

MONITORING T0-SITUATIE STUDIEGEBIED ZOUTWINNING WADDENZEE

Rapportage over 2020

Frisia Zout B.V.



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

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	7
1 INLEIDING	11
1.1 Doel van de monitoring	11
1.2 Brondocumenten	11
1.3 Bevoegde gezagen, de Auditcommissie en de Groene Wetenschap	12
1.4 Doel van dit document	14
2 ZOUTWINNING ONDER WADDENZEE	15
2.1 Zoutwinning en bodemdaling	15
2.2 De ligging van de Pleistocene bodemdalingsschotel	17
2.2.1 Keuze voor locaties van cavernes	17
2.2.2 Gerealiseerde caverne	18
2.3 Zoutwinning en bodemtrillingen	19
2.4 De Waddenzee en de bodemdaling door zoutwinning	19
2.5 Bodemdaling door zoutwinning i.r.t. meten en monitoren	22
3 OVERZICHT MEETPLAN EN MONITORINGSPROGRAMMA	25
3.1 Metingen	25
3.2 Monitoring	26
3.3 Planning	26
3.4 Jaarkalender	27
3.5 Samenhang metingen en monitoring	28
4 HET 'HAND AAN DE KRAAN'-PRINCIPE	30
4.1 Introductie	30
4.2 Stappenplan en beslisboom jaarlijkse rapportage	30
4.3 Jaarlijkse rapportage en zesjaarlijkse evaluatie	32
4.4 Voorbeelduitwerkingen 'Hand aan de Kraan'	32
5 OPTIMALISATIE METINGEN, MONITORING EN ANALYSES	36
5.1 Adviezen Auditcommissie en verwerking in de monitoringrapportages	36

5.2	Bemerkingen Groene wetenschap	38
5.3	Integratie van monitoringdata en ecologische kennis via de effectketen	39
5.4	Signaleringsschema	40
6	METINGEN PLEISTOCENE BODEMDALING	44
6.1	Introductie van de meetmethodes	44
6.2	Gegevens	45
6.3	Analyse	47
6.4	Aanvullend meetnet Harlingen	49
6.5	Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen	50
6.6	Tussenconclusies metingen Pleistocene bodemdaling	51
7	VAKLODINGEN	52
7.1	Introductie van de meetmethode	52
7.2	Gegevens	52
7.3	Analyse	53
7.4	Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen	56
7.5	Tussenconclusies vaklodingen	58
8	HOOGTE/DIEPTE RAAIEN	59
8.1	Introductie van de meetmethode	59
8.2	Gegevens	60
8.3	Analyse	61
8.4	Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen	70
8.5	Tussenconclusies raaimetingen	71
9	HOOGTE WADPLATEN LIDAR	73
9.1	Introductie meetmethode	73
9.2	Gegevens	74
9.3	Analyse	75
9.4	Evaluatie van de bruikbaarheid van de LiDAR hoogtemetingen voor de omgeving van de Ballastplaat en de samenhang met andere metingen	78
9.5	Tussenconclusies LiDAR	81
10	SPIJKERMETINGEN OP DE BALLASTPLAAT	82
10.1	Introductie meetmethode	82
10.2	Gegevens	84
10.3	Analyse	86

10.4	Buikbaarheid en samenhang met andere metingen	87
10.5	Tussenconclusies Spijkermetingen	96
11	SEDIMENTSAMENSTELLING	97
11.1	Introductie meetmethode	97
11.2	Gegevens	98
11.3	Analyse	100
11.4	Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen	101
11.5	Tussenconclusie sedimentsamenstelling	101
12	ECOLOGIE	103
12.1	Ballastplaat: habitat en vogelsoorten	103
12.2	Introductie meetmethodes	107
12.2.1	HVP tellingen	107
12.2.2	Benthos bemonstering	109
12.3	Aantallen vogels en schelpdieren	110
12.3.1	Scholekster	110
12.3.2	Kanoetstrandloper	111
12.3.3	Bonte strandloper	112
12.3.4	Kokkels	113
12.3.5	Mossels	114
12.3.6	Nonnetjes	116
12.3.7	Schelpdieren en vogels	117
12.3.8	Rosse grutto	117
12.3.9	Wulp	118
12.3.10	Tureluur	119
12.3.11	Ruiende bergeenden	120
12.3.12	Aantalontwikkeling Friese kust	121
12.4	Beslisschema ecologische analyses	122
12.5	Integratie	124
12.5.1	Waterstanden en bereikbaarheid	125
12.5.2	Bereikbaarheid van de Ballastplaat	129
12.6	Tussenconclusies ecologie	132
13	AANVULLENDE GEGEVENS EN INFORMATIE	134
13.1	Reguliere monitoring	134
13.2	Informatie over andere activiteiten	134
14	CONCLUSIES	135

15 REFERENTIES

137

COLOFON

142

SAMENVATTING

Achtergronden

Frisia Zout B.V. (hierna verder als Frisia) produceert en verkoopt hoogwaardig zout. Het zout wordt gewonnen uit steenzoutlagen die zich op circa 2,5 tot 3 kilometer diep in de ondergrond van het noorden van Nederland bevinden. De zoutwinning vindt plaats door middel van oplosmijnbouw: door zoetwater in de steenzoutlagen te injecteren lost het zout op, waardoor pekkel ontstaat. Deze pekkel wordt in de zoutverwerkingsfabriek van Frisia in Harlingen gezuiverd en ingedampt, zodat zout ontstaat. Het geproduceerde zout wordt voor een deel per schip – vanuit de haven van Harlingen – vervoerd naar afnemers die het zout gebruiken voor allerlei toepassingen en als grondstof voor uiteenlopende producten: van oplosmiddelen, desinfecteermiddelen en glas tot diervoeding, zeep, medicijnen en bakpoeder. Een deel van het zout wordt in Harlingen verwerkt tot producten, o.a. voor waterontharding. Het zeer zuivere zout dat door Frisia geproduceerd wordt, is noodzakelijk voor een milieutechnisch verantwoorde productie van onder andere chloor en natronloog.

Frisia heeft tot op heden zout gewonnen onder het vasteland. Door de lokale en regionale politiek is het plan omarmt om Frisia actief te laten bewegen naar zoutwinnen onder de Waddenzee, onder de voorwaarde dat dit geen nadelige gevolgen voor natuur & milieu oplevert. Frisia heeft daarom een MER-traject en vergunningenprocedure doorlopen. Frisia heeft voor de zoutwinning onder de Waddenzee alle benodigde vergunningen en ontheffingen verkregen. Uit het Winningsplan en de Natuurbeschermingswetvergunning volgt de verplichting om te meten en te monitoren.

Metten en Monitoren

De zoutwinning door oplosmijnbouw leidt tot daling van de ondergrond. In de Waddenzee zal deze bodemdaling niet meetbaar zijn aan het wadoppervlak, vanwege de autonome dynamiek van de wadbodem. Daarom wordt de bodemdaling meters diep onder de wadbodem gemeten en wordt gesproken over het meten van de Pleistocene bodemdaling. Deze metingen zijn vastgelegd in het meetplan, dat jaarlijks wordt voorgelegd aan en goedgekeurd door het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

In de Waddenzee verandert de wadbodem niet meetbaar of merkbaar door de Pleistocene bodemdaling als gevolg van de zoutwinning. De bodemligging (morfologie) en een aantal ecologische parameters worden wel zekerheidshalve gemonitord (signaleringsmetingen). Het monitoringsprogramma is tot stand gekomen in samenspraak met deskundigen en aangepast naar aanleiding van zienswijzen, bezwaar en beroep rond de vergunningverlening. Het volledige monitoringsprogramma is opgenomen in “Monitoring T0-Situatie Waddenzeezoutwinning Frisia Zout B.V. Arcadis-rapport 25 juni 2018”.

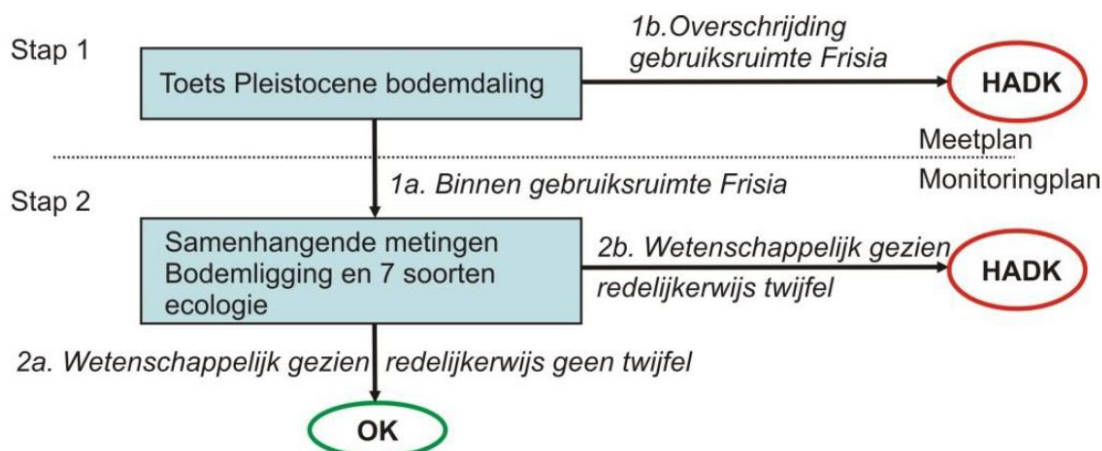
Zoutwinnen met de Hand-aan-de-Kraan

De zoutwinning onder de Waddenzee vindt plaats volgens de Hand-aan-de-Kraan (HadK) systematiek. De HadK-systematiek is direct gekoppeld aan de metingen van de Pleistocene bodemdaling en de monitoring van de morfologie en ecologie. In het stroomdiagram op de volgende pagina is deze relatie schematisch weergegeven.

In stap 1 wordt vastgesteld of de bodemdaling door de zoutwinning past binnen de voor zoutwinning beschikbare gebruikruimte. In essentie wordt hiermee vastgesteld of de bodemdaling in combinatie met de stijging van de zeespiegel niet leidt tot het ‘verdrinken’ van de wadplaten in het Vlie en het Marsdiep. Zolang de zeespiegelstijging in combinatie met de bodemdaling door zoutwinning (waarbij wordt gerekend met de gemiddelde bodemdaling door zoutwinning in de kombergingsgebieden het Vlie en het Marsdiep) kleiner is dan het meegroeivermogen (van 5 mm/jaar voor zowel het Vlie als voor het Marsdiep) treden geen permanente gevolgen op voor de morfologie van het Waddengebied. Het volume van de bodemdaling door de zoutwinning wordt bepaald door het meten van de Pleistocene bodemdaling, in combinatie met het registreren van het gewonnen volume zout.

In stap 2 wordt gekeken naar de resultaten van de monitoring aan de bodemligging en de ecologie. Hierbij wordt gekeken in hoeverre zich ontwikkelingen voordoen in het gebied waar de Pleistocene bodemdaling plaatsvindt, die anders verlopen dan ontwikkelingen van referentiegebieden elders in het Waddengebied. De trends en variaties die in het verleden zijn opgetreden worden vergeleken met de trends nadat de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning is opgetreden. Mochten zich afwijkende ontwikkelingen

voordoen, dan zal worden gekeken hoe deze zich verhouden tot andere gebieden en ook tot de overige parameters die worden beschouwd.



Ieder jaar worden de resultaten van metingen en monitoring gerapporteerd aan de onafhankelijke Auditcommissie en de ministeries van EZK en LNV. De auditcommissie is ingesteld vanwege de vergunning voor de Wet Natuurbescherming als onafhankelijke wetenschappelijke beoordelingscommissie. De Auditcommissie adviseert op basis van de rapportage de ministeries van EZK en LNV over de kwaliteit en conclusies die zijn gebaseerd op de monitoringsactiviteiten van de initiatiefnemer over het afgelopen jaar ten aanzien van gevolgen van de zoutwinning onder Waddenzee. De ministers besluiten vervolgens over de voortgang van de zoutwinning, dat wil zeggen of deze volgens plan kan worden voortgezet, of dat de zoutwinning gereduceerd dient te worden.

Resultaten Meten en Monitoring (Nul-situatie - T0)

De zoutwinning onder de Waddenzee is eind 2020 begonnen. Bij de eerste fase van de zoutwinning vindt slechts beperkte Pleistocene bodemdaling plaats, omdat slechts een klein volumeverlies in de ondergrond optreedt. Vóór 2021 vindt daarom geen meetbare Pleistocene bodemdaling plaats. Deze periode wordt gebruikt om de nul-situatie, voorafgaand aan de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, vast te leggen en ervaring op te doen met de metingen, de monitoring, de analyses en de rapportage. In de onderstaande tabel wordt een overzicht van de uitgevoerde metingen en conclusies op hoofdlijnen weergegeven.

Metingen	Resultaat
<u>Pleistocene bodemdaling:</u> • Twee meetpalen met continue metende GPS stations • 8 locaties, waarvan 5 op het Wad en 3 op het vasteland (onder meer in Harlingen) met jaarlijkse GPS- meetcampagnes	De meetpalen en vaste locaties zijn op het wad geplaatst en de metingen worden uitgevoerd. De uitkomsten van de metingen komen overeen met de verwachtingen in de situatie zonder Pleistocene bodemdaling door zoutwinning. Er komen geen specifieke afwijkingen of verrassende uitkomsten naar voren.
<u>Raaimeting:</u> Hoogtemeting droogvallende wadplaten en dieptemeting aangrenzende geulen, in 3 meettraaien op Ballastplaat. Meting 1 x per jaar vanuit boot tijdens hoogwater	De metingen zijn succesvol uitgevoerd in 2016, 2017, 2018, 2019 en 2020. De bodemhoogte wordt met een voldoende hoge nauwkeurigheid (absolute fout van enkele centimeters) en resolutie ingemeten. Mochten zich onvoorziene effecten van de Pleistocene bodemdaling voordoen aan de wadbodem, dan zijn deze meetbaar met de raaimetingen. De uitgevoerde metingen in de situatie zonder Pleistocene bodemdaling laten de

Metingen	Resultaat
	verwachte hoogteverschillen zien, die het gevolg zijn van de dynamiek van de wadbodem.
Spijkermetingen: 14 meetpunten op de Ballastplaat. Meting hoger en lager worden van wadplaten 4 x per jaar	De spijkers zijn op een aantal geselecteerde locaties geplaatst en de metingen zijn uitgevoerd. De nog korte meetreeks laat variaties zien in de sedimentatie en erosie in de ruimte en in de tijd. Gemiddeld over alle meetpunten heeft een kleine sedimentatie plaatsgevonden op de Ballastplaat. De spijkermetingen vullen de raaimetingen aan op de stabiele droogvallende platen.
<u>Hoogte wadplaten LiDAR:</u> Vlakdekkende hoogtemeting droogvallende wadplaten: Ballastplaat en aangrenzende gebieden. Meting iedere 3 jaar vanuit vliegtuig	De LiDAR hoogtemeting is in 2019 uitgevoerd in opdracht van Frisia. Deze LiDAR hoogtemetingen geeft inzicht in de ruimtelijke verbreiding van de droogvallende wadplaten, met een nauwkeurigheid van enkele decimeters. De LiDAR hoogtemetingen wijken af van de raaimetingen en het blijkt niet mogelijk hiervoor correcties door te voeren. In aanvulling op de bestaande raaimetingen worden vanaf 2020 twee aanvullende raaimetingen uitgevoerd, om de ruimtelijke dekking van kwantitatief hoogwaardige informatie over de hoogte/diepte te vergroten.
<u>Vaklodingen:</u> Reguliere (MWTL) metingen van Rijkswaterstaat. 1 x per 6 jaar gebiedsdekkende opname van het kombergingsgebied van het Vlie	De vaklodingsopname van het kombergingsgebied van het Vlie zijn in 2016 opgenomen. De trend in de opeenvolgende vaklodingen is een toename van de droogvallende platen in het invloedsgebied voor de zoutwinning.
<u>Sedimentsamenstelling: Bemonstering wadbodem en korrelgrootteanalyse 1 x per jaar op locaties benthosbemonstering</u>	De metingen en analyses zijn uitgevoerd in 2018, 2019 en 2020 en geven inzicht in het slibgehalte en de korrelgrootte van de locaties waar het benthos wordt bemonsterd. De sedimentsamenstelling en het slibgehalte per locatie is voor beide jaren vergelijkbaar.
<u>Benthos:</u> Bemonstering 3 schelpdiersoorten: kokkel, mossel, nonnetje. Reguliere schelpdierinventarisaties WMR 1 x per jaar; 9 analysegebieden van elk circa 400 ha	De benthosgegevens van de drie schelpdiersoorten van de afgelopen jaren zijn geanalyseerd. Op basis van de trends en de variaties daarin zijn de verwachte aantallen en de biomassa bepaald. De variatie in de aantallen en de biomassa van de schelpdieren van jaar op jaar is groot, met name voor de kokkels en mosselen. Dit is eigen aan het waddengebied en het gevolg van een combinatie van ecologische en abiotische factoren. De biomassa's en dichtheden van de drie schelpdiersoorten zijn laag in het invloedsgebied van de zoutwinning in vergelijking met andere plaatgebieden in de kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep. Het is zinvol om na te gaan of het voedsel landschap op de Ballastplaat wordt gediceerd door andere schelpdiersoorten (<i>Ensis</i>, <i>Mia</i>) en groepen (wormen, kreeftachtigen) die niet of beperkt worden vertegenwoordigd in de schelpdierbemonstering

Metingen	Resultaat
<u>HVP-tellingen:</u> Reguliere tellingen 5 x per jaar, gecoördineerd door SOVON, uitgevoerd door vrijwilligers. Voor Frisia analyse van 6 vogelsoorten (scholekster, bonte strandloper, kanoetstrandloper, rosse grutto, wulp, tureluur) 9 hoogwatervluchtplaatsen (HVP's)	De drie vogelsoorten scholekster, bonte strandloper, kanoetstrandloper zijn aangevuld met drie vogelsoorten die algemeen op de negen HVP's aanwezig zijn. De aantallen van de zes vogelsoorten van de afgelopen jaren zijn beschouwd. De variatie in de aantallen van met name de Bonte strandloper en de Kanoetstrandloper is groot en daarom wordt verwacht dat in toekomstige metingen regelmatig een waarneming buiten de bandbreedte zal optreden. De aantallen van de rosse grutto's, wulpen, bonte strandlopers en tureluurs zijn in de Westelijke Waddenzee toegenomen. De aantallen van de scholekster zijn afgenomen, net als in de rest van de Waddenzee
<u>Ruiende bergeenden:</u> Reguliere telling 1 x per jaar, door de Waddenunit (Ministerie van LNV) i.s.m. SOVON. Locatie oostzijde Ballastplaat en Vlakte van Oosterbierum	De gegevens van de aantallen ruiende bergeenden laten een toename zien in de jaren '90 van de 20^{ste} eeuw op deze locatie. Vanaf 2009 zijn elk jaar grote aantallen ruiende bergeenden aanwezig, vooral ten oosten van het invloedsgebied. Er lijkt geen sprake meer te zijn van een verdere toename in de aantallen ten oosten van de Ballastplaat. Een plausibele relatie tussen Pleistocene bodemdaling en de aantallen ruiende bergeenden ontbreekt. De ontwikkelingen worden wel gerapporteerd, maar er vindt geen analyse plaats van de relatie met de bodemdaling.

Integratie

De beschermde instandhoudingsdoelen waar deze monitoring zich op richt zijn het areaal droogvallende wadplaten en de draagkracht voor de beschermde doelsoorten (vogels) die van de wadplaten afhankelijk zijn om te foerageren. De uitkomsten van de monitoring worden in samenhang beschouwd, in het licht van de instandhoudingsdoelstellingen. In dit monitoringprogramma integreren we de verzamelde hoogte- en dieptemetingen voor het invloedsgebied tot de oppervlakte en de gemiddelde hoogteligging van het areaal droogvallende wadplaten. De volgende stap in de integratie van de monitoringsresultaten zal zijn dat de verzamelde data op het gebied van de bodemligging, waterstanden en benthos geïntegreerd tot de twee parameters a) het oppervlakte geschikt foerageergebied en b) de oogstbare hoeveelheid voedsel per getij. In combinatie met aanvullende kennis over de daadwerkelijke benutting van de Ballastplaat door de verschillende vogelsoorten gaat dit resulteren in een specifiekere duiding van de waarnemingen van de vogelaantallen in relatie tot de morfologische ontwikkelingen.

Vervolg Meten en Monitoren

De voorliggende rapportage geeft inzicht in de Nul-situatie, omdat nog geen Pleistocene bodemdaling door de zoutwinning onder de Waddenzee heeft plaatsgevonden. Een overzicht van de adviezen van de Auditcommissie Zoutwinning Waddenzee en optimalisatie in monitoring die daaruit voortvloeien is onderdeel van deze rapportage (Hoofdstuk 5).

De rapportage over 2021 zal de eerste monitoringsrapportage worden over een periode waarin Pleistocene bodemdaling is opgetreden. De rapportages worden jaarlijks herhaald en in 2027 (1 keer per 6 jaar) volgt een breed evaluatierapport.

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 zal de winningsstrategie op een zodanige wijze worden aangepast dat de effecten binnen de gestelde grenzen blijven. Daarnaast is het zo dat wanneer uit de ecologische monitoring blijkt dat een nadelig effect van de zoutwinning op de instandhoudingsdoelen van de Waddenzee niet kan worden uitgesloten, de zoutwinning moet temperen of stoppen zodat herstel mogelijk is. 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 omvat de metingen van de Pleistocene bodemdaling, de metingen aan de caverne in de ondergrond.

Het Monitoringsprogramma is ingericht om nadelige ontwikkelingen in de instandhoudingsdoelen die aanwezig zijn in het bodemdalingsgebied vroegtijdig te signaleren. Meer specifiek gaat het hierbij om de droogvallende wadplaten en de vogels die van de kwaliteit en bereikbaarheid van deze wadplaten afhankelijk zijn.

Voorafgaand aan de monitoring tijdens de zoutwinning wordt de nulsituatie vastgelegd. De nulsituatie bestaat niet sec uit de situatie in dat ene jaar van opname, maar beslaat een aantal jaar. Zodoende geven een tijdserie aan nulmetingen een beeld van de range aan natuurlijke veranderingen die in het gebied voorkomt.

Het voorliggende document geeft een overzicht van de resultaten uit het Meetplan en het Monitoringsprogramma en beschrijft de nulsituatie (Tnul); de meetperiode voordat er sprake is van zoutwinning en Pleistocene bodemdaling onder de Waddenzee.

1.2 Brondocumenten

Monitoringsprogramma

Het monitoringsprogramma is tot stand gekomen in samenspraak met deskundigen en aangepast naar aanleiding van zienswijzen rond de vergunningverlening. Het gehele programma is opgenomen in het document¹:

Monitoring t0-situatie Waddenzee zoutwinning Frisia zout b.v. Arcadis-rapport 25 juni 2018
De basisinformatie in dat document is ontleend aan:

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

Naar aanleiding van het advies van de auditcommissie voor zoutwinning onder de Waddenzee draagt de minister van EZK aan Frisia op om door de commissie voorgestelde ontwikkelpunten over te nemen. Zo ontwikkelt het monitoringprogramma zich gedurende de zoutwinperiode. In ieder hoofdstuk van dit rapport dat een onderdeel van het monitoringsprogramma beschrijft is aangegeven aan welk van deze drie documenten de betreffende beschrijving is ontleend.

¹ 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.

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.

Meetplan

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. 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. 26-10-2020

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.

1.3 Bevoegde gezagen, de Auditcommissie en de Groene Wetenschap

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 Waddenzee²

In de vergunning is het volgende opgenomen over de monitoring:

Monitoring en rapportage

² Ministerie van Economische Zaken, 4 september 2014, met kenmerk DGNR-RRE / 14040193

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 foerageerfunctie 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 Nbwet 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 inhoudelijk onderbouwd voorstel hiertoe wordt ter schriftelijke instemming voorgelegd aan het bevoegd gezag (t.a.v. het Nbwet team).

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 Havenmond³

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:

³³ Ministerie van Economische Zaken, 12 mei 2015, met kenmerk DGETM-EM / 13005869.

“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

1.4 Doel van dit document

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, nog voordat de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning heeft plaatsgevonden. 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 nadere invulling gegeven aan de wijze van analyseren, conform de Hand-aan-de-Kraan principe. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 ingegaan op de optimalisaties die worden doorgevoerd in de monitoring en de analyse, op basis van de adviezen van Auditcommissie en discussie met de “Groene Wetenschap”.

In de daaropvolgende hoofdstukken 6 tot 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 12 worden de ecologische metingen in samenhang beschouwd. In dit hoofdstuk is ook een paragraaf opgenomen over de integratie van de verschillende meetonderdelen (paragraaf 12.5). In hoofdstuk 13 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.

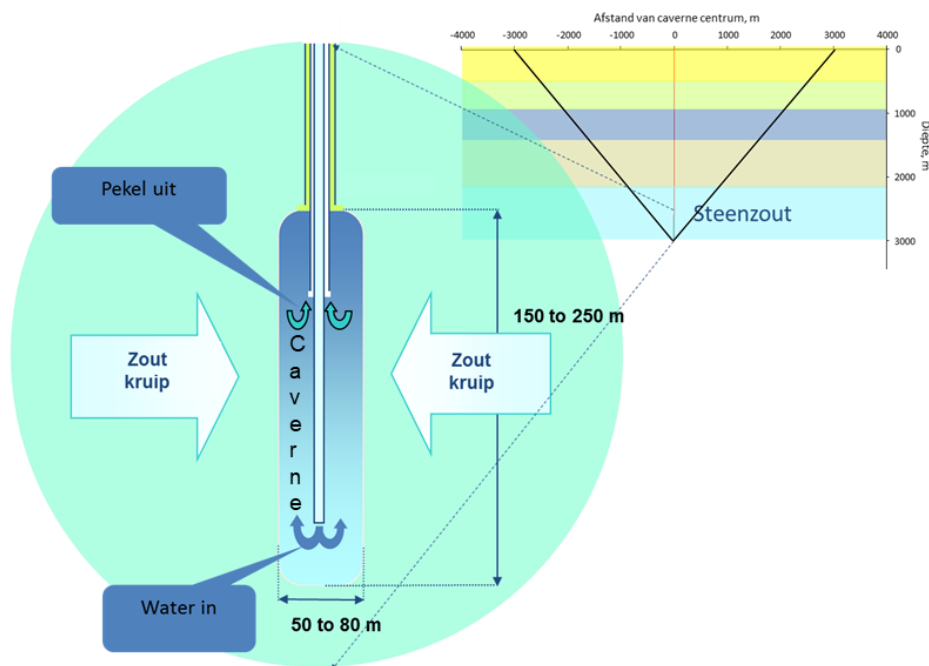
Het rapport wordt afgesloten met hoofdstuk 14 Conclusies.

2 ZOUTWINNING ONDER WADDENZEE

2.1 Zoutwinning en bodemdaling

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 door middel van indamping zeer zuiver zout geproduceerd wordt.

Voordat zoutwinning kon plaatsvinden is een boring uitgevoerd. Hiervoor is een tijdelijke boorinstallatie (boortoren) geplaatst naast de Frisia-fabriek in Harlingen, die na afronding is verwijderd. De boring reikt 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 ondergrond⁴. 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.



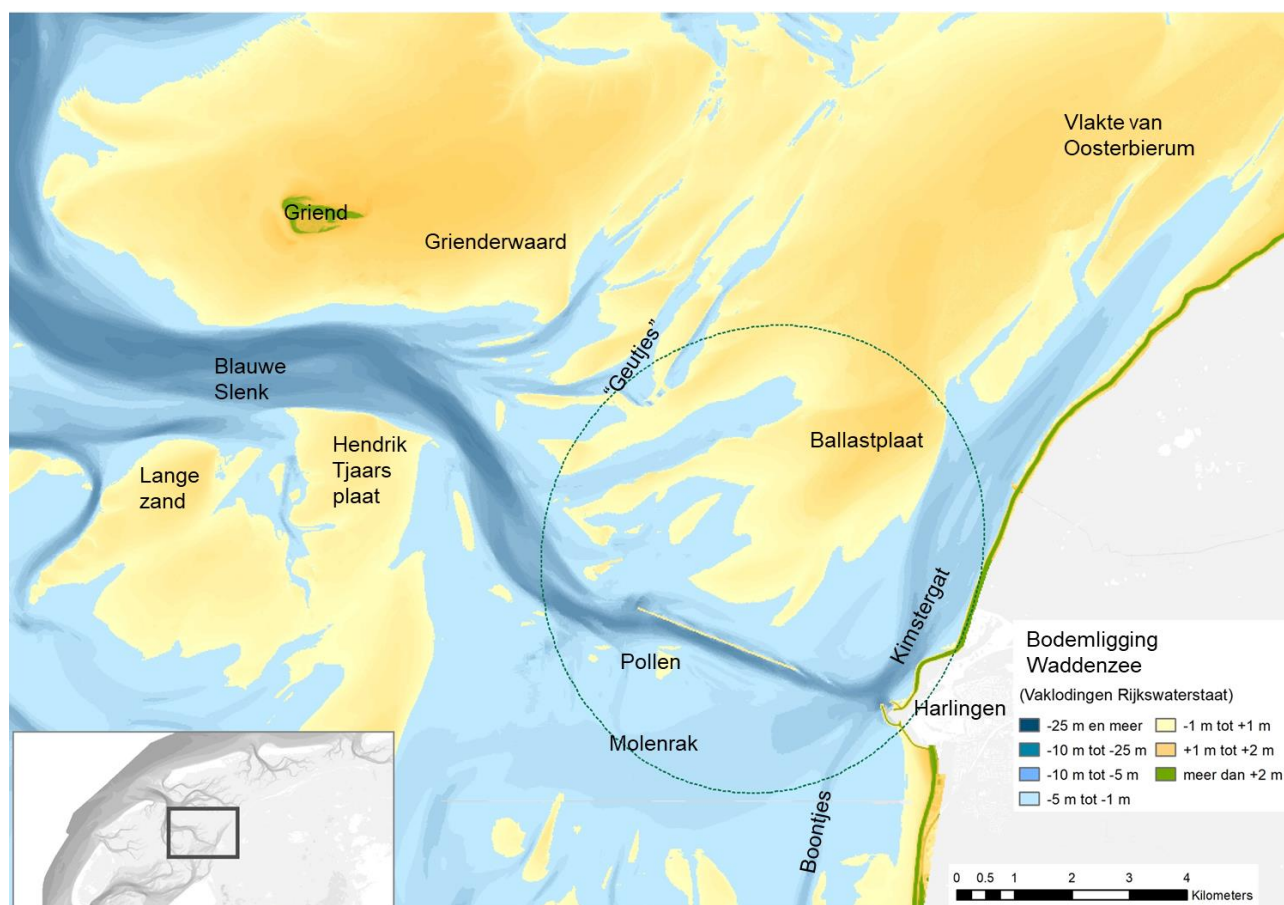
Figuur 2-1 Schematische weergave zoutwinning door middel van oplosmijnbouw. In de cirkel de caverne. De grafiek is een schematische dwarsdoorsnede van de ondergrond, die laat zien waar de caverne zich in de ondergrond bevindt. Ook verbreiding van de Pleistocene bodemdaling is daarin aangegeven met de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

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

⁴ Bij de oplosmijnbouw in de diepe steenzoutlagen, zoals door Frisia wordt uitgevoerd ontstaat dus geen holle ruimte dicht onder het aardoppervlak. Dat betekent dat er ook geen 'sink holes' aan het aardoppervlak kunnen ontstaan.

volume zout dat in pekelvorm in de caverne aanwezig blijft. De bodemdaling ontwikkelt zich vanaf de caverne met een hoek van 45° naar het Pleistocene aardoppervlak (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 caverne. De grootste Pleistocene bodemdaling treedt op direct boven de caverne 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 buitencontour van 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 caverne 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 caverne 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 de vergunde hoeveelheid zoutwinning is de Pleistocene bodemdaling in het diepste punt 92 cm.



Figuur 2-2 Kaart van de Waddenzee, met de buitencontour van de Pleistocene bodemdalingsschotel aan het einde van de vergunde zoutwinning.

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.

2.2 De ligging van de Pleistocene bodemdalingsschotel

2.2.1 Keuze voor locaties van cavernes

Tijdens het doorlopen van de m.e.r.-procedure, in voorbereiding op de aanvraag voor de vergunning voor de Wet natuurbescherming en de instemming op het Winningsplan, heeft een afweging plaatsgevonden van de verschillende locaties voor de cavernes voor de zoutwinning en daarmee van de bodemdalingsschotel. De keuze voor de winning onder Waddenzee (winningsgebied Havenmond) in plaats van verdere winning onder het vaste land (winningsgebied Oost) is gemotiveerd in het MER. Tijdens de m.e.r.-procedure is duidelijk geworden dat de winning onder de Waddenzee het meest milieu- en omgevingsvriendelijke alternatief is.

De keuze voor de locaties van de cavernes in het winningsgebied Havenmond is gebaseerd op een aantal overwegingen:

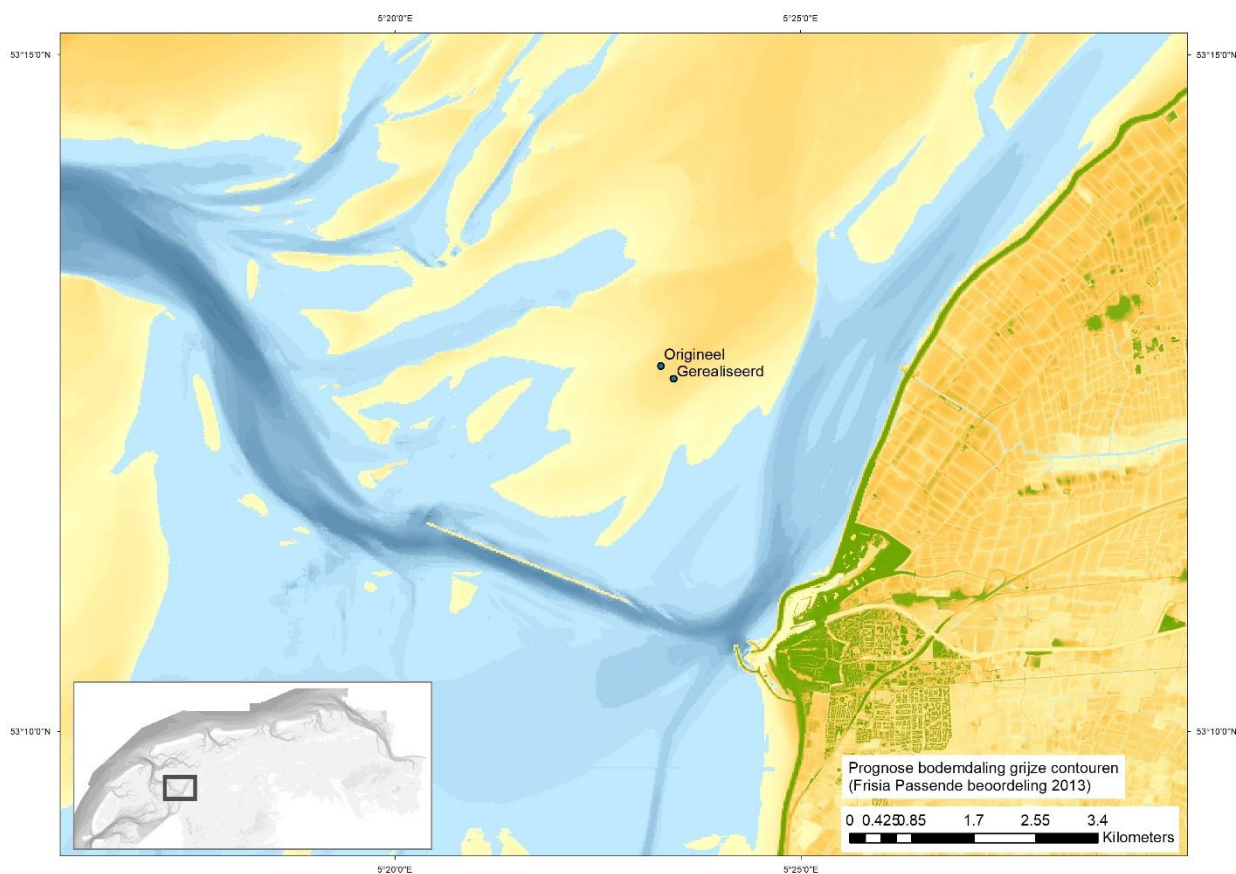
- De potentiële gevolgen voor de natuurwaarden van de Waddenzee zijn het geringst als de cavernes ten opzichte van de fabriek zo zuidelijk mogelijk worden gesitueerd. In het zuidelijk deel van het winningsvergunningsgebied is vooral ondiep en diep water aanwezig, terwijl de droogvallende wadplaten zich in het noordelijk deel bevinden. Een winning in het zuidelijk deel heeft de minste potentiële gevolgen voor deze droogvallende platen en de daar aanwezige bodemdieren en foeragerende steltlopers. Gevolg van winning in het zuidelijke deel is dat het ondiep water iets dieper zou worden. Gevolgen voor duikende vogels (eenden) zijn er echter niet tot nauwelijks, omdat tegenover het mogelijk te diep worden van een deel van het gebied, verdieping van in de huidige situatie te ondiepe delen optreedt. Winning zoveel mogelijk in het zuidelijke deel van het winningsgebied is daarmee het uitgangspunt vanuit de ecologie voor de keuze van de locaties van cavernes, om op voorhand mogelijke gevolgen voor de natuurwaarden te voorkomen.
- Voldoende afstand tot Waddendijk: om effecten op de Waddendijk zoveel mogelijk te voorkomen wordt een buffer van ca. 3 kilometer tot de Waddendijk aangehouden.
- Afstand die met een gedeveerde boring overbrugbaar is: er zitten limiterende factoren aan de afstand waarop gedeveerd geboord kan worden (mogelijkheid verwijdering boorgruis, maximale wrijvingskracht i.r.t. hijsvermogen landboortoren, maximale mechanische belasting van de buizen, dynamische weerstand in leidingen). De maximale afstand tot de kust die met een gedeveerde boring kan worden afgelegd is 3.750 meter.
- Lengte van het leidingtracé: vanuit financieel en milieutechnisch oogpunt (ruimtebeslag, energieverbruik voor transport) is het gewenst het leidingtracé zo kort mogelijk te maken met zo min mogelijk kruisingen. De optimale ligging van de winningslocatie is daarom aan de noordzijde van Harlingen en zo dicht mogelijk bij of op het terrein van de verwerkingslocatie;
- Aanwezigheid van geologische breukzones aan de onderzijde van de te ontginnen zoutformaties. De cavernes worden op voldoende afstand van deze breukzones geplaatst om een voldoende stabiele zoutbodem onder de caverne te waarborgen.

