddelde sedimentatie en standaarddeviatie (balken) van de meetstations BP70-BP140 op Ballastplaat bijgewerkt t/m december 2021. Op Y-as sedimentatie in cm (uit van der Zee, 2021a).

9.3 Analyse

In de grafieken in Figuur 9-4 en Figuur 9-5 is zichtbaar dat de standaardvariatie in de metingen (op basis van de vier meetpunten per station) in de tijd varieert en ook per station verschilt. Over het algemeen varieert de standaarddeviatie van één tot enkele centimeters. Figuur 9-6 laat de sedimentatie voor alle veertien stations samen zien, evenals het gemiddelde van de stations. De spreiding in de sedimentatie sinds het begin van de metingen loopt globaal genomen van een erosie van -2,8 cm (BP90) tot een sedimentatie van +6,7 cm (BP140). Het gemiddelde komt in december 2021 uit op + 1,1 cm. Acht stations (BP20, BP40, BP50, BP70, BP100, BP120, BP130, BP140) laten (enige) sedimentatie zien en zes stations (BP10, BP30, BP60, BP80, BP90, BP110) (enige) erosie. De gemiddelde sedimentatie per punt is weergegeven in de kaart van de Ballastplaat in Figuur 9-7. Het algemene beeld is enige erosie over de periode januari-april en in de periode mei-december weer sedimentatie, maar er zijn vrijwel altijd stations die een afwijkende ontwikkeling vertonen.



Figuur 9-6 Grafiek met de gemiddelde sedimentatie BP10 tm BP140 en gemiddelde van alle stations op Ballastplaat bijgewerkt t/m januari 2021 (uit van der Zee, 2021a).



Figuur 9-7 Kaart met de gemiddelde sedimentatie januari 2021 (uit van der Zee, 2021a).

9.4 Tussenconclusies Spijkermetingen

De Spijkermetingen op de Ballastplaat leveren bruikbare gegevens over de sedimentatiesnelheden. De waargenomen sedimentatiesnelheid sinds het begin van de metingen loopt globaal genomen van een erosie van -2,8 cm (BP90) tot een sedimentatie van +6,7 cm (BP134). Deze snelheid varieert over de tijd. Het algemene beeld is enige erosie over de periode januari-april en in de periode mei-december weer sedimentatie.

De resultaten van Spijkermetingen zouden de waargenomen verlaging in 2021 van de wadplaathoogte in de raaimeting van profiellijn 2 (Figuur 7-6) moeten bevestigen. In de Spijkermetingen inde nabijheid van deze raai is echter geen sprake van erosie met een dergelijke omvang. Vanwege deze discrepantie zal controle van de raaimetingen worden uitgevoerd.

10 SEDIMENTSAMENSTELLING

In het monitoringrapport "Sedimentsamenstelling Studiegebied Zoutwinning Waddenzee; Jaarrapport 2021" (Fieten, 2021) zijn de resultaten van de metingen aan de sedimentsamenstelling opgenomen.

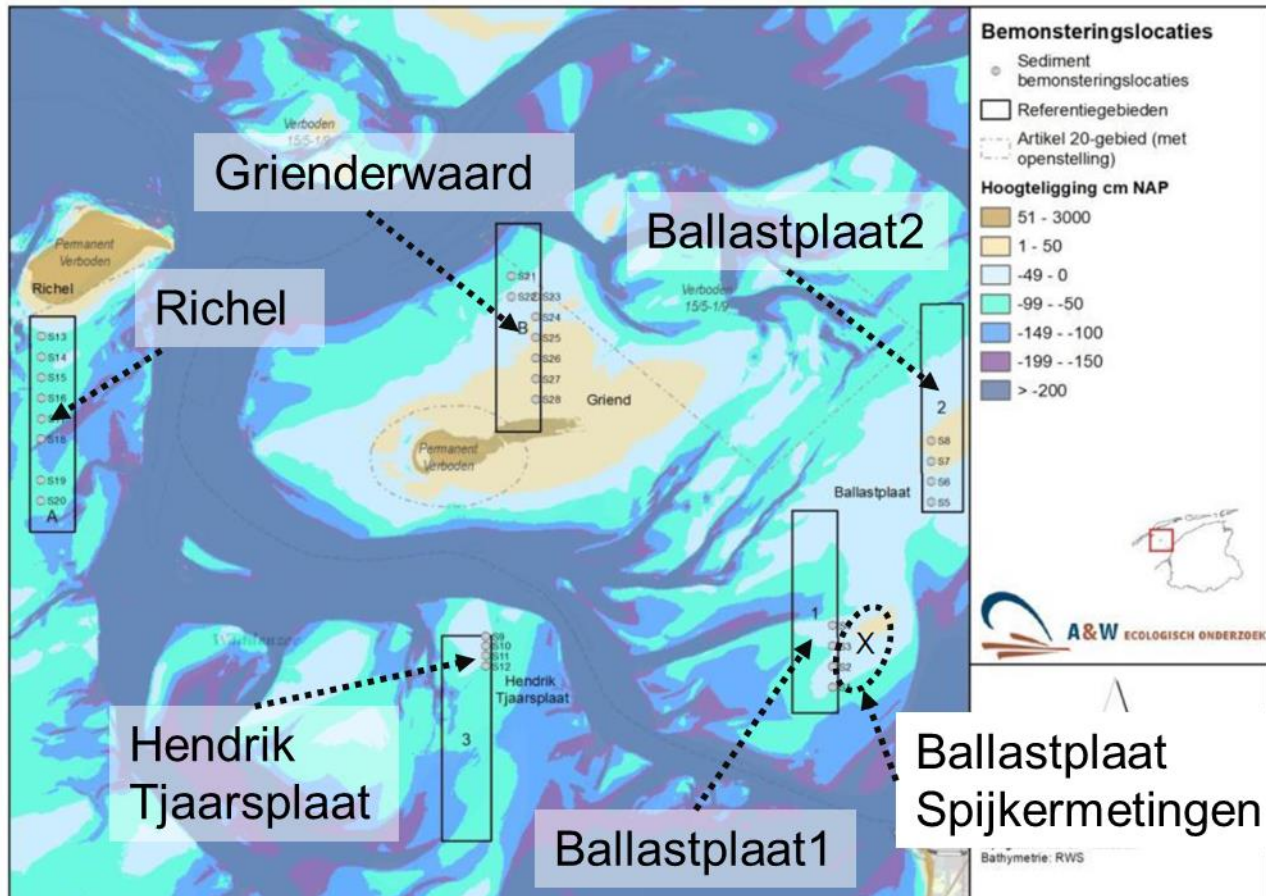
10.1 Introductie meetmethode

Het meten van de sedimentsamenstelling bestaat uit het verzamelen van sedimentmonsters in het veld en de analyse van de sedimentmonsters. De analyse van de sedimentsamenstelling kan op verschillende wetenschappelijk geverifieerde, genormeerde en veel toegepaste manieren plaatsvinden, bijvoorbeeld door middel van het droog of nat zeven van het monsters, middels gravimetrische bepaling, of met een laser particle sizer. Ook zijn verschillende voorbehandelingen mogelijk, bijvoorbeeld het wel of niet verwijderen organisch materiaal en/of kalk, ultrasoon trillen, verwerking in zeewater of in zoetwater.

De uitkomsten van de verschillend voorbehandelingen en meetmethode zijn moeilijk onderling vergelijkbaar. Belangrijker dan de keuze voor de meetmethode is het consequent blijven werken volgens de gekozen methode. De gekozen methode van voorbereiding en meten sluit aan bij de SIBES meetinspanningen in de Waddenzee. In Fieten et al. (2020) is een beschrijving opgenomen van de wijze van bemonstering, monsterbehandeling en analyse.

Het doel van de monitoring van de sedimentsamenstelling is om vast te stellen of en welke veranderingen plaatsvinden in de sedimentsamenstelling. Deze abiotische factor is medebepalend voor de geschiktheid van het habitat voor benthos. Veranderingen in de sedimentsamenstellingen worden verwacht, omdat dit een abiotische variabele is die zowel in de ruimte als in de tijd varieert. Veranderingen als gevolg van de Pleistocene bodemdaling worden niet verwacht, maar wel onderzocht.

De locaties (Figuur 10-1) en de frequentie komen overeen met die van de benthosbemonstering.



Figuur 10-1 Bemonsteringslocaties voor sedimentsamenstelling (locaties 1 t/m 3, locaties A & B en locatie X van de spijkermetingen).

Frisia Zout B.V. is de opdrachtgever voor het uitvoeren van deze meting. De metingen worden uitgevoerd door Bureau Altenburg en Wymenga, in samenwerking met WaterProof.

10.2 Gegevens

De belangrijkste resultaten uit Fieten et al. (2020) zijn in het voorliggende rapport overgenomen. De sedimentsamenstelling is bepaald in zes gebieden (Figuur 10-1), waarbij per gebied meerdere monsters zijn verzameld (Tabel 10-1). In de gebieden 1 t/m 3 zijn 4 locaties bemonsterd langs een raai. In de gebieden A en B zijn 8 locaties bemonsterd langs een raai. Daarnaast is het sediment bemonsterd op de spijkermetinglocaties.

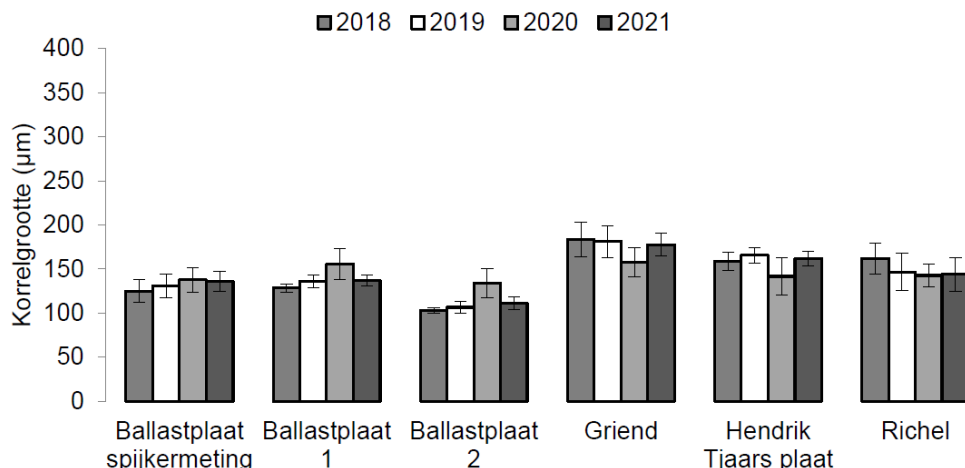
Tabel 10-1 Monstergebieden en -punten voor de sedimentbemonstering

Gebieden	Wadplaat	Monsterpunten
Gebied 1 in het gebied met Pleistocene bodemdaling	Ballastplaat	4
Referentiegebied 2 binnen het invloedsgebied	Ballastplaat	4
Referentiegebied 3 binnen het invloedsgebied	Hendrik Tjaarsplaat	4
Benthosgebied A buiten het invloedsgebied	Richel	8
Benthosgebied B buiten het invloedsgebied	Grienderwaard	8
Spijkermetingen in het gebied met Pleistocene bodemdaling (X in Figuur 10-1)	Ballastplaat	12

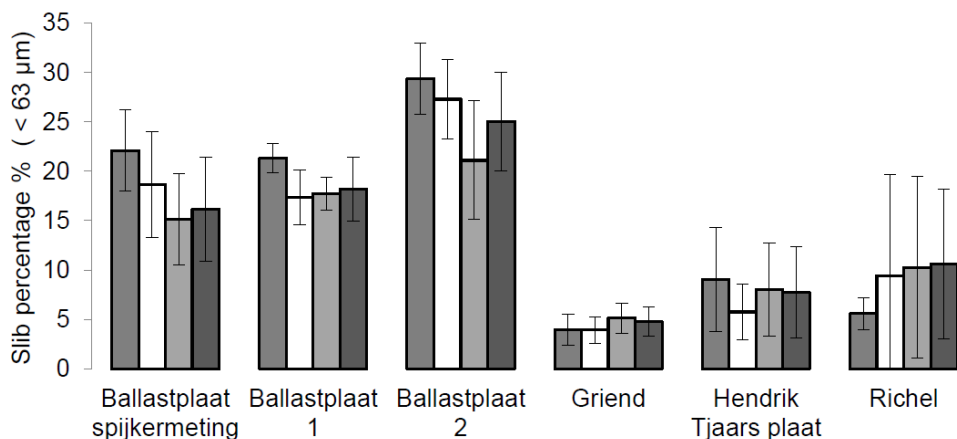
Op elke bemonsteringslocatie is een monster genomen met een steekbuis tot ongeveer 20 cm diepte. Van dit monster is een sedimentmonster genomen met een kleine steekbuis van de top van het sediment tot 4 cm diepte. Bij de bemonstering zijn opvallende kenmerken van het sediment genoteerd en is een kwalitatieve inschatting van de ecologische rijkheid gemaakt. De korrelgrootteanalyses zijn op het NIOZ uitgevoerd met een Beckman Coulter LS 13 320 laser-particle sizer⁹. De resultaten van de analyses zijn opgenomen in Figuur 10-2 en

Figuur 10-3.

⁹ Een deel van de monsters in 2020 is vanwege door logistieke redenen gemeten met een ander apparaat dan de jaren ervoor.



Figuur 10-2 Gemiddelde korrelgrootte (µm) met standaarddeviaties (balken) voor 2018, 2019 en 2020.



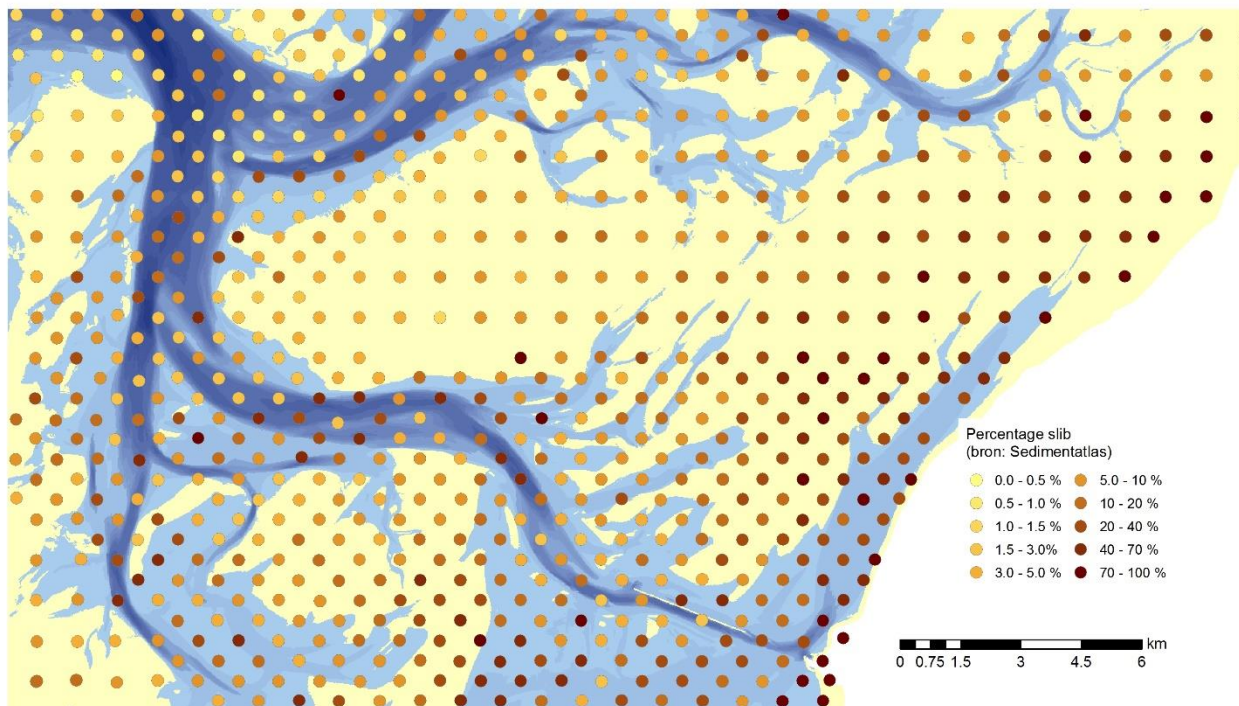
Figuur 10-3 Slib percentage (% < 63 µm) met standaarddeviaties (balken) voor de metingen van 2018 en 2019.