Op basis van deze overwegingen is de keuze voor de zoutwincavernes en de bijbehorende bodemdalingsschotel, zoals getoond in Figuur 2-2, tot stand gekomen.

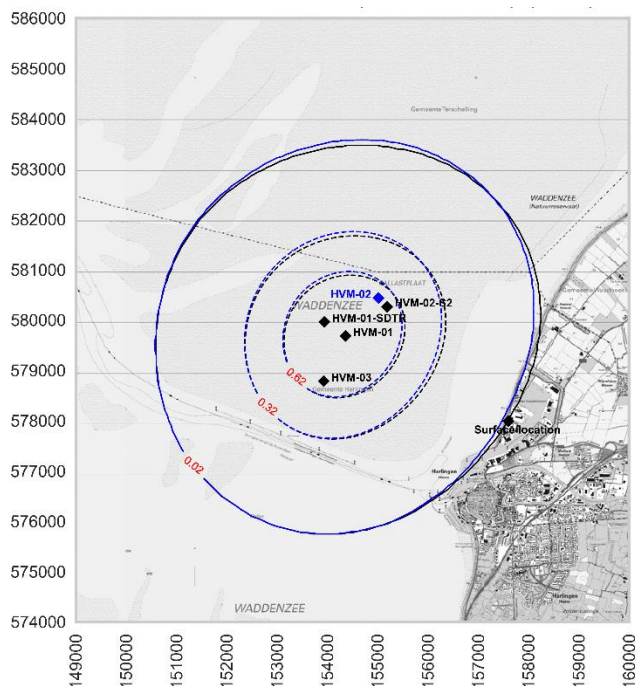
2.2.2 Gerealiseerde caverne

De boring die in 2020 succesvol is uitgevoerd, heeft geresulteerd in een caverne op een locatie die vrijwel overeenkomt met de locatie zoals die in de voorstudies is beschouwd. De gerealiseerde caverne is aangegeven in Figuur 2-3, waarbij ook is aangegeven waar deze was voorzien.

De locatie van de caverne 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 2-4. De voorspelde locatie van de Pleistocene bodemdalingsschotel boven de gerealiseerde caverne 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 2-3 Locatie van de gerealiseerde caverne. Met origineel is de locatie aangegeven, zoals deze was voorzien in de voorstudies.



Figuur 2-4 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 Zoutwinning en bodemtrillingen

Aandacht voor bodemtrillingen (aardbevingen, seismische activiteit) is onderdeel van het Winningsplan en is ook beschouwd tijdens de m.e.r.-procedure. De aandacht voor bodemtrillingen is, onder invloed van de gaswinningen Groningen, sinds het doorlopen van de m.e.r.-procedure alleen maar toegenomen. De fysische processen die in de ondergrond optreden tijdens de winning van het steenzout op meer dan 2 km diepte zijn geheel anders dan de fysische processen die optreden tijdens de gaswinning. V Hierbij wordt bedoeld op de viscositeit van het zout in de diepe ondergrond. Omdat steenzout in de diepe ondergrond zich als een zeer dikke vloeistof gedraagt, bouwen zich rond de zoutcaverne geen spanningsverschillen op die tot trillingen leiden wanneer ze bezwijken. Zodoende wordt de bodemdaling door de dikke zoutlaag al over een groot gebied verdeeld voordat ze aan andere aardlagen wordt doorgegeven. Deze hoger gelegen aardlagen veroorzaken geen seismiciteit / aardbevingen.

Tijdens de actieve zoutwinning door Frisia vanaf 1995 tot heden hebben zich in de verschillende winningsgebieden dan ook geen door het KNMI-geregistreerde bodemtrillingen voorgedaan. Ook uit de vakliteratuur zijn geen waarnemingen bekend aan de bodemtrillingen veroorzaakt door de winning van diepgelegen steenzout door oplosmijnbouw. De bodemtrillingen worden gemonitord met de in Noord-Nederland aanwezige seismometers, die door het KNMI beheerd en uitgelezen worden. In noordwest Friesland zijn aanvullende meetinstrumenten geplaatst. De detectiegrens van trillingen met het bestaande instrumentarium ter plekke van de winning Havenmond is 1,0 op schaal van Richter. Dat is voldoende nauwkeurig om eventuele schadeveroorzakende bevingen waar te nemen en te lokaliseren.

2.4 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 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 oppervlakte delfstoffen (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 uit het Hand-aan-de-Kraanprincipe, zoals dat in het hoofdstuk 4 wordt toegelicht.

De overeenkomsten tussen de bodemdaling onder de Waddenzee door zoutwinning en door gaswinning

Onder Waddenzee wordt op verschillende plekken gas gewonnen, waardoor Pleistocene bodemdaling onder de Waddenzee optreedt. De response in de Waddenzee op de bodemdaling door gaswinning is hetzelfde als de response op de bodemdaling door de zoutwinning, namelijk een vereffening van de bodemdaling over een groter gebied en de aanvoer van meer zand en slib vanuit de Noordzee. De basis voor het Hand-aan-de-kraan principe in de vergunning voor de zoutwinning is dan ook gelegd bij de gaswinning onder de Waddenzee. In grote lijnen komt het meten en de monitoring van de zoutwinning dan ook overeen met die van de gaswinning Waddenzee (ook wel de gaswinning Moddergat, Lauwers en Vierhuizen): de omvang van de bodemdaling wordt bepaald, omdat deze dient plaats te vinden binnen de beschikbare gebruiksruijme en er vinden signaleringsmetingen plaats aan de morfologie en de ecologie.

De belangrijkste verschillen tussen de bodemdaling door de zoutwinning en die door de gaswinning onder de Waddenzee hebben betrekking op de voorspelbaarheid en de ruimtelijke verbreiding. De fysische mechanismen achter de bodemdaling door zoutwinning zijn eenvoudiger dan die bij de bodemdaling door gaswinning. Daardoor is de afgelopen jaren bij de bodemdaling door de zoutwinning onder land gebleken dat de voorspelbaarheid groot is. Verassingen, in de vorm van grotere of kleinere bodemdaling, of een andere vorm van de bodemdalingsschotel dan voorspeld, hebben zich bij de zoutwinning niet voorgedaan op die plekken waar alleen sprake was van bodemdaling door zoutwinning. De voorspelbaarheid van de bodemdaling door de zoutwinning geldt ook de response op het verminderen of stoppen van de zoutwinning, waarbij de bodemdaling vrijwel meteen stopt. In vergelijking met de bodemdaling door de gaswinning is de bodemdaling door de zoutwinning meer lokaal en is de omvang en de snelheid van daling in het diepste punt van de bodemdalingsschotel groter.

Het verschil in de ruimtelijke verbreiding van de bodemdaling door zoutwinning met de bodemdaling door de gaswinning heeft directe gevolgen voor het meten van de Pleistocene bodemdaling en de monitoring van de bodemligging van de Waddenzee morfologie. Omdat de Pleistocene bodemdaling bij zoutwinning lokaal optreedt met een hogere snelheid, is dit goed meetbaar met een vaste, permanente meetopstelling. Indien zich een onvoorziene morfologische response zou voordoen bij de zoutwinning, dan zal dit tot meetbare veranderingen in de Waddenzee leiden. Deze verschillen zijn meegenomen bij de uitwerking van het meetplan en het monitoringsprogramma.

2.5 Bodemdaling door zoutwinning i.r.t. meten en monitoren

In de voorgaande paragraaf 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. Voor het vaststellen van het volume van de bodemdaling worden geregistreerd en gemeten:

- Geproduceerde volume zout
- Waterbalans
- Akoestische holruimtemetingen (sonar echometing) van omvang van caverne

Voor het meten van de mate en snelheid van de Pleistocene bodemdaling onder de Waddenzee wordt in de Waddenzee

- Continue de hoogte van de Pleistocene ondergrond gemeten op twee locaties
- Eenmaal per jaar op vijf punten in de Waddenzee en drie punten op het vasteland de hoogte van de Pleistocene ondergrond gemeten

Het gemeten volume aan bodemdaling, zoals dat jaarlijks optreedt, 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 voorspellingen en vormt de link met 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 2-5. 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 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.

De monitoring is dan ook 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 vast te kunnen stellen, dan wel 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 kan een goede signalering plaatsvinden van de ontwikkelingen. De samenhang tussen de indicatoren staat hierbij centraal.



Figuur 2-5 Schema met de onderlinge afhankelijkheid tussen Zoutwinning, Pleistocene bodemdaling en veranderingen in de morfologie en in de ecologie.

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 2-5) en in beperkte mate, vanuit het voorzorgprincipe, voor de monitoring van biotiek (de 2^e orde gevolgen in het schema in Figuur 2-5).

De monitoring voor het vaststellen van de abiotische 1^e orde gevolgen (Figuur 2-5) omvat raaimetingen in drie raaien, spijkermetingen en bepalingen van de sedimentsamenstelling, LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen en de vaklodingen van het gehele kombergingsgebied. Met deze metingen wordt vastgesteld welke veranderingen optreden in de wadbodem, ter plaatse van de Pleistocene bodemdaling en daarbuiten. De raaimetingen en de spijkermetingen geven jaarlijks inzicht in respectievelijk de hoogte-ontwikkeling van het wad en de sedimentatie en erosie op de wadplaat ter plaatse van de Pleistocene bodemdaling. De jaarlijkse bepalingen van de sedimentsamenstelling laten zien welke variatie daar in optreedt. Door naar de trends in de ontwikkelingen te kijken worden de korte termijn fluctuaties buiten beschouwing gelaten. Door de trends in het gebied met de Pleistocene bodemdaling te vergelijken met de trends in het gebied daarbuiten, kunnen onvoorziene gevolgen van bodemdaling op de morfologie wordenesignaleerd. De LiDAR metingen van de hoogte van de droogvallende wadplaten geven inzicht in de ruimtelijke verbreiding van de hoogte. Tenslotte geven de vaklodingen inzicht in de morfologische ontwikkelingen op de schaal van de kombergingsgebieden. Veranderingen in het wadplaathabitat en -areaal worden op deze wijze inzichtelijk en dit vormt de verbinding met de ecologische veranderingen.

In overleg met ecologische deskundigen zijn een beperkt aantal ecologische parameters geselecteerd die uit voorzorg gemonitord zullen worden. Deze 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. De monitoring voor het vaststellen van de biotische 2^e orde gevolgen (Figuur 2-5) omvat:

- Benthosbemonstering van drie schelpdiersoorten een keer per jaar: kokkels *Cerastoderma edule*, mossel *Mytilus edule* en nonnetje *Limecola (Macoma) baltica* in negen analysegebieden;
- Vogeltellingen (HVP tellingen) vijf keer per jaar voor drie vogelsoorten: één schelpdieretende vogelsoort (Scholekster *Haematopus ostralegus*); één wormenetende vogelsoort (Bonte strandloper *Calidris alpina*) en de Kanoet (*Calidris canutus*) op negen hoogwatervluchtplaatsen (HVP). In aanvulling op deze drie vogelsoorten zijn in overleg met de Auditcommissie nog drie vogelsoorten toegevoegd die in grotere aantallen aanwezig zijn op de HVP's nabij het invloedsgebied, namelijk de Rosse grutto (*Limosa lapponica*), de Wulp (*Numenius arquata*) en de Tureluur (*Tringa totanus*).
- Telling van Ruiende Bergeenden een keer per jaar op de locatie aan oostzijde Ballastplaat & Vlakte van Oosterbierum

Met de metingen aan het benthos wordt vastgesteld welke veranderingen optreden in de kwaliteit van de waddenhabitats. De keuze voor deze drie benthos-soorten is ingegeven doordat deze onderdeel uitmaken van het dieet van een van de drie vogelsoorten, in combinatie met de beschikbaarheid van meetgegevens over een langere periode. Voor bijvoorbeeld de verschillende soorten wormen (onder ander wadpier en zeeduizendpoot) zijn de meetreeksen minder lang en is de relatie met de aan- of afwezigheid van de vogelsoorten minder duidelijk. Daarom zijn deze soorten buiten de analyse gebleven.

De vogeltellingen geven inzicht in de benutting van de waddenhabitats door de wadvogels, ter plaatse van de Pleistocene bodemdaling en in de gebieden daarbuiten. De zes soorten (Kanoet, Scholekster en Bonte Strandloper, Rose grutto, Wulp en Tureluur) zijn geselecteerd op basis het advies van experts. De selectie betreft beschermde niet-broedvogelsoorten (conform het onderscheid kwalificerende broedvogel- en niet-broedvogelsoorten in de Vogelrichtlijn) die veel en regelmatig in de Wadden voorkomen, die in de Wadden foerageren en die via hun voedselkeuze en foerageerhabitat een mogelijk effect van bodemdaling kunnen ondervinden en waarvoor over een lange periode voldoende gegevens beschikbaar zijn. Het onderzoek beperkt zich tot die vogelsoorten die voor hun voedsel (bodemdieren) helemaal of grotendeels afhankelijk zijn van droogvallende platen (in het intergetijdengebied) in de Waddenzee. Potentieel ondervinden deze wadvogels de meeste hinder van een (niet-voorspelde) verlaging van de wadbodem als gevolg Pleistocene bodemdaling, omdat hun voedselgebied tijdens laagwater dan minder lang droog ligt en dus ook minder lang toegankelijk is. Veel van de beschermde niet-broedvogelsoorten in de Waddenzee zullen op deze wijze geen invloed ondervinden van de Pleistocene bodemdaling. Soorten die bijvoorbeeld exclusief viseters zijn, zoals aalscholvers, grote sterns en futen vallen hierdoor af. Omdat bemonsteringen van de bodemdieren geen goed beeld leveren van de epibenthische bodemdieren (garnalen, bodemvissen) vallen ook de soorten af die daarop foerageren, zoals de Lepelaar, Groenpootruiter en Zwarte Ruiter.

De Scholekster, Rose grutto, Wulp en Tureluur zijn over het algemeen in dermate grote aantallen aanwezig in het invloedsgebied en in de referentiegebieden, dat de aantallen zich goed lenen voor (statistische) analyse. Dat geldt in veel mindere mate voor de Bonte strandloper en de zeker voor de Kanoetstrandloper, die zo nu en dan in zeer grote aantallen in de westelijke Waddenzee aanwezig zijn, maar in andere jaren in minder grote aantallen aanwezig zijn. De Kanoetstrandloper is in sommige jaren zelfs geheel of vrijwel geheel afwezig is. Vanwege het belang van de gehele Waddenzee voor de Kanoetstrandloper is deze wel meegenomen in de analyse. Andere vogelsoorten zijn in lagere aantallen en met grote variaties aanwezig in het gebied, zodat het niet zinvol is geacht om deze in de analyse te betrekken.

Door de trends in het benthos en de vogels te analyseren worden de korte termijn fluctuaties buiten beschouwing gelaten. En door de trends in het gebied met de Pleistocene bodemdaling te vergelijken met de trends in de referentiegebieden, kunnen onvoorziene gevolgen van veranderingen in de waddenhabitats wordenesignaleerd.

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.

In het volgende hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de metingen en de onderlinge samenhang.

3 OVERZICHT MEETPLAN⁵ EN MONITORINGSPROGRAMMA⁶

3.1 Metingen

De metingen betreffen de bodemdaling van de ondergrond onder de Waddenzee. 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.

⁵ 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.

⁶ 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.

3.2 Monitoring

De onderstaande Tabel 3.2 geeft een beknopt overzicht van de monitoring.

Tabel 3.2 Beknopt overzicht van het monitoringsprogramma zoutwinning Waddenzee.

Metingen	Toelichting	Frequentie	Gebied
Hoogte/diepte raaien (H8)	Primaire meting hoogte wadbodem	1 x per jaar	Drie raaien in invloedsgebied
Spijkermetingen (H10)	Meting sedimentatie	4 x per jaar	14 meetstations op de Ballastplaat
Hoogte wadplaten LiDAR (H9)	Ruimtelijke beeld hoogte wadplaat	1 x per 3 jaar	Ballastplaat
Vaklodingen (H7)	MWTL-metingen van RWS	1 x per 6 jaar	Kombergingsgebieden
Benthos bemonstering (H11)	3 schelpdiersoorten: kokkel, mossel, nonnetje	1 x per jaar	9 analysegebieden van elk circa 400 ha
Sediment-samenstelling (H12)	Tijdens benthosbemonstering	1 x per jaar	Identiek aan benthosbemonstering
HVP tellingen (H13)	3 vogelsoorten: scholekster, bonte strandloper, kanoetstrandloper	5 x per jaar	9 hoogwatervluchtplaatsen (HVP)
Ruiende bergeenden (H14)		1 x per jaar	Oostzijde Ballastplaat & Vlake van Oosterbierum

3.3 Planning

De eerste boring is in 2020 afgerond en de inloofase en caverne-ontwikkeling zijn van start gegaan. Het volume in de ondergrond is vanaf oktober 2020 afgenomen. Hierdoor hebben alle metingen voorafgaand aan oktober 2020 betrekking op de nulsituatie. Dit betreft de monitoring van de morfologie en de ecologie. Alleen de meting van de Pleistocene bodemdaling omvat de periode van oktober tot en met december 2020 waarbij zoutwinning heeft plaatsgevonden. Daarmee heeft de voorliggende rapportage betrekking op de nulsituatie, voorafgaand aan de zoutwinning onder de Waddenzee. De eerste oplevering van de Tnul rapportage heeft plaatsgevonden in 2019 en de herziene versie daarvan is opgeleverd in het eerste kwartaal van 2020. De tweede Tnul rapportage, die de metingen tot en met 2019 omvat is opgeleverd in juni 2020. De voorliggende rapportage is de daarmee de derde en tevens laatste Tnul rapportage.

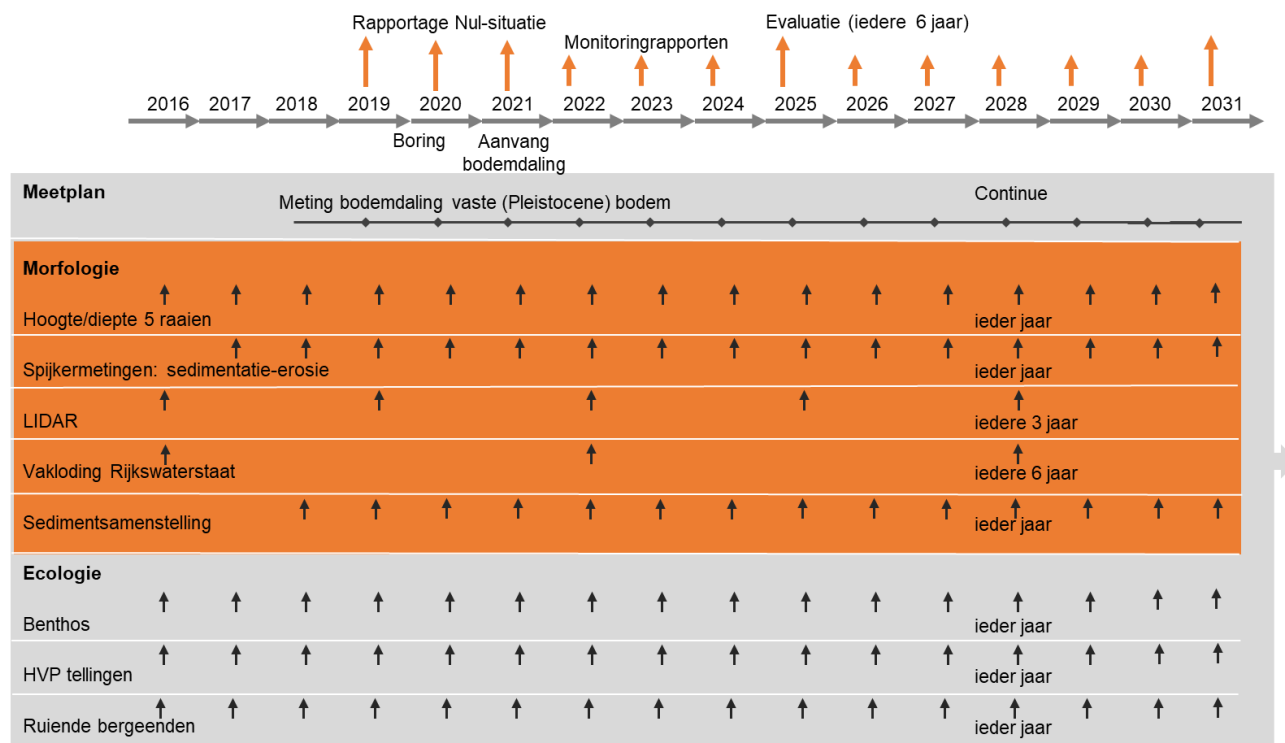
Per onderdeel van de metingen wordt zoveel als mogelijk gebruik gemaakt van een referentieperiode die meerdere jaren omvat, dit is afhankelijk van de beschikbaarheid van de gegevens. Op deze wijze worden bij het vaststellen van de nulsituatie de langjarige monitoringsreeksen betrokken. Dit betreft de vaklodingsgegevens van de hoogte van de Ballastplaat, HVP-tellingen en de benthosinventarisaties. Op basis daarvan wordt vastgesteld of sprake is van trends in de ontwikkelingen en welke variatie in de autonome situatie zonder Pleistocene bodemdaling optreedt. In de eerste anderhalf tot twee jaar na het uitvoeren van de boring zal nog geen sprake zijn van omvangrijke Pleistocene bodemdaling, omdat in deze fase sprake is van het inloggen en de ontwikkeling van de caverne. Omdat hierbij de druk in de caverne relatief hoog wordt gehouden, treedt bijna geen zoutkruip op en dalen de bovenliggende gesteentelagen bijna niet. Dat betekent dat de gegevens van de monitoringsactiviteiten voor deze periode aanvullende informatie opleveren voor de situatie zonder Pleistocene bodemdaling.

De planning van de aanvangsperiode is op hoofdlijnen:

- Eind 2020-2021: Inloofase en caverne ontwikkeling

- 2021: vaststellen nulsituatie;
- 2021: eerste Pleistocene bodemdaling.

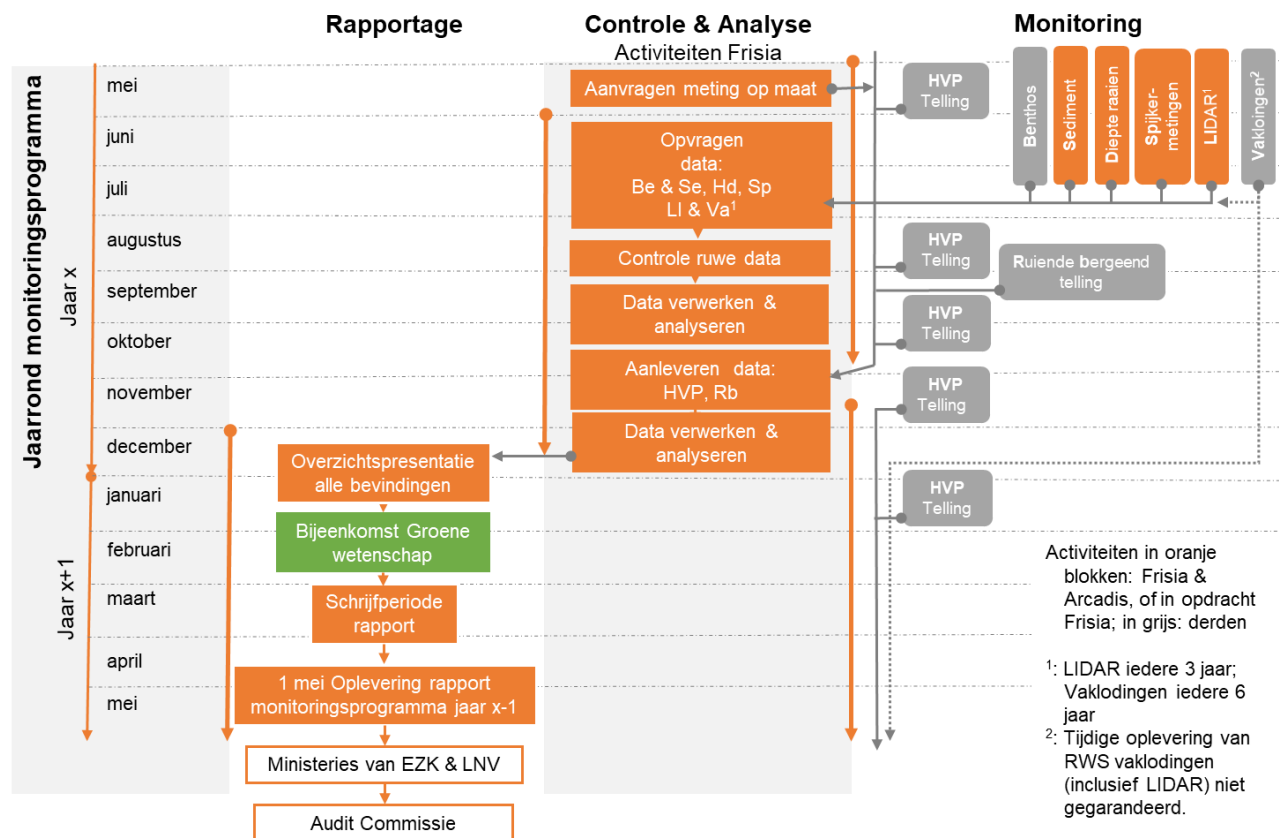
In de onderstaande figuur zijn de metingen weer gegeven, inclusief de momenten van rapportage.



3.4 Jaarkalender

De jaarkalender (zoals hieronder getoond) is ingericht op een jaarlijks rapportage aan het bevoegd gezag 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.



3.5 Samenhang metingen en monitoring

De bepaling van het bodemdalingsvolume vindt plaats door de productie van de pekkel 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 morfologische 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. Hoe de samenhang in de analyse plaats zal vinden wordt toegelicht in Hoofdstuk 5. De metingen zullen zoveel mogelijk tegelijkertijd wordt 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 opdrachtomschrijving voor de metingen waarvoor Frisia de opdrachtgever is, zijn 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 3.3 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."

4 HET 'HAND AAN DE KRAAN'-PRINCIPE⁷

4.1 Introductie

In de beschrijving van het 'hand aan de kraan'-principe is het gestelde in de voorschriften over 'hand aan de kraan' verwerkt. In de voorschriften bij de Natuurbeschermingswetvergunning staat:

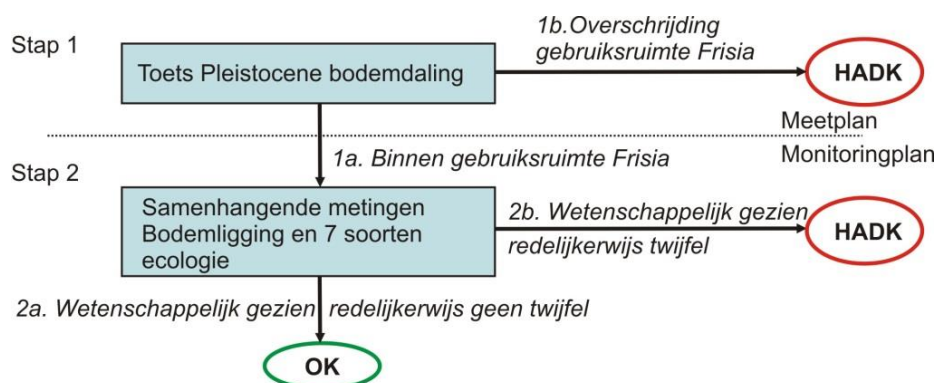
Hand aan de Kraan

17. De winning van het zout wordt uitgevoerd conform het winningsplan Harlingen Havenmond.

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 getemporiseerd 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.

4.2 Stappenplan en beslisboom jaarlijkse rapportage

Voorschrift 18 bij de Natuurbeschermingswetvergunning is uitgewerkt in de onderstaande beslisboom (Figuur 4-1). In de beschrijving van het Stappenplan voor de verwerking van de resultaten van het monitoringsprogramma worden de stappen toegelicht.



Figuur 4-1 Beslisboom jaarlijkse rapportage.

Toelichting bij Stap 1:

Jaarlijks wordt gerapporteerd over het bodemdalingsvolume in de tijd. De winning van zout heeft een zeer directe relatie met Pleistocene bodemdaling. De hoeveelheid zoutwinning geeft een 1:1 vertaling naar Pleistocene bodemdaling en dit is een betrouwbaar en direct causaal verband. De Pleistocene bodemdaling ijlt zeer kort na, na het stopzetten van de winning.

- Bij substantiële afwijking van de verwachte Pleistocene bodemdaling vindt een nadere analyse plaats. Conform het meetplan zullen twee permanente GPS meetstations worden geplaatst om de Pleistocene bodemdaling van de vaste wadbodem continue te meten. De metingen van de meetstations worden

⁷ De inhoud van dit hoofdstuk is afkomstig uit: Aangepast Addendum Monitoringplan Zoutwinning Waddenzee, d.d. 23 maart 2016, referentie 078878869 0.1.

berekend t.o.v. een onafhankelijk referentienetwerk van meerdere GPS-stations. De ervaring met vergelijkbare continue GPS monitoring en deze berekeningswijze tonen aan dat het 95% betrouwbaarheidsinterval ligt op 1.2 mm voor de hoogte.

Met andere woorden: 95% van de berekende hoogtes schommelt binnen een bandbreedte van 2.4 mm.

- Bij dreigende overschrijding van de gebruiksruimte⁸ wordt de winning aangepast (1b).
- Indien het dalingsvolume binnen de afgesproken gebruiksruimte blijft (1a), wordt doorgegaan naar stap 2.

Toelichting bij Stap 2:

Jaarlijks wordt gemeten en gerapporteerd:

- Alle metingen van jaar x worden in kwartaal 1 van jaar x+1 verwerkt;
- In april van jaar x+1 worden trendanalyses uitgevoerd;
- Op 1 mei volgt een rapportage aan het bevoegde gezag (Ministerie van EZ).
- Trendanalyse ecologie van de bodemdieren drie gebieden in invloedsgebied en vogels HVP in nabijheid invloedsgebied. Indien hier geen afwijking buiten de natuurlijke dynamiek (zoals het in het monitoringsplan is geformuleerd in paragraaf 2.3, is het vaststellen van de bandbreedte onderdeel van het opstellen van de nulmeting en de rapportage van nulsituatie) voor betreffende trendlijn aan de orde is, dan geen vervolgactie.
- Trendanalyse morfologie (raaimetingen, sediment en ruimtelijke toets). Ruimtelijke toets heeft betrekking op de ruimtelijke spreiding van de veranderingen in de hoogteligging, in relatie tot de waargenomen Pleistocene bodemdaling. De nauwkeurigheid van de opeenvolgende morfologische metingen in het monitoringsplan is voldoende groot om onverwachte ontwikkelingen in de (plaat)hoogte te signaleren
- Bij afwijking ecologische trendlijnen (buiten range natuurlijke dynamiek) dan vervolgens beoordelen of dit alleen binnen invloedsgebied aan de orde is, of ook in kombergingsgebieden Vlie en Marsdiep en daarbuiten. Het is fysisch en ecologisch niet voorstelbaar dat effecten door Pleistocene bodemdaling buiten het invloedsgebied plaatsvinden en hoe vastgesteld zou moeten worden dat de oorzaak daarvan bij de zoutwinning ligt. De inzichten rond de invloed van theoretische veranderingen in de arealen droogvallende plaat, zoals opgenomen in het rapport 'Tijdelijke effecten' zullen worden gebruikt als indicator voor de maximale denkbare impact van Pleistocene bodemdaling op ecologische indicatoren.
- Bij afwijking ecologische trendlijnen (buiten range natuurlijke dynamiek) en dit is alleen in het invloedsgebied aan de orde, dan dit verbinden aan de trendanalyse morfologie⁹. Hierbij zullen de gegevens over de morfologie nogmaals in detail worden beschouwd. Indien geen relatie tussen afwijkingen in de ecologische trends en morfologische veranderingen door bodemdaling van de Pleistocene ondergrond aan de orde is, dan geen vervolgstap.
- Indien een negatieve trend in zowel ecologie als morfologie aan de orde is in het invloedsgebied, dan zal met de Groene wetenschap de uitgevoerde metingen ten behoeve van de zoutwinning worden vergeleken met bestaande metingen uit andere programma's. Als eerste zal de data op maat worden verwerkt en vervolgens worden door middel van 2-3 werksessies hypothesen bepaald, over de oorzaken van de betreffende afwijkingen van de trendlijnen. Deze hypothesen worden meegenomen in de interpretatie van data voor het volgende jaar. Omdat er grote variaties optreden in de aanwezigheid en hoeveelheid bodemdieren en vogels, zowel in de tijd (van jaar op jaar) als in de ruimte (van gebied naar gebied), levert één jaar met aanvullende waarnemingen, inclusief Pleistocene bodemdaling en de gevolgen daarvan, voor alle partijen de meeste duidelijkheid over oorzaak en gevolg. Indien twee jaar achter elkaar negatieve trends alleen in het invloedsgebied aan de orde zijn, dan zal met de Groene wetenschap worden bepaald of er redelijkerwijs wetenschappelijk gezien geen twijfel bestaat dat de waargenomen trendontwikkelingen geen gevolg zijn van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning. Mocht al na het eerste jaar anderszins duidelijk zijn dat er twijfel bestaat over een oorzakelijke relatie met de zoutwinning, dan biedt de Nb-wet vergunning voldoende mogelijkheden om eerder in te grijpen, als de ernst van de ontwikkelingen daar aanleiding toe geeft. Bij wetenschappelijk gezien redelijkerwijs geen twijfel, dan kan de zoutwinning doorgaan. Anders volgt het principe Hand Aan De Kraan¹⁰.

⁸ De beschikbare gebruiksruimte is afhankelijk van toekomstige zeespiegelstijging en het meegroeivermogen. Elke 5 jaar wordt het relatieve zeespiegelstijgingsscenario vastgesteld. Indien blijkt dat de zeespiegelstijging anders is dan verwacht, dan is er in principe meer of minder gebruiksruimte.

⁹ Deze samenhang in de analyse is nader uitgewerkt in Hoofdstuk 5 van het voorliggende rapport.

¹⁰ Het is in dit stadium nog niet mogelijk een richtlijn te geven voor de mate van de Hand aan de Kraan (volledig stopzetten of verminderen van de zoutwinning) na het constateren van 'wetenschappelijk gezien redelijkerwijs twijfel'. In het Tnul rapport wordt aan de hand van de resultaten aangegeven welke trend en variatie optreden in de verschillende monitoringsparameters. Op basis hiervan kan de te verwachten autonome bandbreedte worden bepaald.

4.3 Jaarlijkse rapportage en zesjaarlijkse evaluatie

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. In deze evaluatie wordt gerapporteerd over de Pleistocene bodemdaling, de ontwikkeling van de bodemligging en de ecologische parameters en wordt gekeken naar het monitoringsprogramma. In de evaluatie worden de data van het meetplan en het monitoringsplan gekoppeld. In de evaluatie wordt ingegaan op:

- Trendanalyses op vloedkomniveau in combinatie met de trendanalyses op invloedsgebiedniveau over de afgelopen jaren (indien geen blijvende afwijkingen van natuurlijke dynamiek, dan geen nadere analyse).
- Betrouwbaarheid van metingen (o.a. op hoofdlijnen verklaren afwijkingen).
- Welke onduidelijkheden treden op en hoe kunnen die worden ondervangen.
- Zo nodig: verdere optimalisatie van monitoring.
- Zijn de afgelopen jaren de juiste conclusies getrokken?

De concept-evaluatie zal worden voorgelegd aan de auditcommissie en daar waar nodig aangepast naar aanleiding van het geleverde commentaar.

4.4 Voorbeelduitwerkingen 'Hand aan de Kraan'

Om duidelijk te maken op welke wijze veranderende inzichten in de snelheid van zeespiegelstijging en de resultaten van de metingen en de monitoring kunnen leiden tot aanpassingen in de zoutwinning vanwege het Hand-aan-de-Kraan principe, zijn hieronder vier situaties opgenomen, die zich in de toekomst zouden kunnen voordoen.

Situatie 1: versnelde zeespiegelstijging

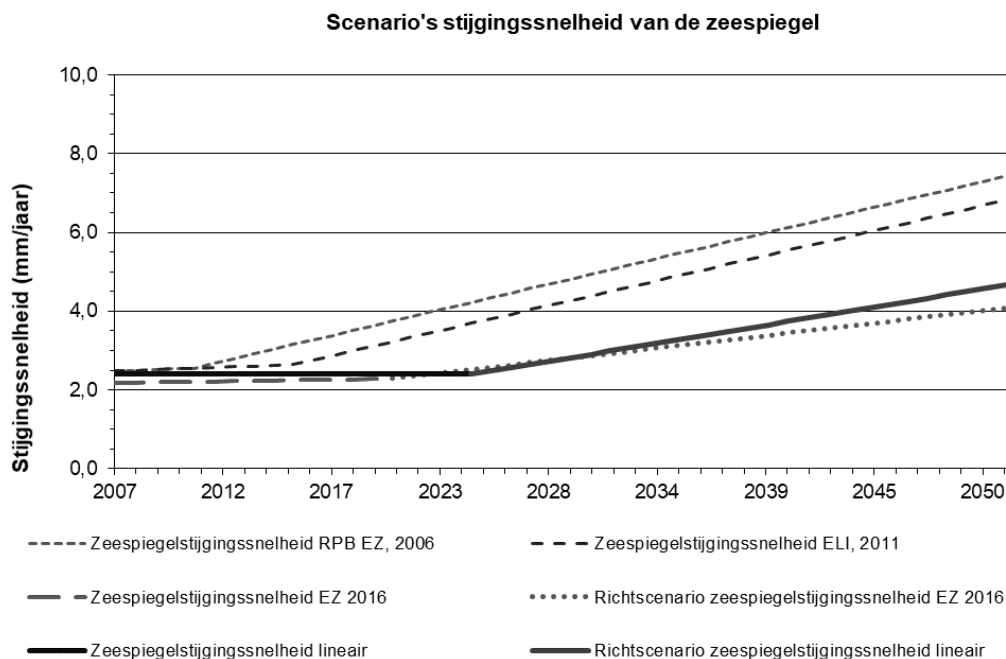
De snelheid van zeespiegelstijging is onderdeel van de gebruiksruimteberekening. Iedere vijf jaar wordt door het Ministerie van EZK het scenario voor de zeespiegelstijging voorgeschreven, waarbij sprake is van een beleidsscenario voor de volgende vijf jaar en een richtscenario voor na die vijf jaar. Indien er aanwijzingen zijn dat de zeespiegelstijging anders gaat verlopen dan voorzien, dan zal dit in het zeespiegelstijgingsscenario worden opgenomen. Figuur 4-2 toont de drie voorgeschreven zeespiegelscenario's, zoals die door het Ministerie van EZK zijn voorgeschreven bij Hand-aan-de-Kraan winning van diepe delfstoffen.

Veranderingen in de snelheid van zeespiegelstijging hebben gevolgen voor de beschikbare gebruiksruimte. Ter illustratie zijn hieronder in twee grafieken opgenomen. In de eerste grafiek staat het vigerende scenario voor zeespiegelstijging, waarbij is uitgegaan van een versnelling in 2021, bij het ingaan van het richtscenario. Het totaal beschikbare volume aan gebruiksruimte¹¹ in het kombergingsgebied van het Vlie is $242 \times 10^6 \text{ m}^3$ in de periode van 2020 tot in 2068, wanneer de stijgingssnelheid van de zeespiegel groter is dan het meegroeivermogen. In de tweede grafiek staat de situatie met een hogere stijgingssnelheid. De versnelling van de stijgingssnelheid na 2021 is in dit "situatie 1" scenario $0,116 \text{ mm/jaar}$ (overeenkomend met de versnelling die in het Rijksprojectenbesluit en het 2011 scenario werd gehanteerd voor het richtscenario), in plaats van de $0,058 \text{ mm/jaar}$ uit het 2016 scenario. In dit scenario is het totaal beschikbare volume aan gebruiksruimte $24 \times 10^6 \text{ m}^3$ in het kombergingsgebied van het Vlie in de periode van 2020 tot in 2045, als de stijgingssnelheid van de zeespiegel groter is dan het meegroeivermogen.

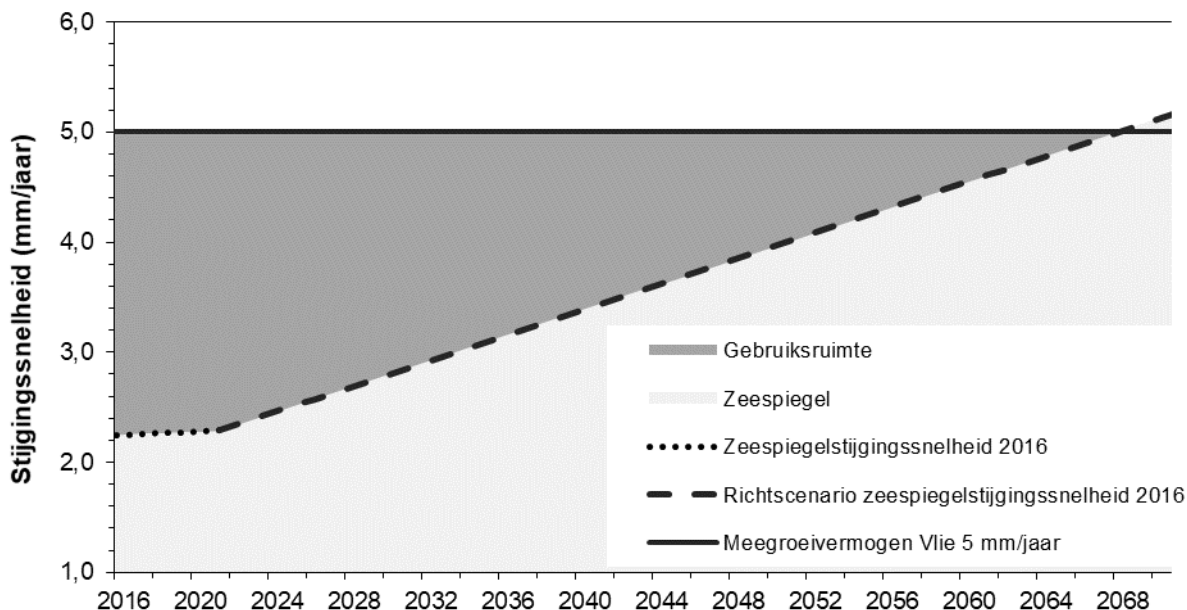
¹¹ Niet alle gebruiksruimte in het kombergingsgebied van het Vlie is beschikbaar voor zoutwinning. In het Instemmingsbesluit op het Winningsplan is per jaar $0,99 \text{ mm}$, overeenkomend met een bodemdalingsvolume van $624.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$ beschikbaar voor de zoutwinning door Frisia. Een klein deel van Pleistocene bodemdaling door zoutwinning vindt plaats onder het Marsdiep en belast de gebruiksruimte van dat kombergingsgebied.

Wanneer aanwijzingen voor het optreden van een grotere versnelling van de zeespiegelstijging aanleiding zijn tot het aanpassen van het scenario voor de zeespiegelstijging, dan wordt het moment dat de snelheid van zeespiegelstijging eerder bereikt en is het beschikbare volume aan gebruiksruimte kleiner.

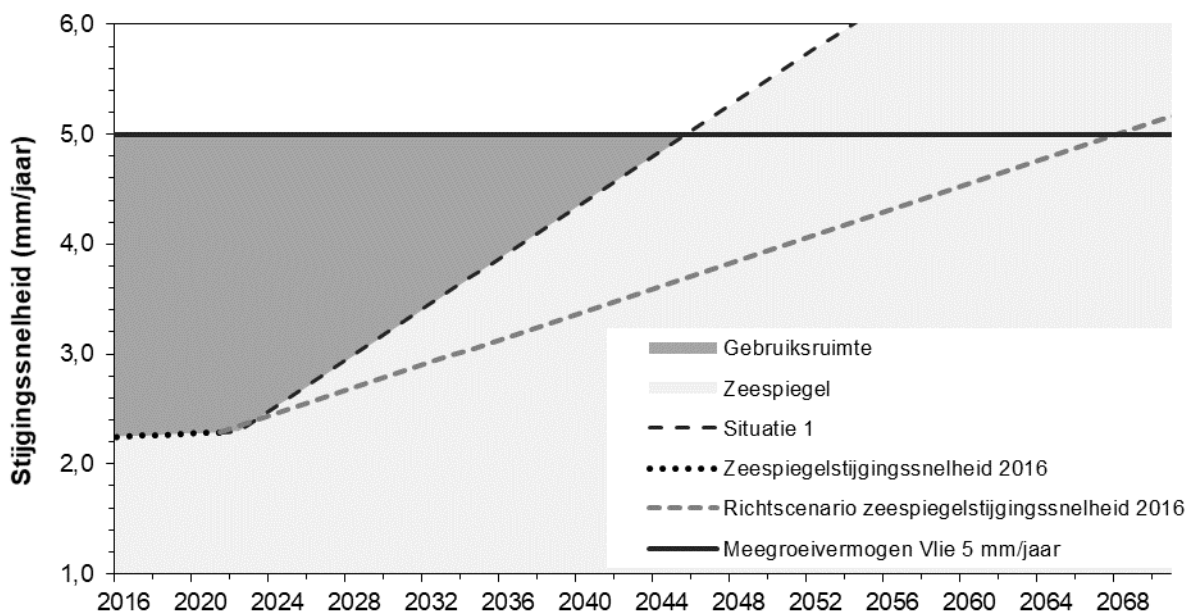
De metingen die van belang zijn voor het bepalen van de huidige snelheid van zeespiegelstijging, zijn de waterstandsmetingen die door Rijkswaterstaat worden uitgevoerd, onder andere in Harlingen. De mogelijke versnelling van de zeespiegelstijging raakt aan verschillende beheer- en beleidsonderwerpen, zoals de veiligheid tegen overstromingen, de kustlijn zorg, wateroverlast en de beschikbaarheid van zoetwater. Nieuwe inzichten over de scenario's voor de regionale zeespiegelstijging komen voort uit (onderzoeks)-projecten en -programma die vanuit verschillende achtergrond lopen, of worden opgestart.



Figuur 4-2 Grafiek met de drie opeenvolgende voorgeschreven scenario's met snelheden van de toekomstige zeespiegelstijging. Ter vergelijking is een hypothetisch lineair scenario opgenomen met een jaarlijkse stijgingssnelheid 2,4 mm/jaar tot 2026, gevolg door een stijging tot 4,5 mm/jaar in 2050.



Figuur 4-3 Grafiek met de gebruikruimte in het Vlie bij het "2016" scenario voor de snelheid van de toekomstige zeespiegelstijging.



Figuur 4-4 Grafiek met de gebruikruimte in het Vlie in het "situatie 1" scenario voor de snelheid van de toekomstige zeespiegelstijging. Ter vergelijking is ook het "2016" scenario opgenomen in deze grafiek.

Situatie 2: een tegenvallende jaar op jaar sedimentatiesnelheid

Volgens de voorspellingen zal de hoogte van de wadbodem niet meetbaar of merkbaar veranderen door de Pleistocene bodemdaling als gevolg van de zoutwinning, doordat de daling wordt vereffend met sediment dat uit de omgeving wordt aangevoerd. Mocht onverwacht sprake zijn van een jaar op jaar tegenvallende sedimentatie op de wadbodem, ter plaatse van de bodemdaling in de Pleistocene ondergrond, dan zal een geleidelijke verdieping van de wadbodem plaatsvinden. De omvang van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning in het diepste deel van de bodemdalingsschotel is met enkele centimeters per jaar dermate groot, dat een dergelijke onvoorziene ontwikkeling meetbaar is in de raaimetingen. De raaimetingen hebben een nauwkeurigheid van enkele centimeters, zodat een verlaging van de wadbodem van meer dan 5 centimeters meetbaar is. Doordat in drie raaien wordt gemeten, die over de Pleistocene

bodemdalingsschotel liggen, wordt een tegenvallende sedimentatiesnelheid in een periode van enkele jaren zichtbaar. De Spijkermetingen geven inzicht in de variatie in de sedimentatiesnelheid in de loop van de tijd in een beperkt aantal locaties op de Ballastplaat en deze zullen de observaties over de tegenvallende sedimentatiesnelheid bevestigen.

Voor alle duidelijkheid, het betreft hier de sedimentatie ter plaatse van de bodemdalingsschotel in de Pleistocene ondergrond. De sedimentatie in het hele kombergingsgebied van het Vlie is geen onderwerp van de monitoring, omdat de sedimentatie op deze schaal niet met voldoende nauwkeurigheid meetbaar is. Om desondanks voldoende zekerheid te krijgen dat de sedimentatie in het kombergingsgebied voldoende groot is om de stijgende zeespiegel en de Pleistocene bodemdaling bij te houden, is de gebruiksruijme geïntroduceerd. Zolang de omvang van de Pleistocene bodemdaling door de zoutwinning binnen de gebruiksruijme blijft, doen zich geen effecten voor op de sedimentatie op de schaal van het kombergingsgebied van het Vlie.

Een tegenvallende jaar op jaar sedimentatiesnelheid is een van de monitoringsresultaten die zich kan voordoen. In paragraaf 0 wordt ingegaan op de verschillende onderdelen van de monitoring en de vervolgstappen die worden voorzien bij verschillende combinaties van uitkomsten.

Situatie 3: een daling die sneller is en/of een volumetoename van de dalingskom groter dan verwacht

De Pleistocene bodemdaling als gevolg van de zoutwinning in de diepe ondergrond, is zeer goed voorspelbaar gebleken bij de zoutwinning die Frisia tot heden onder land heeft uitgevoerd. Dit betreft zowel de bodemdalingssnelheid, als de ruimtelijke verbreiding en het bodemdalingsvolume. De goede voorspelbaarheid is gerelateerd aan de fysische mechanismen van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, waarbij de omvang van de Pleistocene bodemdaling één op één is gekoppeld aan de hoeveelheid zout die wordt gewonnen.

Om te controleren of de daling die optreedt overeenkomt met de voorspellingen, wordt de Pleistocene bodemdaling continue en real-time gemeten. Over de metingen wordt maandelijks gerapporteerd aan het SODM. Afwijkingen in de dalingssnelheid worden binnen een maand signaleerd. Door de snelheid van de zoutwinning aan te passen kan de snelheid van de daling weer op peil worden gebracht.

De omvang van de Pleistocene bodemdaling wordt gecontroleerd door een aantal peilmerken onder de wadbodem jaarlijks in te meten. Hierover wordt ieder jaar gerapporteerd. Indien zich afwijkingen voordoen van de voorspellingen van de omvang van de Pleistocene bodemdaling, dan zal dit nader worden geanalyseerd. De omvang van de Pleistocene bodemdaling wordt gebruikt in de berekeningen van de belasting van de gebruiksruijme. De omvang van de zoutwinning zal altijd dusdanig worden gecontroleerd dat deze binnen de voor zoutwinning beschikbare gebruiksruijme blijft.

Situatie 4: een combinatie van deze drie in een 'worst-case'

Elk van de drie bovenstaande situaties leidt tot een reductie van de zoutwinning, waarbij de omvang en het moment van de reductie afhankelijk zijn van de omvang van de geconstateerde afwijking. Mocht zich een situatie voordoen, waarbij sprake is van én een grotere versnelling van de zeespiegelstijging én een tegenvallende sedimentatie én een grotere Pleistocene bodemdaling dan voorzien, dan zal dit ook leiden tot een reductie van de zoutwinning. Bepalend voor de omvang en het moment van de reductie is dan het zwaarstwegende factor van de drie genoemde factoren. Met de reductie van de zoutwinning en daarmee van de Pleistocene bodemdaling vanwege het zwaarstwegende aspect worden ook de andere aspecten bediend.

De metingen die van toepassing zijn op situatie 4 zijn hierboven voor de drie situaties reeds beschreven.

5 OPTIMALISATIE METINGEN, MONITORING EN ANALYSES

5.1 Adviezen Auditcommissie 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 onafhankelijke Auditcommissie speelt hierin een belangrijk rol, omdat de adviezen concrete aanwijzingen bevatten voor de verschillende onderdelen van het meetplan en het monitoringsprogramma en voor integratie van de resultaten.

In Tabel 5.1 zijn de opmerkingen van de onafhankelijke Auditcommissie¹² aangaande het monitoringsprogramma verzameld, zoals die naar voren zijn gekomen tijdens de uitvoering van de metingen en analyses voor de T0-situatie, in combinatie met de adviezen van de Auditcommissie.

Tabel 5.1 Overzichtstabel met opmerkingen en aandachtspunten van de Auditcommissie voor zoutwinning onder de Waddenzee.

Onderdeel	Opmerking (a, b, c en d verwijzen naar de adviezen in voetnoot 11)	Waar te vinden in de rapportage
Algemeen	Bij elk meetonderdeel en het 'integratiehoofdstuk' expliciet de (tussen)conclusies per meet-onderdeel en conclusies over de samenhang tussen de meetonderdelen vermelden (d).	In elk van de hoofdstukken 6 tot en met 14 en in hoofdstuk 16
	Opnemen van een publiekriendelijke uitleg (a, b)	Samenvatting in de voorliggende rapportage
	Aandacht voor aardbevingen (a, b)	Paragraaf 2.3
	Uitleg van de ratio achter de meetstrategie, werkhypothesen en beoogde verwerking van meetresultaten (a, b)	Op verschillende plekken in de rapportage, o.a. paragraaf 2.5, paragraaf 3.5 en de hoofdstukken 6 tot en met 14
	Andere meetprogramma's en informatiebronnen over de Waddenzee en belang voor bepalen (onverwachte) negatieve veranderingen (a)	Hoofdstuk 13
	Overzicht jaarplanning (a)	Paragraaf 3.3 en Paragraaf 3.4
	Opnemen resultaten van de uitwerking van de trendanalyses (a)	In hoofdstukken 7 tot en met 14
	Voorbeelduitwerkingen onvoorziene hypothetische uitkomsten bodemdaling, versnelde zeespiegelstijging, of aantallen bodemdieren (a, b)	Paragraaf 4.4, Paragraaf 5.3 en iedere laatste paragraaf van de hoofdstukken 6 tot en met 14
	Doorloop voor enkele meetjaren stap 2 uit de beslisboom uit paragraaf 4.2 (c)	Paragraaf 5.3 en iedere laatste paragraaf van de hoofdstukken 6 tot en met 14

¹² Auditcommissie Zoutwinning Waddenzee (projectnummer 3203, Commissie voor de milieueffectrapportage):

- a. Advies opzet nulmeting monitoring zoutwinning Waddenzee havenmond. 25 april 2017
- b. Advies Auditcommissie over de van de nulmeting. 19 december 2019;
- c. Advies Auditcommissie over de herziene resultaten van de nulmeting. 27 mei 2020;
- d. Advies Auditcommissie over de nulmeting en het meetjaar 2019. 31 augustus 2020

Onderdeel	Opmerking (a, b, c en d verwijzen naar de adviezen in voetnoot 11)	Waar te vinden in de rapportage
	Werk de deelstappen bij het doorlopen van de beslisboom concreet uit, zodat duidelijk wordt of op onderdelen nog andere of extra metingen nodig zijn (c)	Paragraaf 5.3 en iedere laatste paragraaf van de hoofdstukken 6 tot en met 14
	Verduidelijk de rol en omgang met de adviezen van de Auditcommissie (c)	Deze paragraaf en paragraaf 4.2
Pleistocene bodemdaling	Opnemen metingen Pleistocene bodemdaling en toetsing aan de gebruiksruiimte ()	Hoofdstuk 6
Morfologische monitoring	Hoogte/diepteraaien: Onderbouw de stelling dat dit onderdeel voldoet om veranderingen van de hoogte van het maaiveld in de gehele dalingskom, als gevolg van diepe daling en sedimentatie te bepalen (b)	Hoofdstuk 8 en specifiek Paragraaf 8.4
	2020: Bereken per raai het 'natte oppervlak' tussen het NAP-niveau en het gemeten profiel, deel dit oppervlak vervolgens over de lengte van het profiel om een gemiddelde niveau te berekenen en bepaal voor opeenvolgende jaren een stijging of daling van het profiel (d)	Hoofdstuk 8,
	2020: Pas de voorgestelde locatie voor de twee extra raaien aan.	Hoofdstuk 8
	Spijkermetingen: Maak het doel en de samenhang met de raai- en LiDAR-metingen duidelijk (b)	Paragraaf 10.4
	2020: Spijkermetingen: neem in het bijlage rapport wanneer de metingen zijn uitgevoerd t.o.v. de 'doodtij-springtij cyclus' en hoe de weersomstandigheden in de periode ervoor waren	Bijlage rapport sedimentatiemetingen
	Vaklodgingen: Maak het doel en de samenhang met de raai- en LiDAR-metingen duidelijk (b)	Paragraaf 7.4
	Vaklodgingen: Werk analyse van de langjarige trends uit en licht de rol bij de beslissingen over HadK toe	Paragraaf 7.3 en Paragraaf 7.4
	LiDAR-metingen: vermeld redenen waarom het niet gelukt is om de meetgegevens te gebruiken. Laat oplossingen zien, of biedt alternatief (b)	Hoofdstuk 9 en achtergrondrapportage "Monitoring t0-situatie bodemligging Waddenzee; Zoutwinning havenmond"
	Evaluatie van de meetaanpak van lidar-metingen: geef goede onderbouwing blijkt dat de lidar-resultaten geschikt te maken zijn of niet	Paragraaf 9.4
	Sedimentsamenstelling: Maak het doel en de samenhang met HadK duidelijk (b)	Paragraaf 11.4 en paragraaf 11.5
	2020: Sedimentsamenstelling: geef deze in een cumulatieve grafiek weer, zodat verschillen in één oogopslag zichtbaar zijn	Bijlage rapport sedimentsamenstelling
	Maak duidelijk welke ontwikkelingen als 'onverwachte ontwikkelingen' moeten worden aangemerkt (c)	Paragraaf 8.4

Onderdeel	Opmerking (a, b, c en d verwijzen naar de adviezen in voetnoot 11)	Waar te vinden in de rapportage
	Werk uit welke factoren de jaar-op-jaar geconstateerde verschillen de in aangroei-snelheid van wadplaten in dit deel van de Waddenzee kunnen verklaren	Paragraaf 7.3
	Presenteer een nadere analyse van mogelijke tegenstrijdigheden tussen de vaklodingen 2010-2016 en raaimetingen 2016, 2017 en 2018	Paragraaf 7.4
	Presenteer een beschrijving van de relevante verschillen bij de vergelijking LiDAR-raaimetingen	Achtergrondrapportage "Monitoring t0-situatie bodemligging Waddenzee; Zoutwinning havenmond"
Ecologische monitoring	Werk een alternatieve aanpak uit voor ruiende bergeenden (b,c)	Rapportage over 2019
	Werk een alternatieve aanpak uit voor benthos en HVP-tellingen (b), bijvoorbeeld door een draagkrachtbenadering te hanteren (b, c)	Paragraaf 5.3
	Gebruik Trendspotter i.p.v. ARIMA voor de statistische analyses (b, c)	Achtergrondrapportage "Monitoring ecologie studiegebied zoutwinning Waddenzee; Tnul-situatie 2020"
	Werk de referentiegebieden uit, om de veranderingen in schelpdieren en vogelaantallen in perspectief te plaatsen (b, c)	Hoofdstuk 12
	Beschouw in aanvulling op de statistische analyse ook de ecologie en ecologische ontwikkelingen: Hanteer een 'ecologische bril' (b, c)	Hoofdstuk 12
	Door het gebruik van alleen de HVP-tellingen van de maand september wordt de belangrijkste ondersoort van de Kanoetstrandsloper gemist	Paragraaf 12.2.2 en paragraaf 12.3
	Bij de vogelaantallen wordt gewerkt met de aantallen per telgebied, waarbij de gegevens van losse HVP's worden gecombineerd.	Paragraaf 012
	Beschouw aanvullende benthossoorten, waaronder de wadpier (b)	Paragraaf 2.5
	Beschouw aanvullende vogelsoorten, op basis monitoring Gaswinning Moddergat, Lauwers en Vierhuizen (b, c)	Paragraaf 012

In dit hoofdstuk zijn na de paragraaf met de bemerkingen van de Groene wetenschap een aantal terugkerende aandachtspunten van de Auditcommissie aangaande de monitoring opgenomen.

5.2 Bemerkingen Groene wetenschap

Tijdens de bespreking van de conceptresultaten van de monitoring over 2020 is opgemerkt dat:

- Het lastig is om de relatie tussen de vogelaantallen op de HVP en de benutting van de Ballastplaat te duiden. Daarvoor is meer inzicht nodig in de daadwerkelijke benutting van de Ballastplaat door deze vogelsoorten. Dat kan door het uitvoeren van laagwatertellingen, zoals al is opgemerkt tijdens eerdere besprekingen met de Groene wetenschap en door het volgen van de vliegroutes van de verschillende vogelsoorten van en naar HVP's en foerageergebieden (en door een combinatie van beide).
- Meer inzicht in het aanwezige voedsel voor de vogelsoorten die geen schelpdieren eten is nodig om de aantallen op de HVP's te kunnen duiden.
- Of de vogels daadwerkelijk gebruik kunnen maken van de Ballastplaat als foerageergebied is niet alleen afhankelijk van de aanwezigheid van voldoende voedsel, maar ook van het daadwerkelijke droogvallen van de plaat.
- De drie soorten schelpdieren geen representatief beeld geven van het dieet van de zes vogelsoorten die nu in de monitoring worden beschouwd. Drie van de vogelsoorten (Rosse grutto, Wulp en Tureluur) eten voornamelijk wormen. De Bonte strandlopen heeft een zeer divers dieet. Het verdient daarom overweging om de monitoring van het benthos zo uit te voeren dat een completer inzicht in het voedselaanbod voor alle vogelsoorten duidelijk wordt.
- De aanwezigheid van de drie schelpdiersoorten (in termen van dichtheden en biomassa) laag is in het invloedgebied, in vergelijking met andere droogvallende platen in de Westelijke Waddenzee. Daarmee ontstaat de vraag welke rol de Ballastplaat speelt voor de steltlopers die overtijen rondom het gebied. Hierop zal nader worden ingegaan in hoofdstuk 13 Hoogwatervluchtplaat (HVP) tellingen.
- Voor het bepalen van de droogvalpercentages in de Waddenzee verschillende methoden en tools ontwikkeld zijn, die rekening houden met de ruimtelijke variatie in de waterstanden. De Intertides module op de Walterwebsite is een van deze methoden (<https://www.walterwaddenmonitor.org/intertides/>). Het toepassen van deze methodes geeft een beter beeld van de ruimtelijke variatie in het droogvallen dan het gebruik van de gegevens van één waterstandsstation.
- Aanvullende informatie over de geomorfologie, bijvoorbeeld op basis van luchtfoto's en daarvan afgeleide kaarten kunnen helpen bij het begrip van het beschikbare voedsel op de Ballastplaat. Deze informatie helpt ook om te begrijpen of hoogteveranderingen in raaimetingen, ruimtelijke patronen in LiDAR-hoogtemetingen en de sedimentatie en erosie in de spijkermetingen gekoppeld zijn aan kleinschalige (meters tot tientallen meters) structuren en patronen.

Deze bemerkingen zijn deels al verwerkt in het hoofdstuk "Ecologie". Tevens zijn de opmerkingen, in samenhang met opmerkingen van de Auditcommissie aanleiding om twee onderzoeken op te starten:

1. Onderzoek om vast te stellen of en op welke wijze de monitoring van het benthos kan worden uitgebreid, om daarmee ook de voedselbeschikbaarheid voor de "Niet-schelpdiereters" wordt gedekt;
2. Onderzoek om vast te stellen welke vogelsoorten in welke aantallen de Ballastplaat gebruiken als foerageergebied en welke vliegroutes hiervoor worden benut, zodat ook het verband met de HVP's kan worden gelegd.

5.3 Integratie van monitoringdata en ecologische kennis via de effectketen

Het Waddensysteem omvat complexe processen en interacties, zowel op morfologisch als op ecologisch vlak. En de morfologie en ecologie van de Wadden zijn op verschillende manieren met elkaar verweven. Het doel van de monitoring is geenszins om dit complexe systeem 'te snappen', maar wel om relatief grote of gestage veranderingen te registreren en om te duiden. Waar twijfel is over de aanwezigheid van trends of van verschillen tussen deelgebieden worden statistische analyses ingezet. De onderzoekers die de monitoring uitvoeren hebben een brede kennis van de 1) de morfologische ontwikkelingen in het gebied, 2) de broedval, groei en sterfte van bodemdieren en 3) de ontwikkelingen van de vogelpopulaties. De grote ontwikkelingen op dit gebied zijn bij hen bekend en worden in het beoordelen van de monitoringresultaten worden meegenomen. Dat is wat wij verstaan onder de "ecologische bril". Om hier invulling aan te geven hebben we de onderzoekers tijdens de Groene Wetenschap gevraagd om op de monitoringresultaten te reflecteren.

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 2-5). 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, waaronder de drie schelpdiersoorten die worden geanalyseerd. Voor de vogels 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. Omdat de vogels een voorkeur hebben voor bepaalde soorten bodemdieren, hebben de vogels ook 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 in de omgeving van de HVP's. 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. Het aanwezige bodemleven zal worden beschouwd door te kijken naar de aanwezigheid van de drie schelpdiersoorten. Hierbij zal een verband worden gelegd met de voedselvoorkeuren (soorten en omvang van de prooien) van de verschillende vogelsoorten. Dit is een invulling van de 'ecologische bril', in aanvulling op de statistische analyse wordt de kennis van de ecologie en van de ecologische ontwikkelingen gehanteerd.

De hierboven beschreven integratie is een vergelijkbaar met de draagkrachtbenadering, zoals die wordt toegepast bij de bodemdaling door de gaswinning MLV en waarover jaarlijks wordt gerapporteerd (zie bijvoorbeeld Ens et al., 2019). De ontwikkelingen in de morfologie en bodemdierensamenstellen worden samen met de ecologische kennis van de betreffende vogelsoorten geïntegreerd tot een maat voor voedselbeschikbaarheid.

5.4 Signaleringsschema

Voor het beschouwen van de monitoringsuitkomsten is in de rapportage over 2019 een signaleringsschema opgenomen, waarin is aangegeven op welke wijze de mogelijke uitkomsten van de verschillende monitoringsonderdelen in onderlinge samenhang worden beschouwd. De verschillende onderdelen van de monitoring kunnen alleen, of in samenhang aanwijzingen geven voor het optreden van gevolgen van de bodemdaling en daarmee aanleiding vormen voor een 'Hand aan de Kraan'.

In het signaleringsschema zijn vier hypothetische uitkomsten van de monitoring beschouwd:

- 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 plaatste 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.

De hypothetische uitkomsten bij a, en c hebben betrekking op de draagkracht van de Ballastplaat voor foeragerende vogels. De uitkomst bij a. heeft ook betrekking op de bereikbaarheid van de Ballastplaat voor foeragerende vogels, waarbij ook de autonome variaties in de waterstanden een belangrijke rol spelen.

In de tabel 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, zoals aangegeven in Tabel 5.2. Hierbij zal zowel worden gekeken naar natuurlijke verklaringen, als naar de invloed van menselijke ingrepen. Voor het vinden van andere verklaringen zijn de bronnen voor informatie en gegevens bekend (zie paragraaf 13.1) en

deze zullen worden opgevraagd als uit in signaleringsmetingen aanwijzingen worden gevonden die daar aanleiding toe geven.

Tabel 5.2 Signaleringsschema monitoringsuitkomsten

Combinatie	a.	b.	c.	d.	Monitoringuitkomst en eerste check	Nadere analysestappen en discussie
					Draagkracht	
1.	a.				Achterblijvende sedimentatie in het gebied met Pleistocene bodemaling: 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 bodemaling: Analyse van mate van verandering en potentiële ecologische gevolgen.	
3.	a.	b.			Achterblijvende sedimentatie en verandering in sedimentsamenstelling in het gebied met Pleistocene bodemaling: Check op ruimtelijk verbreiding en analyse van afname areaal wadplaat en verandering droogvalpercentages plus analyse van mate van verandering sedimentsamenstelling en potentiële ecologische gevolgen	
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, zoals afwijkend spuiregime zoetwater, extreme weersomstandigheden (zeer droog en warm, of zeer koud, storm) of de lokale impact van bodemberoerende visserij of andere menselijke activiteiten en vaststellen ruimtelijke correlatie 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.	
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.	
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, zoals afwijkend spuiregime zoetwater, menselijke activiteiten en vaststellen ruimtelijke correlatie met bodemdaling zoutwinning.
8.		b.		d.	Verandering sedimentsamenstelling en afname vogelaantallen in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van veranderde areaal wadplaat, voedselbeschikbaarheid en foerageermogelijkheden	
9.	a.		c.		Achterblijvende sedimentatie en afname schelpdieren in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op	

Combinatie	a.	b.	c.	d.	Monitoringuitkomst en eerste check	Nadere analysestappen en discussie
	Draagkracht					
10.					ruimtelijk verbreiding, analyse van afname areaal wadplaat, verandering droogvalpercentages en foerageermogelijkheden.	Vaststellen mogelijke oorzaken anders dan morfologische veranderingen, zoals afwijkend spuiregime zoetwater, menselijke activiteiten en vaststellen ruimtelijke correlatie met bodemdaling zoutwinning.
		b.	c.		Verandering sedimentsamenstelling en afname schelpdieren in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van veranderde areaal wadplaat en foerageermogelijkheden.	
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.
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.	
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.

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 ander 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 ander 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.

In het bovenstaande signaleringsschema zijn de bergeendentellingen niet betrokken. De bergeenden maken op een heel andere manier gebruik van een gebied ten oosten van de locatie waar zoutwinning en bodemdaling zal plaatsvinden, dan de andere wadvogels. In hoofdstuk 13 wordt nader ingegaan op de ruiende bergeenden. Vanwege het afwijkende gebruik van de bergeenden van het gebied wordt het niet zinvol geacht de aantallen in het signaleringsschema te betrekken.

6 METINGEN PLEISTOCENE BODEMDALING

In het monitoringrapport “Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee; Jaarrapportage 2020” (Antea, 2021) zijn de resultaten van de metingen aan de Pleistocene bodemdaling opgenomen.

6.1 Introductie van de meetmethodes¹³

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. In aanvulling op de metingen in de Waddenzee is in samenwerking met belanghebbenden een meetnet ingericht in Harlingen en dit wordt in paragraaf 6.4 toegelicht.

De metingen aan de Pleistocene bodemdaling onder Waddenzee worden uitgevoerd met twee permanente meetopstellingen (meetpalen), die continue de hoogte meten (locaties in Figuur 6-1). Deze meetpalen zijn verankerd in de Pleistocene ondergrond, zodat hoogteveranderingen van 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 6-1). Op deze meetpalen wordt 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.