De gemiddelde korrelgroottes waren in de vier jaar goed vergelijkbaar en ook de waargenomen variatie komt overeen. Sinds 2018 is er een lichte toename te zien in de korrelgrootte op de locaties op de Ballastplaat, echter lijkt dit in 2021 weer wat af te nemen. Voor Griend, Richel en Hendrik Tjaarsplaat is er sinds 2018 een lichte afname te zien in de gemiddelde korrelgrootte, met een lichte toename in 2021.

De verschillen in de slibpercentages tussen de locaties zijn groter dan de verschillende in de korrelgroottes. Het onderzochte gebied op de Ballastplaat heeft gemiddeld een hoger slibpercentage dan de gebieden op Griend, Hendrik Tjaarsplaat en Richel. Van 2018 tot en met 2020 is een afname te zien in het percentage slib op de locaties Ballastplaat Spijkermetingen en Ballastplaat 2, gevolg door een toe name in 2021. Door de aanwezigheid van een mosselbank bij Richel, kent deze locatie veel variatie tussen de monsters (de standaarddeviaties zijn hier het grootst). De slibpercentages op Griend, op Ballastplaat 1 en op de Hendrik Tjaarsplaat variëren.

10.3 Analyse

De gemeten waarden voor de korrelgroottes vallen nog steeds binnen de range die wordt waargenomen in het gebied (Compton et al., 2013; Christianen et al., 2015). Ter vergelijking is het slibgehalte, zoals het is bepaald medio jaren '90 weergegeven (gegevens uit de SedimentAtlas, Rijkswaterstaat, 1998). De kaart in Figuur 10-4 laat zien dat Richel en Griend en de Hendrik Tjaarsplaat relatief weinig slib bevatten in vergelijking met de Ballastplaat. Dit ruimtelijke patroon in de slibgehalten is over de jaren heen standvastig, zoals ook opgemerkt door Herman et al. (2018).



Figuur 10-4 Kaart met de slibpercentages op de monsterpunten uit de Sedimentatlas.

10.4 Adviezen Audit commissie

Herkomst foutieve waarden meting 2020

In de oorspronkelijke rapportage over de sedimentsamenstelling over het jaar 2020 (en in de overkoepelden rapportage) was sprake van meetresultaten aan de korrelgroottes en de slibpercentages die sterk afweken van de gerapporteerde waarden in 2018 en 2019. Hiervoor was geen plausibele verklaring voorhanden. Heranalyse van de monsters heeft laten zien dat de oorspronkelijke meetwaarden niet juist waren. In de grafieken in Figuur 10-2 en Figuur 10-3 zijn de waarden van de her-analyse getoond, die wel in lijn zijn met de metingen uit voorgaande jaren en met de meting van 2021. De Audit commissie heeft geadviseerd om vast te stellen wat de oorzaken waren voor de rapportage van foutieve waarden. Frisia heeft het betreffende laboratorium op het NIOZ bezocht en samen met de laboratoriumverantwoordelijke de administratie rond de foutieve metingen bekeken (kalibraties e.d.). Hierin zijn geen aanwijzingen gevonden die een verklaring boden voor de onverwachte resultaten.

Monsterdiepte sedimentsamenstelling

De ratio achter de bemonstering van de top 4 cm voor het bepalen van de sedimentsamenstelling is als volgt. Het overgrote deel van de bodemdieren leeft in deze bovenste laag van het sediment. Grotere organismen kunnen dieper zitten, maar staan in contact met de bovenste laag waardoor zij toegang hebben tot de waterkolom of het sedimentoppervlak om ademen en de foerageren. Voor die grotere organismen is de samenstelling van het diepere sediment minder belangrijk. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het feit dat ze onder zeer verschillende omstandigheden worden aangetroffen: veel schelpdieren komen bijvoorbeeld voor van grind tot slikrijke condities en bijvoorbeeld zagers van slikrijk tot substraat dat bijna volledig uit plantenresten bestaat. Deze grotere bodemdieren zijn relatief mobiel en in staat water te verpompen voor de aanvoer van bijvoorbeeld zuurstof. De bovenste centimeters van het sediment zijn echter van belang omdat ze veel zeggen over de aanwezigheid van voedsel voor zogenaamde surface deposit feeders. In de Waddenzeeliteratuur worden verschuivingen in macrofaunagemeenschappen gecorreleerd aan verschuivingen in het slibgehalte van de bovenste centimeters van het sediment.

Op een iets lagere termijn (enkele jaren) worden alle bodemdieren beïnvloed in hun verspreiding door de samenstelling van het sediment via een betere of mindere rekrutering. Deze rekrutering staat niet onder invloed van de sedimentsamenstelling dieper in het sediment.

10.5 Tussenconclusie sedimentsamenstelling

De metingen aan de sedimentsamenstelling laten ter plaatse van de Ballastplaat een beperkte vergroving en afname van het slibgehalte zien in de eerste drie meetjaren, gevolg door verfijning en toename van het slibgehalte in het laatste jaar. Deze veranderingen zijn relatief beperkt ten opzichte van de standaarddeviaties. De resultaten geven geen aanleiding om een relatie met de bodemdaling te veronderstellen, omdat jaar-op-jaar variatie in de korrelgrootte en het slibgehalte een normaal onderdeel van het waddenmilieu is.

11 ECOLOGIE

In het monitoringrapport “Monitoring Vogelaantallen studiegebied zoutwinning Waddenzee; Situatie 2021” (Wortelboer et al, 2022) zijn de resultaten van de HVP-tellingen opgenomen.

In het monitoringrapport “Draagkracht van de Ballastplaat voor foeragerende vogels; Analyse pilot benthosbemonstering 2021” (Fieten, 2022) zijn de resultaten van de bodemdieren-inventarisaties opgenomen.

In het monitoringrapport “Aantallen en verspreiding van wadvogels op de Ballastplaat en omgeving; Verkenning van de mogelijkheden” (Kersten et al., 2021) zijn de resultaten van hoogwatertrektellingen opgenomen.

11.1 Ballastplaat: habitat en vogelsoorten

De instandhoudingsdoelstellingen voor het Natura 2000 gebied Waddenzee die van belang zijn voor de zoutwinning onder Waddenzee zijn het habitattype H1140A slik- en zandplaten en de verschillende vogels (doelsoorten) die daarop foerageren. Voor het habitattype en de foeragerende vogels zijn zowel het beschikbare areaal van belang als de kwaliteit van het habitat, in termen van de aanwezige bodemdieren. Andere kwaliteitskenmerken van het habitattype, zoals de aanwezigheid van stabiele meerjarige mosselbanken en de aanwezigheid van zeegras zijn voor de omgeving van de Ballastplaat niet van belang, omdat deze hier niet worden aangetroffen en ook niet worden verwacht. Mosselbroedval is wel mogelijk.

Conform de effectketen, kan de bodemdaling via onvoorziene veranderingen in de morfologie (Figuur 2-4) leiden tot veranderingen in abiotische omstandigheden voor het benthos, waardoor de aantallen schelpdieren en hun biomassa veranderen. Ook kunnen morfologische veranderingen leiden tot veranderingen in het areaal van de droogvallende wadplaten en in de droogvalduur, waardoor de vangtijd van schelpdieren voor de wadvogels korter of langer wordt (Rappoldt & Ens, 2013). In essentie kunnen deze onvoorziene veranderingen in de morfologie leiden tot een verandering in de draagkracht van het gebied voor de verschillende vogelsoorten die foerageren op de wadplaten.

In het monitoringsprogramma worden de aantallen van verschillende vogelsoorten beschouwd. De vogelsoorten die worden gemonitord, maken gebruik van droogvallende wadplaten om te foerageren. Het voedsel dat door deze soorten wordt geprefereerd verschilt, waarbij de scholekster een duidelijke voorkeur heeft voor grote schelpdieren (kokkels en mosselen), terwijl de kanoetstrandloper een voorkeur heeft voor kleine schelpdieren, zoals kleinere nonnetjes. De andere vogelsoorten hebben een voorkeur voor wormen (wulpen, rosse grutto, tureluur) of zijn omnivoor (zilverplevier, bonte strandloper).

De bemonstering van het benthos op de Ballastplaat is gericht op het voedselaanbod voor de vogelsoorten in het monitoringprogramma. In de oorspronkelijke invulling van het monitoringsprogramma werd gekeken naar drie schelpdiersoorten: kokkels (*Cerastoderma edule*), mosselen (*Mytilus edulis*) en nonnetjes (*Limecola (Macoma) balthica*), omdat hiervan over een lange periode betrouwbare data beschikbaar is, die door WMR worden verzameld. Uit deze gegevens is gebleken dat de aanwezigheid van deze drie benthossoorten op de droogvallende wadplaten aan zeer grote schommelingen onderhevig is (zie de rapportages over voorgaande jaren, zoals Wortelboer en Bensink, 2021). Een deel van deze variaties is het gevolg van de verschillen in de broedval: in sommige jaren is sprake van een goede broedval, waarbij veel jonge schelpdieren zich vestigen op het wad (Beukema, 2010). Een goede broedval kan in de jaren daarop ook resulteren in hoge aantallen van de betreffende soort. Extreme omstandigheden, zoals een zeer warme zomer, of een winter met veel ijs op het Wad kunnen zorgen voor grote sterfte, waardoor de aantallen schelpdieren sterk afnemen. Verder kunnen schelpdieren gedurende langere perioden in aantallen afnemen door ziektes, dit is een mogelijke verklaring voor de afname van het nonnetje in het Waddengebied (Beukema et al., 2017).

De schelpdierbemonstering van WMR is niet gericht op wormen en kleine kreeftachtigen, die (ook) als voedsel dienen voor de vogelsoorten uit het monitoringsprogramma. Om een beter inzicht te krijgen in het voedselaanbod voor alle zeven vogelsoorten is in 2021 een start gemaakt met het uitvoeren van de bemonstering van de bodemfauna op het zuidelijke deel van de Ballastplaat. De locaties van deze

bemonstering van benthos komen over een met de spijkermetingen. Daarmee kan de informatie over de hoogte, de sedimentatie en de sedimentsamenstelling van de locaties van de spijkermetingen worden gekoppeld aan het aanwezige benthos. Hierover is uitgebreid gerapporteerd in Fieten (2022) en de belangrijkste uitkomsten hieruit worden in dit hoofdstuk beschouwd.

11.2 Introductie meetmethodes

11.2.1 Benthosbemonstering

De pilotbenthosbemonsteringen op de Ballastplaat zijn in het najaar van 2021 uitgevoerd met steekbuizen. Deze buizen worden de bodem ingedruwd en zo gevuld met sedimenten en de in het sediment aanwezige bodemdieren. De gevulde steekbuis wordt uit het sediment getrokken en het monster wordt uit de steekbuis gehaald ter plaatse gezeefd zodat de bodemdieren van het sediment worden gescheiden. De monsters voor de septemberpilot zijn in het veld verwerkt, waarbij de aantallen en lengtes van de schelpdieren zijn gemeten. Voor de pilotbemonstering in december zijn de uitgespoelde monsters met zeewater in gelabelde potjes opgeslagen en direct na het verzamelen in het laboratorium verwerkt en geanalyseerd.

11.2.2 HVP-tellingen

Bij tellingen op hoogwatervluchtplaatsen (HVP's) wordt vastgesteld hoeveel van welke vogelsoorten aanwezig zijn op de Hoogwatervluchtplaatsen. HVP-tellingen zijn onderdeel van de reguliere monitoring van de watervogels, waarbij voor de Waddenzee de internationale afspraken worden gehanteerd over de opnamemomenten. De tellingen worden vijf keer per jaar uitgevoerd, integraal voor de gehele Waddenzee. Een beschrijving van de methodieken watervogeltellingen zoals uitgevoerd in het nationale Netwerk Ecologische Monitoring is onder andere opgenomen in van Strien (2007) en na te lezen in Ens e.a. (2012). De HVP-tellingen hebben, vanwege het weer en beschikbaarheid van vrijwilligers een onregelmatige dekking en ontbrekende data wordt dan met het TrendSpotter model aangevuld (Soldaat et al., 2007), dit wordt bijschatting of 'imputing genoemd'.

De individuele HVP's worden gecombineerd tot telgebieden, waarover wordt gerapporteerd. Zo bestaat WG14 uit het hele dijkvak van de Waddenzeedijk van het Friese begin van de Afsluitdijk (bij de Lorenzsluizen) tot en met het havengebied bij Harlingen. Een van de hoogwatervluchtplaatsen van de scholeksters binnen dit telgebied is de Waddenzeedijk bij de Frisia-fabriek. De combinatie van hoogwatervluchtplaatsen in telgebieden is door SOVON gedaan op basis van kennis van de kenmerken van het telgebied en de samenhang met het Waddengebied. Uit de telgebieden rond en in de westelijke Waddenzee (Figuur 11-1) zijn er tien geselecteerd (Tabel 11-1). De telgebieden zijn zodanig gekozen dat er drie (WG14, WG27 en WG24) in de directe nabijheid van de Pleistocene bodemdalingsschotel liggen, terwijl de overige buiten het bereik van de Pleistocene bodemdalingsschotel en het invloedgebied liggen.

De telgebieden hebben elk eigen kenmerken en een specifieke relatie met het waddengebied. Richel (WG13) ligt nabij het zeegat. Griend (WG24) ligt te midden van droogvallende wadplaten. WG27 ligt ten oosten van Harlingen met landbouw en kleinschalige bebouwing achter de dijk. In de Waddenzee bij de dijk bij WG27 liggen droogvallende wadplaten dichtbij en tegen de dijk en op sommige plekken zijn kleine kwelders of plukjes kweldervegetatie aanwezig.

Trendanalyses

Om vast te stellen of er sprake is van een trend hanteren we een tijdserie-analysetool. Zo'n tool beschikt over een ingebouwde statistische analyse die aangeeft of er sprake is van een trend of niet. Tot dusver is in dit monitoringprogramma gebruik gemaakt van Trendspotter. Trendspotter wordt echter niet langer ondersteund en is in veel opzichten moeilijk te doorgronden. Arcadis is dit jaar op zoek gegaan naar een geschikt alternatief en in (Wortelboer & Bensink, 2022) is toegelicht dat verschillende tools zijn bekeken. De uitkomst van de studie is tweeledig. Ten eerste werd duidelijk dat de keuze voor de tool ondergeschikt is aan de kwaliteit van de data. Ten tweede bleek de tool "Trim" gebruiksvriendelijk en wordt deze tool onderhouden door het CBS (Centraal Bureau voor de Statistiek). Trim geeft aan of er statistisch gezien sprake is van een trend. Wanneer dit zo is, maakt Trim onderscheid tussen een beperkte trend ("moderate") en een sterke trend ("strong"). In de effectketenbenadering spreken wij van een trend wanneer deze door Trim minimaal als "moderate" wordt beoordeeld. Dit doen we voor de vogels en, wanneer in de toekomst

voldoende data verzameld is, ook voor de kwaliteit van het gebied als foerageergebied voor die vogels en voor de hoogteligging van de Zuidelijke Ballastplaat.