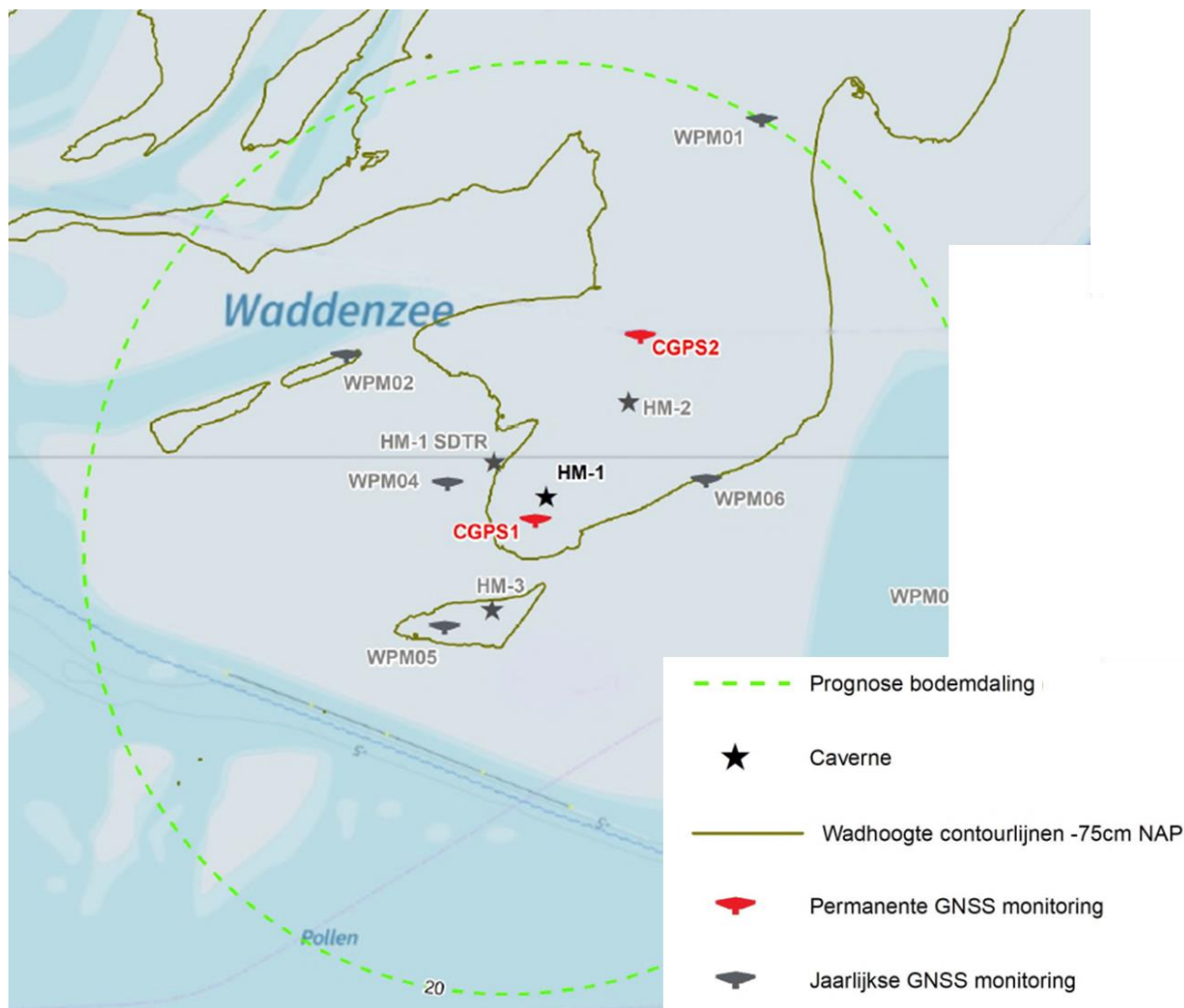
Door de plaatsing van deze meetpalen wordt het ruimtelijke beeld van de Pleistocene bodemdaling compleet gemaakt en kan worden gecontroleerd of deze Pleistocene bodemdaling inderdaad plaatsvindt volgens de voorspellingen. De jarenlange ervaring van bodemdalingsmetingen bij zoutwinning onder land heeft aangetoond dat de bodemdalingsschotel nauwkeurig met een relatief eenvoudige wiskundige vergelijking 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.

De omvang van de bodemdaling wordt berekend op basis van het geproduceerde zoutvolume, in combinatie met de waterbalans. De waterbalans geeft zicht op de omvang van de caverne. De holruimte metingen

¹³ 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.

worden uitgevoerd om het volume van de caverne te controleren en dienen daarnaast mijnbouwkundige doeleinden.



Figuur 6-1 Kaart met de locaties van de monitoringslocaties voor de Pleistocene bodemdaling. De groene contour geeft de uiterste (2 cm) contour van de Pleistocene bodemdaling aan het einde van winning van het totale vergunde zoutvolume weer.

6.2 Gegevens

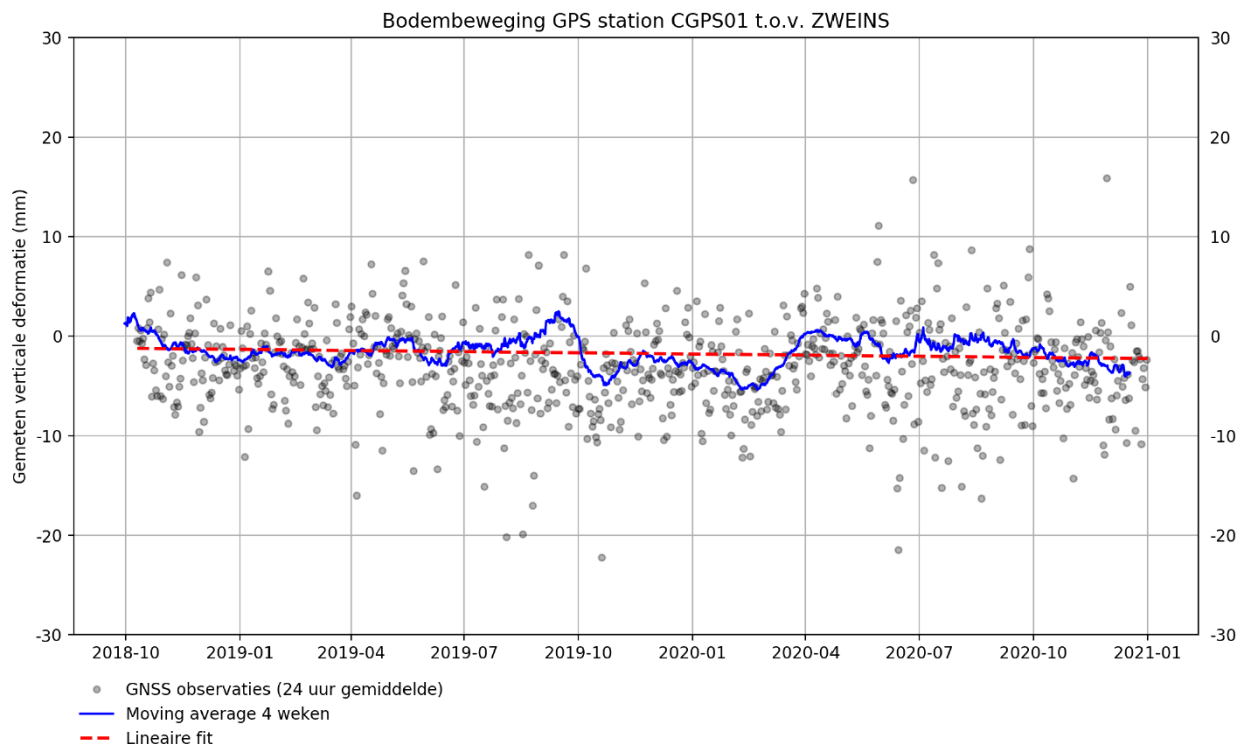
Monitoringslocaties Pleistocene bodemdaling

De gegevens van de metingen aan de Pleistocene bodemdaling zijn opgenomen in het rapport "Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee; Jaarrapportage 2019" (Antea, 2020). De grafieken met de meetresultaten van de permanente meetstations zijn opgenomen in Figuur 6-2 en Figuur 6-3. 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 bodemdaling metingen 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 weergeven 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

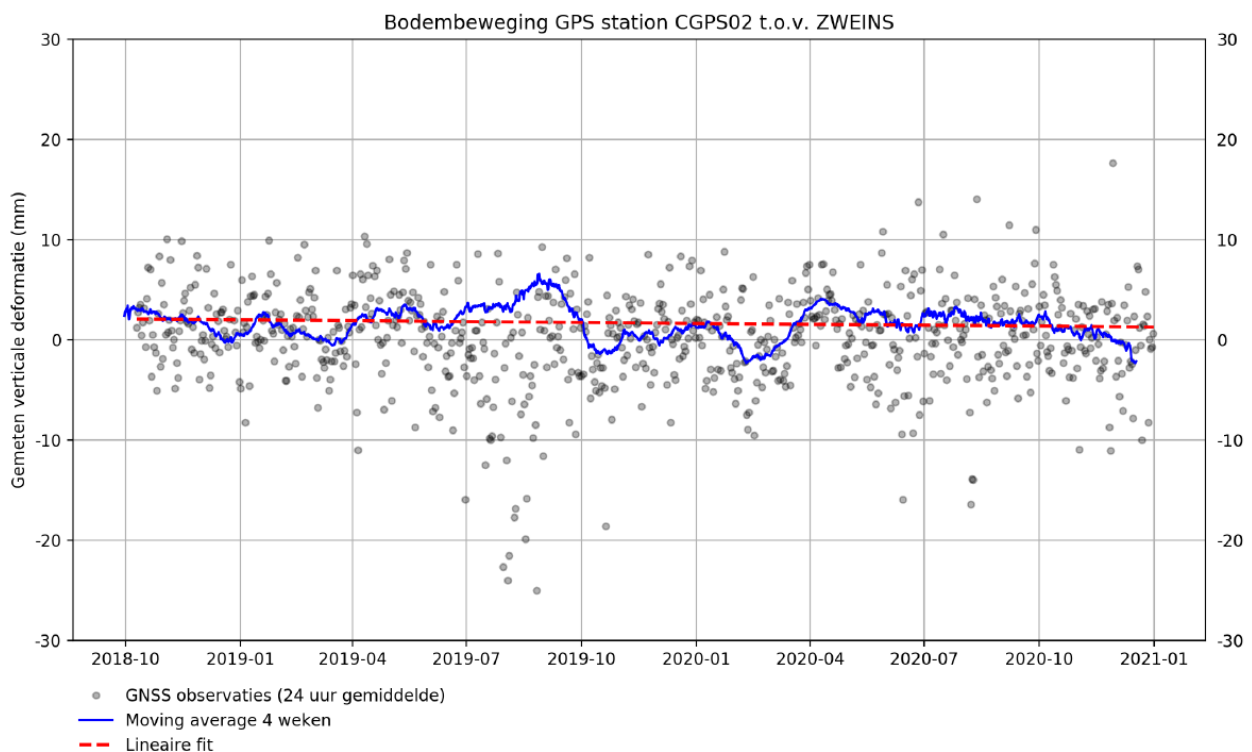
grafieken de moving average (in de grafieken is gekozen voor een 4 weekse moving average) weergegeven, als ook de lineaire fit over de gehele periode.

De algehele trend (lineaire fit) van de hoogte van station CGPS01 en CGPS02 is nagenoeg stabiel. De lineaire fit van CGPS01 laat een kleine daling zien van -0,5 mm per jaar en voor CGPS02 een kleine daling van -0,4 mm. Deze analyses worden herhaald en dan wordt ook opnieuw de beginhoogte van de GNSS metingen bepaald zodat deze bij aanvang van de Pleistocene bodemdaling op nul begint.

De gegevens aan de peilmerken die jaarlijks worden opgenomen geven geen aanleiding om aan de nauwkeurigheid van de continue metingen te twijfelen.



Figuur 6-2 Grafiek met de resultaten van de continue GNSS-monitoring van station CGPS01(uit Antea, 2021).



Figuur 6-3 Grafiek met de resultaten van de continue GNSS-monitoring van station CGPS01 (uit Antea, 2021).

Bodemdalingsvolume

Het berekende bodemdalingsvolume door zoutwinning in 2020 bedraagt 8766 m³. Het volume is bepaald aan de hand van de productie van het zout en een meting van de omvang van de caverne. Wanneer tijdens het inloggen van de caverne de druk in de caverne op peil wordt gehouden, vertaalt het cavernevolumen zich niet in bodemdaling. Dit was in 2020 grotendeels het geval. De veroorzaakte bodemdaling in 2020 is dan ook zeer beperkt.

6.3 Analyse

Monitoringslocaties Pleistocene bodemdaling

De omvang van de Pleistocene bodemdaling onder de Waddenzee is in 2020 nog dermate gering dat deze niet meetbaar is in de meetopstelling in de Waddenzee

Belasting gebruiksruimte

Input voor de toetsing is het meegroeivermogen van 5 mm/jaar, het vigerende scenario voor zeespiegelstijging en het bodemdalingsdalingsvolume en de -schotel. Bij de toetsing van het bodemdalingsvolume 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 bodemdalingsvolume per jaar wordt gemiddeld over een periode van 6 jaar.
- C. Het bodemdalingsvolume 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 bodemdalingsvolume van 624.000 m³/jaar / oppervlakte kombergingsgebied). De uitkomst van deze berekening is het gevraagde antwoord.

Naarmate de snelheid van zeespiegelstijging toeneemt in gehanteerde scenario, 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 stuur Frisia op het bodemdalingsvolume, zodat in de praktijk nooit een overschrijding van de gebruiksruimte zal plaatsvinden.

De bovenstaande stappen A, B, c en D zijn doorlopen voor het volume van de Pleistocene bodemdaling in 2020 van 8766 m³.

A. Berekening van de belasting per kombergingsgebied: vanwege de positie van de caverne aan de noordoostzijde belast het volledige bodemdalingsvolume alleen het kombergingsgebied Vlie.

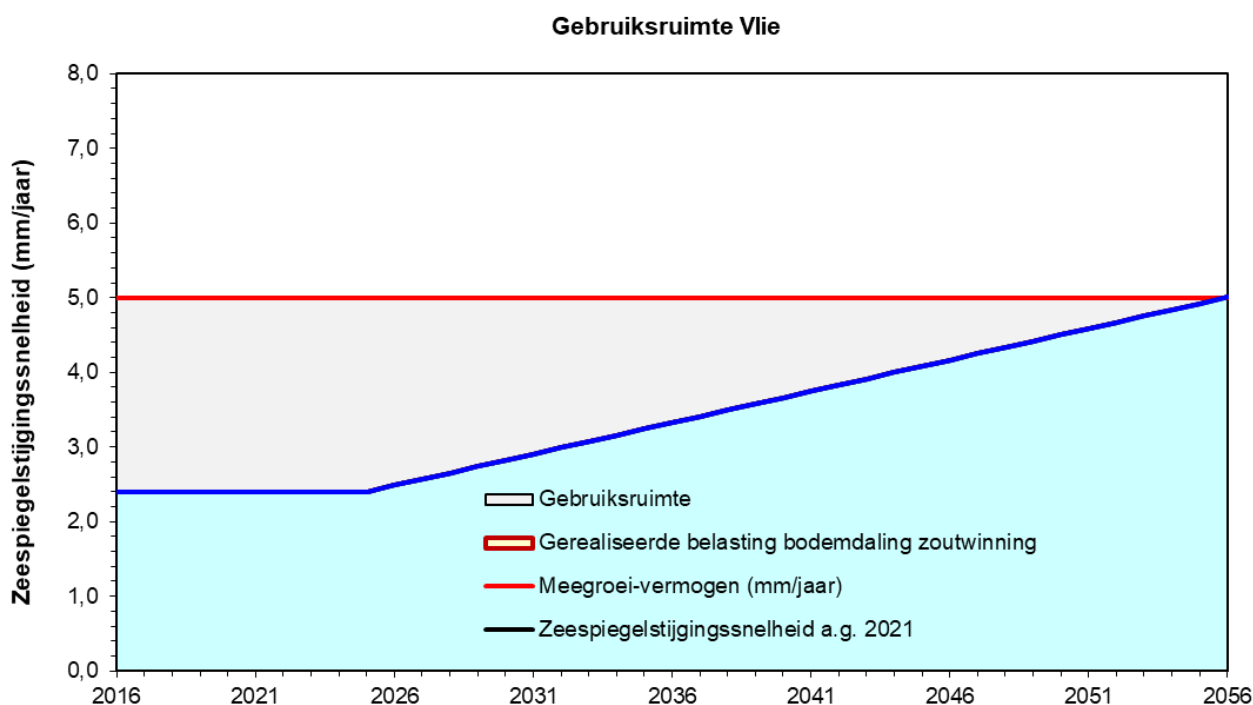
B. Het gemiddelde bodemdalingsvolume over een periode van 6 jaar bedraagt 1.461 m³. (=8766 m³/ 6 jaar).

C. De gemiddelde bodemdalingssnelheid over de oppervlakte van het kombergingsgebied van het Vlie is 0.002 mm/jaar (= 1.461 m³/ 632 km²).

D. De gemiddelde bodemdalingssnelheid van 0,002 mm/jaar is beduidend kleiner dan de beschikbare gebruiksruimte voor Frisia van 0,99 mm/jaar (=het voor Frisia beschikbare bodemdalingsvolume van 624.000 m³/jaar / oppervlakte kombergingsgebied).

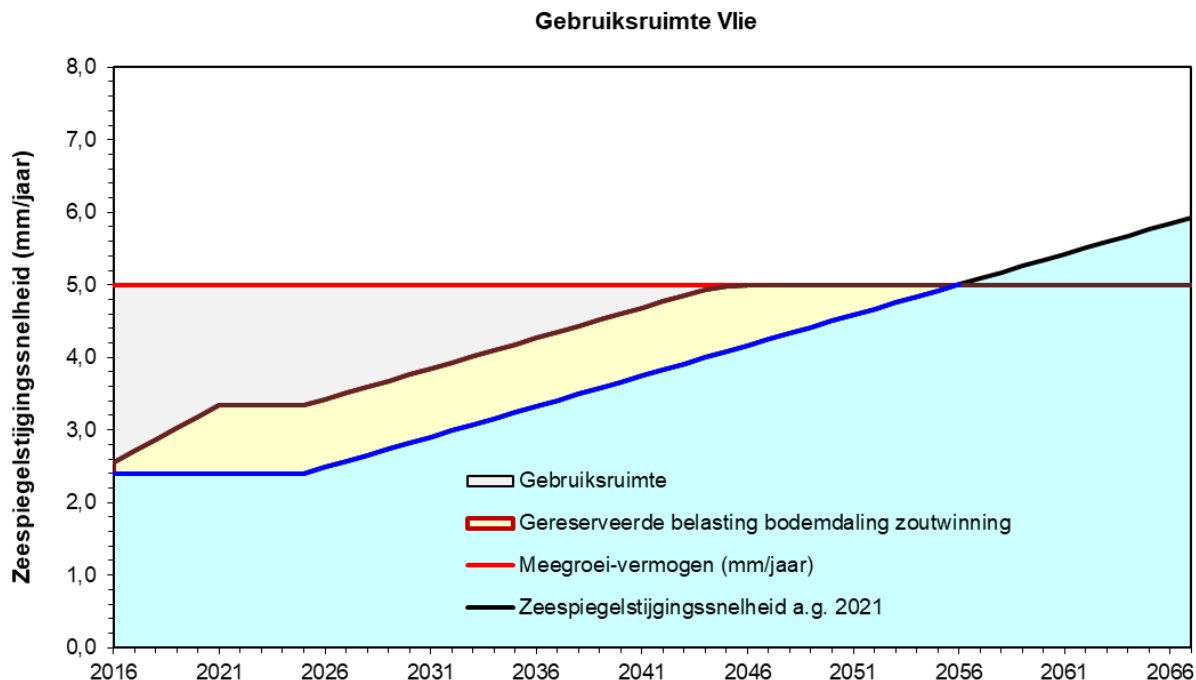
De zoutwinning voldoet aan de voorwaarde dat deze binnen de beschikbare gebruiksruimte blijft.

Figuur 6-4 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 6-5



Figuur 6-4 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 een

bandbreedte van 1,5 mm/jaar. 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 gebruikruimte door de zoutwinning niet zichtbaar.



Figuur 6-5 Grafiek met de in het instemmingsbesluit gereserveerde belasting van de gebruikruimte van het Vlie door de Pleistocene bodemdaling als gevolg van zoutwinning. Zeespiegelstijgingsscenario conform adviesgroep met bij de zeespiegelstijging tot 2026 een bandbreedte van 1,5 mm/jaar. De snelheid van stijging na 2026 is een lineaire toename tot 4,5 mm/jaar in 2050.

6.4 Aanvullend meetnet Harlingen

Het aanvullende meetnet is tot stand gekomen door samenwerking van belanghebbenden binnen de Pilot Harlingen. Het meetnet in de stad Harlingen bestaat uit tiltmeters, versnellingsmeters en peilbuizen en is aanvullend op een netwerk van waterpassingen. Het aanvullend meetnet zal gedurende de gehele concessieperiode in gebruik blijven om de bodembeweging in de binnenstad van Harlingen te meten en om vast te stellen of de bodemdaling en/of scheefstelling wordt veroorzaakt door zoutwinning dan wel door andere processen.

Het aanvullend meetnet in de stad Harlingen is aangelegd en wordt in het tweede kwartaal van 2021 operationeel. Het meetnet is ingericht om verschillen in tilt van objecten (gebouwen) en de Pleistocene ondergrond te kunnen vergelijken. Zodoende kan een effect van mijnbouw geverifieerd of gefalsificeerd worden. De peilbuizen, voorzien van continu metende vlotter, tonen de fluctuaties in de grondwaterstand, hetgeen als de meest voorkomende oorzaak van ondiepe bodembeweging wordt gezien. De versnellingsmeters helpen om bodemtrillingen te signaleren.

De meetplaatsen in Harlingen bestaan uit tilt- en versnellingsmeters op vijf locaties. Op twee locaties zijn de tiltmeters op het Pleistoceen geplaatst. De tiltmetingen worden aangevuld met versnellingsmeters op het maaiveldniveau. Op drie van de vijf locaties wordt het grondwaterpeil gemeten. Twee keer het ondiepe grondwaterpeil en één keer het diepe grondwaterpeil (Figuur 6-6).

De vijf meetlocaties liggen op een lijn die doorgetrokken is vanuit een dwarsdoorsnede van de verwachte bodemdalingsschotel. Als centraal punt is daarbij gekozen voor het voorspelde diepste punt en vanuit dat punt is een lijn doorgetrokken richting Harlingen (van noordwest naar zuidoost). Deze lijn is in Figuur 6-7 weergegeven als AA'.



Figuur 6-6 Kaart van Harlingen met de meetlijn (geel) met meetlocaties met nummer (rood).

Locatie 1: Tiltmeter in het pleistoceen, versnellingsmeter op maaiveldniveau

Locatie 2: In elk van de vier hoeken van de kelder van het pand een tiltmeter. In de tuin een peilbuis met automatische meetcapaciteit die het freatische grondwaterpeil meet.

Locatie 3: In elk van de vier hoeken van de kelder van het pand een tiltmeter. In de tuin een peilbuis met automatische meetcapaciteit die het diepe grondwaterpeil meet.

Locatie 4: Tiltmeter en versnellingsmeter op maaiveldniveau. In de tuin een peilbuis met automatische meetcapaciteit die het freatische grondwaterpeil meet.

Locatie 5: Tiltmeter op het pleistoceen, versnellingsmeter op maaiveldniveau



Figuur 6-7 Zwarte lijn: dwarsdoorsnede door de voorspelde bodemdalingsschotel die is doorgetrokken tot in Harlingen. De rode en blauwe lijnen met zwarte stippen op het vasteland geven het netwerk van de waterpassingen weer.

Het zal een aantal jaren duren voordat bodemdaling als gevolg van zoutwinning het vasteland bereikt.

6.5 Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen

De metingen aan de Pleistocene bodemdaling (permanente en jaarlijkse metingen) worden vergeleken met de bodemhoogteverandering die op of in de nabijheid van die locaties worden gemeten met de raaimetingen en de spijkermetingen. Indien deze vergelijkingen daar aanleiding toe geven, zal het ruimtelijke model van

de Pleistocene bodemdaling, dat is geverifieerd aan de hand van de metingen, worden vergeleken met de gemeten bodemhoogteveranderingen uit de raaimetingen van de hoogte/diepte.

6.6 Tussenconclusies metingen Pleistocene bodemdaling

De veldmetingen van de Pleistocene bodemdaling hebben de gewenste nauwkeurigheid. De veldmetingen laten zien dat omvang van de bodemdaling overeenkomt met de omvang van de geprognoseerde bodemdaling.

De omvang van de bodemdaling past binnen de beschikbare gebruiksruimte.

De beschouwing van de hypothetische situatie waarbij meer bodemdaling heeft plaatsgevonden dan past binnen de gebruiksruimte is opgenomen in paragraaf 4.4 “Voorbeelduitwerkingen Hand aan de kraan”.

7 VAKLODINGEN

In het monitoringrapport “Monitoring t0-situatie bodemligging Waddenzee; Zoutwinning havenmond” (Bergsma, J. & J. Cleveringa, 2020) zijn de resultaten van de vaklodingen opgenomen.

7.1 Introductie van de meetmethode

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, zie hiervoor hoofdstuk 4. 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.

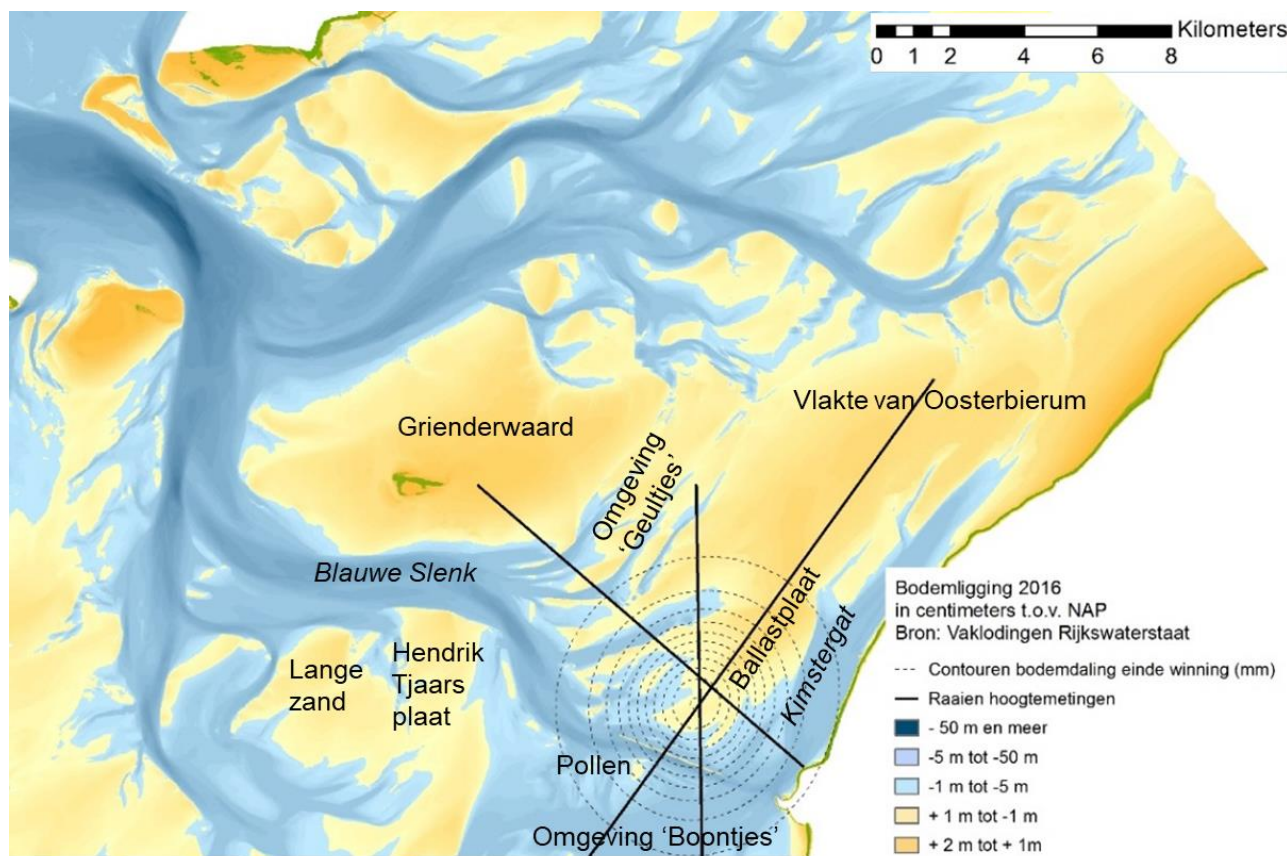
Het doel van deze metingen is om vast te stellen welke veranderingen in de hoogte/diepte optreden in het gehele kombergingsgebied. Doordat de meetraaien doorlopen tot buiten het gebied met Pleistocene bodemdaling worden referentiegebieden ingemeten.

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).

Rijkswaterstaat is de opdrachtgever voor het uitvoeren van deze meting. Frisia vraagt de gegevens op bij Rijkswaterstaat.

7.2 Gegevens

Iedere zes jaar worden door Rijkswaterstaat vaklodingen uitgevoerd van het kombergingsgebied van het Vlie, waarbij de meest recente opname die van 2016 is (Figuur 7-1).



Figuur 7-1 Overzichtskartaal van de vakloding 2016 van het kombergingsgebied van het Vlie. Ter indicatie zijn de contouren van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning aan het einde van de winning aangegeven, evenals de ligging van de drie hoogte/diepteraaien.

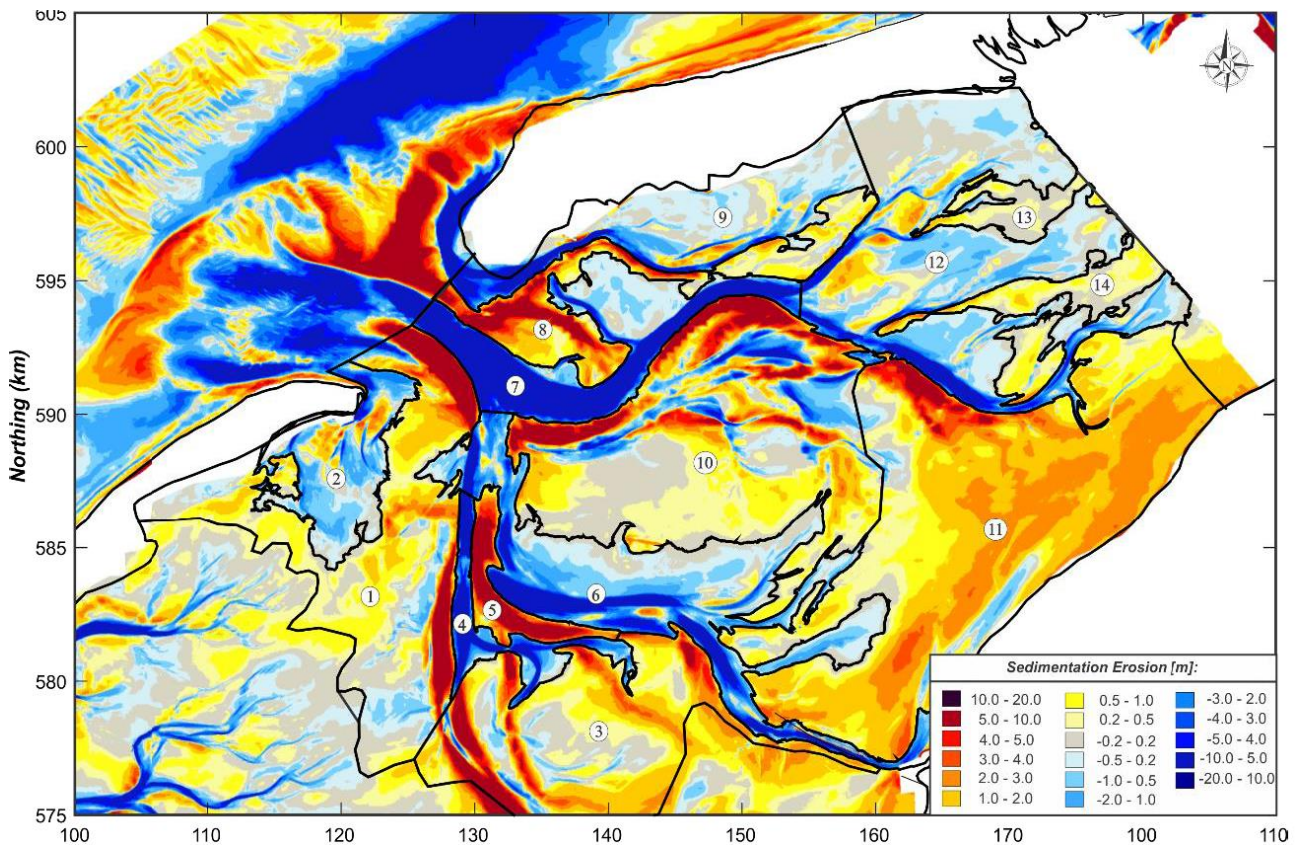
7.3 Analyse

De vaklodingen dienen om de grootschalige en langjarige ontwikkelingen in beeld te brengen. De vaklodingen komen iedere zes jaar beschikbaar en de meest recent vakloding van het kombergingsgebied Vlie is in 2016 uitgevoerd.

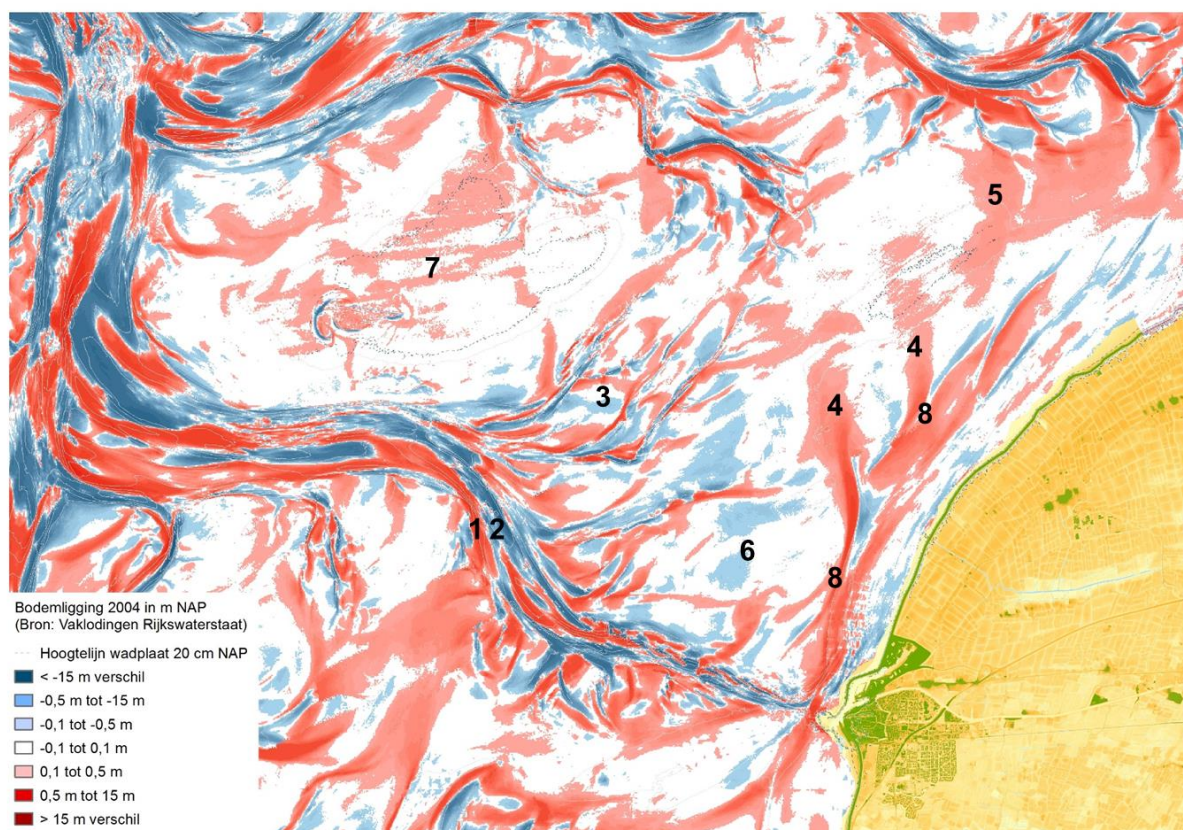
In het studiegebied voor de zoutwinning treedt een aantal structurele langjarige veranderingen op, die zichtbaar zijn in de opeenvolgende vaklodingen. Dit is geïllustreerd met de verschilkaarten tussen vakloding 1933-2015 van Elias (2019) in Figuur 7-2 en die van de vakloding van 2010 en die van 2016 in Figuur 7-3. In de verschilkaart over de lange periode in Figuur 7-2 is polygoon 11 de Vlakte 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 7-2) heeft sedimentatie plaatsgevonden.

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 7-2 en bij 1 en 2 in Figuur 7-3. 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. Ook de verplaatsing van kleinere geultjes levert dit soort rood-blauwe paren op, zoals zichtbaar bij 3 in Figuur 7-3. Deze geultjes tussen de Ballastplaat en de Grienderwaard zijn dynamische onderdelen van het studiegebied, de geultjes verplaatsen en verdiepen en verondiepen. Op de Vlakte van Oosterbierum (5 in Figuur 7-3) en de Ballastplaat (4 in Figuur 7-3) vindt sedimentatie plaats, waardoor de hoogte van de droogvallende plaat is toegenomen evenals het areaal. Hierbij hoort de afname van de omvang van de getijdegeul Kimstergat (8 in Figuur 7-3). Het drainagegebied van deze getijdegeul neemt door de sedimentatie op en uitbreiding van de droogvallende plaat steeds verder af en daar hoort een steeds kleinere geul bij. Aan de westzijde van de Ballastplaat heeft een beperkte afname van de hoogte

plaatsgevonden (6). De Grienderwaard zelf is relatief stabiel, hoewel van opname naar opname wel kleine verschillen in de hoogte van de droogvallende plaat zichtbaar zijn (7).



Figuur 7-2 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.

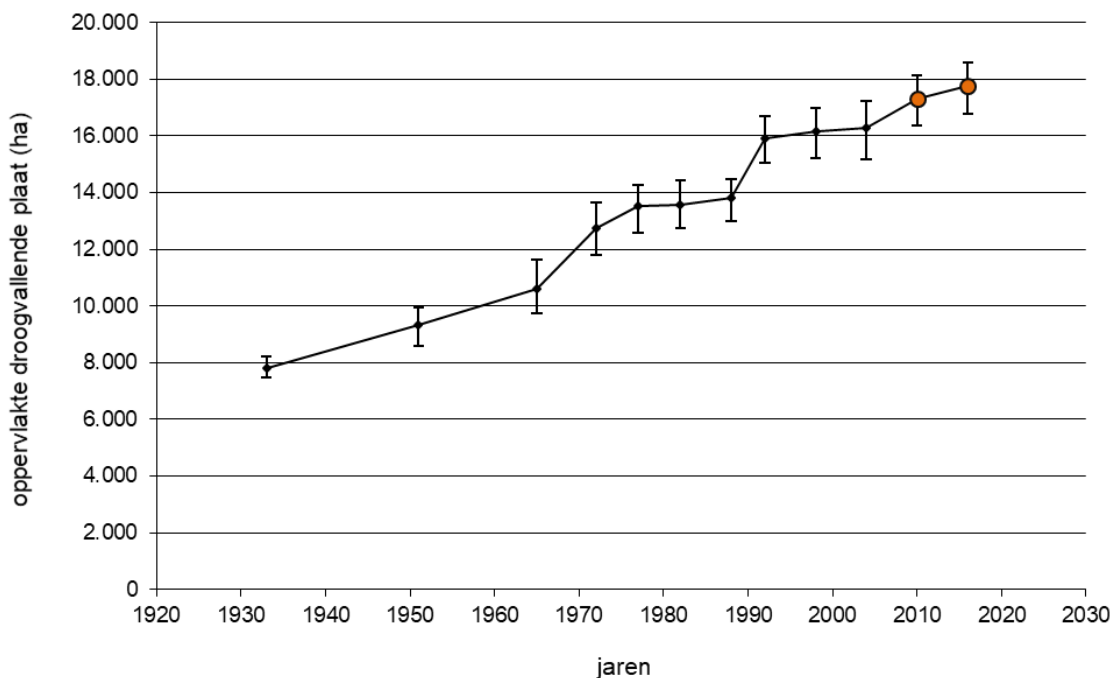


Figuur 7-3 Kaart met de verschillen in bodemhoogte tussen de vaklodgingen 2010 en 2016 (Blauw: de bodem ligt lager; Rood: de bodem ligt hoger).

Ten zuidwesten van de Pollendam is het gebied van “de Pollen” relatief dynamisch, hier ontstaan en verdwijnen droogvallende en sublitorale platen. Het is wel een netto sedimentatie gebied, dat geleidelijk ondieper wordt.

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 vaklodgingen die in 2009 en 2015 (Marsdiep) en 2010 en 2016 (Vlie) zijn uitgevoerd. In de onderstaande grafiek (Figuur 7-4), 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. Figuur 7-5 laat in twee kaarten dat in het invloedsgebied zowel geul verandert in plaat, als omgekeerd. Het areaal dat van geul is veranderd in plaat (de groene kleur in de bovenste kaart in Figuur 7-5) is groter dan het areaal van plaat is veranderd in geul (de blauwe kleur in de onderste kaart in Figuur 7-5).

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, zoals 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.

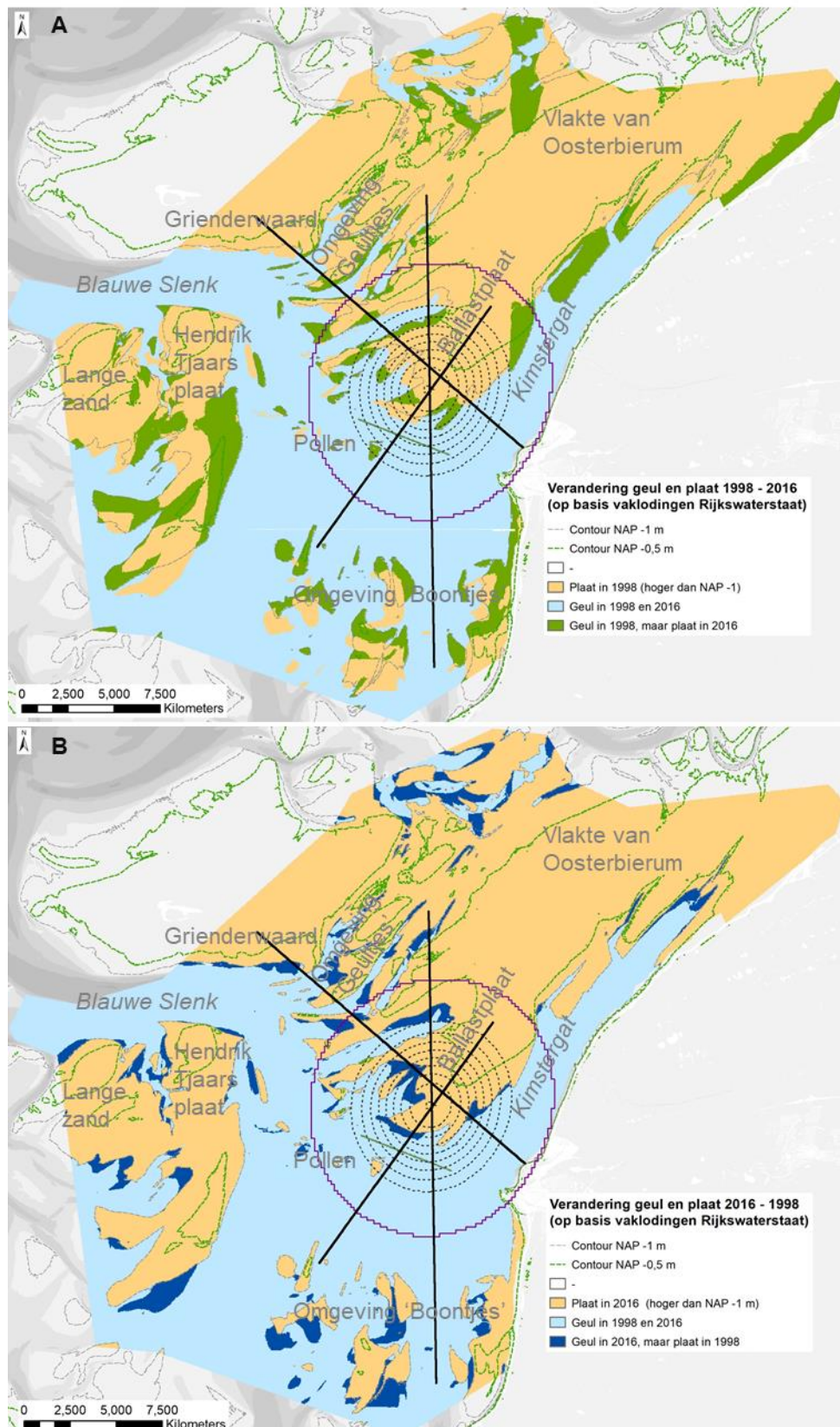


Figuur 7-4 Grafiek met de arealen droogvallende plaat in de opeenvolgende vaklodings van het studiegebied.

7.4 Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen

De toegevoegde waarde van vaklodings 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 vaklodings een uitbreiding van het lokale beeld dat wordt verkregen met de raaimetingen. Er dient wel rekening te worden gehouden met het verschil in de meetfrequentie: de vaklodingsgegevens gaan met stappen van 6 jaar door de tijd en laten daarmee de netto verandering zien over deze periode van 6 jaar. De raaimetingen gaan met stappen van 1 jaar door de tijd en laten de netto veranderingen gedurende 1 jaar zien. De spijkermetingen voegen hier nog metingen met een tijdstap van enkele maanden aan toe. De optelsom van de veranderingen in de raaimetingen over een periode van 6 jaar moeten overeen gaan komen met veranderingen in de vaklodings ter plaatse van de raaien (en rekening houdend met de nauwkeurigheid van de beide metingen). Omdat de vaklodings een groter gebied omvatten dan de raaimetingen zullen de vaklodings altijd een ander, want ruimer, beeld geven van de morfologische ontwikkelingen. De raaimetingen dekken bijvoorbeeld niet alle gebieden waarvan uit de vaklodings blijkt uitbreiding van het plaatareaal heeft plaatsgevonden.

De vaklodings zijn bij uitstek geschikt om langjarige ontwikkelingen in beeld te brengen, zoals de getoonde netto toename van het areaal droogvallende platen (Figuur 7-4) en de bruto veranderingen in de droogvallende platen (Figuur 7-5). Deze ontwikkelingen worden gebruikt om lokale veranderingen in het bodemdalingsgebied te helpen duiden. De vaklodings zijn niet geschikt om van meting op meting 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. De langjarige trends in de sedimentvolumes die zijn vastgesteld op basis van de lange reeks van vaklodings geven wel inzicht in de opgetreden sedimentatie in de kombergingsgebieden (Elias, 2019). Merk op dat deze waargenomen sedimentatiesnelheden niet hetzelfde is als met meegroeivermogen, het meegroeivermogen is een capaciteit die niet hoeft op te treden onder de huidige snelheid waarmee de zeespiegel stijgt. Om desondanks een uitspraak te kunnen doen over de sedimentatie in relatie tot de de stijgende zeespiegel is de gebruiksruijtemethodiek ontwikkeld.



Figuur 7-5 Kaarten met plaat en geul en de gebieden die zijn veranderd; met in A in groen het plaatareaal dat in 2016 erbij is gekomen ten opzichte van 1998 en in B in blauw de platen die in 2016 ten opzichte van de situatie in 1998 zijn verdwenen.

7.5 Tussenconclusies vaklodingen

De vaklodingen geven de context van de morfologische ontwikkelingen op de schaal van het invloedsgebied van zoutwinning en op de schaal van de komberging. De analyse van de ontwikkeling van het plaatareaal laat zien dat het plaatareaal trendmatig toeneemt (Figuur 7-4). Die toename is waarschijnlijk nog steeds een aanpassing aan de afsluiting van de Zuiderzee. De grootte van die trend fluctueert. De verwachting is dat ook in de situatie met zoutwinning een trendmatige toename van het plaatareaal plaatsvindt, met fluctuaties in de snelheid daarvan. Deze trendmatige toename van het plaatareaal is het netto gevolg van het verdwijnen en verschijnen van plaatareaal, zoals getoond in Figuur 7-5. Hoewel de afsluiting van de Zuiderzee al bijna 90 jaar geleden heeft plaatsgevonden, vinden nog steeds aanpassingen aan van de bodemligging aan de veranderde waterbeweging. De hoge sedimentatiesnelheden in de kombergingsgebieden die aansluitend aan de afsluiting zijn opgetreden, lijken tegenwoordig niet meer op te treden (Elias, 2019). Wel vindt nog steeds een geleidelijke opvulling plaats van de accommodatieruimte die na de afsluiting in verschillende delen van de kombergingsgebieden is ontstaan. De Vlake van Oosterbierum en het Kimstergat zijn zulke gebieden waar de accommodatieruimte geleidelijk wordt opgevuld. Ook in de situatie met de bodemdaling zal dit het geval zijn.

8 HOOGTE/DIEPTE RAAIEN

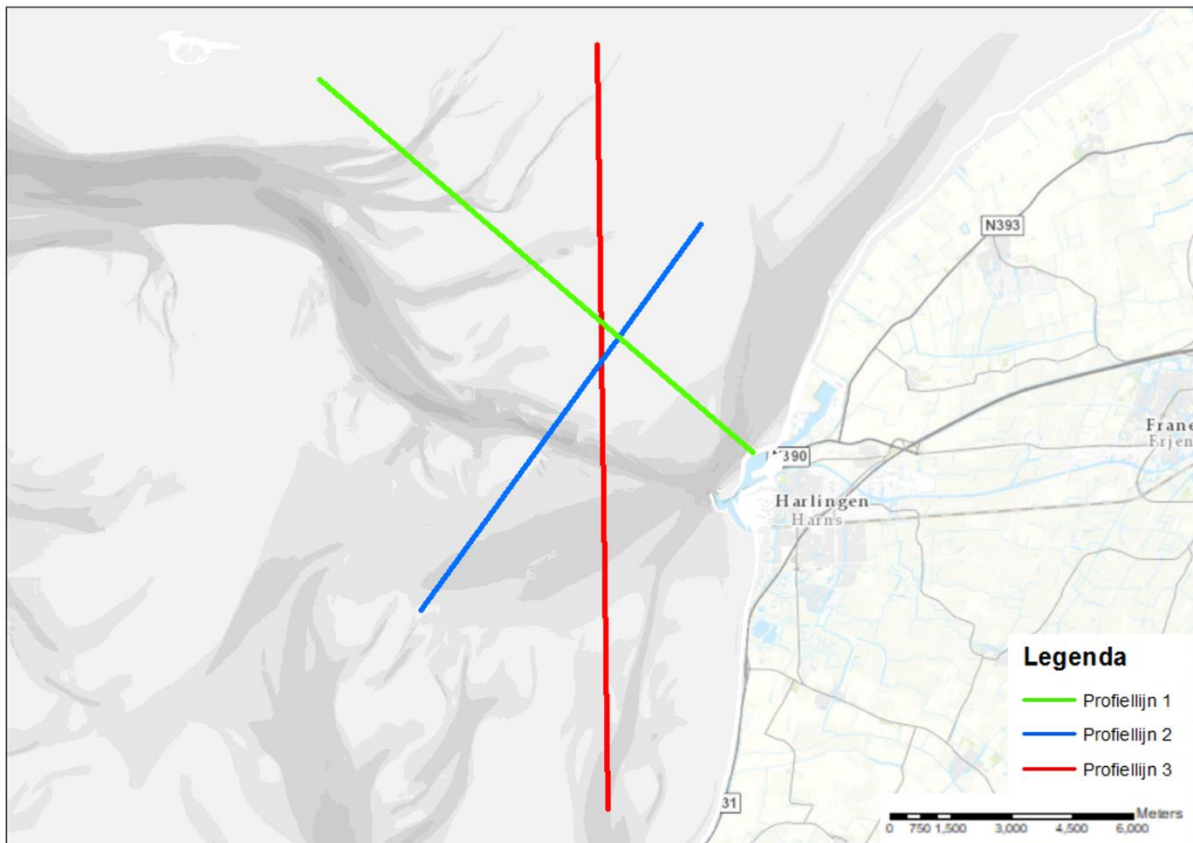
In het monitoringrapport “Monitoring t0-situatie bodemligging Waddenzee; Zoutwinning havenmond” (Bergsma, J. & J. Cleveringa, 2020) zijn de resultaten van de hoogte/diepte raaien opgenomen.

8.1 Introductie van de meetmethode

De metingen van de diepte/hoogte van de wadbodem 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 de hoogte van de droogvallende wadplaten (habitattype H1140: slik- en zandplaten), als de diepte van de geulen (vallend onder habitattype H1110A: permanent overstroomde zandbanken) 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, waarbij een bodemliggingsmeting in vijf raaien in het invloedsgebied wordt uitgevoerd. In deze rapportage worden de resultaten van drie raaien gepresenteerd. De twee overige raaien zijn op basis van het advies van de auditcommissie uit 2020 toegevoegd en worden dit jaar (2021) voor het eerst gemeten. In de onderstaande kaart (Figuur 8-1) is aangegeven hoe de drie raaien lopen waarover in deze paragraaf wordt gerapporteerd. De drie 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. In paragraaf 8.4 staat een kaart met de twee aanvullende raaien.

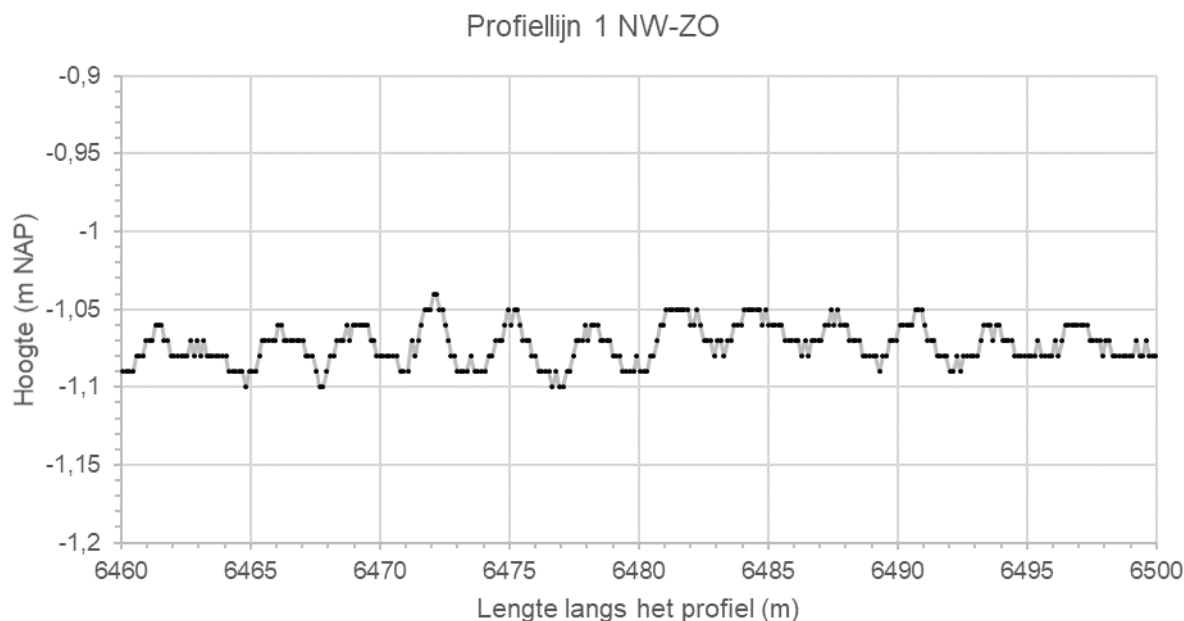


Figuur 8-1 Overzichtskartaal van het gebied waar Pleistocene bodemdaling door zoutwinning kan optreden, met daarbij een overzicht van de hoogte/diepte raaien die jaarlijks worden gemeten (ingaaende 2020 worden hier twee raaien aan toegevoegd, zie paragraaf 8.4).

8.2 Gegevens

Tot heden zijn er hoogte/diepte raaien ingewonnen in 2016, 2017, 2018, 2019¹⁴ en 2020 in de drie raaien die zijn getoond in Figuur 8-1. Om een indruk te geven van het detail waarmee deze metingen worden uitgevoerd is in Figuur 8-2 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).

¹⁴ 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.

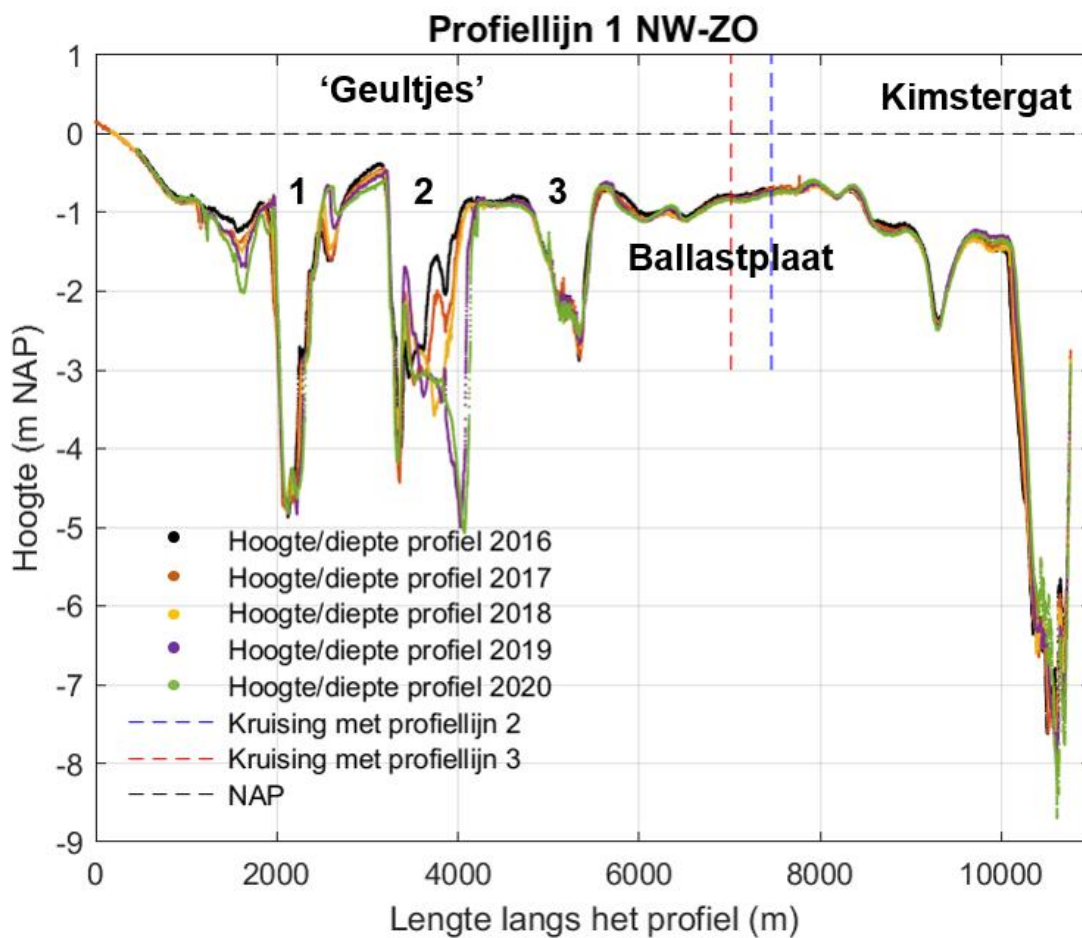


Figuur 8-2 Detail van het dwarsprofiel langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens 2018.

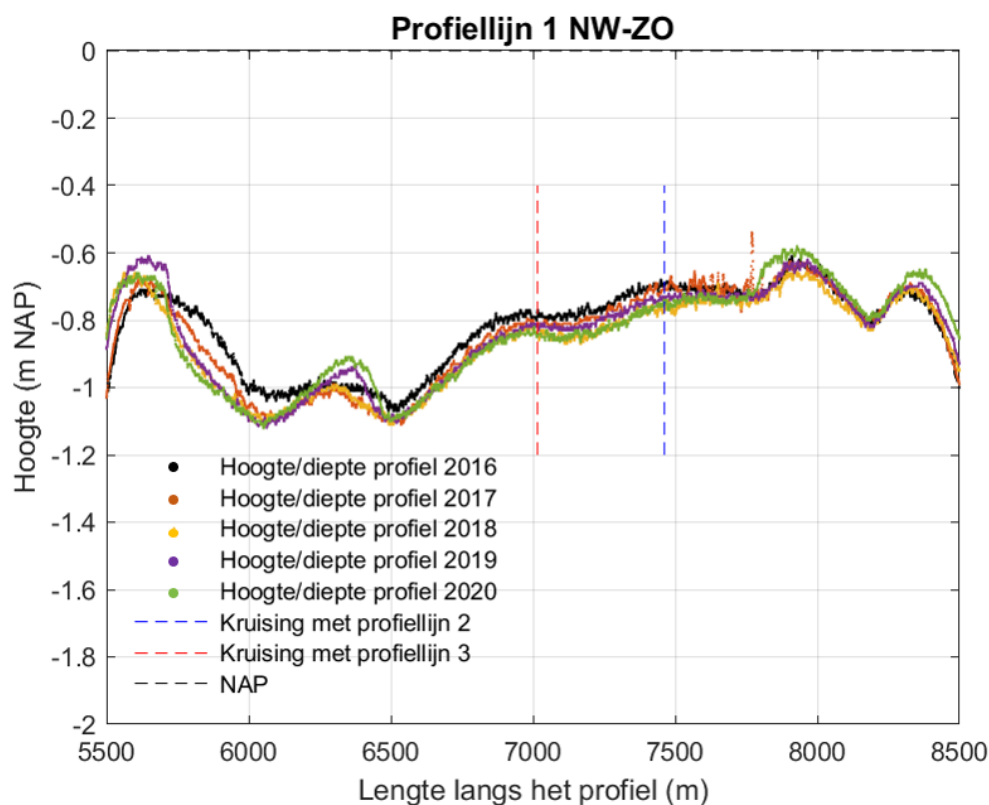
8.3 Analyse

De hoogte/diepte raaien zijn met succes ingemeten in 2016, 2017, 2018, 2019 en 2020. 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 lijnen elkaar kruisen laten dit duidelijk zien. Ook de metingen uit de opeenvolgende jaren laten betrouwbare resultaten zien.

De overeenkomsten en beperkte verschillen tussen de drie opeenvolgende opnamen zijn zichtbaar in dwarsdoorsneden van de drie profiellijnen met de vijf opeenvolgende metingen van 2016-2020. De overzichtsdwarsdoorsnede van profiellijn 1 staat in Figuur 8-3. In dit overzicht is zichtbaar dat de veranderingen optreden rond de geulen in het gebied. Op deze schaal lijken de droogvallende platen vrijwel niet 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 8-4. In deze dwarsdoorsnede zijn kleine hoogteverschillen tussen de drie opnames zichtbaar, die niet meer dan een decimeter bedragen. Uitzondering zijn enkele grote spikes rond 7800 m in de opname van 2017, waarvan mag wordt betwijfeld of dit de werkelijke bodemligging is, of een fout in de metingen. Tussen 6200 m en 7200 m liggen de opnames van de opeenvolgende jaren steeds lager, wat lijkt op een trendmatige verandering. Omdat er nog geen sprake is van bodemdaling door zoutwinning, is dit onderdeel van de natuurlijke lokale veranderingen die plaatsvinden. Ten noordwesten en ten zuidoosten van dit stuk varieert de bodemligging.

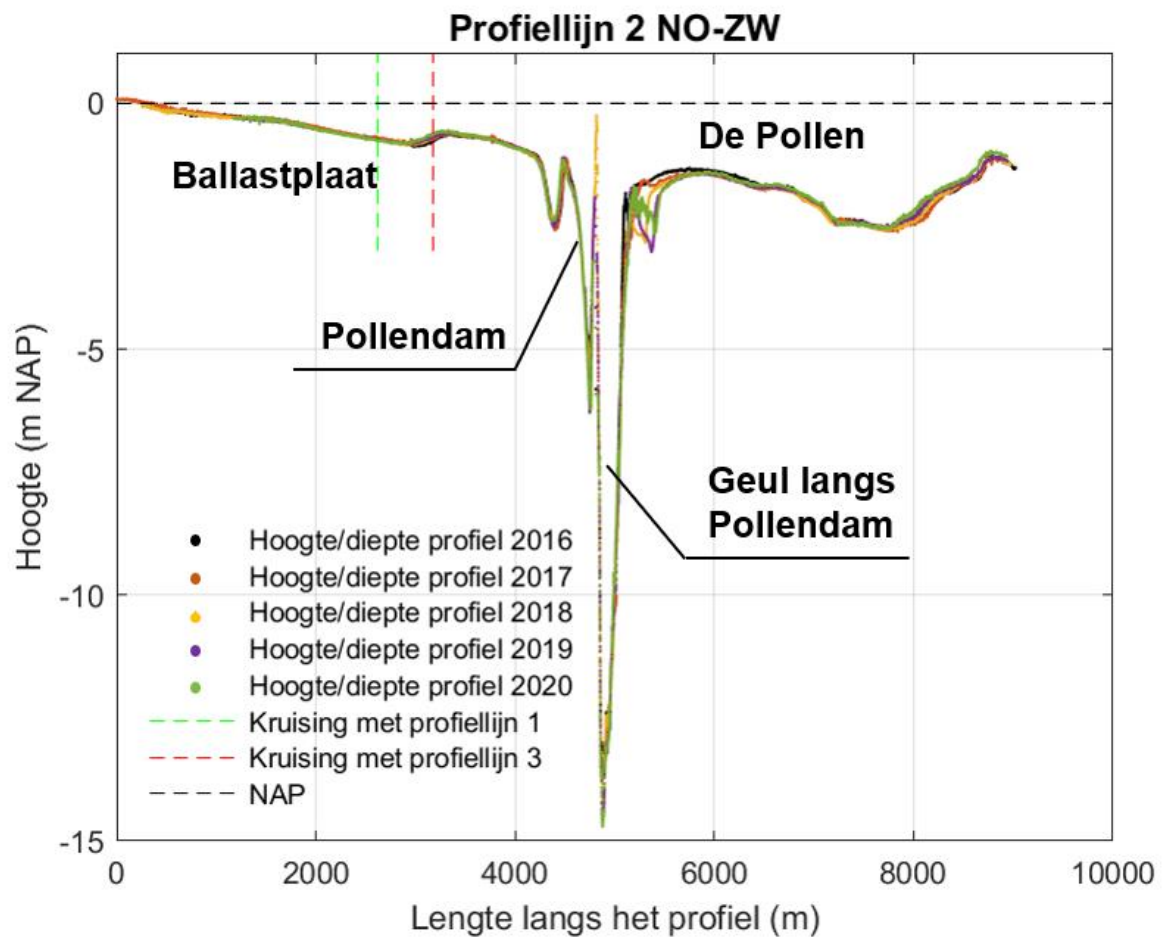


Figuur 8-3 Dwarsprofiel langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2020. De nummers 1, 2 3 hebben betrekking op de drie naamloze geultjes.

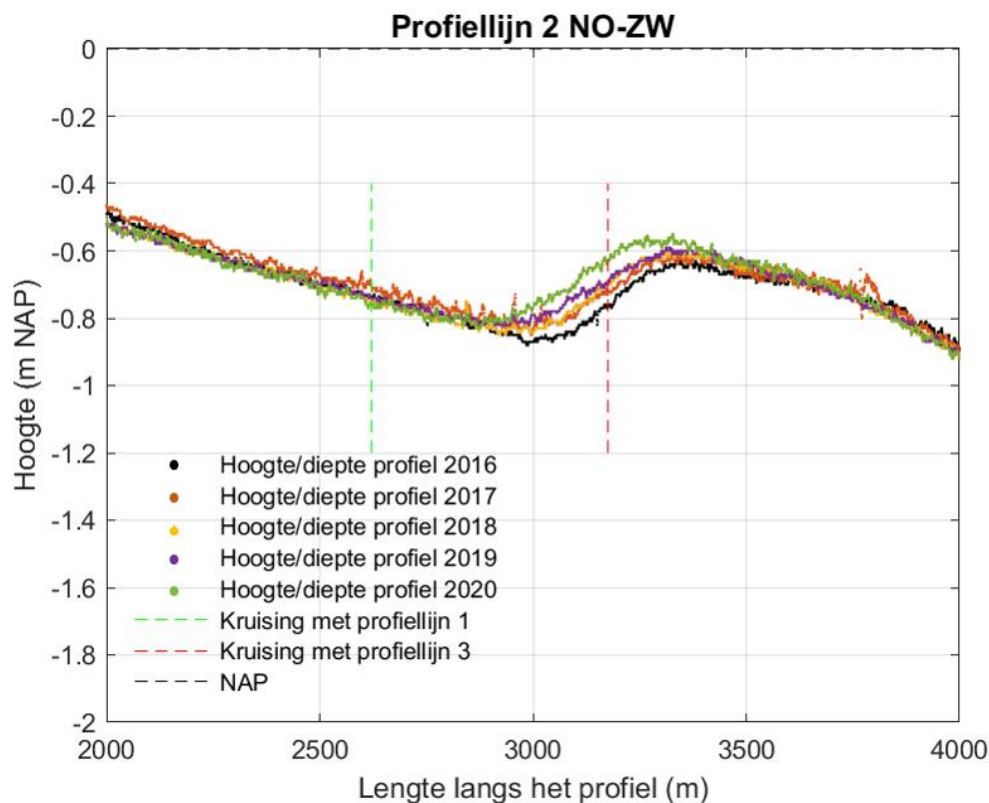


Figuur 8-4 Ingezoomd dwarsprofiel van de Ballastplaat langs profiellijn 2 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2020 (Detail van Figuur 8-3).

In de dwarsdoorsnede van profiellijn 2 (Figuur 8-5) is nog duidelijker dan in profiellijn 1 zichtbaar dat de veranderingen in de morfologie optreden bij de geulen. De veranderingen bij de droogvallende platen zijn zeer beperkt. De veranderingen in de geulen treden op rond de Pollendam, zowel bij de grotere geul langs de Pollendam aan de zuidwestzijde van de dam, als bij de veel kleinere en ondiepere geulen aan de noordoostzijde. Figuur 8-6 laat een detail van de Ballastplaat zien uit profiellijn 2. De gemeten diepteligging lijkt nergens meer dan een decimeters te verschillen in de drie opnames. Structurele verschillen, met de opeenvolgende metingen die consequent hoger zijn dan de voorgaande, doen zich in deze profiellijn alleen voor tussen 3000 en 3500 m op de Ballastplaat.

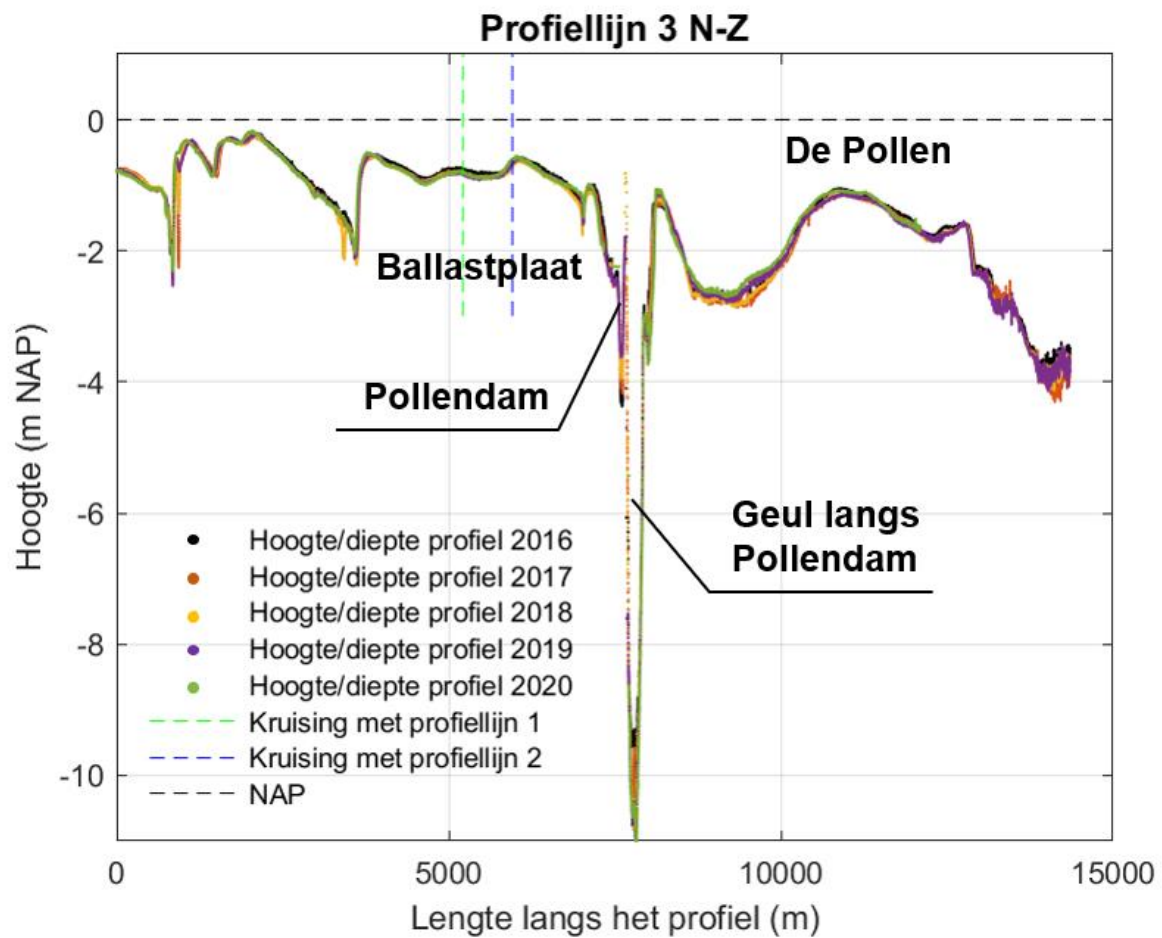


Figuur 8-5 Dwarsprofiel langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2020.