Figuur 11-1: Indeling HVP telgebieden rond de westelijke Waddenzee, waaruit tien HVP's zijn geselecteerd voor de monitoring.

Tabel 11-1 Hoogwatervluchtplaatsen gebruikt in de analyse.

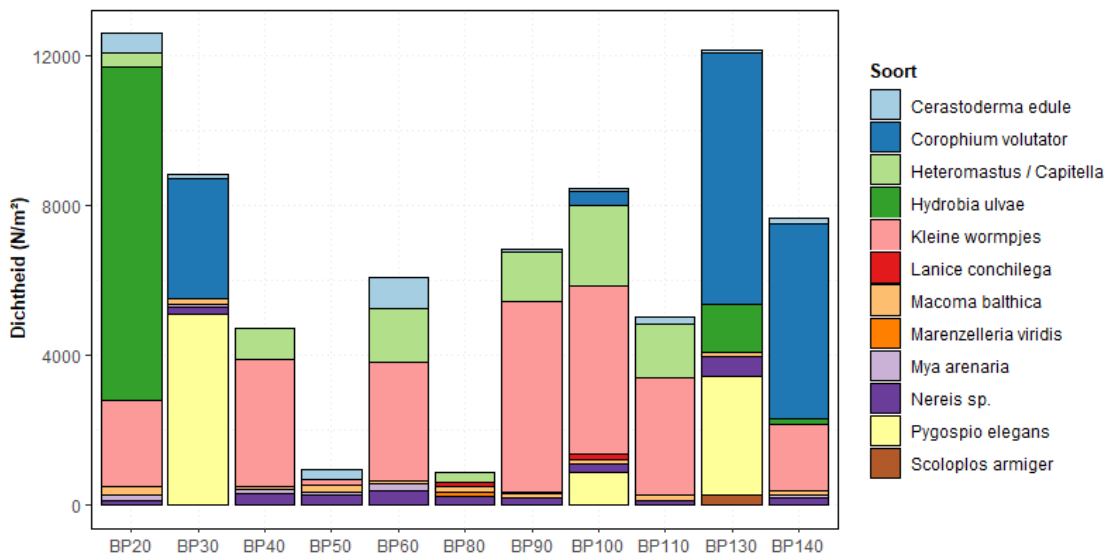
Invloed HVP-code	Invloed Hoofdgebied	Referentie HVP-code	Referentie Hoofdgebied	Referentie HVP-code	Referentie Hoofdgebied
WG24	Griend	WG11	Texel	WG17	Balgzand
WG14	Harlingen - Afsluitdijk (Lorentzsluis)	WG12	Vlieland	WG18	Kust Den Helder
WG27	Friese Kust: Zwarte Haan – Harlingen	WG13	Richel	WG21	Terschelling
		WG16	Wieringen		

11.2.3 Hoogwatertrektellingen

De HVP-tellingen geven geen directe informatie over het daadwerkelijke gebruik van het habitat droogvallende wadplaten door de steltlopers. Het is, buiten de eenmalige laagwatertelling die is uitgevoerd bij de voorbereiding van het MER en Passende beoordeling van de zoutwinning onder de Waddenzee niet bekend in hoeverre de Ballastplaat voor de verschillende soorten van belang is als foerageergebied. In 2021 zijn twee eerste tellingen uitgevoerd waarbij is gekeken naar de vliegbewegingen van de vogels vanaf de Ballastplaat en de aangrenzende Grienderwaard en Vlakte van Oosterbierum naar de hoogwatervluchtplaatsen rondom deze gebieden (Kersten et al., 2021). Op deze wijze is inzicht gekregen in de benutting van de Ballastplaat door verschillende vogelsoorten en naar welke HVP's deze dieren vertrekken.

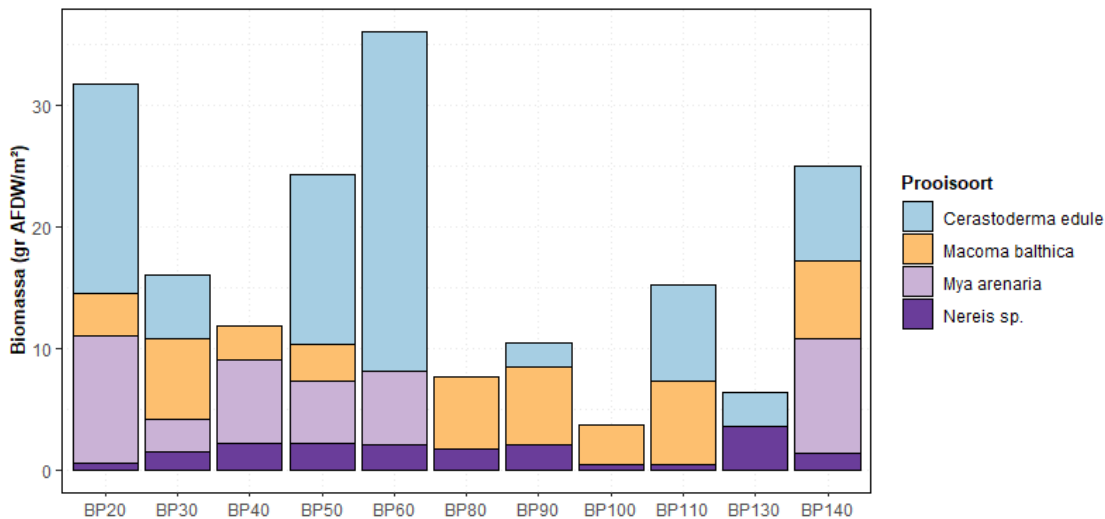
11.3 Benthos op het zuidelijke deel van Ballastplaat

In de pilotbemonstering in december zijn ca. 12 verschillende soorten benthos onderscheiden. Van 10 van deze soorten is naast de dichtheid ook de biomassa bepaald. In Figuur 11-2 zijn de dichtheden en samenstelling van de aangetroffen benthossoorten per bemonsteringslocatie weergegeven. Vijf soorten kwamen in hoge dichtheden voor: Slijkgarnaal (*Corophium spec.*), Wadslakje (*Peringia ulvae*), Zandpijp (*Pygospio elegans*), Rode draadworm / Slangpier (*Heteromastus / Capitella*) en de Veelkleurige zeeduizendpoot (*Nereis diversicolor*) en ook werden veel kleine wormpjes in de monsters waargenomen. De hoogste dichtheden werden gevonden op monsterlocaties BP20, BP130 en BP140.



Figuur 11-2 Benthosdichtheid (aantal per m²) en samenstelling per monsterlocatie (decemberpilot 2021) uit Fieten (2022).

Om te bepalen welke benthossoorten potentieel voedsel zijn voor de geselecteerde vogelsoorten zijn verschillende literatuurstudies verricht. Voor de uitwerking van de pilotbemonstering is gekozen om te focussen op de voedselbeschikbaarheid voor de drie vogelsoorten Scholekster, Kanoet en Bergeend. De Scholekster en Kanoet zijn in de overwinteringsperiode (sept t/m jan) sterk afhankelijk van o.a. kokkels en nonnetjes in de wadbodem. Daarnaast is bekend dat een toename van ruiende Bergeenden (augustus) langs de Friese kust samenvalt met een toename van de Slijkgarnaal (*Corophium spec.*). Ter illustratie is in dit rapport het beschikbare voedsel per bemonsteringslocatie voor de Scholekster weergegeven in Figuur 11-3. De prooibiomassa op de Ballastplaat voor de Scholekster wordt met name bepaald door de Kokkel met gemiddeld 7 g/m². De biomassa hiervan is het hoogst op BP60 en BP20, waar ook het slibgehalte hoog is. De beschikbare gemiddelde prooibiomassa van het Nonnetje en de Strandgaper is vergelijkbaar met resp. 3,7 en 3,4 g/m². De prooibiomassa van de Zeeduizendpoot is ca. 1,5 g/m². De gemiddelde totaal prooibiomassa per monsterpunt is 13 g/m². De prooibiomassa voor de Scholekster is het hoogst op bemonsteringslocatie BP60, BP20, BP140 en BP50.



Figuur 11-3 Prooibiomassa (in g AFDW/m²) voor de Scholekster per monsterlocatie (Decemberpilot 2021) uit Fieten (2022).

11.4 Draagkracht van het zuidelijke deel van de Ballastplaat

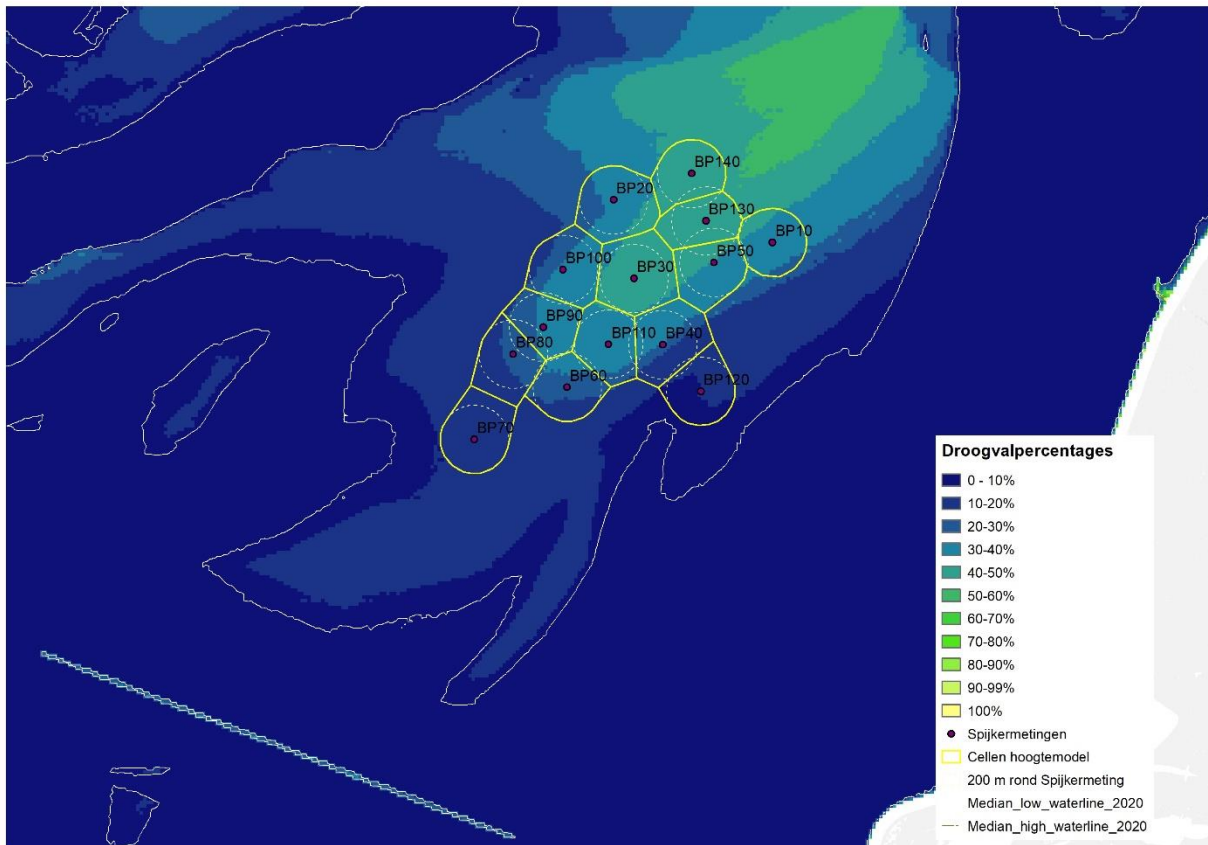
Naast de aanwezigheid van prooidieren voor de betreffende vogelsoorten, waarvan het voorbeeld is getoond in Figuur 11-3, is de bereikbaarheid van de plaat van belang voor de daadwerkelijke benutting van het voedsel door de vogels. De bereikbaarheid van de Ballastplaat voor foeragerende steltlopers wordt enerzijds bepaald door de absolute hoogte van de Ballastplaat (de hoogte ten opzichte van NAP) en anderzijds door de waterstanden die optreden. In een periode met hogere waterstanden valt de Ballastplaat minder lang droog dan in perioden met gemiddelde waterstanden. Dat betekent ook dat dan de Ballastplaat minder lang beschikbaar is voor het foerageren door steltlopers.

Voor het model van de hoogte en hoogteverandering Ballastplaat is gebruik gemaakt van de Spijkermetingen. Enerzijds omdat deze netjes zijn verdeeld over de plaat, anderzijds omdat de benthosgegevens ook bij deze locaties worden verzameld. Het gebied is verdeeld in cellen die rond de Spijkermetingen liggen (Figuur 11-4). De grens tussen de verschillende cellen ligt zo dat de afstand naar het centrale punten van beide cel (de locatie van de Spijkermetingen) gelijk is. Voor de cellen die niet grenzen aan andere cellen is een afstand vanaf 200 m gebruikt als grens. De hoogte per cel is ontleend aan de hoogte van de Spijkermeting ter plaatse.

11.4.1 Droogvalpercentages

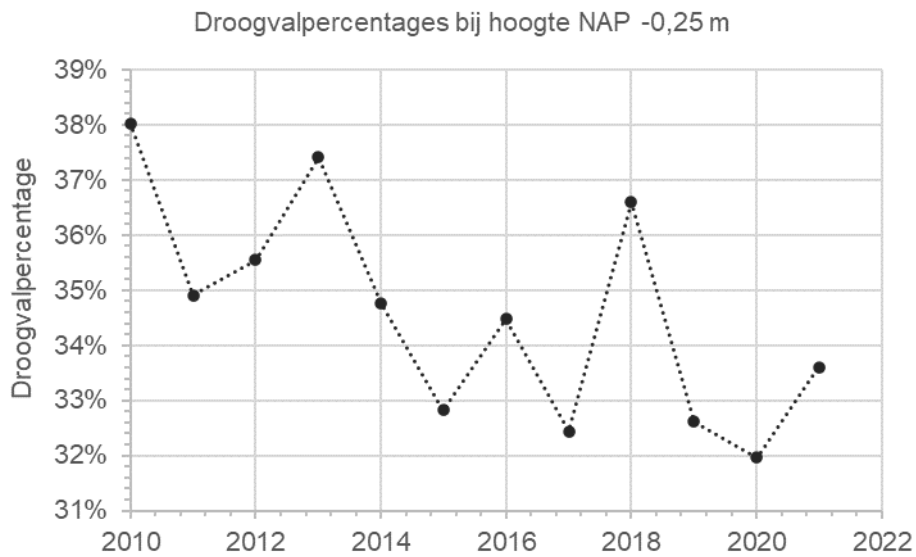
Voor het bepalen van de droogvalpercentages is gebruik gemaakt van de meetgegevens van het waterstandmeetstation te Harlingen, die bij Rijkswaterstaat zijn opgevraagd voor de periode van 2010 tot 2021. Deze gegevens geven inzicht in de waterhoogte zoals die daadwerkelijk optreden in de Waddenzee.

Het meetpunt bij Harlingen ligt dermate dicht bij de Ballastplaat dat dit een goede indicatie geeft van de waterstanden op de Ballastplaat. Dit is geverifieerd door een berekening met de Intertides tool uit te voeren van de waterstanden en de droogvalpercentages. De hoogtekaart op basis van de vakloding 2016 is gebruikt om de droogvalpercentages van 2020 voor de omgeving van de Ballastplaat te berekenen (Figuur 11-4). De droogvalpercentages komen vrijwel geheel overeen met de droogvalpercentages die zijn berekend met de waterstanden van Harlingen uit 2020 en met dezelfde bodem uit 2016 (zie hiervoor het hoofdrapport van vorig jaar: Arcadis, 2021). Voor het bepalen van de droogvalpercentages van de cellen van het hoogtemodel wordt gebruik gemaakt van de waterstanden bij Harlingen.



Figuur 11-4 Kaart de droogvalpercentages van 2020, op de bodemhoogte van 2016 (vaklodgingen, gegevens Rijkswaterstaat). Berekend met Intertides. In de kaart zijn ook de cellen van het hoogtemodel van het zuidelijke deel van de Ballastplaat aangegeven.

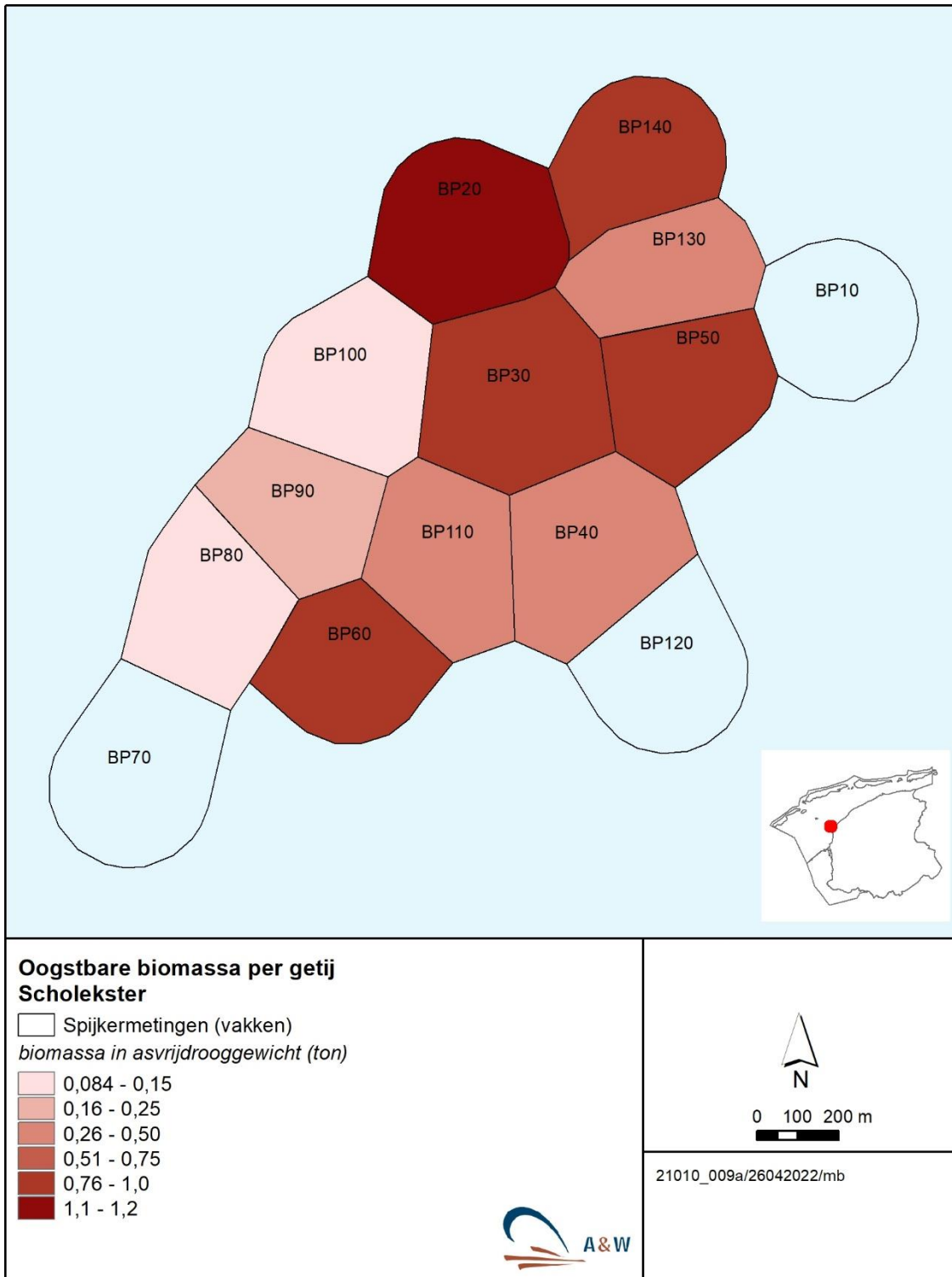
De draagkracht van het zuidelijke deel van de Ballastplaat varieert door veranderingen in de hoogte, veranderingen in de waterstand en veranderingen in de dichtheid en biomassa van het benthos. De jaar-op-jaar variatie in de dichtheden en de biomassa van de drie schelpdiersoorten bleek zeer groot te zijn. De bemonstering van het benthos op de Ballastplaat gaat inzicht geven in de variaties van al het voor de vogelsoorten relevante bodemleven. De Spijkermetingen (ondersteund door de raaimetingen) geven inzicht in de hoogteveranderingen, die maximaal enkele cm's per jaar bedragen. De droogvalpercentages voor alle jaren van 2010 tot 2021 zijn voor één waterdiepte, in dit voorbeeld is dat NAP -0,25 m NAP, weergegeven in Figuur 11-5. In deze grafiek is zichtbaar dat de bandbreedte van de droogvalpercentages ongeveer 6% berdaagt. Dat betekent dat het deel van de wadplaat met een hoogte van NAP -0,25 m NAP in het jaar met de hoogste droogvalpercentages (2010) 6% van het jaar langer bereikbaar was dan in het jaar met de laagste droogvalpercentages (2020). Deze variatie van 6% vertegenwoordigt een hoogteverschil van 15 cm. De invloed van de waterstandsvariaties blijkt daarmee groter te zijn dan die van de hoogteveranderingen.



Figuur 11-5 Grafiek met droogvalpercentages van een wadplaat met een hoogte van -0,25 m NAP per jaar (cumulatieve duur als percentage van het jaar) te Harlingen voor 2010-2021 (gegevens Rijkswaterstaat, via waterinfo.rws.nl).

11.4.2 Beschikbare prooibiomassa per getij

Voor alle cellen van het hoogtemodel, zoals getoond in Figuur 11-4, zijn de oppervlakte, de hoogte en het droogvalpercentage in 2021 berekend. Deze zijn gebruikt om de prooibiomassa, waarvan het voorbeeld is getoond in Figuur 11-3 om te rekenen naar het beschikbare voedsel per getij. Figuur 11-6 toont de eerste berekening van de gemiddelde beschikbare prooibiomassa per getij (in ton AFDW) per deelgebied van de Ballastplaat voor de Scholekster, op basis van de berekende prooibiomassa per m² en de gemiddelde droogvalduur in 2021 (%). De hoogste benutbare prooibiomassa per getij voor de Scholekster lag in het deelgebied rondom BP20 met ca. 1,2 ton. Ook deelgebieden rondom BP50, BP60 en BP140 en BP30 waren geschikt om te foerageren. Het deelgebied BP100 was het minst geschikt om te foerageren, met een prooibiomassa per getij van ca. 0,08 ton. Per getij was in het gehele gebied in totaal ruim 6 ton prooibiomassa voor de Scholekster beschikbaar. Deze berekeningen zijn ook uitgevoerd voor de Kanoetstrandloper en de Bergeend, zie hiervoor Fieten (2022).

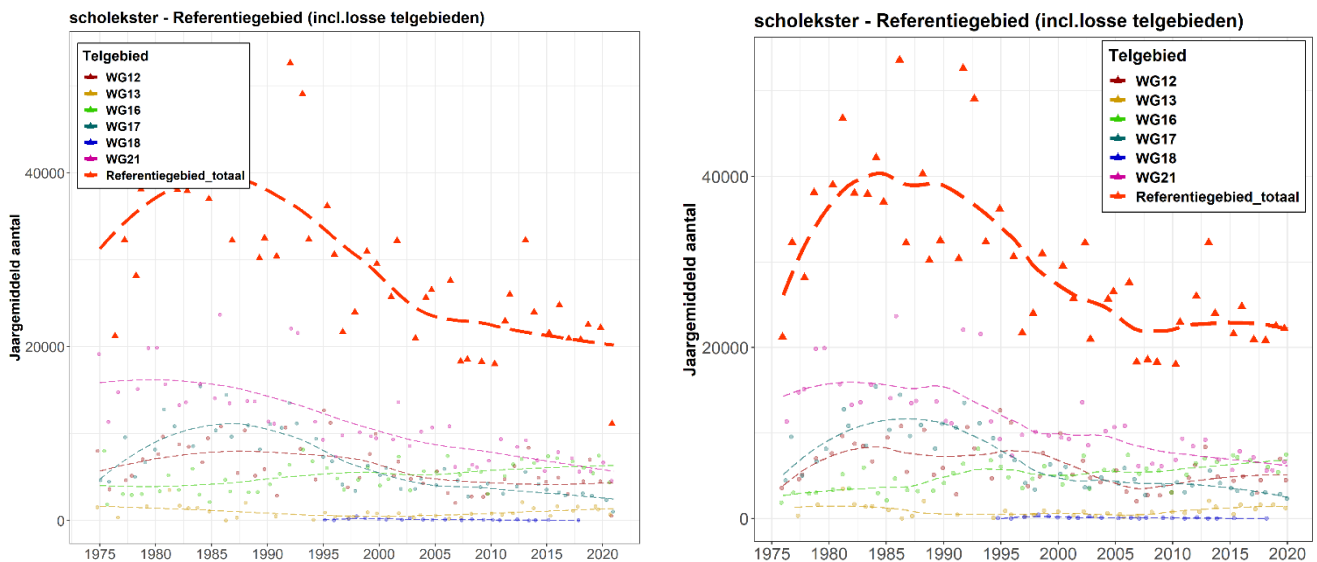


Figuur 11-6 Beschikbare prooibiomassa per getij (in ton AFDW) voor de Scholekster per deelgebied van de Ballastplaat (Decemberpilot 2021) uit Fietsen (2022).

11.5 Aantallen vogels op de telgebieden (HVP-tellingen)

In de rapportage over de vogelaantallen op de HVP's (Wortelboer & Bensink, 2022) zijn de jaargemiddelde vogelaantallen en de trends daarin op de telgebieden opgenomen voor alle zeven vogelsoorten die worden beschouwd. Hier beschouwen we de aantallen van de scholekster, enerzijds om te illustreren hoe de resultaten van de trendanalyses er uit zien en anderzijds om een eerste link te leggen met beschikbare voedsel op de Ballastplaat, zoals dat in de voorgaande paragraaf is beschreven.

Het jaargemiddelde aantal scholekster staat in de grafieken in Figuur 11-7. Hierin is zichtbaar dat het aantal scholeksters na een piek in 1993 is afgenomen op de HVP's rond de Westelijke Waddenzee. Eerder in dit rapport is aangegeven dat deze data van voor 1994 voor een belangrijk deel uit geïmputte gegevens bestaat. Het is dan ook onzeker of de Scholeksteraantallen voor 1994 daadwerkelijk lager lagen zoals figuur 11-2 gepresenteerd. Er is geen twijfel over de negatieve trend in de Scholeksteraantallen van de recentere jaren. Dit geldt zowel voor de aantallen in het invloedsgebied als in de rest van de Westelijke Waddenzee en in de rest van Nederland (<http://s1.sovon.nl/soorten.asp?euring=4500>). De resultaten suggereren dat de negatieve trend in het invloedsgebied enigszins uitvlakt. Helaas kunnen we nog geen jaargemiddelde berekenen voor het jaar 2021. Dit komt doordat niet alle telgegevens waren verwerkt en beschikbaar waren op het moment dat de analyses zijn uitgevoerd. Omdat de laatste maanden van 2021 in sterke mate bijdragen aan het jaargemiddelde, was slechts de helft van de Scholeksters in de Sovondatabase verwerkt. Dit gold voor alle vogelsoorten. Arcadis zal met Sovon overleggen of het mogelijk is deze data in de toekomst op tijd te ontvangen t.b.v. data-analyse en rapportage. Wij achten het voor deze monitoring ongewenst de missende gegevens middels het gangbare proces imputing bij te berekenen.



Figuur 11-7 Ontwikkeling in jaargemiddelde aantallen scholekster voor de telgebieden in het invloedsgebied (links) en referentiegebied (rechts). De cumulatieve waarden van de jaargemiddelden vormen de uiteindelijke waarden van het overkoepelende invloedsgebied en referentiegebied (uit Wortelboer & Bensink, 2022).

Uit WADMAP modelvalidaties is bekend dat de verdeling van Scholeksters langs de Waddenzee kust redelijk correleert met de voedselbeschikbaarheid op het droogvallende wad (zie o.a. Ens et al., 2015). In hoeverre dit voor de Ballastplaat opgaat is nog niet duidelijk. We weten inmiddels dat met name de Scholeksters op de HVP's daadwerkelijk foerageren op de relatief laag gelegen Zuidelijke Ballastplaat. Ook weten we dat de voedselbeschikbaarheid in het gebied beperkt is. Er zijn geen grote schelpdierdichtheden zoals kokkel- of mosselbanken aangetroffen. In vergelijking met WADMAP berekeningen voor Pinkegat en Zoutkamperlaag is de beschikbare voedseldichtheid per getij aan de lage kant. Op een schaal van 0 tot 100 gram AVDW/m² die verdeeld over de Zoutkamperlaag voorkomen (Ens et al. 2019) liggen de dichtheden op de Zuidelijke Ballastplaat met 5 tot 10 gram AVDW/m² aan de lage kant.

Voor de andere zes vogelsoorten in het monitoringsprogramma gelden de volgende observaties van de trends in het invloedsgebied ten opzichte van het referentiegebied.

Kanoetstrandloper: De aantallen van de kanoetstrandloper fluctueren sterk van jaar op jaar en dit levert een trend duidelijke op en neergaande aantallen. Na 1990 was in zowel het invloedsgebied als het referentiegebied sprake van twee perioden met gemiddeld hogere aantallen met een tussenliggend dal met lager aantallen. Na 2015 was opnieuw sprake van een afname in het invloedsgebied en het referentiegebied.

Bonte strandloper: In het invloedsgebied zijn de aantallen van de Bonte strandloper na een dipje rond 2010 sterk toegenomen in het invloedsgebied. De aantallen Bonte strandloper in het referentiegebied laten vanaf ongeveer 1990 een sterke toename zien tot een top rond 2010. Daarna was sprake van een afname. De recente trends in de aantallen van de Bonte strandloper in het invloedsgebied en het referentiegebied zijn daarmee tegenovergesteld. De toename in het invloedsgebied wordt vooral gestuurd door de toename op de HVP's in het telgebied Friese kust (WG27) en minder mate door toename op Griend (WG24).

Rosse grutto: In het invloedsgebied was na een toename, sinds 2005 sprake van een duidelijke afname van de relatief lage aantallen. In de referentiegebieden waren de aantallen groter. Daar was sprake van een toename tot rond 2015, gevolg door een kleine afname. De trends in de aantallen Rosse grutto verschillen daarmee voor het invloedsgebied en het referentiegebied.