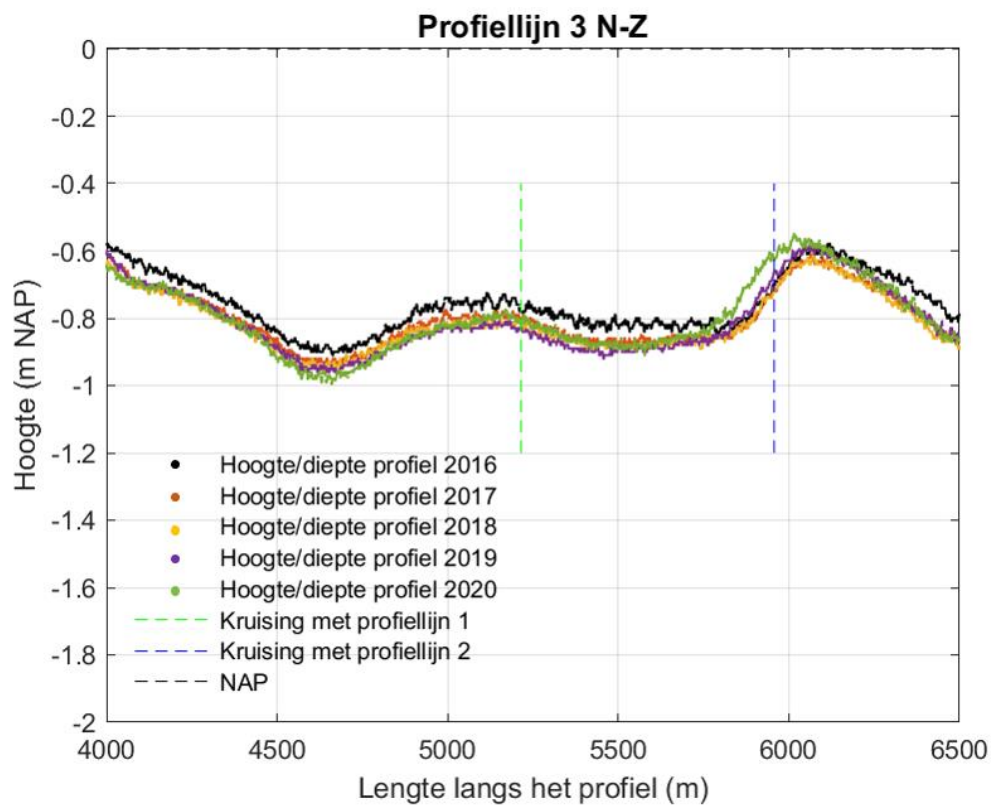


Figuur 8-6 Ingezoomd dwarsprofiel langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2020 (Detail van Figuur 8-5).

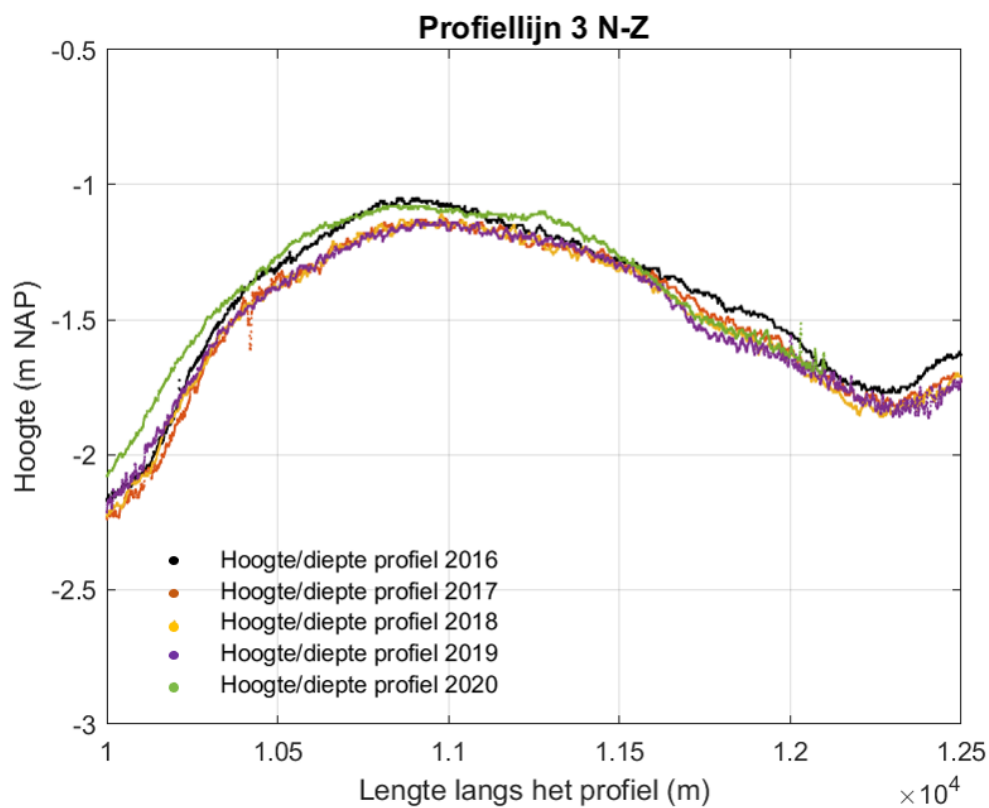
De overzichtsdwarsdoorsnede van profiellijn 3 in Figuur 8-7 laat zien dat de verschillen tussen de opeenvolgende metingen bij de geulen beperkt zijn. Figuur 8-8 toont een detail van de Ballastplaat waarin opvalt dat in het deel van 4800 tot 5800 de hoogteligging in de opeenvolgende metingen steeds iets lager ligt. Vanwege de beperkte hoogteverschillen en het beperkte aantal opnamen is het nog niet mogelijk om van een trendmatige verandering te spreken. Figuur 8-9 is ook een detail van profiellijn 3, maar dan ten zuiden van de Pollendam in het gebied dat “de Pollen” wordt genoemd. Het detailgebied is geen droogvallende plaat, maar een sublitorale plaat die (vrijwel) altijd onderwater ligt. Duidelijk is dat de hoogtes in de opeenvolgende jaren aan de zuidflank (tussen 1160 en 1200 m) van deze sublitorale plaat steeds iets lager liggen. In de rest van deze detailraai treden geen consequente hoogteveranderingen op in de sublitorale plaat in de opeenvolgende opnames.



Figuur 8-7 Dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2020.

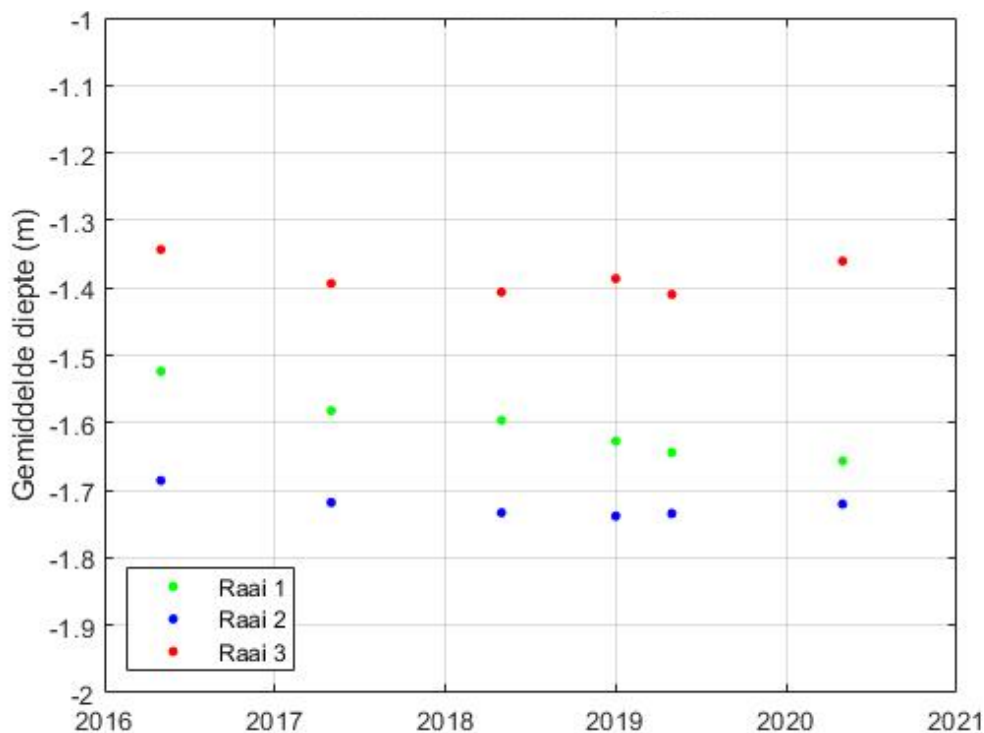


Figuur 8-8 Ingezoomd dwarsprofiel van de Ballastplaat langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2020 (Detail van Figuur 8-7).



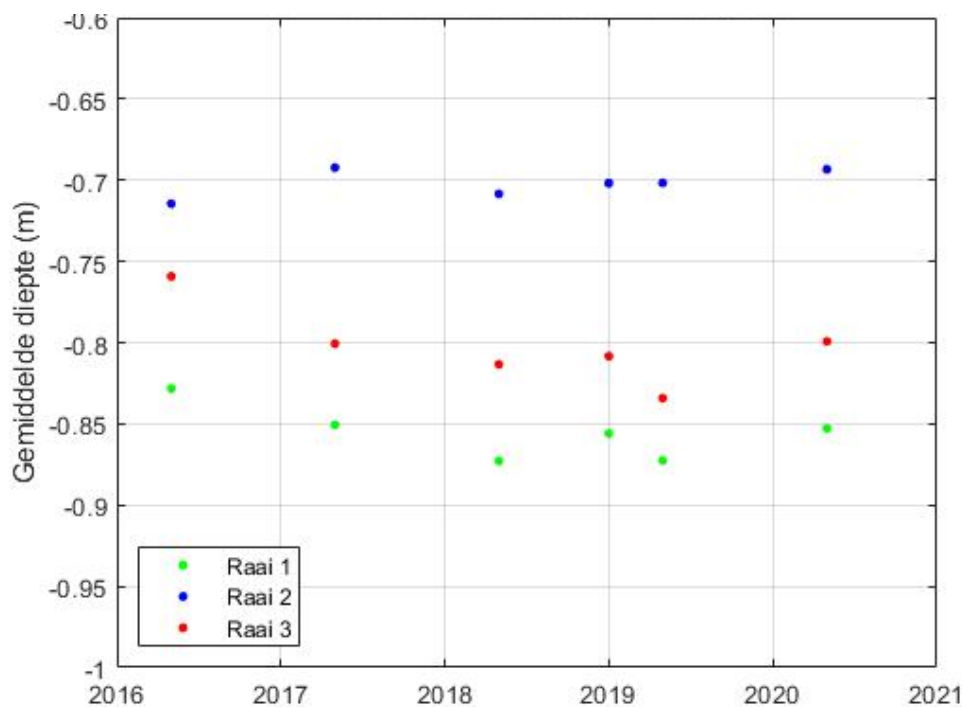
Figuur 8-9 Ingezoomd dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2020 (Detail van Figuur 8-7).

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 8-10.

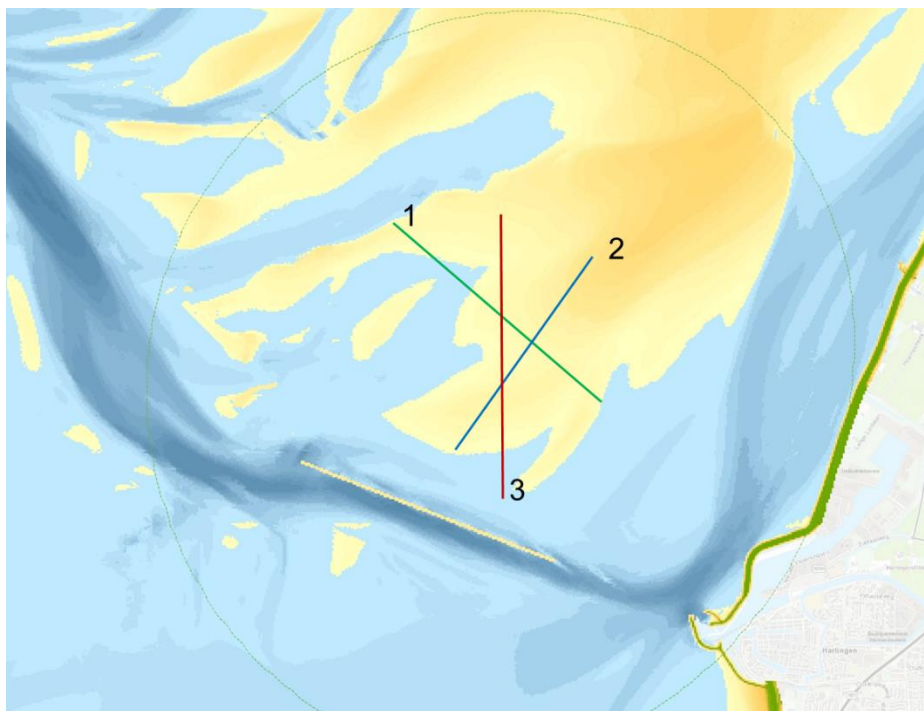


Figuur 8-10 Grafiek met de gemiddelde waterdiepte per raai langs de verschillende profielen voor alle raaimetingen. Alleen de delen waar elk jaar is gemeten zijn meegenomen in de berekening van de gemiddelde diepte.

In aanvulling op de gemiddelde raai over de volledige lengte, is ook de gemiddelde hoogte berekend van het deel van de drie raaien dat bestaat uit wadplaat. Figuur 8-11 toont de berekende gemiddelde diepte in een grafiek en in de kaart in Figuur 8-12 zijn de gebruikte delen gemarkeerd.



Figuur 8-11 Grafiek van de gemiddelde waterdiepte voor de hoge delen van de raaien. De locatie waarover de ontwikkeling is bepaald, staat aangegeven in Figuur 8-12.



Figuur 8-12 Kaart waarin de delen zijn gemarkeerd die zijn gebruikt voor het bepalen van de gemiddelde hoogte van de hoge en stabiele delen van de Ballastplaat.

In de grafiek met de gemiddelde waterdiepte (Figuur 8-10) is zichtbaar dat de gemiddelde waterdiepte 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. De gemiddelde diepte van de hoge delen op de Ballastplaat, zoals getoond in Figuur 8-11 laat geen structurele afname zien. Wel valt op dat de gemeten hoogteligging in 2016 voor raai 1 en 3 hoger ligt dan in de jaren er na. In raai 2 leiden de morfologische veranderingen niet tot een trendmatige verandering van de gemiddelde waterdiepte, zoals

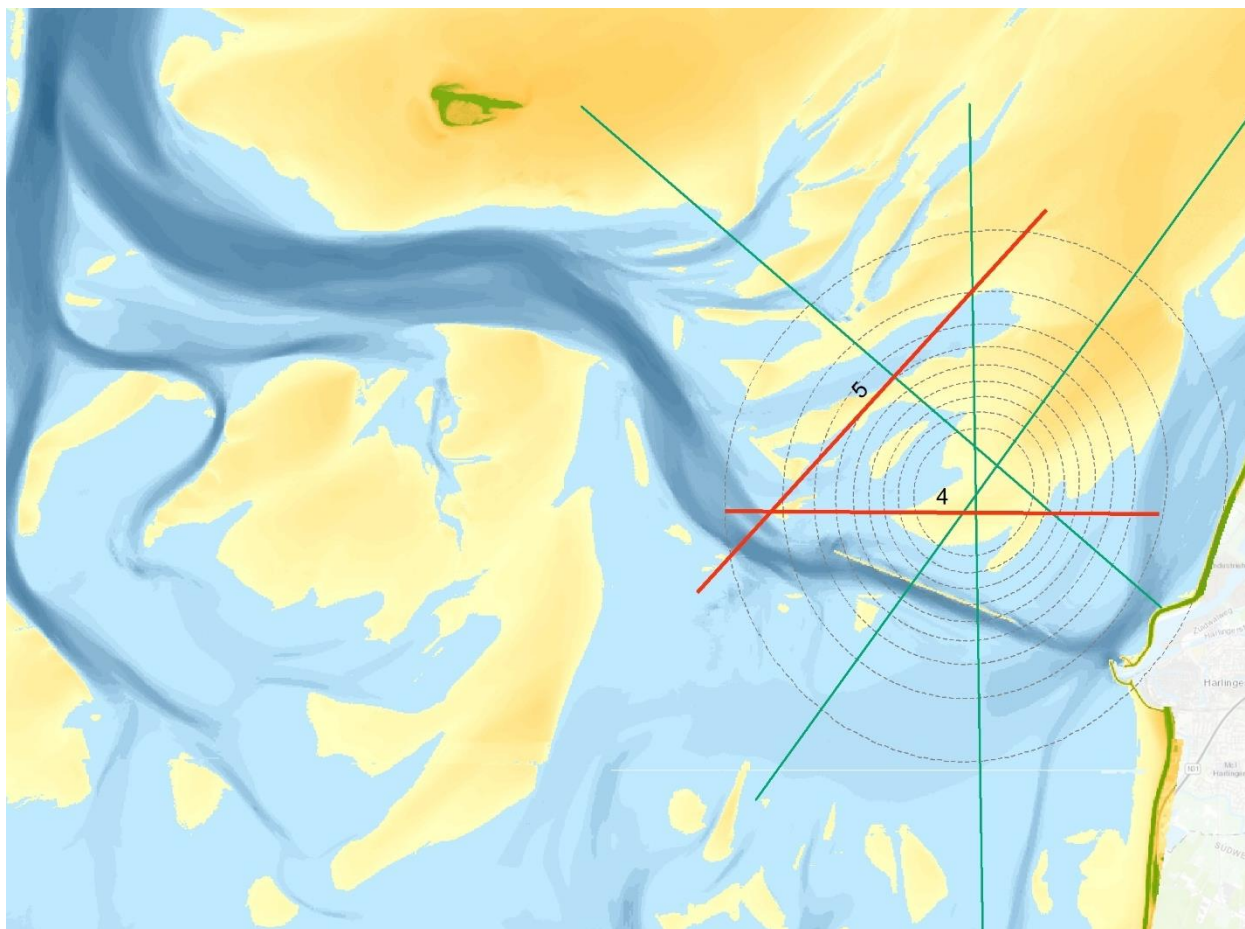
zichtbaar is in Figuur 8-10. Ook de gemiddelde hoogte van de hoge delen (Ballastplaat) in Figuur 8-11 laat geen trendmatige veranderingen zien. In raai 3 treden de grotere veranderingen in de bodemligging op rond de geulen, maar deze veranderingen leiden niet tot een trendmatige verandering van de gemiddelde waterdiepte van de geulen en platen (Figuur 8-10). De ontwikkeling van de gemiddelde hoogte van de Ballastplaat in Figuur 8-11 laat een lichte afname zien tot en met mei 2019, gevolgd door een lichte toename.

8.4 Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen

De raaimetingen geven een zeer gedetailleerd beeld van de hoogte van de droogvallende platen en van de geulen in de drie raaien. Omdat de nauwkeurigheid van de raaimetingen hoog is, zijn deze metingen bij uitstek bruikbaar om vast te stellen of zich, ter plaatse van de Pleistocene bodemdaling, onverwachte verlagingen van de wadplaat optreden. En omdat de raaimetingen jaarlijks worden uitgevoerd, kan een onverwachte ontwikkeling snel worden opgewerkt.

Vanwege hun hoge nauwkeurigheid en de jaarlijkse uitvoering, vormen de raaimetingen de primaire morfologische metingen. De samenhang van raaimetingen met de andere metingen is dan ook cruciaal.

De metingen van de Pleistocene bodemdaling geven inzicht in de locatie en de omvang daarvan onder de drie raaien. De ligging van de drie raaien is zo gekozen dat deze nabij de vast meetpunten van de Pleistocene bodemdaling ligging. De omvang en locatie van eventuele onvoorziene veranderingen in de raaimetingen kan daarom worden vergeleken met de Pleistocene bodemdaling ter plaatse. Door twee aanvullende raaien in te meten wordt een nog beter ruimtelijk beeld verkregen van de hoogte van de droogvallende platen. De twee aanvullende raaien ter plaatse van de Pleistocene bodemdalingsschotel zijn aangegeven in paragraaf 8.4. In 2021 wordt proefgedraaid met deze aanvullende raaien.



Figuur 8-13 Aanvullende hoogte/diepte raaien voor het inmeten van de droogvallende platen.

De LiDAR metingen van de plaat hoogte geven een ruimtelijk beeld van de hoogte van de platen. Weliswaar is de nauwkeurigheid van de LiDAR hoogtemetingen minder groot dan die van de raaimetingen, maar de nauwkeurigheid is wel voldoende groot om vast te stellen of onverwachte ontwikkelingen in de raaimetingen (een verlaging van de wadbodem ter plaatse van de bodemdalingsschotel) en spijkermetingen (een sedimentatie die kleiner is dan de bodemdaling) zich verder uitstrekken over de droogvallende plaat. Zo kan de ruimtelijke verbreiding van onverwachte ontwikkelingen worden vastgesteld.

De Spijkermetingen worden vaker uitgevoerd dan de raaimetingen, maar hebben een beperktere ruimtelijke dekking. Spijkermetingen zijn in essentie puntmetingen. Het andere belangrijke verschil tussen de spijkermetingen en de raaimetingen is gerelateerd aan hun referentieniveau. De bepaling van de sedimentatie en erosie vindt bij een spijkermeting plaats ten opzichte van de spijkers, die in de ondergrond zijn verankerd. Raaimetingen worden uitgevoerd ten opzichte van een vast referentieniveau (in de praktijk wordt de hoogte ten opzichte van NAP gebruikt). Bij het hoofdstuk over de Spijkermetingen wordt uitgelegd wat de toegevoegde waarde is van het gebruik van het lokale referentieniveau bij de spijkermetingen. De hogere frequentie van de spijkermetingen ten opzichte van de raaimetingen betekent dat meer van de lokale korte termijn dynamiek wordt gemeten en dat een nog betrouwbaarder jaargemiddelde kan worden vastgesteld. De raaimetingen laten de jaar-op-jaar ontwikkelingen van hoogte en diepte in zien en de Spijkermetingen geven inzicht in verticale aangroei/snelheden over nog kortere perioden (gemiddeld 3 maanden). De Spijkermetingen laten nu al veel ruimtelijke en temporele variatie in de snelheden zien, wat overigens overeenkomt met de kennis van de dynamiek van het Waddengebied. De kennis van die dynamiek is nodig om de waargenomen hoogteverschillen in de raaimetingen te interpreteren.

De raaimetingen geven ten opzichte van de vaklodingen een veel gedetailleerder beeld, in ruimte en in tijd, van een beperkt deel van het kombergingsgebied. Voor het volgen van de ontwikkelingen op de schaal van het kombergingsgebied zijn de vaklodingen onmisbaar. In de vaklodingen is in het invloedsgebied een trend zichtbaar van aangroei van de wadplaten (Figuur 7-4). In de raaimetingen is geen sprake van een toename. Het invloedsgebied, waarvoor de trend van het plaatareaal is bepaald, is veel groter is dan het gebied waar de raaien liggen. In Figuur 7-5 is in twee kaartjes getoond waar er in het invloedsgebied plaatareaal is bijgekomen en waar er plaat is veranderd in geul. De belangrijkste aangroeigebieden van de wadplaten liggen ver van de plek waar de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning zal optreden en buiten het bereik van de raaien. Daarom is geen sprake van een tegenstrijdigheid in de raaimetingen en de vaklodingen van het invloedsgebied.

De raaimetingen geven ook de meest actuele informatie over de morfologie, als daarover vragen ontstaan vanuit de ecologische metingen.

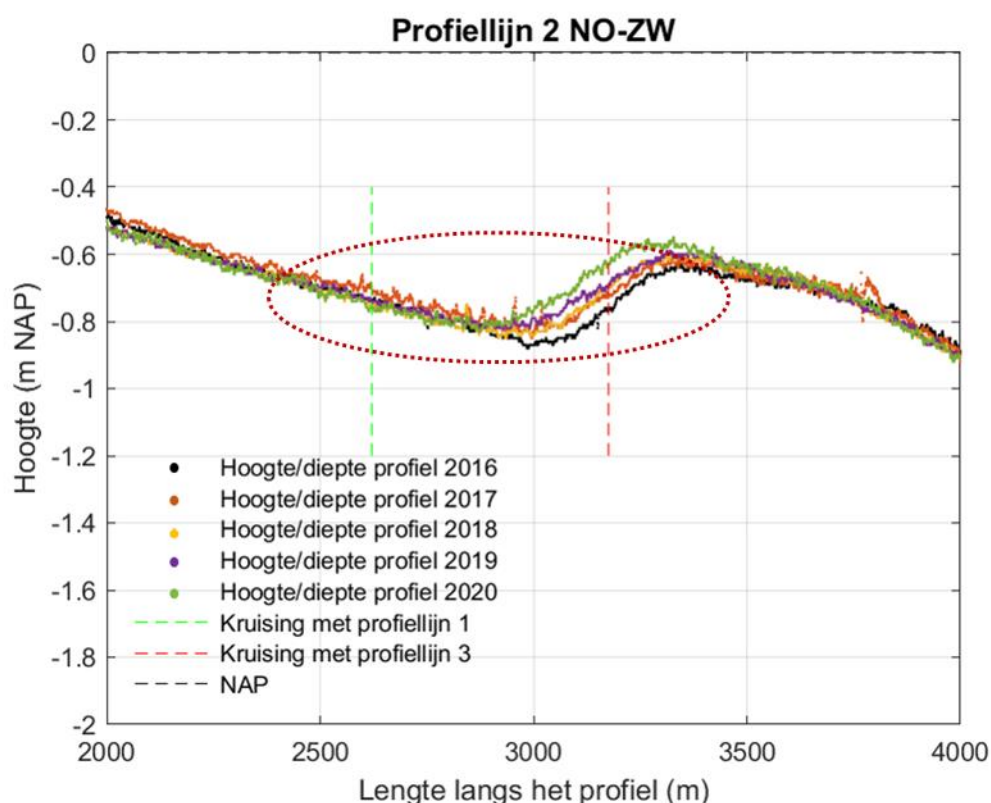
8.5 Tussenconclusies raaimetingen

De raaimetingen van de hoogte en diepte hebben een nauwkeurigheid van enkele centimeters. Ter plaatse van de wadplaten doen zich in de Tnul situatie trendmatige veranderingen voor, waarbij grootschalige bodemvormen verplaatsen. Rond de aanwezige geulen lijkt meer variatie op te treden in de bodemligging dan dat zich trendmatige veranderingen voordoen. De omvang van de trendmatige veranderingen op de platen, in combinatie met de meetnauwkeurigheid van centimeters maakt het goed mogelijk om een niet-voorspelde hoogteverandering van de platen als gevolg van bodemdaling te meten. In Figuur 8-14 is in een van de drie raaien van de hoogte/diepe raaien aangegeven waar de Pleistocene bodemdaling zich zal voordoen. Bij het achterblijven van sedimentatie ter plaatse van de bodemdalingsschotel met een omvang van circa 5 centimeter of meer, over tientallen meters in de raaien, is dit meetbaar. Het achterblijven van de sedimentatie zal worden bevestigd door de spijkermetingen, door de gemeten sedimentatie te vergelijken met de bodemdaling op die locatie.

De raaimetingen hebben betrekking op de situatie tot en met 2020 en in deze periode is nog geen bodemdaling opgetreden. In een toekomstige situatie waarin zich bodemdaling door zoutwinning zou hebben voorgedaan, worden de ontwikkelingen in de raaien ter plaatse van de grootste bodemdaling met extra aandacht beschouwd. Daarbij zou vanuit de uitkomsten van de metingen aan de bodemdaling worden vastgesteld waar in de verschillende raaien de grootste bodemdaling is opgetreden en hoe groot de omvang

daarvan is. De raaimetingen, in combinatie met de spijkermetingen, kunnen in die situatie signaleringsmetingen opleveren die te omschrijven zijn als: “Achterblijvende sedimentatie ter plaatse van de bodemdalingsschotel, waardoor een hoogteverandering optreedt in de wadplaten ter plaatse van de bodemdalingsschotel.”

Indien zich een situatie voordoet met een onverwachte verandering in de bodemligging, bijvoorbeeld in de vorm van een verbreding of verondieping van de geultjes die ten noorden van de Ballastplaat aanwezig zijn, dan zal worden beschouwd of deze ontwikkeling past bij de autonome ontwikkelingen en fluctuaties. Hierbij zullen aanvullende informatie en gegevens worden betrokken die mogelijk zicht kunnen geven op de oorzaken van de waargenomen onverwachte ontwikkelingen. Dit kan bijvoorbeeld het optreden extreme weersomstandigheden (stormen) zijn, of menselijke ingrepen, zoals het verspreiden van baggerspecie in de nabijheid.



Figuur 8-14 Ingezoomd dwarsprofiel langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2020 (Figuur 8-6). Daarin is met de ovaal aangegeven waar het gebied ligt waar in de toekomst de grootste Pleistocene bodemdaling door zoutwinning zal plaatsvinden. Indien zich hier, tijdens het optreden van de Pleistocene bodemdaling een verlaging van de bodem voordoet, dan is dit een signaleringsuitkomst.

9 HOOGTE WADPLATEN LIDAR

In het monitoringrapport “Monitoring t0-situatie bodemligging Waddenzee; Zoutwinning havenmond” (Bergsma, J. & J. Cleveringa, 2020) zijn de resultaten van de LiDAR hoogtemetingen opgenomen.

9.1 Introductie meetmethode

LiDAR metingen zijn hoogtemetingen die worden uitgevoerd vanuit een vliegtuig (of een helikopter, nog niet met een drone¹⁵), 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.

LiDAR wordt sinds het einde van jaren '90 door Rijkswaterstaat standaard ingezet voor hoogtemetingen van de droogvallende delen van de Zoute Rijkswateren (Waddenzee, Oosterschelde en Westerschelde, strand en duinen). De NAM laat in het kader van de monitoring van de gaswinning onder de Waddenzee de hoogte van de droogvallende platen in de komberging van het Pinkegat en het Friesche Zeegat met LiDAR meten.

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 Pleistocene bodemdaling door de zoutwinning vindt geleidelijk plaats. Deze bodemdaling manifesteert zich in de diepe (Pleistocene) ondergrond. Op de wadbodem wordt deze Pleistocene bodemdaling vereffend over een groot gebied en overprint door de autonome erosie en sedimentatie (onder andere door de verplaatsing en de vorming van geultjes). De verwachting is dan ook dat de hoogte van de wadbodem niet meetbaar of merkbaar zal veranderen door de Pleistocene bodemdaling. De raaimetingen zijn zo ingericht, dat kan worden gesignaleerd of eventuele dalingen van de wadbodem groter zijn, in die delen van het gebied waar ook de daling van de vaste ondergrond groter is. Bij signalering hiervan moet, al naar gelang wat zich precies voordoet, nader worden onderzocht of er ook een causale relatie met de zoutwinning bestaat. De LiDAR metingen dienen als een aanvulling, waarmee het ruimtelijk beeld van de veranderingen in de bodemhoogte wordt vastgelegd.

De raaimetingen worden jaarlijks ingemeten om de hoogteontwikkeling van de platen met zekerheid vast te kunnen stellen. De LiDAR metingen zijn niet bedoeld als signaleringsmeting en worden daarom niet jaarlijks uitgevoerd, zoals de raaimetingen. De LiDAR hoogtemetingen worden iedere drie jaar uitgevoerd, gebiedsdekkend voor de Ballastplaat. Het gebied 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 plaathoogte met LiDAR opgemeten in opdracht van Frisia. Bij deze meting is op voorhand veel aandacht besteedt aan het uitvoeren van de LiDAR hoogtemeting van wadplaten onder de juiste voorwaarden:

- Het ontbreken van water boven de plaat, dus meten tijdens laagwater;
- Goede weersomstandigheden: geen laaghangende bewolking, regen of harde wind.

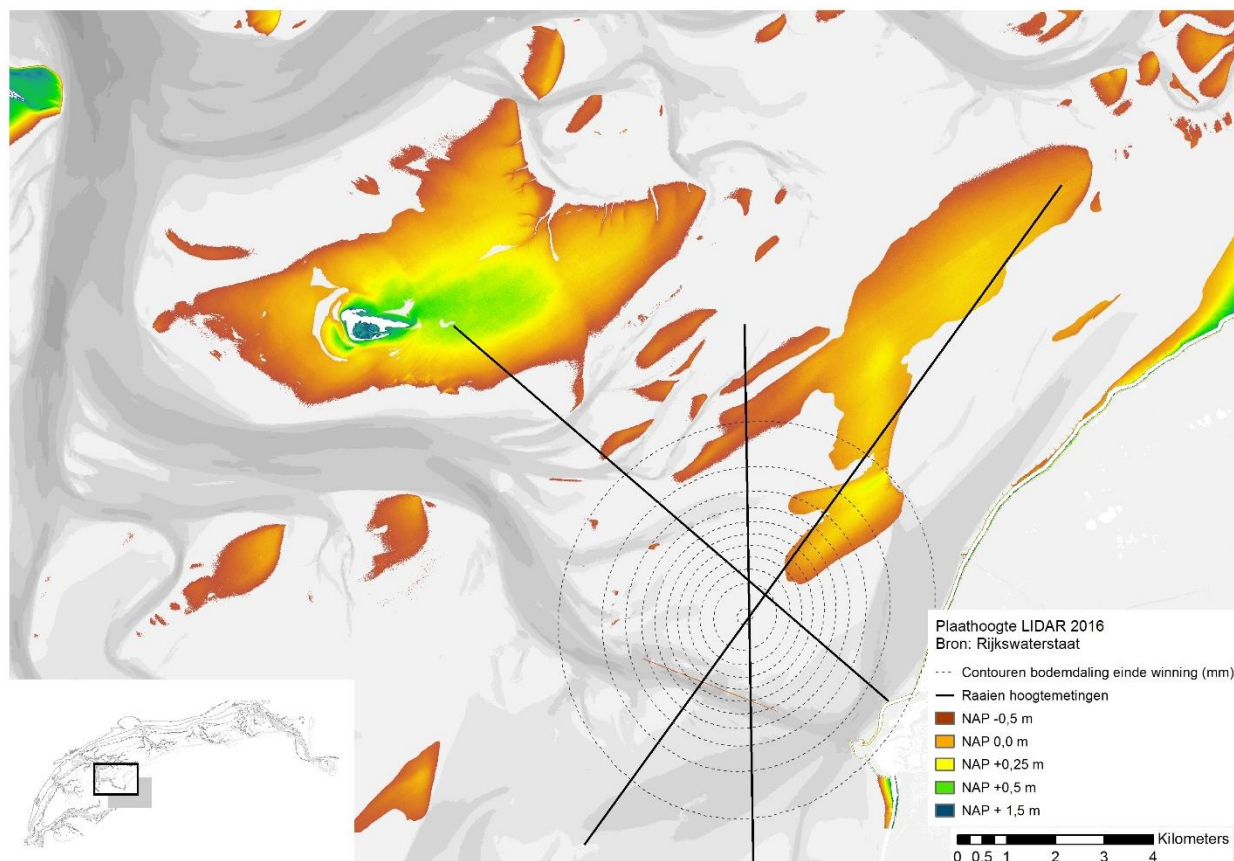
De uitvoering van de LiDAR-hoogtemeting heeft inderdaad plaatsgevonden onder deze omstandigheden. Hierbij wordt opgemerkt dat het meten tijdens laagwater geen garantie is dat er geen water meer op de plaat aanwezig is. Tijdens veldbezoeken aan de Ballastplaat is opgemerkt dat ook tijdens laagwater nog grote delen van de plaat bedekt zijn door een laagje water dat een laagdikte tot enkele centimeters heeft. Dit is

¹⁵ 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.