Wulp: De wulp vertoonde een toename vanaf het begin van de waarnemingen, met daarin enkele vertragingen. In de referentiegebieden zijn de aantallen toegenomen vanaf de jaren '90 tot rond 2005, om daarna weer af te nemen. De recente trends in de aantallen van de Wulp in het invloedsgebied en het referentiegebied zijn daarmee tegenovergesteld.

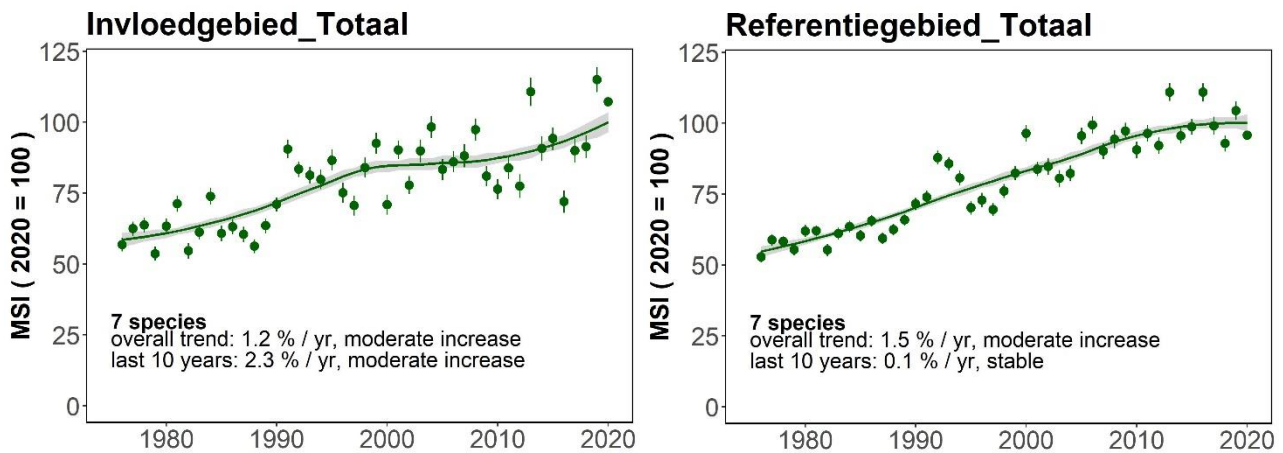
Tureluur: De aantallen in het invloedsgebied zijn na de jaren '90 sterk toegenomen, met een dipje rond 2013. De toename in het invloedsgebied wordt vooral gestuurd door de toename op de HVP's in het telgebied Friese kust (WG27). Ook in het referentiegebied zijn de aantallen na de jaren '90 toegenomen, maar daar was de dip rond 2013 groter. In beide gebieden (invloeds- en referentiegebied) was de afgelopen jaren sprake van een toename van de aantallen.

Zilverplevier: In het invloedsgebied was sprake van een overall lichte afname na halverwege de jaren '90, met een lichte toename sinds 2010. In het referentiegebied was na een toename sinds 2005 de trend licht afnemend. De recente trends in de aantallen van de Zilverplevier in het invloedsgebied en het referentiegebied zijn daarmee tegenovergesteld.

In aanvulling op de trends van de individuele soorten hierboven is de trend bepaald van alle zeven soorten in de telgebieden die we rekenen tot het invloedsgebied en tot het referentiegebied. Deze index van combinaties van soorten is berekend met de Multi-species Index (MSI) van CBS. Als invoer zijn de berekende indexen van de jaargemiddelde aantallen van de afzonderlijke soorten voor de gemiddelde index in het invloedsgebied en referentiegebied gebruikt. Dit houdt in dat de MSI-trend niet kijkt naar de vogelaantallen maar naar de ontwikkeling van de 7 soorten samen. Hierbij telt een deelpopulatie van 150 exemplaren dus net zo zwaar mee als één van 10.000 exemplaren. Zodoende schetst de MSI of de HVP's aantrekkelijker worden voor deze zeven beschermde vogelsoorten in bredere zin. De MSI geeft weer of sprake is van een trend en of de waarnemingen worden geclassificeerd als stabiel, toenemend of afnemend. De recente trend ('last 10 years') in de multi-species index laat voor het invloedsgebied een stijgende lijn zien, zoals zichtbaar is in Figuur 11-8. De recente trend in de referentiegebieden wordt als stabiel geclassificeerd, terwijl die over de totale periode een toename laat zien. De toenames betekenen dat er meer soorten zijn die toenemen in aantallen op de HVP's dan soorten die afnemen. Ook kan het zo zijn dat de gemiddelde toename sterker is dan de gemiddelde afname onder de bestudeerde soorten.

Voor geen van vogelsoorten en ook niet voor de MSI is sprake van ontwikkelingen in het invloedsgebied, die vragen om een nadere analyse.

Het is nog niet mogelijk om de aantallen en de veranderingen in de aantallen van de verschillende soorten te koppelen aan het oogstbare voedsel op de Ballastplaat. Voor de scholekster is het beschikbare voedsel in december 2021 in beeld gebracht (Figuur 11-6), zodat nog geen verband kan worden gelegd tussen de waargenomen (jaargemiddelde) aantallen in Figuur 11-7 en het oogstbare voedsel. Eerder is al gebleken dat het ook niet mogelijk was om een eenduidige koppeling te leggen tussen de schelpdiervoorkomens en de vogelaantallen (Kater & Wesdorp, 2021). Door in de toekomst drie benthosbemonsteringen per jaar op de Ballastplaat uit te voeren wordt het mogelijk om deze koppeling te maken. Wat daarbij ook nodig is, is informatie over de daadwerkelijke aanwezige vogels op (het zuidelijke deel van) de Ballastplaat en de HVP's waar deze vogels naar toe vliegen. In de volgende paragraaf wordt hierop ingegaan.

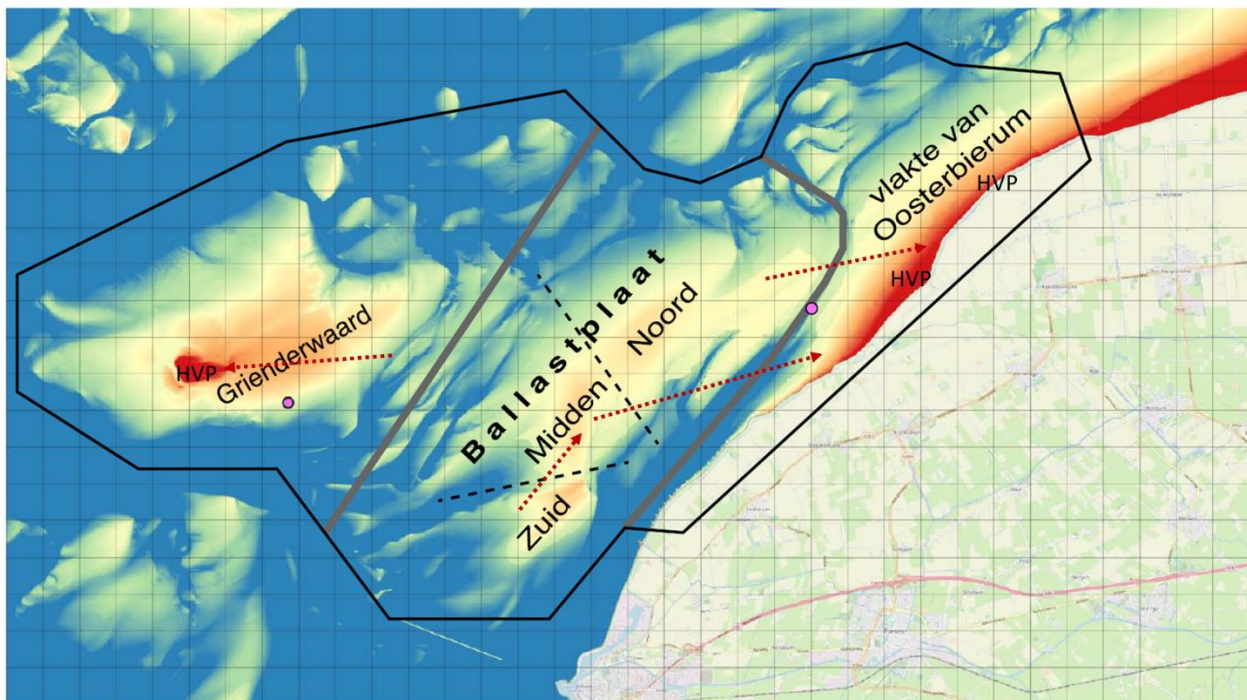


Figuur 11-8. Multi-species index voor de trend van 7 soorten wadvogels voor de totalen over alle telgebieden voor het invloedgebied (links) en het referentiegebied (rechts) van de zoutwinning (uit Wortelboer & Bensink, 2022).

11.6 Vogels op de Ballastplaat (hoogwatertrektellingen)

Op 20 mei 2021 is de hoogwatertrek geteld vanaf de Ballastplaat naar Griend en vanaf de Ballastplaat naar de Friesche Kust. Ook zijn waarnemingen gedaan vanaf de waddijk tussen Roptazijl en Koehool die het beeld compleet maken. Op 13 september 2021 zijn opnieuw tellingen gedaan om de aantallen en verspreiding van de wadvogels op en rond de Ballastplaat in kaart te brengen.

Figuur 11-9 geeft de onderverdeling van de droogvallende wadplaten in deelgebieden weer. De Ballastplaat is onderverdeeld in drie deelgebieden: Zuid, Midden en Noord. Ballastplaat-Zuid is het gebied waar de bodemdaling door zoutwinning plaatsvindt. De 3 delen van de Ballastplaat zijn tijdens laagwater niet scherp van elkaar gescheiden en bij opkomend water raken de drie delen van elkaar gescheiden. Bij opkomend water worden foeragerende vogels door het water naar de hogere delen van de wadplaten gedreven. De vogels verplaatsen zich daarbij zowel lopend als vliegend. Tijdens opkomend water raken bijvoorbeeld de "Grienderwaard vogels" gescheiden van de "Ballastplaat vogels". Op basis van de waarnemingen kan ervan worden uitgegaan dat de wadvogels die zich bij opkomend water verzamelen op de hogere delen van de Ballastplaat op de "Ballastplaat en omgeving" foerageren of gevoerageerd hebben. De richting van de hoogwatertrek is ook aangegeven in Figuur 11-9.



Figuur 11-9 Onderverdeling van de foerageergebieden op droogvallende platen in de omgeving van de Ballastplaat in de Grienderwaard, de Ballastplaat en de Vlake van Oosterbierum. Hoogtekaart met een kleurschaal begrensd op [-100 cm; +100 cm]. A: Locatie van de waarneemtoren waarvandaan op 20 mei het begin van de hoogwatertrek is geteld; B: Locatie van de boot waarvandaan de hoogwatertrek naar de Friesche Kust is geteld. De pijlen geven de hoogwatertrek van de wadvogels weer op 20 mei 2021.

Op grond van de hoogwatertrektellingen is in combinatie met de HVP-tellingen een reconstructie gemaakt van de verspreiding van de wadvogels tijdens laagwater op 20 mei 2021. Het resultaat is samengevat in Tabel 11-2. Talrijk waren met name Rosse Grutto, Bonte Strandloper, Zilverplevier en Drieteenstrandloper. Tijdens hoogwater overtijt een deel van de vogels die op de Ballastplaat foerageren op Griend, een ander deel gaat naar de Friesche Kust. Verreweg het grootste deel, ongeveer 70% van de vogels in het onderzoeksgebied foerageert op de Ballastplaat en in het grensgebied tussen Ballastplaat en Grienderwaard. De vogels die foerageren in het deelgebied Ballastplaat-Zuid gaan bij opkomend water vrijwel allemaal naar hoger gelegen delen van Ballastplaat-Midden.

Wanneer we kijken naar het gebruik van de gehele Ballastplaat door vogels die op de HVP's overtijen, dan zien we dat een aanzienlijk deel van deze dieren de oversteek naar de plaat maakt. Dit is weergegeven in tabel 11-2. Voor het zuidelijke deel van de Ballastplaat is dat anders: bij de telling van 13 september zijn tijdens hoogwater langs de kust in totaal 66.000 wadvogels geteld waarvan 62.000 steltlopers. Slechts een klein deel van deze vogels heeft op Ballastplaat-Zuid gefoerageerd (3 à 4%). Voor de Scholeksters gold dat niet. Een aanzienlijk deel van de op de HVP's aanwezige Scholeksters foerageerde op de Ballastplaat-Zuid.

Tabel 11-2 Het berekende aantal foeragerende wadvogels op de gehele Ballastplaat (inclusief het zuidelijke deel van de Grienderwaard) en omliggende wadgebieden (20 mei 2021) uit Kersten et al. (2021).

soort	Griender- waard	Ballast- plaat	Vlakte v. Ooster- bierum	Totaal	fractie Ballastplaat (%)
Scholekster	606	197	202	1005	20
Zilverplevier	840	4704	1546	7090	66
Wulp	135	28	0	163	17
Rosse Grutto	1440	14150	1840	17430	81
Tureluur	0	200	2130	2330	9
Kanoet	1990	380	0	2370	16
Bonte Strandloper	13650	78410	11490	103550	76
Drieteenstrandloper	5055	5445	31	10531	52
Totaal	23716	103514	17239	144469	72

11.7 Tussenconclusies ecologie

De analyse van de vogelaantallen op de telgebieden rond de Ballastplaat en rond de Westelijke Waddenzee laat zien dat voor de Scholekster, de Kanoetstrandloper en de Tureluur de recente trends in het invloedsgebied en het referentiegebied vergelijkbaar zijn. Dat is de laatste jaren ook het geval bij de Rosse grutto. Voor de Bonte strandloper, de Wulp en de Zilverplevier is sprake van een tegenovergestelde trend in de afgelopen jaren.

In dit hoofdstuk is ook een eerste stap gezet naar een meer geïntegreerde analyse van de benthosbemonstering en de vogelaantallen. De pilotbemonstering in 2021 laat zien dat deze werkwijze bruikbare gegevens oplevert die te vertalen zijn naar de draagkracht voor de verschillende vogelsoorten. In de eerdere rapportages over de monitoring is gekeken naar de aantallen vogels op de telgebieden in relatie tot de schelpdiervoorkomens en dit heeft duidelijk gemaakt dat niet alle ontwikkelingen van de vogelsoorten kunnen worden beschouwd aan de hand van de biomassa en dichtheden van de schelpdieren. Met de bemonstering van de Ballastplaat zelf wordt inzicht gegeven in de beschikbaarheid en de bereikbaarheid van het voedsel. Wat in aanvulling nog nodig is, is meer inzicht in de rol die de relatief lage zuidelijke helft van Ballastplaat speelt voor de verschillende vogelsoorten. Aanvullende hoogwatertrektellingen rond de Ballastplaat en een laagwatertelling op het zuidelijke deel van de Ballastplaat in 2022 gaan het inzicht bieden in de aantallen van de verschillende vogelsoorten die daadwerkelijk foerageren in het gebied. Hiermee kan in de toekomst het verband worden gelegd tussen de ontwikkelingen op Ballastplaat die van invloed zijn op de voedselbeschikbaarheid en de vogelaantallen op de HVP's.

12 AANVULLENDE GEGEVENS, INFORMATIE EN ANALYSE

12.1 Stappenplan nadere analyse

Het is mogelijk dat één van de uitkomsten van de monitoringsonderdelen, of een combinatie van uitkomsten aanleiding is tot een nadere analyse. Uitkomsten die aanleiding kunnen zijn tot een nadere analyse zijn:

- De sedimentatie ter plaatste van de bodemdalingsschotel blijft achter, wanneer dat blijkt uit de Spijkermetingen en er vindt een verlaging van de wadbodem plaats, wanneer dat blijkt uit de raaimetingen. En in de rest van de raaimetingen worden geen afwijkende trends waargenomen.
- De sedimentsamenstelling ter plaatse van de bodemdaling verandert en dat gebeurt niet in de andere gebieden.
- De voedselbeschikbaarheid van in het invloedsgebied neemt af.
- De trends in de vogelaantallen op de HVP's nabij het invloedsgebied veranderen en dat gebeurt niet in de referentiegebieden.

De nadere analyse omvat het beschouwen van andere verklaringen voor deze ontwikkelingen en dat gaat in een aantal stappen:

Stap 1. Beschouwing door de onderzoekers van plausibele andere oorzaken voor de specifieke lokale veranderingen, op basis van kennis van de effectketen, gebiedskennis en informatie over specifieke omstandigheden en menselijke activiteiten in de omgeving. Deze stap levert een shortlist aan mogelijke verklaringen en levert daarmee ook een overzicht van de gewenste aanvullende informatie.

Stap 2. Opvragen en analyseren aanvullende gegevens met betrekking tot de mogelijke verklaringen.

Stap 3. Discussie met de onderzoekers, aangevuld met de Groene wetenschap en/of deskundigen op het gebied van een mogelijke oorzakelijke factor, over plausibele verklaringen, op basis van de uitkomsten van stap 1 en 2. Deze discussie kan verschillende uitkomsten hebben, die elke leiden tot verschillende vervolgstappen:

- Indien de discussie leidt tot het onderschrijven van een plausibele verklaring voor de uitkomsten, dan volgt geen vervolgstap en is de analyse is het afgerond.
- Indien de discussie leidt tot een suggestie voor een alternatieve verklaring, dan worden stappen 2 en 3 opnieuw doorlopen.
- Het kan ook duidelijk worden dat waarschijnlijk geen verklaring gevonden gaat worden.

Voor het vinden van andere verklaringen zijn de bronnen voor informatie en gegevens bekend, zoals aangegeven in de volgende twee paragrafen. Deze gegevens zullen in Stap 2 worden opgevraagd.

12.2 Reguliere monitoring

In de Waddenzee en de ruime omgeving daarvan (Noordzee, vasteland) vindt reguliere monitoring plaats van een groot aantal parameters die direct of indirect van invloed kunnen zijn op de morfologische en ecologische ontwikkelingen in het invloedsgebied. Het gaat onder andere om:

- Waterstand: Permanente metingen aan de waterstand t.o.v. NAP, onder andere in de haven van Harlingen (beschikbaar via www.waterinfo.rws.nl);
- Golven: Metingen aan de golfhoogte, -periode en richting met meetboeien in de Noordzee en de Waddenzee door Rijkswaterstaat (beschikbaar via www.waterinfo.rws.nl);
- Wind: Snelheid en richting van de wind, onder andere op station op Terschelling, Leeuwarden en Den Helder (beschikbaar via KNMI).
- Concentratie zwevend stof in het water: metingen iedere twee weken op een aantal vaste locaties in de Waddenzee en de Noordzee (beschikbaar via www.waterinfo.rws.nl);

- Spuidebieten zoetwater IJsselmeer Kornwerderzand (gegevens via Rijkswaterstaat) en Harlingen en Roptazijl (gegevens via Wetterskip Fryslân);
- Mossel- en oesterbanken: ruimtelijke verbreiding op de droogvallende wadplaten (beschikbaar via WMR);
- Bodemdieren en korrelgrootte/slibgehalte litoraal en sublitoraal Waddenzee in SIBES en SUBES monitoring (beschikbaar via NIOZ).
- Ecotopenkaart van de Waddenzee.
- Luchtfoto's (zichtbaar licht en false colour infrared): jaarlijkse opnames beschikbaar via Beeldmateriaal.nl.

12.3 Informatie over andere activiteiten

In en nabij het invloedsgebied vinden verschillende activiteiten plaats die van invloed kunnen zijn op de morfologische en ecologische ontwikkelingen ter plaatse. Het gaat dan bijvoorbeeld om:

- (Garnalen)visserij (informatie/gegevens via Ministerie van LNV);
- Handkokkelvisserij (informatie/gegevens via provincie Friesland);
- Baggeren en verspreiden baggerspecie (gegevens via Rijkswaterstaat en de haven van Harlingen);
- Zandwinning (wordt afgebouwd; gegevens via Rijkswaterstaat);
- Onderhoud kabels en leidingen (informatie/gegevens via Liander);
- Dijk-onderhoud en versterking (informatie via Wetterskip Fryslân);

13 CONCLUSIES EN VERBETERPUNTEN

13.1 Algemene conclusies

De zoutwinning onder de Waddenzee is in september 2020 gestart. In 2021 is voor het eerst enige bodemdaling gemeten. Deze bodemdaling bleef binnen de aangegeven grenzen. Er was dan ook geen overschrijding van de gebruiksruimte.

De monitoring van de morfologie toont een afname van de hoogte van de Ballastplaat met ca. één decimeter. Deze hoogteverandering is niet gemeten in de Spijkermeting, wat betekent dat er geen sprake is van erosie. Daarnaast is het zo dat de gemeten Pleistocene bodemdaling slechts enkele millimeters betrof. Ook beperkte de hoogteverandering zich niet tot het zogenaamde invloedsgebied. Samenvattend moet geconcludeerd worden dat deze verlaging van ca. één decimeter aan de beperkte meetnauwkeurigheid van de raaimetingen moet worden toegeschreven. Dit maakt deze meettechniek minder nauwkeurig dan gedacht. Frisia zal contact met DEEP opnemen om deze resultaten te bespreken en te kijken of de kwaliteit van de metingen beter geborgd kan worden.

Op basis van de in dit monitoringprogramma verzamelde resultaten zijn geen afwijkingen of trends geconstateerd die het resultaat kunnen zijn van bodemdaling door zoutwinning. Er is vanuit het monitoringprogramma dan ook geen aanleiding om de zoutwinning te beperken.

13.2 Het monitoringprogramma

Het monitoringprogramma heeft zich het afgelopen jaar meer toegespitst op de Zuidelijke Ballastplaat. Enerzijds door daar benthosmonsters te gaan nemen en anderzijds door het gebruik van dit deelgebied door foeragerende vogels in kaart te brengen. Dit leidt ertoe dat er begrip ontstaat van de ecologie van dit deelgebied. Dit begrip is van groot belang om toekomstige ontwikkelingen te herkennen en te duiden. We zijn tevreden over de pilotbemonsteringen en voornemens deze door te zetten. Met een frequentie van 3 benthosbemonsteringen en 4 Spijkermetingen per jaar kunnen we relatief snel een dataset opbouwen t.b.v. trendanalyses.

Uit de hoogwatertrektelling bleek dat de vogels van de Zuidelijke Ballastplaat bij opkomend water opschuiven naar het hoger gelegen middendeel van de Ballastplaat. Onderzocht moet worden of uitbreiding van de monitoring met Spijkermetingen, Benthos- en Sedimentstructuurmonsters in de richting van het middendeel van de Ballastplaat behulpzaam is. Of en op elke termijn dat zou moeten plaatsvinden wordt gedurende 2022 uitgezocht.

Er zijn in 2021-2022 grote stappen gemaakt op het gebied van integratie van monitoringdata. Hierbij verwijzen we naar het combineren van monitoringdata van wadplaathoogte, bodemdierensamenstelling en waterstanden tot een maat voor de beschikbare hoeveelheid voedsel per getij. In deze integratie is ecologische informatie nodig, bijvoorbeeld over het dieet van vogelsoorten of over de lengte-afhankelijke biomassa van bodemdieren. De eerste analyses uitgevoerd op basis van de data uit het WADMAP model (Ens et al., 2015). De komende jaren zal deze ecologische informatie steeds verbeteren en met terugwerkende kracht in de berekeningen van voorgaande jaren worden verwerkt.

Voor de trendanalyses van ecologische parameters en geïntegreerde proxies voor draagkracht wordt nu gebruik gemaakt van de tijdserie-analysetool Trim. In de analyses die ten grondslag lagen aan de keuze van een geschikte tool werd duidelijk dat de kwaliteit van de data belangrijker is dan de tool waarmee de analyse wordt uitgevoerd. De vogeltellingen van voor 1994 bleken sterk bepaald door de imputting en daarmee feitelijk onbruikbaar voor deze monitoring. In toekomstige rapportages wordt daar rekening mee gehouden. Ook bleek dat de Sovondata voor het monitoringjaar 2021 incompleet is. Hierdoor waren de jaargemiddelden voor 2021 voor de meeste soorten sterke onderschattingen. In discussie met de Groene Wetenschap kwam naar voren dat analyses op basis van jaargemiddelden sowieso geen goed beeld geven van piekaantallen en zodoende leiden tot een onderschatting van de benodigde draagkracht van een foerageer- of rustgebied. Volgend jaar zal hier in de rapportages rekening mee worden gehouden.

In 2021 is begonnen met hoogwatertrektellingen. Dit heeft veel inzicht gegeven in de daadwerkelijke benutting van de Ballastplaat door vogels. In 2022 willen we deze monitoring doorzetten en er een laagwatertelling aan toevoegen. Deze tellingen worden zo getimed dat ze samenvallen met de piek in aanwezigheid van de betreffende vogelsoorten. We denken dat deze tellingen een goed inzicht geven van de ontwikkelingen in de vogelaantallen op de (verschillende delen van de) Ballastplaat en daarmee aanvullende informatie oplevert bij de HVP-tellingen. Voorlopig zullen deze metingen naast elkaar plaatsvinden.

14 REFERENTIES

Rapporten Monitoring Frisia Havenmond over 2021 bij de voorliggende rapportage

1. Antea, 2021. Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee; Jaarrapportage 2020". Rapport Antea.
2. 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.
3. Spaans, D. & J. Cleveringa, 2021. Monitoring situatie 2021 bodemligging studiegebied zoutwinning Waddenzee. Arcadis-rapport
4. Wortelboer, R., & O. Bensink, 2022. Monitoring Tnul-situatie ecologie studiegebied zoutwinning Waddenzee; Data-analyse. Arcadis-rapport
5. Fieten, N. 2022. "Draagkracht van de Ballastplaat voor foeragerende vogels; Analyse pilot benthosbemonstering 2021". A&W rapport 22-003.
6. 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.
7. 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

Overige referenties

Alkyon, 2010a. Meegroeivermogen en gebruiksruimte in de getijdebekken Vlie en Marsdiep; Grootschalige morfologische ontwikkelingen westelijke Waddenzee. Alkyonrapport met kenmerk A2062R3r5.

Alkyon, 2010b. Tijdelijke effecten van zoutwinning op de ecologische waarden in de Waddenzee. Alkyonrapport met kenmerk A2062R2r3

Arcadis, 2013. Passende beoordeling zoutwinning onder de Waddenzee. Arcadisrapport met kenmerk 076816298:A – Definitief.

Beukema, J.J., 2017. Parallel changes of Limecola (Macoma) balthica populations in the Dutch Wadden Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 585: 71-79.

Beukema J.J., Dekker R., Philippart C.J.M., 2010. Long-term variability in bivalve recruitment, mortality, and growth and their contribution to fluctuations in food stocks of shellfish-eating birds. Marine Ecology Progress Series 414:117–30.

Beukema, J.J., R. Dekker & J.M. Jansen, 2009. Some like it cold: populations of the tellinid bivalve Macoma balthica (L.) suffer in various ways from a warming climate. Marine Ecology Progress Series 384: 135-145.

Christianen, M.J.A., Holthuijsen, S., Van der Zee, E.M., Van der Eijk, A., Govers, L.L., Van der Heide, T., de Paoli, H., Olf, H., 2015. Ecotopen- en Kansrijkdomkaart van de Nederlandse Waddenzee. Rapportnummer 2015.04.01, Waddensleutels.

Compton, T.J., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekinga, A., ten Horn, J., Smith, J., Galama, Y.,

Dankers N., A. Meijboom, M. de Jong, E. Dijkman, J. Cremer & S. van der Sluis, 2004. Het ontstaan en verdwijnen van droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee. Alterra-rapport 921. Alterra Wageningen UR, Wageningen.

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.

- Elias, E.P.L., 2019. Een actuele sedimentbalans van de Waddenzee. Deltares rapport 11203683-001-ZKS-0002.
- 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. (ed.), Krol, J., van der Meer, J., Piening, H., Wijsman, J., Schekkerman, H. & K. Rappoldt, K., 2015. Monitoring van het voor vogels oogstbare voedselaanbod in de kombergingen van het Pinkegat en Zoutkamperlaag. Sovon-rapport 2015.15.
- Ens, B. J., Hornman, M., Hustings, F., Koffijberg, K., Marx, L., Van den Bremer, L., Van Kleunen, A., Van Roomen, A., & Van Winden, E. A. J., 2014. Trendanalyses van vogels in de Waddenzee in het kader van de nieuwe gaswinningen over de periode 1990-2011. Sovon, 30.
- Ens B.J., Roodbergen M., van Winden E., Koffijberg K. & D. Zoetebier , 2012. Voortgangsrapportage monitoring vogels in de Waddenzee in het kader van de nieuwe gaswinningen over de periode 1990-2010. SOVON rapport 2012/09.
- Ens, B.J. E.A.J. Van Winden, C.A.M. van Turnhout, M.W.J. van Roomen, C.J. Smit & J.M. Jansen. 2009. Aantalontwikkeling van wadvogels in de Nederlandse Waddenzee in 1990-2008. Verschillen tussen Oost en West. Limosa 82, 100-112
- Ens, B.J., B. Aarts, K.H. Oosterbeek, M. Roodbergen, H. Sierdsema, R. Slaterus & W. Teunissen. 2009b, Onderzoek naar de oorzaken van de dramatische achteruitgang van de Scholekster in Nederland. Limosa 82 (2), 83-92.
- Folmer, E.O., Drent, J., Troost, K., Buttger, H., Dankers, N., Jansen, J., Stralen van M., Millat, G., Herlyn, M., Philippart, C.J.M. 2014. Large-Scale Spatial Dynamics of Intertidal Mussel (*Mytilus edulis* L.) bed coverage in the Gemena and Dutch Wadden Sea. *Ecosystems* (17), pp 550-566.
- Gräwe, U., G. Floser, T. Gerkema, M. Duran-Matute, T. H. Badewien, E. Schulz and H. Burchard. 2016. A numerical model for the entire Wadden Sea: skill assessment and analysis of hydrodynamics. *J. Geophys. Res. Oceans* 121: 5231-5251.
- Green, R.H., 1979. Sampling design and statistical methods for environmental biologists. WileyInterscience. Chichester, England
- Haren / Nijmegen. Van Roomen, M., K. Laursen, C. van Turnhout, E. van Winden, J. Blew, K. Eskildsen & B.J. Ens, 2012. Signals from the Wadden sea: Population declines dominate among waterbirds depending on intertidal mudflats. *Ocean & Coastal Management* 68: 79–88.
- Herman, P. M.J., T. van Kessel, J. Vroom, P. Dankers, J. Cleveringa, B. de Vries & N. Villars, 2018. Mud dynamics in the Wadden Sea; Towards a conceptual model. Rapport Deltares 11202177-000-ZKS-0011.
- Kam, J. van de, B. J. Ens, T. Piersma, & L. Zwarts, 1999. Ecologische Atlas van de Nederlandse Wadvogels. Haarlem: Schuyt & Co.
- Kempf, N. & R. Kleefstra (2013). Moulting Shelduck in the Wadden Sea 2010 – 2012 www.waddensea-secretariat.org, Wilhelmshaven Germany. Report Joint Monitoring Group of Migratory Birds in the Wadden Sea (JMWB).
- Kersting, K. 1984. Normalized Ecosystem Strain: A System Parameter for the Analysis of Toxic Stress in (Micro-)ecosystems. *Ecological Bulletins*, 36, 150–153.
- Kleefstra R., C. Smit, C. Kraan, G. Aarts, J. van Dijk & M. de Jong (2011). Growing importance of the Dutch Wadden Sea as a moulting area for Common Shelduck *Tadorna tadorna*. *Limosa* 84: 145-154.