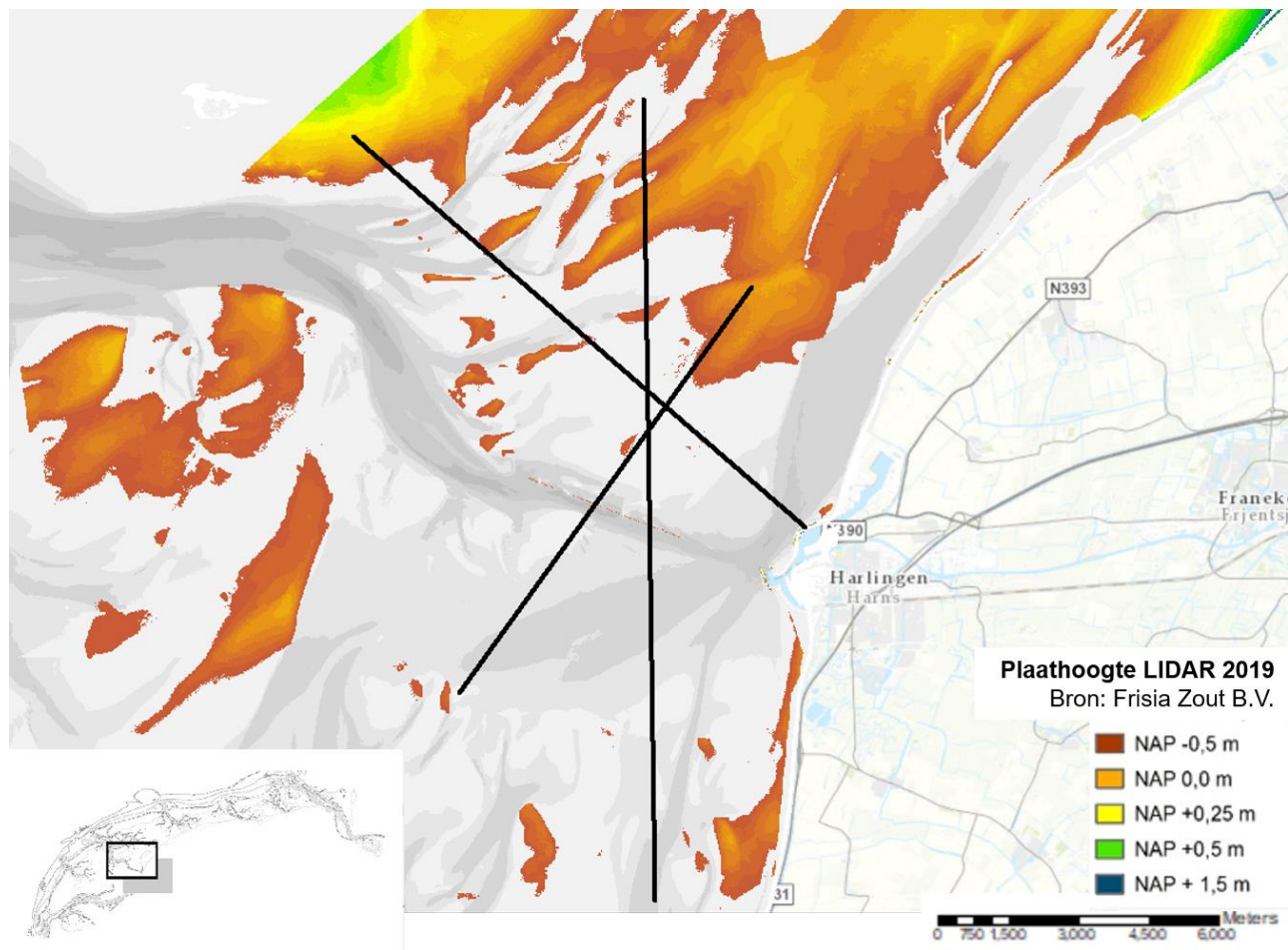
overigens niet voorbehouden aan de Ballastplaat: ook op andere wadplaten kan water aanwezig blijven tijdens laagwater.

9.2 Gegevens

In 2004 & 2007 (gecombineerd), 2010 en 2016 is voor Rijkswaterstaat de plaathoogte in het kombergingsgebied Vlie ingewonnen met LiDAR en in 2019 is dit voor het invloedsgebied in opdracht van Frisia gedaan. De met LiDAR in 2016 gemeten hoogte van de wadplaten in de omgeving van het gebied waar bodemdaling zal plaatsvinden is weergegeven in Figuur 9-1. De met LiDAR gemeten plaathoogte in 2019 is weergegeven in Figuur 9-2.



Figuur 9-1 Detailkaart van het gebied waar Pleistocene bodemdaling door zoutwinning kan optreden, met de LiDAR opname van 2016. Ter indicatie zijn de contouren van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning aan het einde van de winning aangegeven, evenals de ligging van de drie hoogte/diepteraaien.

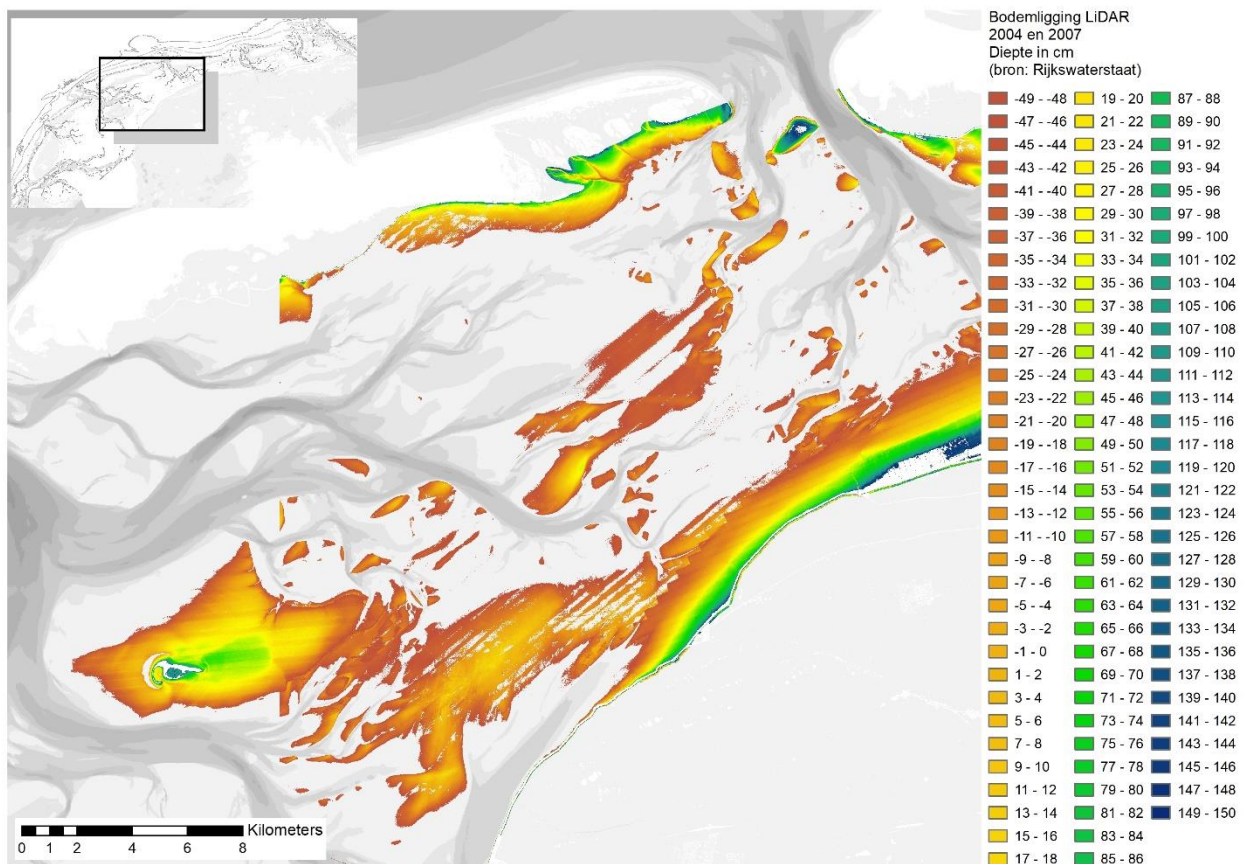


Figuur 9-2 Detailkaart van het gebied waar bodemdaling door zoutwinning kan optreden, met de LiDAR opname van 2019. Ter indicatie is de ligging van de drie hoogte/diepteraaien aangegeven.

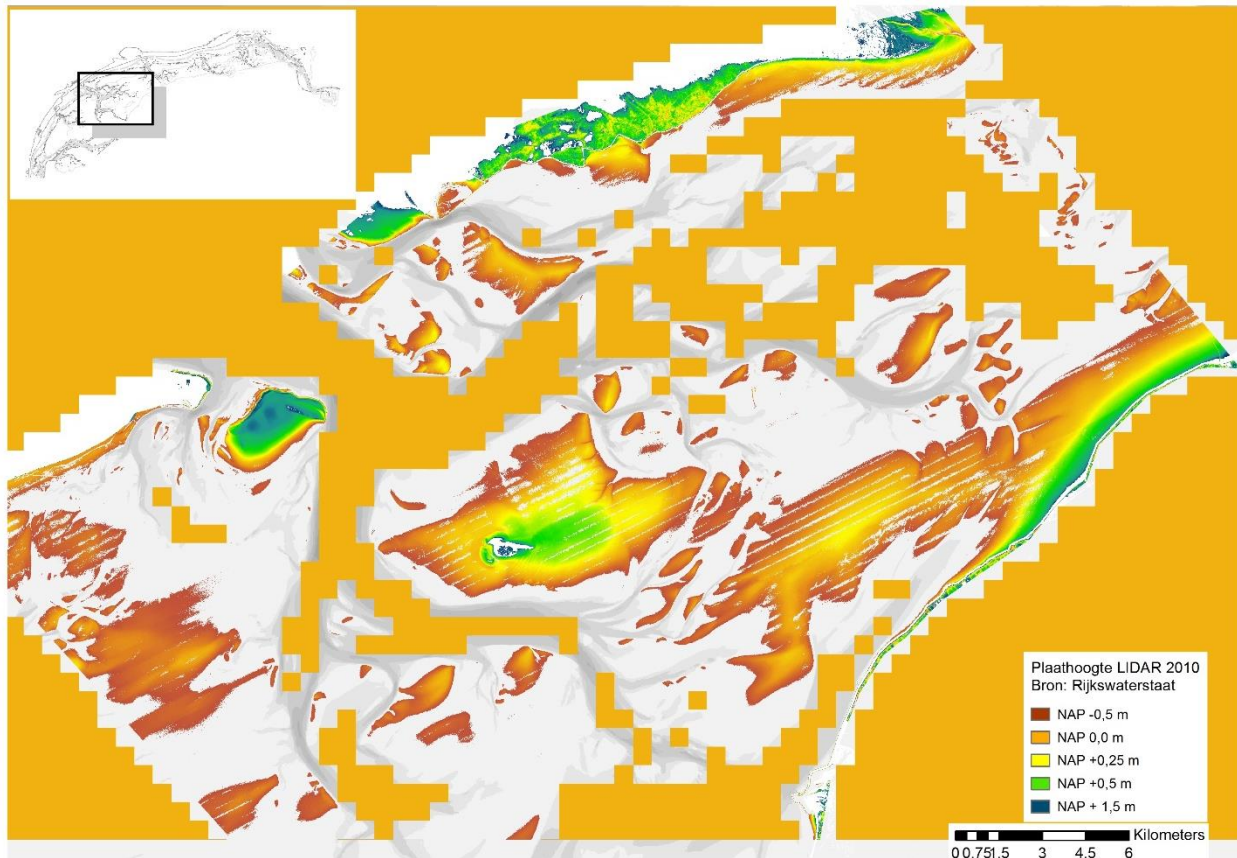
9.3 Analyse

De LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen, die zijn uitgevoerd in 2004 & 2007 (Figuur 9-3), 2010 (Figuur 9-4) en 2016 (Figuur 9-5) in opdracht van Rijkswaterstaat en de meting van 2019 (Figuur 9-2) in opdracht Frisia zijn in deze Tnul rapportage gebruikt. Al deze opnamen geven een gedetailleerd inzicht in de morfologie van de plaathoogte. Het ruimtelijke detail in de LiDAR dataset is groter dan dat van de vaklodingen. In de vaklodingen van na 2000 zijn weliswaar de LiDAR-hoogtegegevens gebruikt voor de weergaven van de hoogte van de platen, maar de ruimtelijke resolutie is daarbij teruggebracht naar 20 m x 20 m.

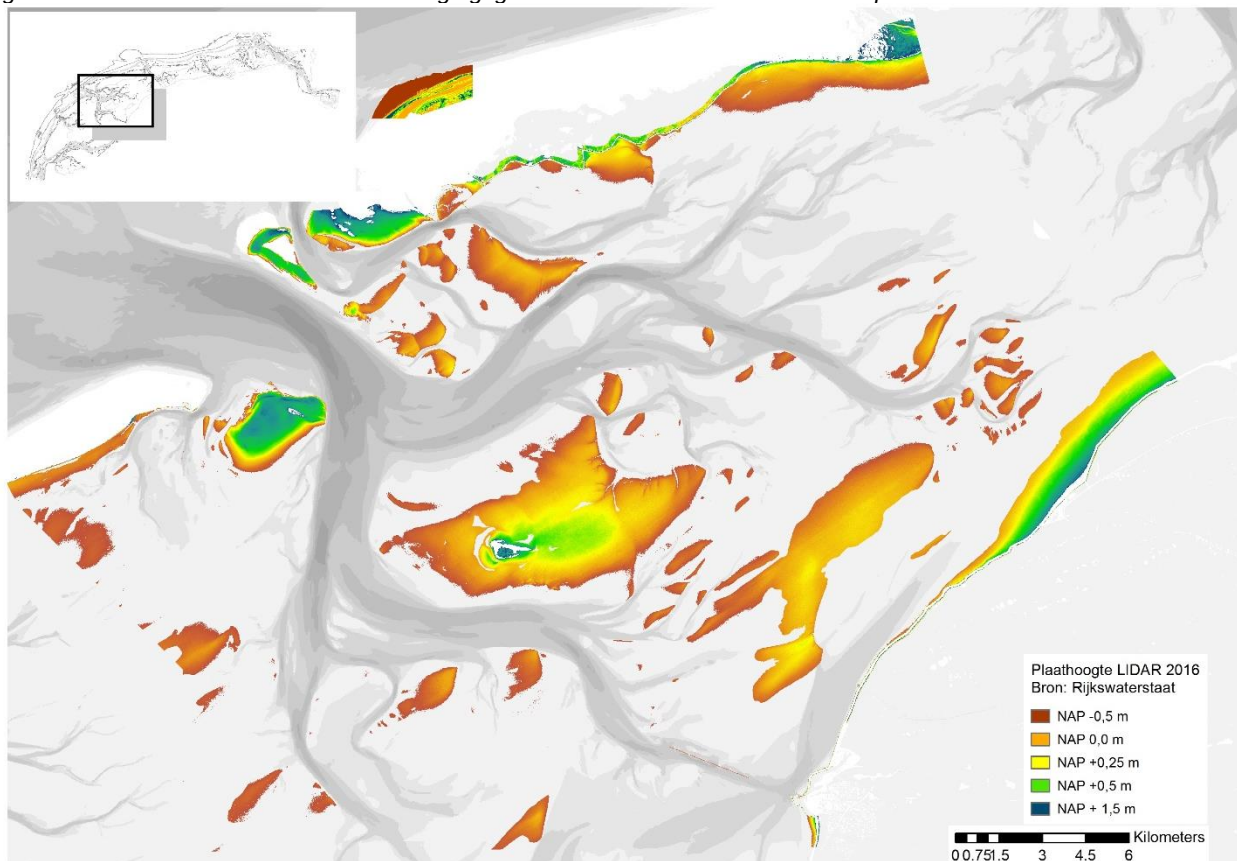
Voordat wordt ingegaan op de morfologie en de veranderingen daarin, enkele algemene opmerkingen die betrekking hebben op de dekking van de LiDAR hoogtemetingen. Opvallend zijn de zichtbaarheid van vluchtbanen in de opnamen van 2004 & 2007 en 2010 en de beperkte dekking van de droogvallende wadplaten in de opname van 2016 (Figuur 9-5). Zo ontbreekt in de opname van 2016 bijvoorbeeld het gebied tussen de Ballastplaat en de Vlake van Oosterbierum. Het is niet zo dat dit gebied in 2016 geen droogvallende plaat meer is, zoals blijkt uit de volledige dekkende vaklodingen van 2016 (volgende paragraaf). Dat een kleiner gebied beschikbaar is in de LiDAR van 2016 heeft waarschijnlijk te maken met de gehanteerde kwaliteitscriteria voor de gegevens, waardoor een groot deel van de meetpunten van de lager liggende wadplaten zijn uitgesloten.



Figuur 9-3 Overzichtskarten van het kombergingsgebied van het Vlie met de gecombineerde LiDAR opname van 2004 en 2007.



Figuur 9-4 Overzichtskaart van het kombergingsgebied van het Vlie met de LiDAR opname van 2010.

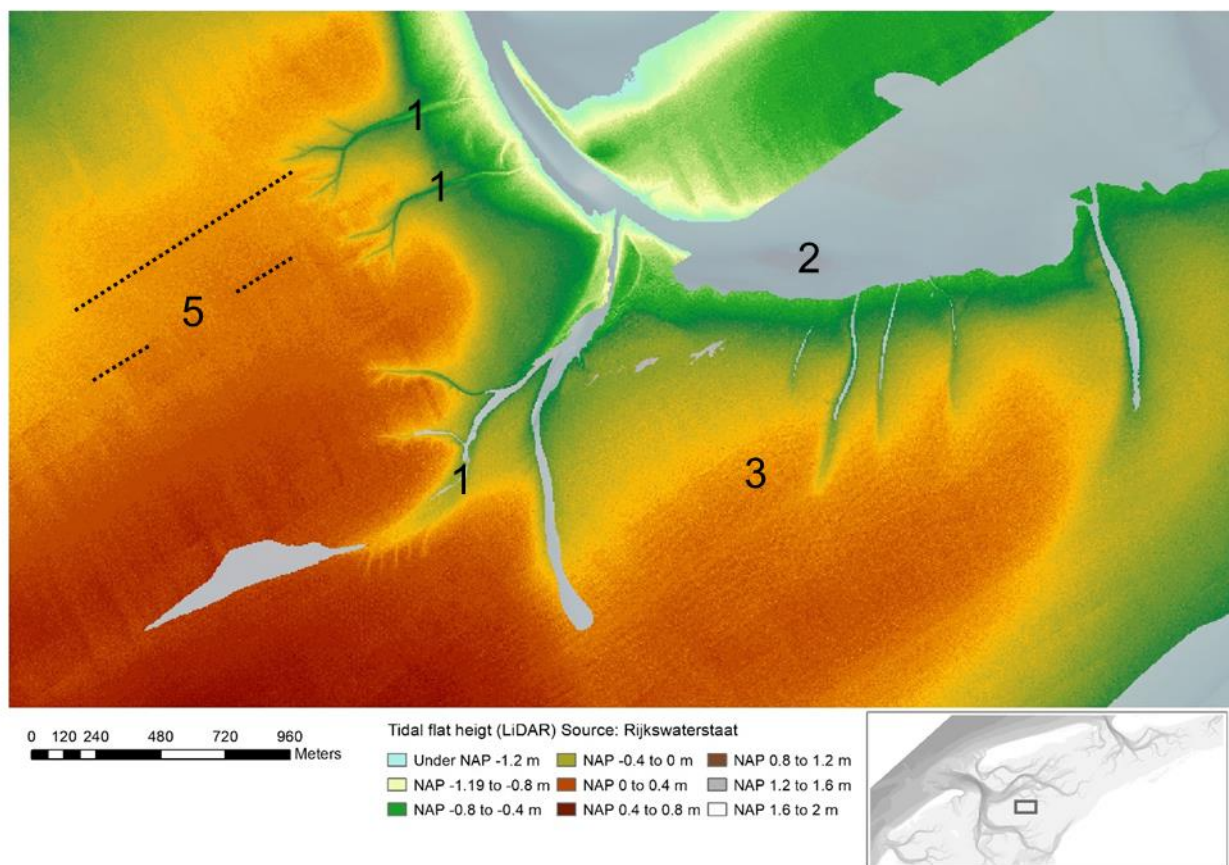


Figuur 9-5 Overzichtskaarten van het kombergingsgebied van het Vlie met de LiDAR opname van 2016.

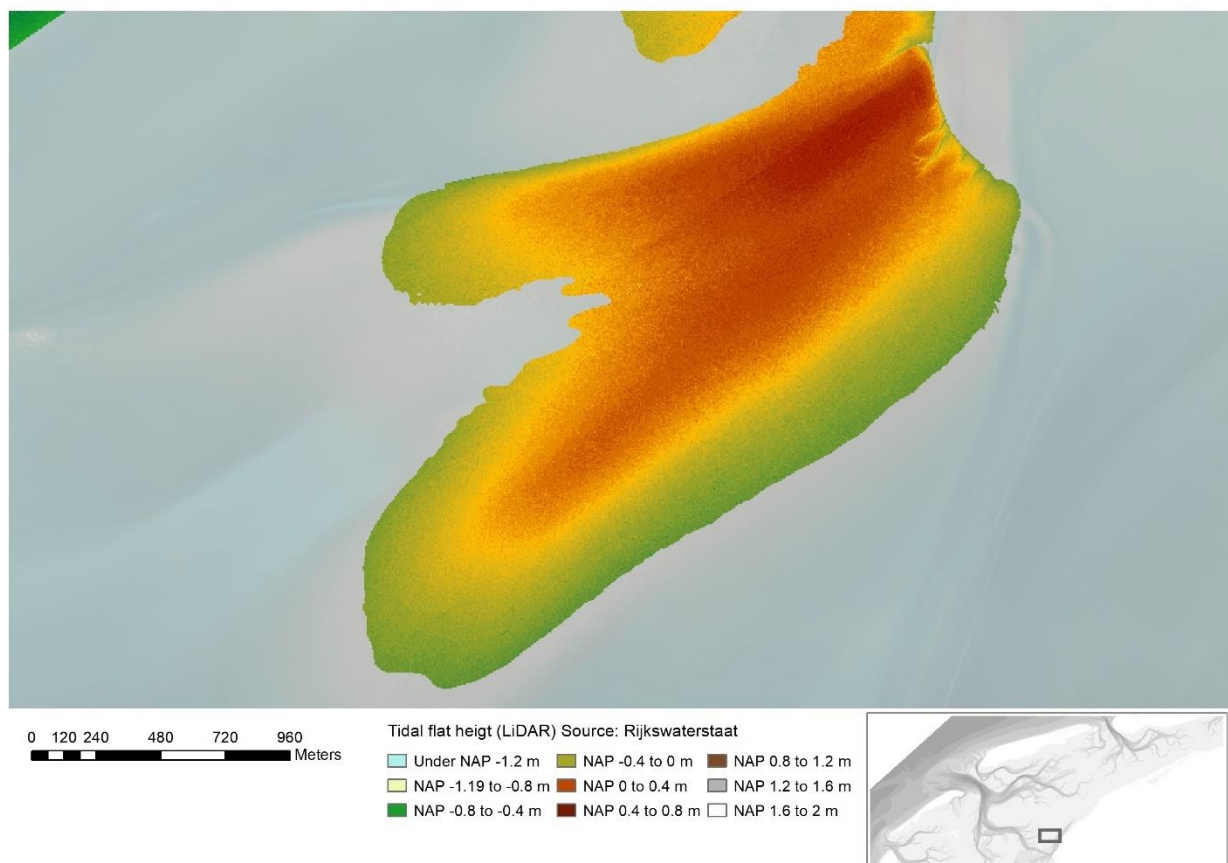
9.4 Evaluatie van de bruikbaarheid van de LiDAR hoogtemetingen voor de omgeving van de Ballastplaat en de samenhang met andere metingen

In de LiDAR hoogtemetingen zijn veel details in de plaatmorfologie zichtbaar. Om daar een indruk van te krijgen is een detailuitsnede van de oostzijde van de Grienderwaard opgenomen in Figuur 9-6. Voor deze kaart zijn een gedetailleerde hoogteklassen gebruikt, zodat ook de beperkte hoogteverschillen zichtbaar worden. In de kaart is zichtbaar dat de plaat wordt ingesneden door een aantal kleine geultjes (prielen, gemarkeerd met 1) die met een fijn vertakkend (dendritisch) patroon vanaf de grotere geul (2) de plaat insnijden. De hoogte van de plaat zelf loopt geleidelijk op. Op de plaat zijn bij 3 ribbel-achtige structuren zichtbaar, met een lengte van rond de tien meter en hoogteverschillen tot 10 centimeter. Ook zijn parallelle banen onder andere zichtbaar bij 5, waarvan de oorsprong mogelijk ligt in de inwinning van de gegevens (de vluchtbanen van LiDAR-opnamen).

Figuur 9-7 laat op zelfde ruimtelijk schaal als Figuur 9-6 de Ballastplaat zien. In de bodem van de Ballastplaat zijn veel minder kleinschalige ruimtelijke structuren zichtbaar. Aan de noordoostzijde liggen enkele kleine prieltjes die de plaat insteken. De plaat laat vooral het geleidelijk oplopen van de hoogte zien, vanaf de omringende geulen.



Figuur 9-6 Detailuitsnede aan de oostzijde van de Grienderwaard uit de LiDAR-hoogteopname van 2016 (gegevensbron: Rijkswaterstaat).



Figuur 9-7 Detailuitsnede aan de zuidwestzijde van de Ballastplaat uit de LiDAR-hoogteopname van 2016 (gegevensbron: Rijkswaterstaat).

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 2016-2020 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 correctievlak 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. Tabel 9.1 geeft de belangrijkste verschillen en overeenkomsten tussen de meetmethoden. 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.

Een belangrijk verschil tussen de Raaimetingen en de LiDAR-hoogtemetingen is dat bij de raaimetingen het medium waardoor wordt gemeten. Bij de raaimeting hangt het meetinstrument (het echolood) in het water en wordt door het water de hoogte van de bodem gemeten. Bij de LiDAR hoogtemeting wordt door de lucht gemeten. Het meten van de wadbodemhoogte met raaimetingen is daardoor niet gevoelig voor de aanwezigheid van een laagje water op de platen. LiDAR metingen zijn wel gevoelig voor aanwezigheid van een laagje water op de platen. De aanwezigheid van een dun laagje water tijdens de LiDAR hoogtemeting verandert niet alleen de gemeten hoogte, omdat het wateroppervlak wordt opgemeten in plaats van de wadbodem, maar resulteert ook in minder gemeten punten, doordat de laserbundel niet voldoende wordt verstrooid door het wateroppervlak. De raaimetingen leveren hierdoor metingen op met een hogere mate van betrouwbaarheid dan de raaimetingen.

Tabel 9.1 Verschillen en overeenkomsten in de meetmethodes voor de Raaimetingen van de hoogte en diepte van de wadbodem en de LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende wadplaten.

	Raaimeting	LiDAR
Meetmethode	Geluid	Licht
Medium	Water	Lucht
Platform	Schip	Vliegtuig
Plaatsbepaling	DGPS-LRK	DGPS-LRK
Roll-Pitch-Heave correctie	Ja	Ja
Snelheid	Tiental kilometers per uur	Honderden kilometers per uur
Hoogte boven bodem	Decimeters tot meters	Honderden meters

De Pleistocene bodemdaling door de zoutwinning vindt geleidelijk plaats. Deze bodemdaling manifesteert zich in de diepe (Pleistocene) ondergrond. Op de wadbodem wordt deze Pleistocene bodemdaling vereffend over een groot gebied en overprint door de autonome erosie en sedimentatie (onder andere door de verplaatsing en de vorming van geultjes). De verwachting is dan ook dat de hoogte van de wadbodem niet meetbaar of merkbaar zal veranderen door de Pleistocene bodemdaling. De raaimetingen zijn zo ingericht, dat kan worden gesignaleerd of eventuele dalingen van de wadbodem groter zijn, in die delen van het gebied waar ook de daling van de vaste ondergrond groter is. De Raaimetingen in combinatie met de Spijkermetingen geven de kwantitatieve informatie om vast te stellen of de sedimentatie op de Ballastplaat voldoende groot is om de Pleistocene bodemdaling te vereffenen. 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.

De raaimetingen geven in de drie raaien een nauwkeurig en frequent inzicht in de hoogteveranderingen. De raaimetingen geven veel zekerheid voor de inwinning van voldoende gegevens en vormen daarom de basis van de hoogtemetingen. De LiDAR metingen dienen hierdoor gezien te worden als een aanvulling, waarmee het ruimtelijk beeld wordt vastgelegd. De LiDAR hoogtemetingen die door Rijkswaterstaat worden

ingewonnen, worden ook gebruikt in de vaklodingen, die naast de droogvallende delen ook de 'natte' delen van het wad omvatten. Het is zinvol om niet alleen de vaklodingen te beschouwen, maar ook de LiDAR hoogtemetingen, omdat de ruimtelijke resolutie van de vaklodingen met 20 m x 20 m veel grover is dan de minimale ruimtelijke resolutie van de LiDAR hoogtemetingen van 5 m x 5 m.

9.5 Tussenconclusies LiDAR

De LiDAR metingen geven inzicht in de ruimtelijke variatie in de bodemligging van de droogvallende platen. Indien zich onvoorziene ontwikkelingen in de bodemligging voordoen, dan worden deze in eerste instantie waargenomen in de raaimetingen. De hogere nauwkeurigheid van de raaimetingen in combinatie met de hogere frequentie van inwinning maken deze metingen bij uitstek geschikt als signaleringsmeting. De LiDAR hoogtemetingen voegen hier het ruimtelijke beeld aan toe van de ontwikkelingen in de hogere delen van de droogvallende plaat.

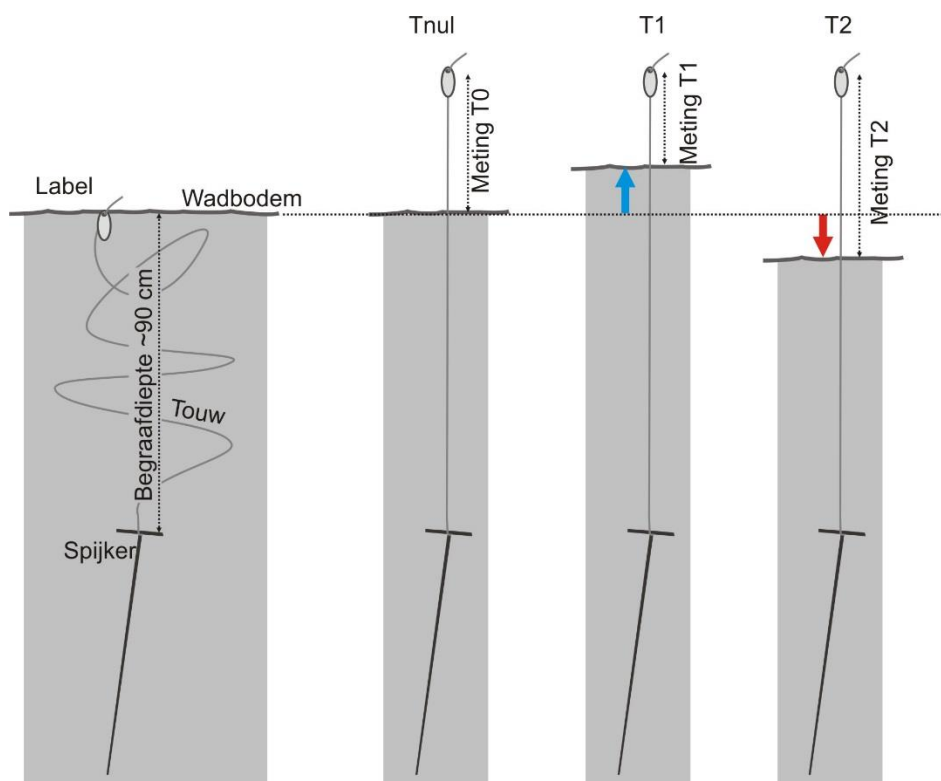
In een situatie mét Pleistocene bodemdaling als gevolg van zoutwinning, begint de analyse met een vergelijking van die bodemdaling met de hoogteontwikkeling in de raaimetingen en de sedimentatiesnelheden uit de spijkermetingen. Bij het beschikbaar komen van nieuwe LiDAR hoogtemetingen, wordt gekeken of en hoe de waarnemingen uit de raaimetingen en de spijkermetingen overeenkomen met het ruimtelijke beeld van de droogvallende plaat.

10 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.

10.1 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 10-1 en Figuur 10-2). 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 10-1 Schematische doorsnede van de wadbodem met een spijkermeting, met aan de linkerzijde de verschillende onderdelen en aan de rechterzijde 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 10-2 Touwtje met ring, dat is bevestigd aan een spijker die in de ondergrond is verankerd (uit Van der Zee et al., 2018a).

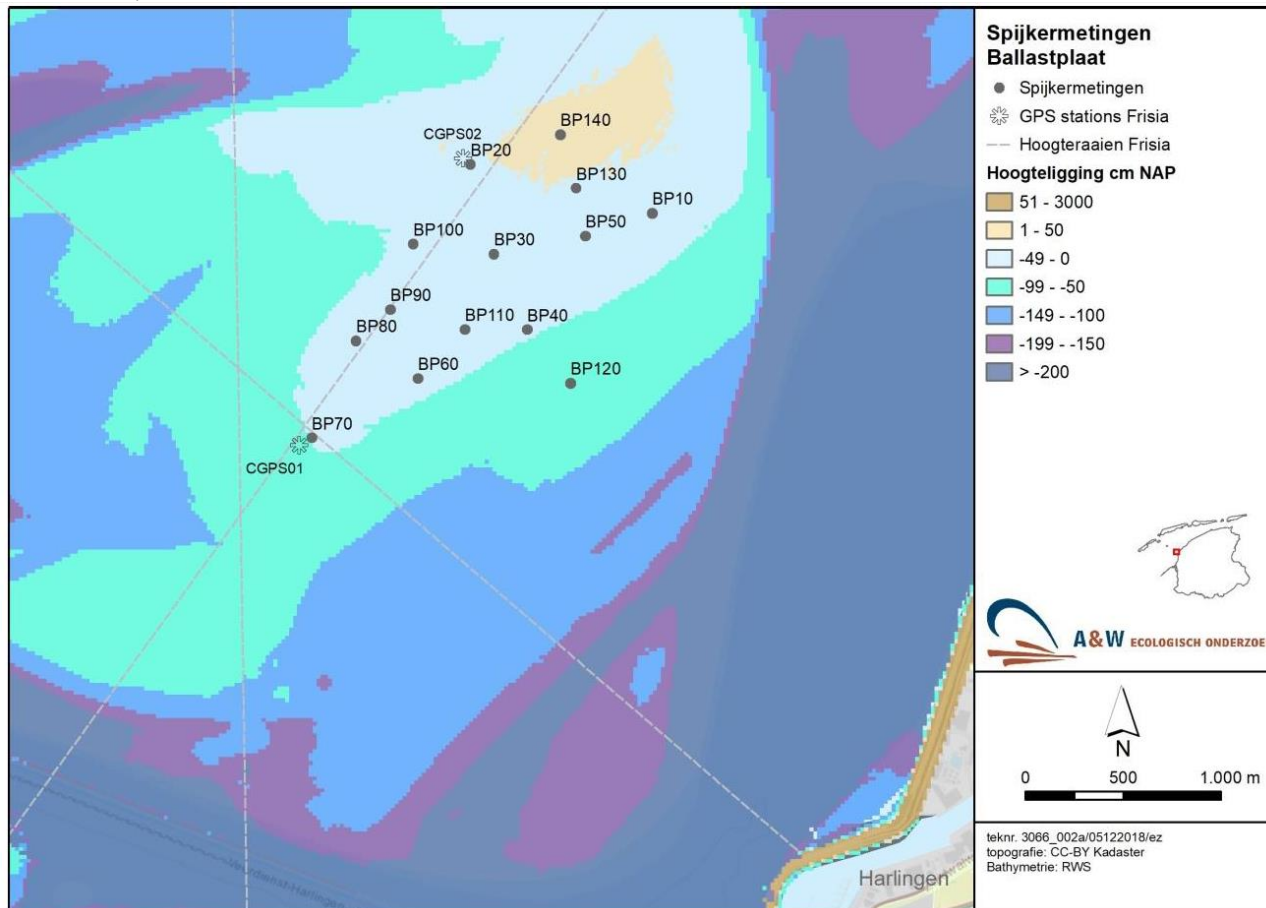
Op basis van de ervaringen met de spijkermetingen bij de gaswinningen Ameland en Waddenzee is vastgesteld dat het éénmaal per jaar uitvoeren van de spijkermetingen risicovol is, omdat de kans dan groot wordt dat meetpunten beschadigen of niet worden teruggevonden. Tevens neemt de waarde van de metingen 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.