- Kraan, C., Piersma, T. Dekinga, A. & B. Fey, (2006) Bergeenden vinden Slijkgarnaaltjes en rust op nieuwe ruiplaats bij Harlingen. *Limosa* 79 (2006): 19-24
- Krijgsveld, K.L., R. R. Smits & J. van der Winden. 2008. Verstoringsgevoeligheid van vogels. Update literatuurstudie naar de reacties van vogels op recreatie. Rapport Vogelbescherming nederland en Bureau Waardenburg rapport nr. 08-173.
- Maclean, I.M.D., G.E. Austin, M.M. Rehfisch, J. Blew, O. Crowe, S. Delany, K. Devos, B. Deceuninck, K. Gunther, K. Laursen, M. Van Roomen & J. Wahl, 2008. Climate change causes rapid changes in the distribution and site abundance of birds in winter. *Global Change Biology* 14: 2489-2500
- Meesters H.W.G., Dijkema K.S., van Duin W.E., Smit C.J., Dankers N., Reijnders P.J.H., Kats R.K.H. & de Jong M.L. 2006. Natuurwaarden in de Kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag en mogelijke effecten van bodemdaling door gaswinning. Alterra-rapport 1310. Alterra, Wageningen.
- Nehls G., N. Kempf & M. Thiel 1992. Bestand und Verteilung mausernder Brandenten (*Tadorna tadorna*) im Deutschen Wattenmeer. *Die Vogelwarte* 36: 221-232.
- Philippart C.J.M., Beukema J.J., Cadée G.C., Dekker R., Goedhart P.W., van Iperen J.M., Leopold M.F. & Herman P.M.J. 2007. Impacts of nutrient reduction on coastal communities. *Ecosystems* 10: 96-119.
- Philippart, C. J.M., H.M. van Aken, J.J. Beukema, O.G. Bos, G.C. Cadée & R. Dekker, 2003. Climate related changes in recruitment of the bivalve *Macoma balthica*. *Limnology and Oceanography* 48: 2171-2185.
- Rappoldt C. & Ens B.J. 2013. Het effect van bodemdaling op overwinterende scholeksters in de Waddenzee. Een modelstudie met WEBTICS. EcoCurves rapport 17/ Sovon-rapport 2013/19.
- Rijkswaterstaat, 1998. Sedimentatlas Waddenzee. Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee, CD-ROM.
- Smaal A.C., J. Craeymeersch, J. Drent, J.M. Jansen, S. Glorius & M.R. van Stralen. 2013. Effecten van mosselzaadvisserij op sublitorale natuurwaarden in de westelijke Waddenzee: samenvattend eindrapport. IMARES Rapport C006/13 PR1
- Soldaat, L., Visser, H., Roomen, M., & Strien, A., 2007. Smoothing and trend detection in waterbird monitoring data using structural time-series analysis and the Kalman filter. *Journal of Ornithology*, 148(SUPL. 2). <https://doi.org/10.1007/s10336-007-0176-7>
- Swennen, C. & T. Mulder 1995. Ruiende Bergeenden *Tadorna tadorna* in de Nederlandse Waddenzee. *Limosa* 68: 15-20.
- Van den Ende, D. K. Troost, M. van Asch, E. Brummelhuis, J. Perdon & C. van Zweeden, 2017. Mosselbanken en oesterbanken op droogvallende platen in de Nederlandse kustwateren in 2017: bestand en arealen. Stichting Wageningen Research Centrum voor Visserijonderzoek (CVO)CVO rapport: 17.022
- Van der Lugt, M., M. Visser & G. Ketelaar, 2020. Monitoring wadplaatareaal Friesche Zeegat met LiDAR (2010-2019). Deltares rapport 11203620-002-ZKS-0006.
- Van der Meer, J., N. Dankers, B.J. Ens, M.R. van Stralen, K. Troost, A.M. Waser,, 2019. The birth, growth and death of intertidal soft-sediment bivalve beds: No need for large-scale restoration programs in the Dutch Wadden Sea. *Ecosystems Early view*. <https://doi.org/10.1007/s10021-018-0320-7>
- Van Strien, A (2007) Landelijke Natuurmeetnetten van het NEM in 2006. Kwaliteitsrapportage NEM. Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg / Heerlen.
- Visser, H., 2004. Detection of Environmental Changes description of the TrendSpotter software. RIVM Memorandum 007/2004 IMP.

- Visser, H., & Petersen, A. C., 2009. The likelihood of holding outdoor skating marathons in the Netherlands as a policy-relevant indicator of climate change. *Climatic Change*, 93(1–2), 39–54. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9498-6>
- Visser, H., & Petersen, A. C., 2012. Inferences on weather extremes and weather-related disasters: A review of statistical methods. *Climate of the Past*, 8(1), 265–286. <https://doi.org/10.5194/cp-8-265-2012>
- Visser, H., 2014. Detection of environmental changes . Description of the TrendSpotter software Detection of Environmental Changes. Technical Report, September. <http://www.researchgate.net/publication/265144989>

BIJLAGE A JURIDISCHE CONTEXT

Bevoegde gezagen en de Auditcommissie

Monitoringsprogramma

Het monitoringsprogramma is onderdeel van de vergunningaanvraag voor de Wet Natuurbescherming (destijds Natuurbeschermingswetvergunning: NB-wet). De monitoring daarmee een onderdeel van de vergunning. Het bevoegd gezag voor deze vergunning is het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid.

Nb-wet vergunningverlening; Zoutwinning onder de Waddenzee¹⁰

In de vergunning is het volgende opgenomen over de monitoring:

Monitoring en rapportage

19. Het optreden van eventuele effecten op de relevante beschermde waarden van het Natura 2000-gebied Waddenzee, als gevolg van de aangevraagde activiteit, wordt door middel van monitoring door of vanwege de vergunninghouder gevolgd.

20. Hiertoe dient de vergunninghouder het monitoringsprogramma uit te voeren dat als bijlage bij de aanvraag is gevoegd, tenzij deze voorschriften daarvan afwijken.

21. Vergunninghouder dient uiterlijk binnen drie maanden na dagtekening van dit besluit dit monitoringsprogramma aan te vullen en de aanvullingen voor schriftelijke instemming voor te leggen aan het bevoegd gezag (t.a.v. het Nbwet team) op de volgende punten:

- Lidar-hoogtemetingen van de Ballastplaat,
- de rui- en foeragefunctie van het gebied voor de Bergeend,
- het aanvullen van het benthosonderzoek met sedimentbemonsteringen,
- het versterken van de samenhang van de onderdelen van de monitoring door de monitoring en bemonstering op zoveel mogelijk dezelfde momenten en plaatsen uit te voeren,
- het verwerken van het gestelde in voorschrift 17 in de beschrijving van het 'hand aan de kraan'-principe.

Deze aanvullingen vallen opvolgend onder dezelfde verplichtingen als benoemd in voorgaande en volgende voorschriften waar gesproken wordt van de monitoring en daaraan gerelateerde verplichtingen.

22. Jaarlijks voor 1 mei, volgend op het kalenderjaar waarop de verslaglegging betrekking heeft, stuurt de vergunninghouder aan het bevoegd gezag (t.a.v. het Nb-wet team) de monitoringsrapporten die overeenkomstig het monitoringsprogramma zijn opgesteld.

23. Door of namens het bevoegd gezag kunnen schriftelijke aanwijzingen worden gegeven in hoeverre de monitoring gedurende de looptijd van de onderhavige vergunning dient te worden aangepast of deels dan wel geheel kan worden beëindigd.

24. Het monitoringsprogramma wordt in ieder geval op schriftelijke aanwijzing van of namens het bevoegd gezag door vergunninghouder bijgesteld indien nieuwe (wetenschappelijke) inzichten, wijzigingen in wetgeving dan wel de monitoringsresultaten zelf daartoe aanleiding geven. Dergelijke ontwikkelingen kunnen ook door de vergunninghouder zelf schriftelijk bij het bevoegd gezag worden aangedragen. Tussentijdse wijzigingen van het monitoringsprogramma behoeven schriftelijke instemming van of namens het bevoegd gezag, alvorens zij worden doorgevoerd.

25. Indien uit monitoring blijkt dat de getroffen mitigerende maatregelen onvoldoende zijn, in die zin dat blijkt dat optredende effecten als gevolg van de aangevraagde activiteit anders en/of nadeliger zijn dan beschreven in de passende beoordeling dan wel dat de effectiviteit van mitigatie onvoldoende is gebleken, zal vergunninghouder extra mitigerende maatregelen nemen om nadelige effecten te voorkomen. Een

¹⁰ Ministerie van Economische Zaken, 4 september 2014, met kenmerk DGNR-RRE / 14040193

inhoudelijk onderbouwd voorstel hiertoe wordt ter schriftelijke instemming voorgelegd aan het bevoegd gezag (t.a.v. het Nb-wetteam).

26. Zes jaar na aanvang van de werkzaamheden (en opvolgend elke verdere zes jaren) zal door of namens de vergunninghouder een volledige evaluatie plaatsvinden over de ontwikkeling van de bodemligging en de ecologische parameters in relatie tot de specifiek benoemde relevante beschermde natuurwaarden.

Instemmingsbesluit winningsplan Havenmond¹¹

Vanwege de Mijnbouwwet is het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) het bevoegde gezag. In het instemmingsbesluit bij het winningsplan Havenmond is de instellen van de Auditcommissie opgenomen:

5.2.3 Randvoorwaarde 3:

“Een onafhankelijke instantie adviseert het bevoegd gezag over de opzet, uitvoering en beleidsconsequenties van een adequate monitoring van alle relevant effecten en ontwikkelingen, zodat indien nodig door het bevoegd gezag kan worden ingegrepen volgens het “Haan aan de Kraan” principe.”

5.2.3.1. Onafhankelijke auditcommissie

De Minister van EZ zal voor aanvang van de zoutwinning een onafhankelijke Auditcommissie zoutwinning onder Waddenzee instellen, welke het bevoegd gezag zal adviseren over de opzet, uitvoering en beleidsconsequenties van een adequate monitoring van alle relevante effecten en ontwikkelingen. Het is voorzien dat deze rol, naast het reguliere toezicht, door de Commissie m.e.r. onder de naam Auditcommissie zoutwinning onder de Waddenzee, zal worden vervuld

Brondocumenten

Monitoringsprogramma

Het monitoringsprogramma is tot stand gekomen in samenspraak met deskundigen en aangepast naar aanleiding van zienswijzen, bezwaar en beroep rond de vergunningverlening. Het gehele programma is opgenomen in het document¹²:

- Monitoring t0-situatie Waddenzee zoutwinning Frisia zout b.v. Arcadis-rapport 25 juni 2018

De basisinformatie in dat document is ontleend aan:

2. Monitoringsplan Havenmond; Frisia Zout B.V. 23 jan 2013. Arcadis rapport ref 074907501.
3. Addendum Monitoringplan Zoutwinning Waddenzee, Arcadis Memo d,d. 28 november 2014.
4. Aangepast Addendum Monitoringplan Zoutwinning Waddenzee, d.d. 23 maart 2016, referentie 078878869 0.1.

Ter completering: er is ook een versie van het Monitoringplan uit 2010, dat onderdeel vormde van de MER-rapporten. Dit document uit 2010 is een eerdere versie van het monitoringsplan 2013 en wordt verder niet beschouwd.

¹¹¹¹ Ministerie van Economische Zaken, 12 mei 2015, met kenmerk DGETM-EM / 13005869.

¹² Dit is het vigerende vergunde monitoringsprogramma, zie hiervoor de brief van Ministerie van LNV van 5 juli 2018, met kenmerk DGAN-NB / 18151373: Instemming integraal monitoringsplan zoutwinning Waddenzee en oplevering rapportage nulmeting vóór 1 mei 2019.

Meetplan

Het meetplan is tot stand gekomen in samenspraak met het Ministerie van Economische Zaken en het Staatstoezicht op de Mijnen. Bij het opstellen van het Meetplan is geput uit de ervaringen die zijn opgedaan met het de verschillende zoutcavernes onder het vasteland van Friesland. Het meetplan draagt bij aan het doorlopen van het meet- en regelprotocol, zoals dat is ingediend bij het Winningsplan voor de zoutwinning. In de technische bijlage bij het meet- en regelprotocol is opgenomen op welke wijzen het bodemdalingsvolume zal worden bepaald.

- Technische Bijlage bij Meet- en regelprotocol zoutwinning 'Havenmond' v.3.2, rapport Frisia Zout B.V. en Well Engineering Partners B.V., Hoogeveen 14 december 2012.

De wijze waarop de Pleistocene bodemdaling onder de Waddenzee wordt gemeten is vastgelegd in het Meetplan, dat jaarlijks ter instemming wordt voorgelegd aan het Staatstoezicht op de Mijnen. Het uitvoeren van de metingen is voorgeschreven in het instemmingsbesluit op het winningsplan.

Het meeste recente Meetplan is:

- Gestandaardiseerde aanvraag "Instemming meetplan in geval van zoutwinning", conform artikel 41, lid 1, Mijnbouwwet (Mbw) en artikelen 30 en 33, Mijnbouwbesluit (Mbb). Frisia Zout B.V. d.d. 31-10-2019

Een gedetailleerde beschrijving van de meetopstellingen in de Waddenzee is opgenomen in de onderstaande twee documenten:

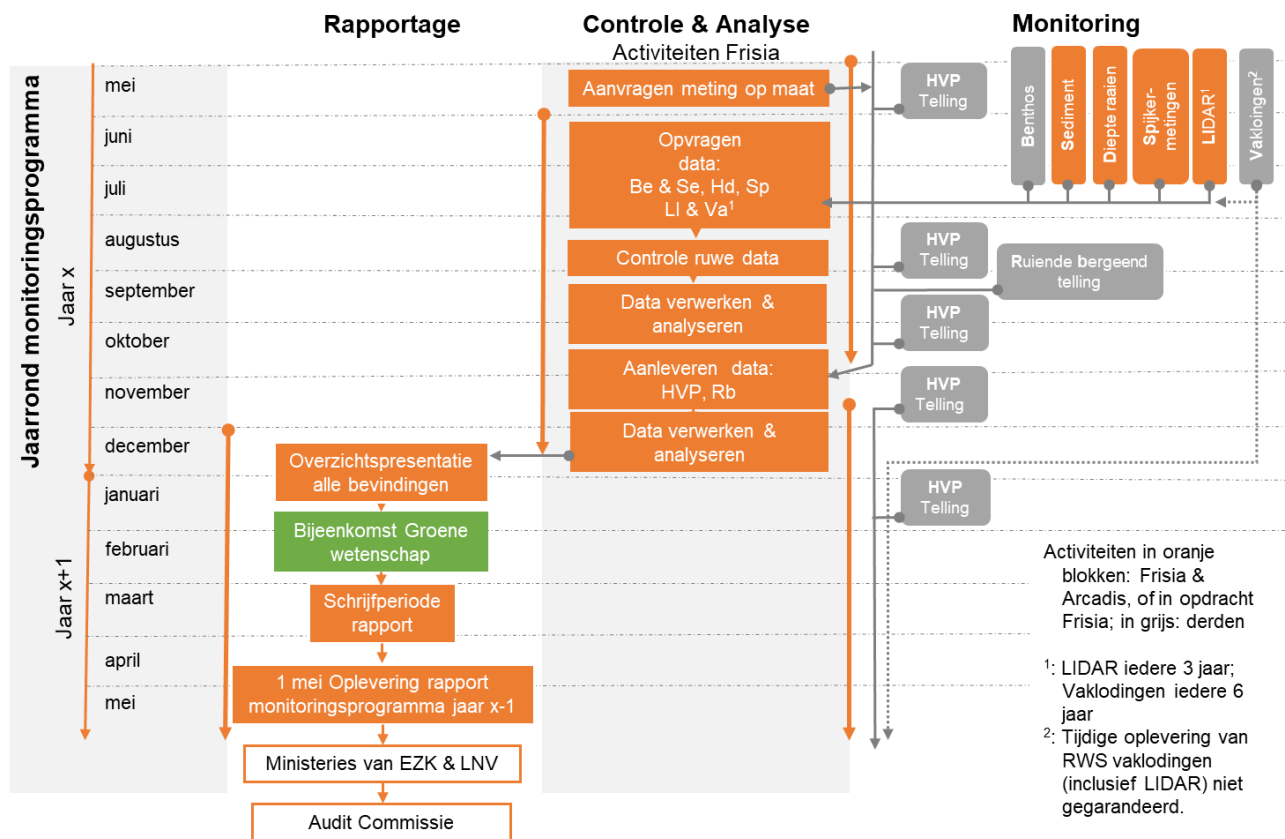
- Bijlage: Update toelichting; meetplan Havenmond; Rapport Antea projectnummer 0267807.00, definitief revisie 11 13 juli 2018
- Duisterwinkel, E., 2018. Bodemdalingsschotel in kaart brengen met geplande meetpunten. Memo Antea 2018-002.

BIJLAGE B JAARPLANNING EN SAMENHANG

Jaarkalender

De jaarkalender (zoals hieronder getoond) is ingericht op een jaarlijks rapportage aan de Audit Commissie in mei. De jaarkalender is opgedeeld in rapportage, controle & analyse en monitoring. Hierbij wordt gebruik gemaakt van verschillende metingen, waarvan een deel in opdracht van Frisia wordt uitgevoerd en een ander deel in opdracht van derden. De jaarkalender laat zien wanneer:

- Welke meetgegevens in het jaar worden gemeten;
- Welke data op welk moment verwacht wordt;
- Wanneer welke controle op de data plaats vindt;
- Wanneer de data verwerkt en geanalyseerd wordt;
- Wanneer welke rapportage plaats vindt.



Samenhang metingen en monitoring

De bepaling van het bodemdalingsvolume vindt plaats door de productie van de pekels uit de caverne(s) te registreren. In combinatie met de waterbalans en de resultaten van de holruimtemetingen wordt vastgesteld hoeveel zout is onttrokken aan de steenzoutlagen en welk Pleistocene bodemdalingsvolume dit oplevert. De metingen aan de Pleistocene bodemdaling onder de Waddenzee worden gebruikt om vast te stellen of deze overeenkomt met het gemeten bodemdalingsvolume en het ruimtelijke model voor de daling.

De morfologische monitoring omvat opnamen van de diepte van de geulen en de hoogte van de platen (de bodem van de Waddenzee) en de toe- dan wel afname van de hoogte van de droogvallende platen. Op basis hiervan wordt vastgesteld welke veranderingen zich voordoen in de hoogte van de platen en in de diepte van de geulen en welke veranderingen optreden in de ligging van de geulen en de platen. De verwachte morfologische respons op de Pleistocene bodemdaling is een vereffening door de aanvoer van sediment uit de omgeving. Wanneer deze verwachte respons optreedt, dan zal dit niet in de bodemligging zichtbaar zijn. Het eventuele effect is namelijk kleiner dan de nauwkeurigheid waarmee de bodemligging wordt gemeten.

De samenhang tussen de metingen aan de bodemdaling (van de Pleistocene ondergrond) en monitoring op en in de wadbodem is maximaal doordat de meting van de pleistocene bodemdaling continu plaatsvindt. Door de monitoring en bemonstering op dezelfde momenten en plaatsen uit te voeren wordt de samenhang van de onderdelen van de monitoring versterkt. De metingen zullen zoveel mogelijk tegelijkertijd worden uitgevoerd, door de uitvoering van de hoogtemetingen te koppelen aan de benthosmetingen op de Ballastplaat.

Enkele aandachtspunten:

- De meting van de wadbodemhoogte in raaien moeten zoveel mogelijk plaatsvinden in dezelfde week als de benthosbemonstering op de Ballastplaat (= in de onderstaande tabel 3).
- De benthosbemonstering en de bemonstering voor het bepalen van de sedimentsamenstelling zal simultaan plaatsvinden (= in de onderstaande tabel 3).
- De meting van de wadhoogte (LiDAR) zal worden afgestemd op de periode waarin de benthosbemonstering plaatsvindt.
- Een van de vogeltellingen op de HVP's wordt uitgevoerd in dezelfde periode als de benthosbemonstering.
- Bergeenden ruien na het broedseizoen en de observaties moeten in die periode worden uitgevoerd.

In de opdrachtschrijving voor de metingen waarvoor Frisia de opdrachtgever is, worden deze uitvoeringsvereisten vastgelegd. De uitvoering van de metingen in de Waddenzee is afhankelijk van de condities ter plaatse (getij, meteorologische omstandigheden) en praktische uitvoeringsaspecten (beschikbaarheid van mensen, schepen en vliegtuig), zodat het niet altijd mogelijk zal zijn de metingen in precies dezelfde week uit te voeren. Voor de LiDAR hoogtemetingen in opdracht van Frisia zal worden gestreefd naar uitvoering tijdens de benthosbemonstering. LiDAR metingen zijn gevoeliger voor de weersomstandigheden en het volledig droogvallen van de platen dan de andere metingen.

Tabel 14-1 Jaarrond planning van meetplan en het monitoringprogramma.

Meting	Jan	Feb	Maa.	April	Mei	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.
Pleistocene bodemdaling												
Hoogte/diepte raaien					=							
Spijkermetingen			X		=		X		X			
Hoogte wadplaten LiDAR³												
Benthos bemonstering					=							
Sediment-samenstelling					=							
HVP tellingen²	X				X			X			X	
Ruiende Bergeenden								X				

1. Dit betreffen metingen die Rijkswaterstaat uitvoert tegelijkertijd met de vaklodingen. De LiDAR-metingen worden eens per drie jaar verricht, met ingang van 2016.

2. X Integrale telling hele Waddenzee, daarvan vindt er jaarlijks nog een plaats in wisselende maand.

NB: alle monitoringsactiviteiten die met een '=' zijn aangeduid, zullen zo veel mogelijk simultaan plaatsvinden met dien verstande dat de LiDAR-metingen eens per drie jaar worden verricht."

BIJLAGE C SIGNALERINGSSCHEMA VOOR INTEGRATIE MONITORINGSUITKOMSTEN

De monitoringsuitkomsten worden in onderlinge samenhang beschouwd en hiervoor wordt een signaleringsschema gebruikt, waarin vier hypothetische uitkomsten van de monitoring zijn opgenomen:

- a. De sedimentatie ter plaatste van de bodemdalingsschotel blijft achter, zoals blijkt uit de Spijkermetingen en er vindt een verlaging van de wadbodem plaats, zoals blijkt uit de raaimetingen. In de rest van de raaimetingen worden geen afwijkende trends waargenomen.
- b. De sedimentsamenstelling ter plaatse van de bodemdaling verandert en dat gebeurt niet in de andere gebieden.
- c. De trends in het benthos in het invloedsgebied verandert en dat gebeurt niet in de andere gebieden;
- d. De trends in de vogelaantallen op de HVP's nabij het invloedsgebied veranderen en dat gebeurt niet in de andere gebieden.

In het signaleringsschema hieronder is weergegeven welke analysestappen en discussies worden uitgevoerd, voor de verschillende combinaties van resultaten a, b, c en d. De kleur is een indicatie van de mogelijke relatie tussen de monitoringsresultaten en de bodemdaling door zoutwinning. Des te donkerder de combinatie, des te groter de mogelijkheid dat de waargenomen veranderingen het gevolg zijn van de bodemdaling en dat deze ecologische gevolgen hebben. Bij de integratie van de signaleringsmetingen zal ook worden gekeken naar andere verklaringen die de uitkomsten kunnen verklaren. Hierbij zal zowel worden gekeken naar natuurlijke verklaringen, als naar de invloed van menselijke ingrepen.

Tabel 14-2 Signaleringschema monitoringsuitkomsten

	a.	b.	c.	d.	Nadere analysestappen en discussie
1.	a.				Achterblijvende sedimentatie in het gebied met Pleistocene bodemdaling: check op ruimtelijk verbreiding en analyse van afname areaal wadplaat en verandering droogvalpercentages. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken, bijvoorbeeld extreme weersomstandigheden (storm) of de lokale impact van bodemberoerende visserij.
2.		b.			Verandering in sedimentsamenstelling in het gebied met Pleistocene bodemdaling: Analyse van mate van verandering en potentiële ecologische gevolgen. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken, bijvoorbeeld de lokale impact van bodemberoerende visserij.
3.	a.	b.			Achterblijvende sedimentatie en verandering in sedimentsamenstelling in het gebied met Pleistocene bodemdaling: check op ruimtelijk verbreiding en analyse van afname areaal wadplaat en verandering droogvalpercentages plus analyse van mate van verandering sedimentsamenstelling en potentiële ecologische gevolgen. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken, bijvoorbeeld de lokale impact van bodemberoerende visserij..
4.			c.		Afname benthos (dichtheid en/of biomassa): Via effectketen geen plausibele relatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, omdat geen verandering in de bodemligging en -samenstelling optreedt. Vaststellen mogelijke oorzaken anders dan morfologische veranderingen met de ecologische bril, zoals afwijkend spuiregime zoetwater en vaststellen relatie met bodemdaling zoutwinning.
5.				d.	Afname vogelaantallen: Via effectketen geen plausibele relatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, omdat geen verandering in de bodemligging en -samenstelling optreedt. Vaststellen mogelijke oorzaken anders dan morfologische

	a.	b.	c.	d.	Nadere analysestappen en discussie
					veranderingen met de ecologische bril, zoals afwijkend spuiregime zoetwater en vaststellen correlatie met bodemdaling zoutwinning.
6.			c.	d.	Afname benthos (dichtheid en/of biomassa) en vogelaantallen: Via effectketen geen plausibele relatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, omdat geen verandering in de bodemligging en -samenstelling optreedt. Vaststellen mogelijke oorzaken anders dan morfologische veranderingen met de ecologische bril, zoals afwijkend spuiregime zoetwater en vaststellen correlatie met bodemdaling zoutwinning.
7.	a.			d.	Achterblijvende sedimentatie en afname vogelaantallen in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van afname areaal wadplaat, verandering droogvalpercentages, voedselbeschikbaarheid en foerageermogelijkheden. Vaststellen mogelijke oorzaken anders dan morfologische veranderingen met de ecologische bril, zoals afwijkend spuiregime zoetwater en vaststellen ruimtelijke correlatie met bodemdaling zoutwinning.
8.		b.		d.	Achterblijvende sedimentatie en afname vogelaantallen in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van veranderde areaal wadplaat, voedselbeschikbaarheid en foerageermogelijkheden. Vaststellen mogelijke oorzaken anders dan morfologische veranderingen met de ecologische bril, zoals afwijkend spuiregime zoetwater en vaststellen ruimtelijke correlatie met bodemdaling zoutwinning.
9.	a.		c.		Achterblijvende sedimentatie en afname schelpdieren in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van afname areaal wadplaat, verandering droogvalpercentages en foerageermogelijkheden. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken met de ecologische bril.
10.		b.	c.		Verandering sedimentsamenstelling en afname schelpdieren in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van veranderde areaal wadplaat en foerageermogelijkheden. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken met de ecologische bril.
11	a.	b.	c.		Achterblijvende sedimentatie met verandering sedimentsamenstelling en afname schelpdieren in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van afname areaal wadplaat, verandering droogvalpercentages en foerageermogelijkheden. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken met de ecologische bril..
12	a.	b.		d.	Achterblijvende sedimentatie met verandering sedimentsamenstelling en afname vogelaantallen in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van afname areaal wadplaat, verandering droogvalpercentages, voedselbeschikbaarheid en foerageermogelijkheden. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken met de ecologische bril.
13	a.	b.	c.	d.	Achterblijvende sedimentatie met verandering sedimentsamenstelling, afname schelpdieren en afname vogelaantallen in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van afname areaal wadplaat, verandering droogvalpercentages, voedselbeschikbaarheid en foerageermogelijkheden. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken met de ecologische bril.

De combinaties 1, 2 en 3 wijzen op onverwachte veranderingen in de morfologie, die mogelijk het gevolg zijn van de bodemdaling, maar zonder dat hiervan ecologische gevolgen merkbaar zijn. Desalniettemin zullen

hiervan de potentiële gevolgen in beeld worden gebracht, omdat morfologische veranderingen de essentiële stap vormen in de effectketen van zoutwinning tot ecologische gevolgen.

Combinaties 4, 5 en 6 bestaan uit een ecologische verandering wordt waargenomen, zonder dat een waarneembare verandering optreedt in de morfologie. Omdat via de effectketen geen plausibele relatie kan worden gelegd met de zoutwinning, zal in dit geval worden gekeken naar andere mogelijke oorzaken.

Bij de combinaties 7, 8 en 12 worden morfologische veranderingen waargenomen en veranderingen in de vogelaantallen. De stap in de effectketen tussen morfologie en vogelaantallen, die wordt gevormd door het benthos, vertoont bij deze combinatie geen afwijkingen. Omdat via de effectketen geen plausibele relatie kan worden gelegd met de zoutwinning, zal in dit geval worden gekeken naar andere mogelijke oorzaken.

Combinaties 9, 10 en 11 zijn combinaties waarbij in de hele effectketen veranderingen worden waargenomen. Bij combinatie 11 is bij beide morfologische parameters een verandering opgetreden. In de analyse zal worden vastgesteld of het waarschijnlijk is dat inderdaad sprake is van een relatie met zoutwinning.

Combinatie 13 betekent dat voor alle metingen veranderingen worden waargenomen in het gebied waar bodemdaling door zoutwinning optreedt. In de analyse zal worden vastgesteld of de waargenomen trendmatig negatieve ontwikkelingen inderdaad gerelateerd zijn aan de bodemdaling door zoutwinning, of dat er een andere plausibele verklaring voor deze veranderingen is.

COLOFON

MONITORING STUDIEGEBIED ZOUTWINNING WADDENZEE RAPPORTAGE OVER 2021

KLANT

Frisia Zout B.V.

AUTEUR

Jelmer Cleveringa

PROJECTNUMMER

C03081.000369

ONZE REFERENTIE

BIM360Docs

DATUM

16 mei 2022

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com