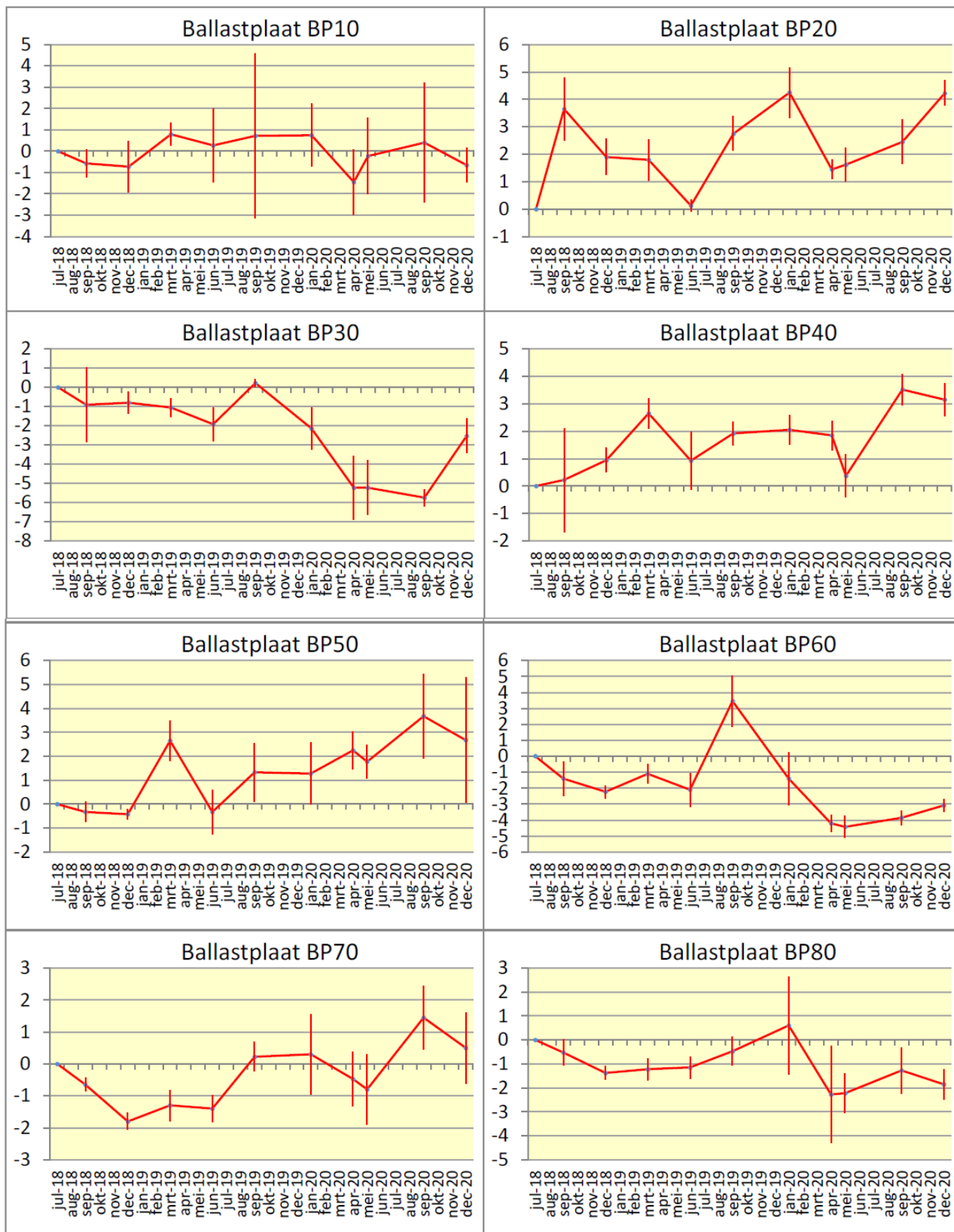
10.2 Gegevens

In juni 2018 zijn 12 meetstations uitgezet. In september 2018 is een dertiende station toegevoegd en in juni 2019 een veertiende. In Figuur 10-3 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.

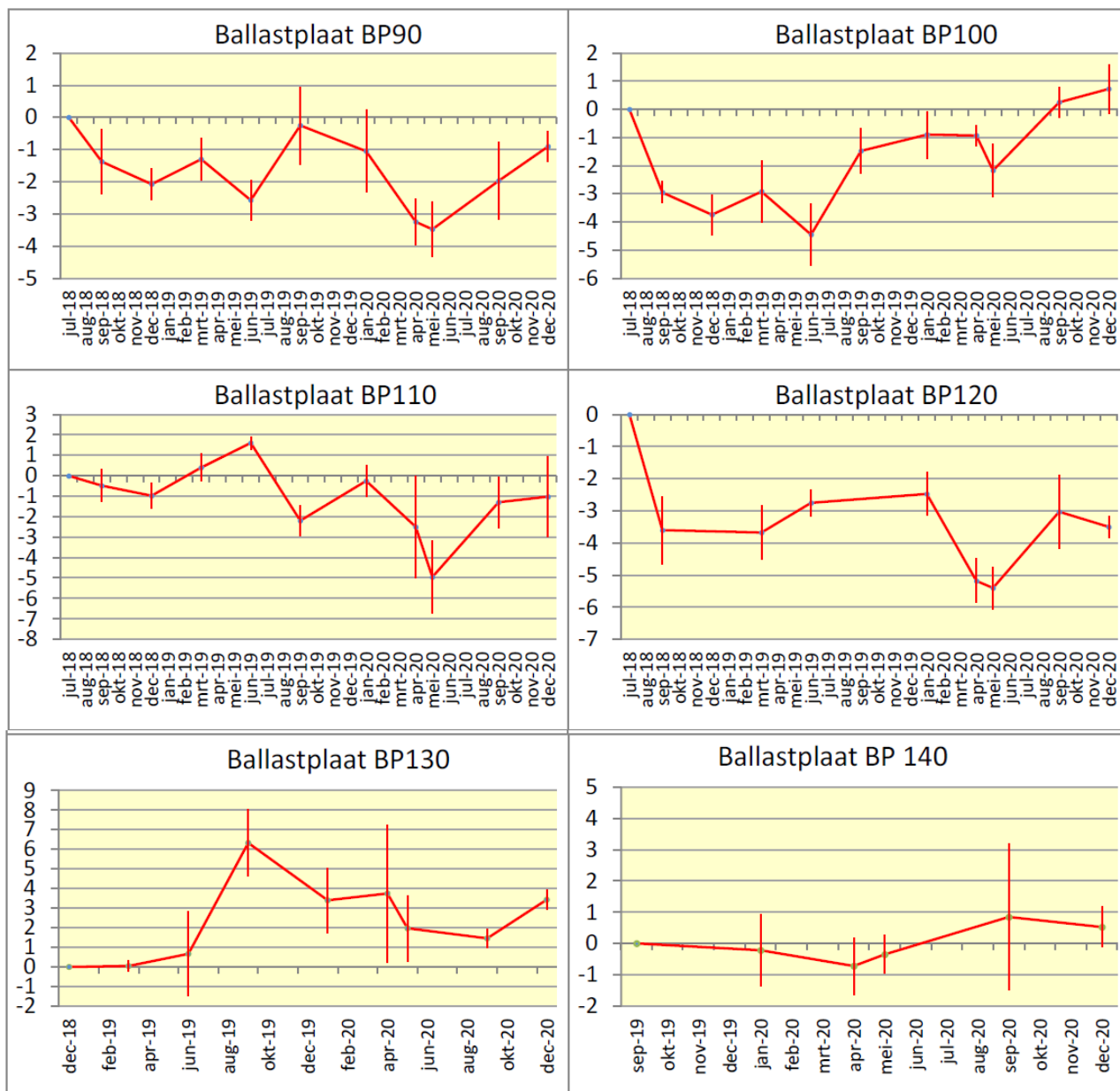


Figuur 10-3 Meetstations van de spijkermetingen en de twee vaste GPS stations op de Ballastplaat (uit van der Zee et al., 2020).

Omdat de meeste stations in juni 2018 zijn geplaatst zijn voor de meeste stations elf metingen uitgevoerd. De resultaten per meetstation zijn opgenomen in de grafieken in Figuur 10-4 en Figuur 10-5.



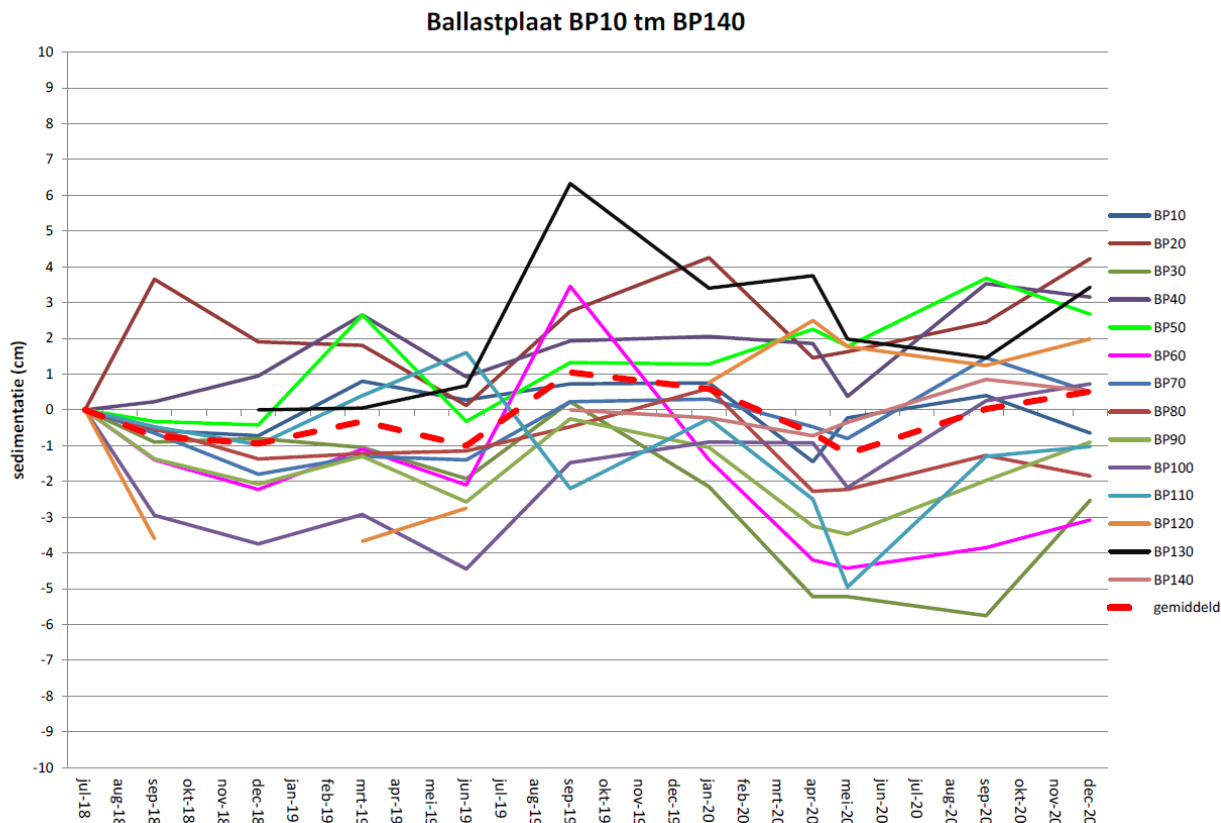
Figuur 10-4 Grafieken met de gemiddelde sedimentatie en standaarddeviatie (balken) van de meetstations BP10-BP60 op Ballastplaat bijgewerkt t/m december 2020. Op Y-as sedimentatie in cm (uit van der Zee, 2020a).



Figuur 10-5 Grafieken met de gemiddelde sedimentatie en standaarddeviatie (balken) van de meetstations BP70-BP140 op Ballastplaat bijgewerkt t/m december 2020. Op Y-as sedimentatie in cm (uit van der Zee, 2020a).

10.3 Analyse

In de grafieken in Figuur 10-4 en Figuur 10-5 is zichtbaar dat de standaarddeviatie in de metingen (op basis van de vier meetpunten per station) in de tijd varieert en ook per station verschilt. Over het algemeen ligt de standaarddeviatie rond de centimeter, maar er zijn metingen waarbij deze enkele centimeters bedraagt. Figuur 10-6 laat een de gemiddelde 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 -6 cm (BP90) tot een sedimentatie van +6 cm (BP130). Het gemiddelde komt in december 2020 uit op + 0,5 cm, nadat het in mei 2020 nog -1 cm was. Duidelijk is dat deze sedimentatie in de periode mei-december 2020 door alle stations gedragen wordt. Het algemene beeld is enige erosie over de periode januari-april en in de periode mei-december weer sedimentatie.



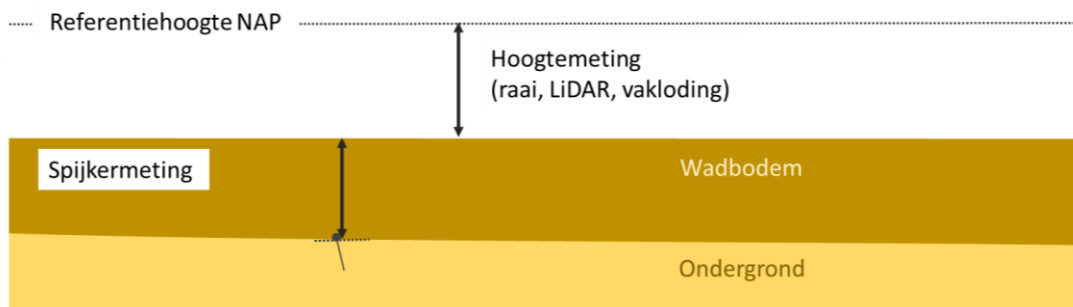
Figuur 10-6 Grafiek met de gemiddelde sedimentatie BP10 tm BP140 en gemiddelde van alle stations op Ballastplaat bijgewerkt t/m januari 2020 (uit van der Zee, 2020a).

10.4 Buikbaarheid en samenhang met andere metingen

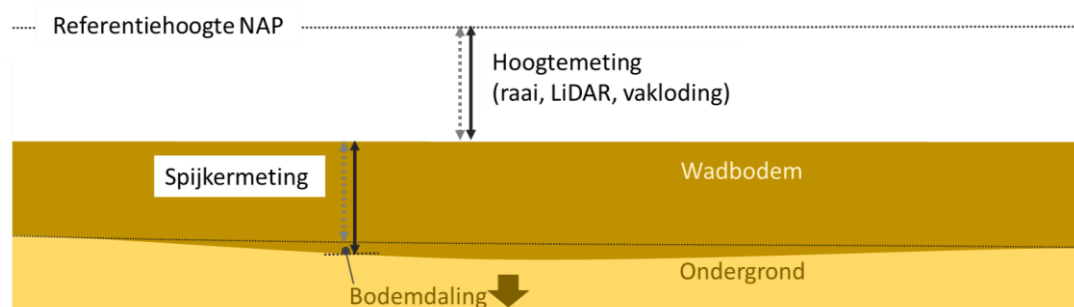
De bruikbaarheid van de spijkermetingen voor het verkrijgen van inzicht in de sedimentatie en erosie op wadplaten is bij de bodemdaling door de gaswinning Ameland en MLV al gedemonstreerd (van der Lugt et al., 2020). Op de Ballastplaat blijken de spijkermetingen ook uitvoerbaar, ondanks de lastiger werkomstandigheden. De spijkermetingen zijn puntmetingen die tezamen een gemiddeld beeld geven van de mate van erosie/sedimentatie op het hoger gelegen deel van de Ballastplaat. Dit is het deel dat het meest droogvalt en zodoende in sterke mate bijdraagt aan het beschikbare foerageergebied voor de onderzochte vogelsoorten. In vergelijking met de raaimetingen, differentiëren de spijkermetingen tussen maaiveld daling als gevolg van erosie en maaiveld daling als gevolg van bodemdaling.

In Figuur 10-7 is schematisch aangegeven wat de gevolgen hiervan zijn voor de het meten van hoogte in de raaimetingen en LiDAR en sedimentatie en erosie uit de spijkermetingen. In de figuur is de wadbodem niet veranderd, omdat de Pleistocene bodemdaling is vereffend door sedimenttransport op het wad. De hoogte van het wad die wordt gemeten ten opzichte van de vaste referentiehoogte, is daarmee ook niet gewijzigd. Maar omdat de spijker, die het referentieniveau vormt voor de spijkermeting, wel is meegedaald met de Pleistocene bodemdaling, wordt bij de spijkermeting sedimentatie gemeten. De spijkermetingen geven hiermee ook aanvullende inzichten in de extra sedimentatie onder invloed van de Pleistocene bodemdaling.

A. Uitgangssituatie (T_{nul})

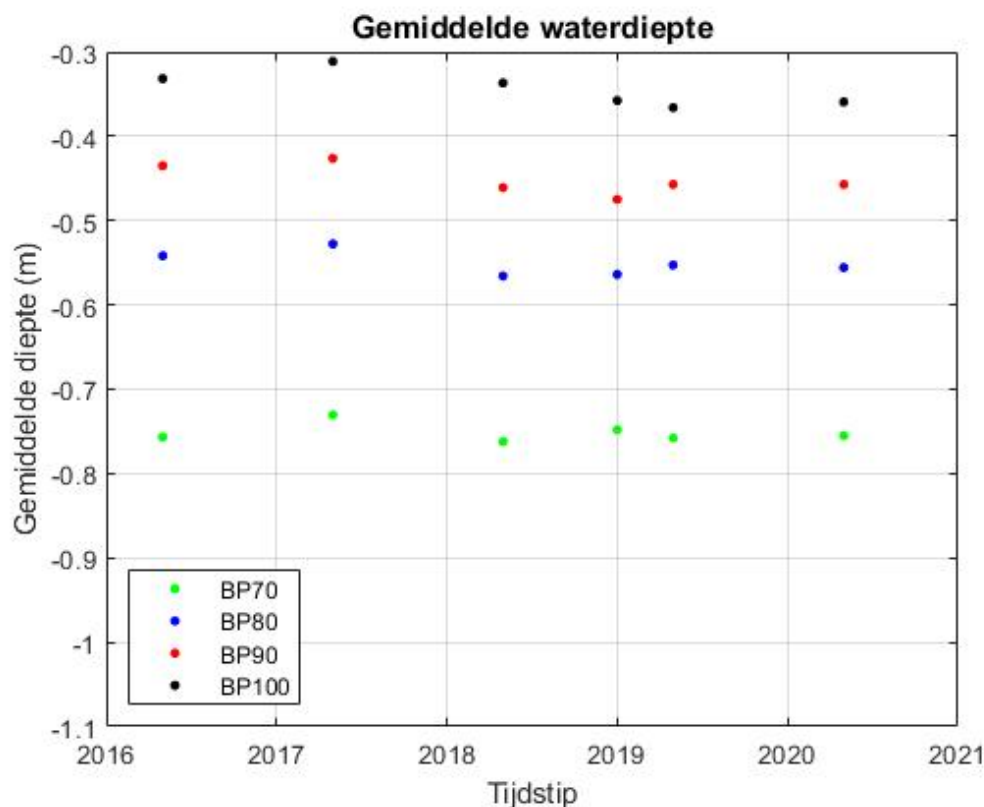


B. Effectmeting (T_N)



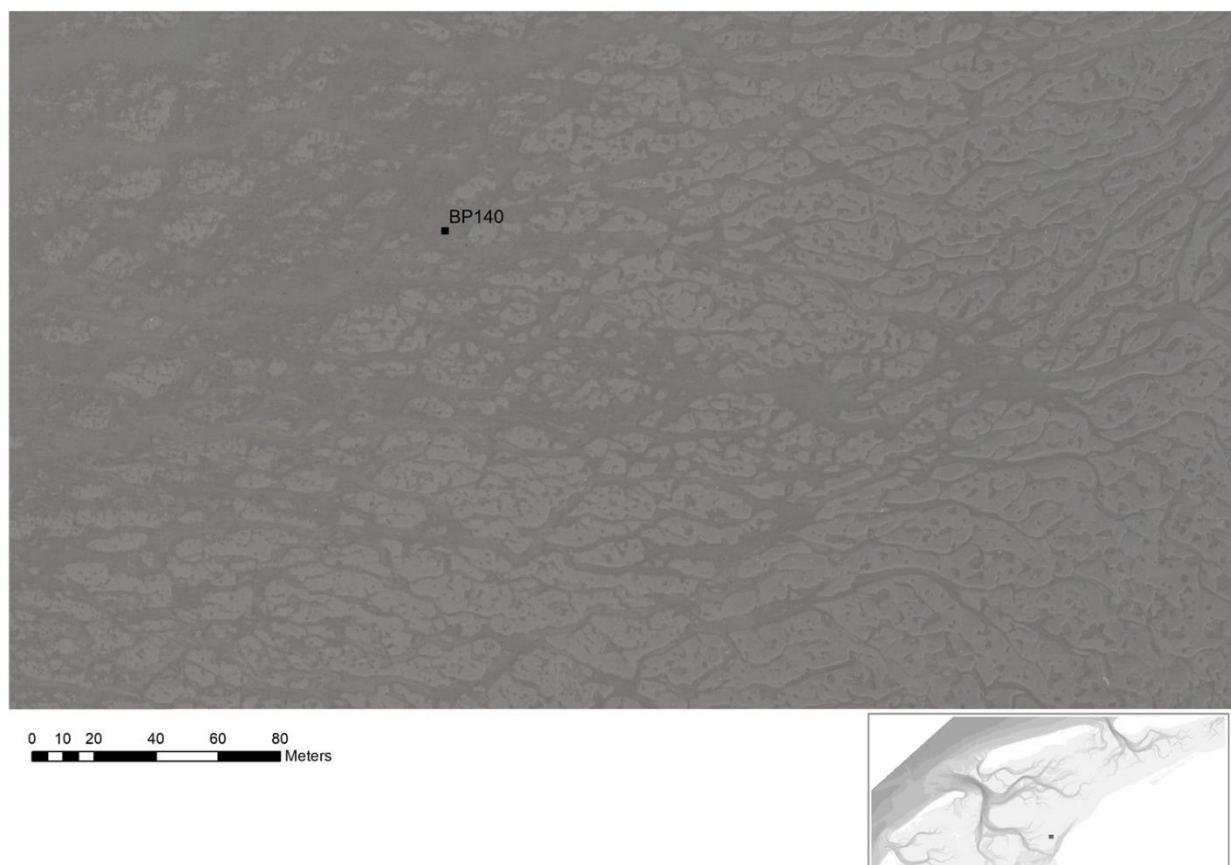
Figuur 10-7 Schematische weergave van metingen ten opzichte van een vaste referentiehoogte (raaimetingen, LiDAR-metingen en vaklodingen) en metingen ten opzichte van een lokaal referentieniveau in de ondergrond (spijkermetingen), waarbij A de uitgangssituatie voorafgaande aan de bodemdaling is en B de situatie na het optreden van bodemdaling.

De getoonde situatie in Figuur 10-7 is sterk geschematiseerd. In werkelijkheid varieert de ligging van de wadbodem onder invloed van allerlei autonome processen. Dit is nu al zichtbaar in de resultaten van de spijkermetingen in Figuur 10-6 en in de gemeten hoogte van de Ballastplaat in de raaimetingen in hoofdstuk 8. Dat betekent dat de trends in de hoogteligging uit de raaimetingen en trends in de sedimentatie en erosie samen beschouwd zullen worden, om zo inzicht te krijgen in de sedimentatie en erosie onder invloed van de Pleistocene bodemdaling. Ter illustratie worden in Figuur 10-8 de waargenomen hoogte uit de raaimetingen getoond, zoals die optreden nabij de spijkermetingen. Daartoe worden de hoogtes in een 20 m lang segment berekend. Zichtbaar is dat de grootte van orde van de veranderingen in de hoogte ten opzichte van NAP in Figuur 10-8 vergelijkbaar zijn met de gemeten hoogteveranderingen in de spijkermetingen. De toe- en afnames in beide metingen corresponderen niet in elke raai op elk moment met elkaar.

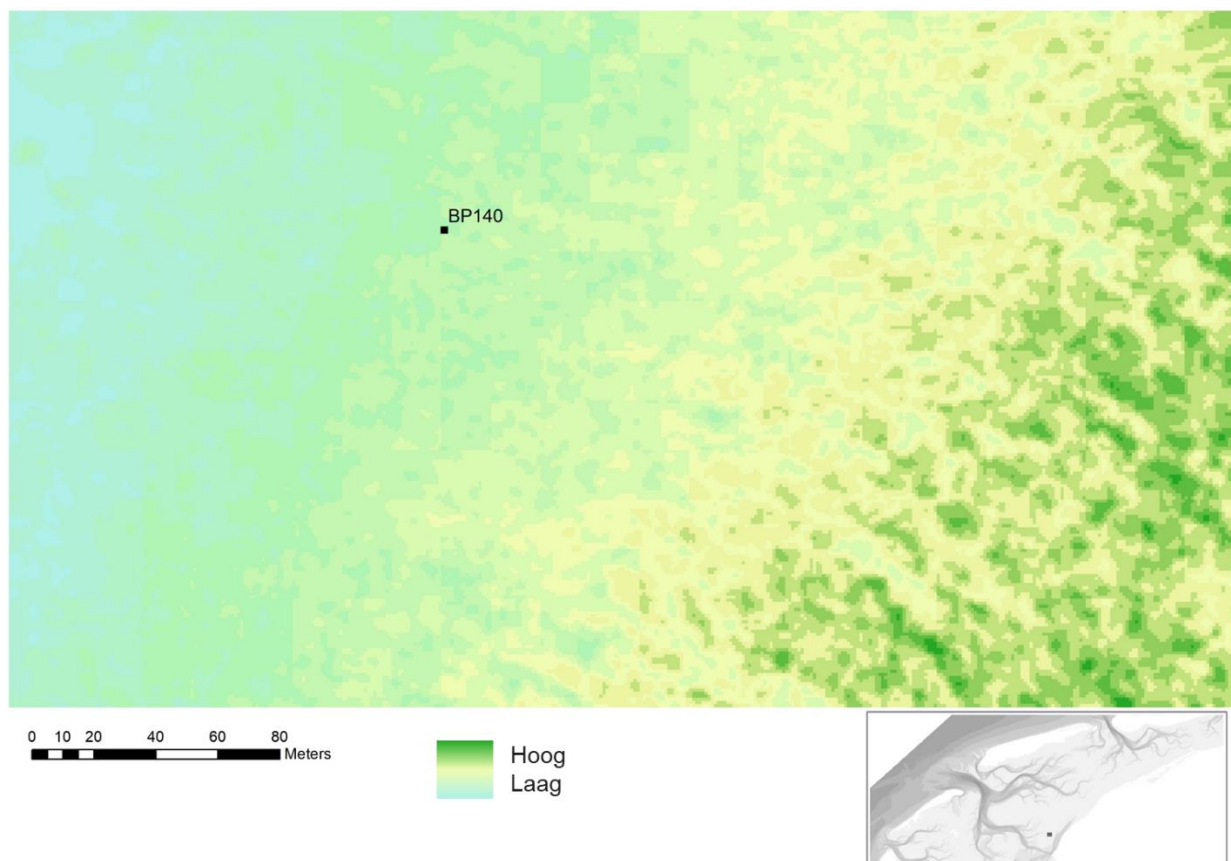


Figuur 10-8 Grafiek van de gemiddelde waterdiepte in de raaien in een 20 m lang segment van de raai 2, rondom de loodrechte projecten van de locatie van de spijkermeting op deze raai.

De spijkermetingen laten heel duidelijk zien dat sprake is van variatie in ruimte en tijd van de sedimentatie en erosie die plaatsvindt op de Ballastplaat. Dit vult de waarnemingen uit de spijkermetingen en de vaklodingen aan, die ook morfologische veranderingen laten zien, maar dan op grotere ruimte- en tijdschalen. De vaklodingen laten bijvoorbeeld verplaatsing van getijdegeulen zien, die zowel leiden tot afbraak als opbouw van de plaat (Figuur 7-3). Ook is in de vaklodingen zichtbaar dat sommige geulen, zoals het Kimstergat, structureel in omvang afnemen, met een bijbehorende afname van het watervolume dat op de bijbehorende plaatgebieden (waar het kombergingsvolume van de betreffende geul ligt). De raaimetingen laten zien dat op de wadplaten verschillende bodemvormen liggen, zoals langgerekte longitudinale megaribbels (Figuur 8-2) en banken (met golflengtes van tientallen tot honderden meters), die in de loop van tijd verplaatsen (Figuur 8-3). De LiDAR hoogtemetingen in combinatie met luchtfoto's maken de hoogteverschillen inzichtelijk die samenhangen met de dendritische patronen van geultjes op de plaat. Dit is geïllustreerd met de luchtfoto in Figuur 10-9 en de hoogtekaart van hetzelfde gebied in Figuur 10-10. Deze patronen ontstaan, de hoogteverschillen nemen toe en de patronen veranderen in de loop van de tijd van vorm en plaats. Dit type veranderingen in de morfologie leveren de hoogtevariaties (en de spreiding daarin) die worden gemeten met de spijkermetingen.



Figuur 10-9 Luchtfoto van de Ballastplaat rond Spijkermeting BP140 (bron: Beeldmateriaal.nl).



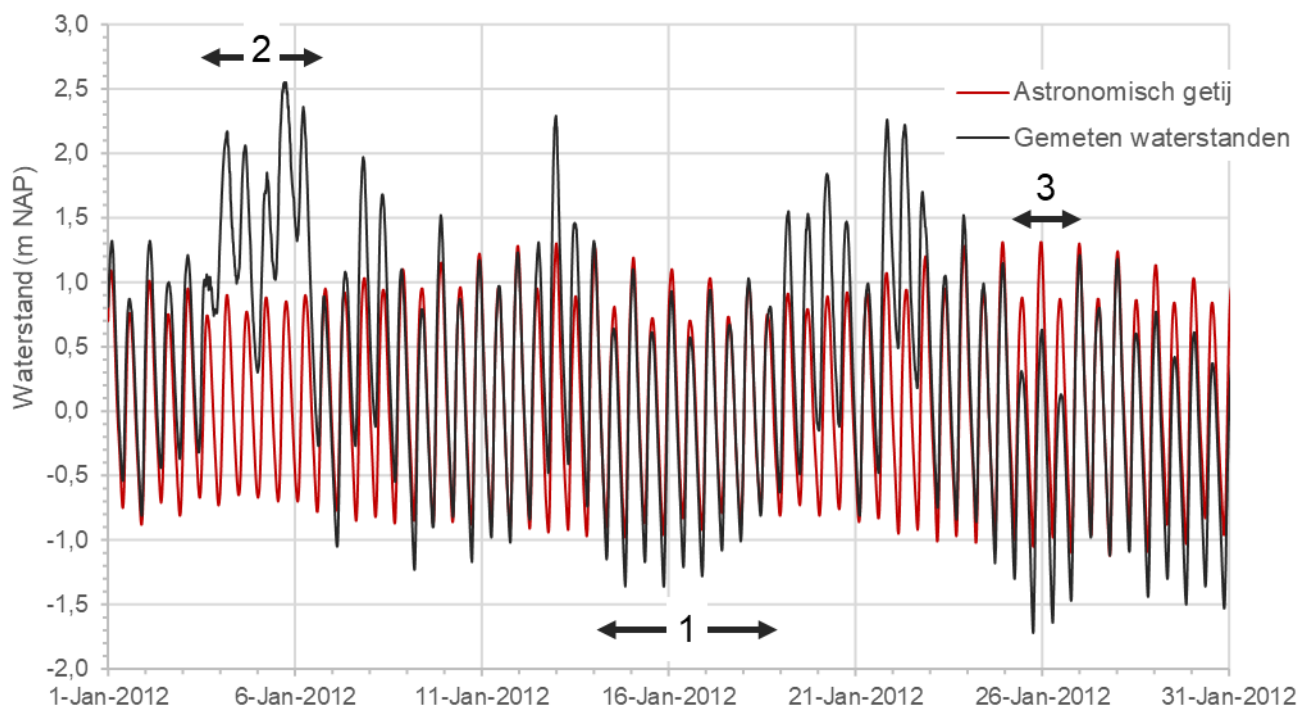
Figuur 10-10 Kaart van de hoogte op basis van de LiDAR hoogtemeting 2019. Het gebied komt overeen met de luchtfoto in Figuur 10-9.

Al deze morfologische veranderingen op de verschillende tijd- en ruimteschalen zijn gerelateerd aan verschillende fysische processen, zoals de stroming door het getij en de wind en golven, en biologische processen, zoals de stabilisatie van de bodem door microfytobenthos en de destabilisatie door bioturbatie. De tijdschalen die gekoppeld zijn aan de morfologische veranderingen zijn medeafhankelijk van de maatgevende processen. Een deel van de veranderingen treedt geleidelijk op onder invloed van het getij, terwijl sommige veranderingen optreden tijdens stormevents en andere processen worden gestuurd door de seizoenen. Om inzicht te geven in de variatie die optreedt in enkele van de sturende processen is het astronomische getij en de gemeten waterstanden in Harlingen bij Rijkswaterstaat opgevraagd en zijn de gegevens over het weer opgevraagd bij het KNMI.

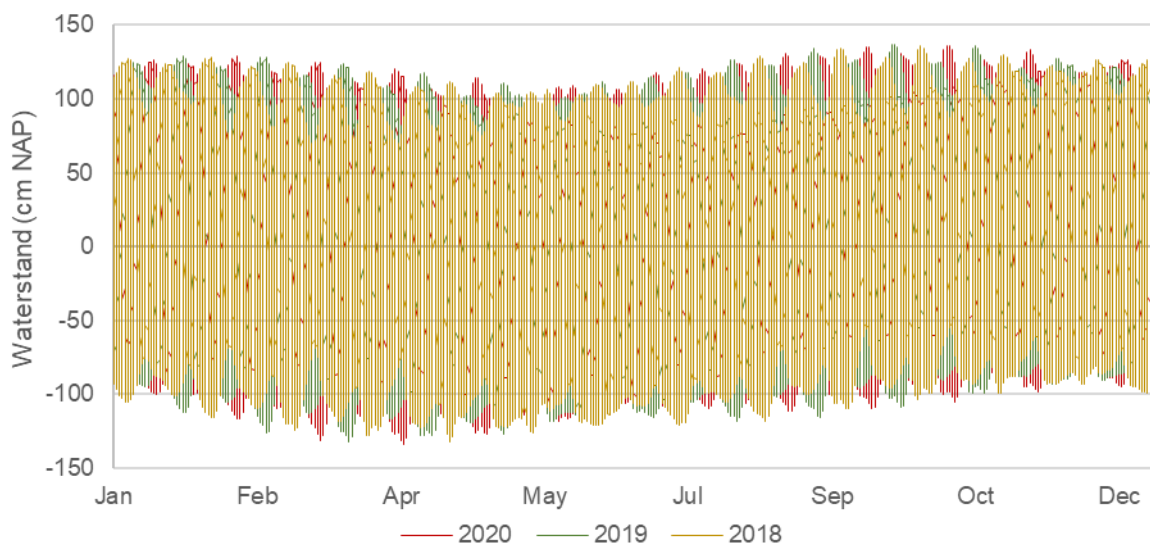
In Figuur 12-18 is een tijdreeks weergegeven van de gemeten waterstanden in de periode 1 tot 31 januari 2012. In deze grafiek is naast de gemeten waterstanden ook het astronomisch getij weergegeven. Het astronomische getij betreft de berekende waterstanden zoals die optreden onder invloed van de maan en de zon. Door de verschillende variaties in de stand van de aarde en de banen van de maan en de zon treden variaties op in de astronomische waterstanden, waarvan de bekendste de doortij-springtij cyclus is die zich ongeveer iedere twee weken herhaalt. De variaties die door het jaar heen optreden in de astronomische waterstanden voor 2018, 2019 en 2020, zijn zichtbaar in *Figuur 10-12*. In deze grafiek kunnen de doortij-springtij cycli worden herkend door de pieken en dalen in de niveaus van hoog- en laagwater die ongeveer twee keer per maand optreden. Verder is duidelijk zichtbaar dat in alle jaren een seizoensvariatie aanwezig is, met de laagste hoog- en laagwaterstanden begin mei en de hoogste standen eind september. De invloed van de 18,6 jarige cyclus in het getij is in deze weergaven niet zichtbaar (ook niet wanneer de extremen van 19 jaar worden geplot), omdat deze cyclus voornamelijk tot uitdrukking komt in de gemiddelde getijslag.

Soms liggen de gemeten waterstanden en de astronomische waterstanden op elkaar, zoals aangegeven bij 1 in Figuur 12-18. In deze periode zijn ook verhogingen (o.a. bij 2 in Figuur 12-18) als verlagingen (bij 3 in Figuur 12-18.) van de waterstanden zichtbaar ten opzichte van de astronomische waterstand. Die verschillen zijn het gevolg van meteorologische effecten: de wind blaast als het ware water de Waddenzee in of uit. De omvang van de meteorologische effecten wordt bepaald door de windrichting en -sterkte en door de duur van een bepaalde windconditie. Sterk verhoogde waterstanden in de Waddenzee gaan meestal samen met stormachtige condities. Een beschrijving van deze processen kan onder andere worden gevonden in Gräwe (2016). De windsterkte en -richting is ook de bepalende factor voor de golven die optreden in de omgeving van de Ballastplaat. De Ballastplaat ligt ver weg van de zeegaten, zodat hier geen golven vanaf de Noordzee doorwerken. Golfmetingen in de omgeving van de Ballastplaat zijn projectmatig uitgevoerd bij het Slibmotor Koehoal project (Baptist et al, 2019; Colisimo et al., 2020).

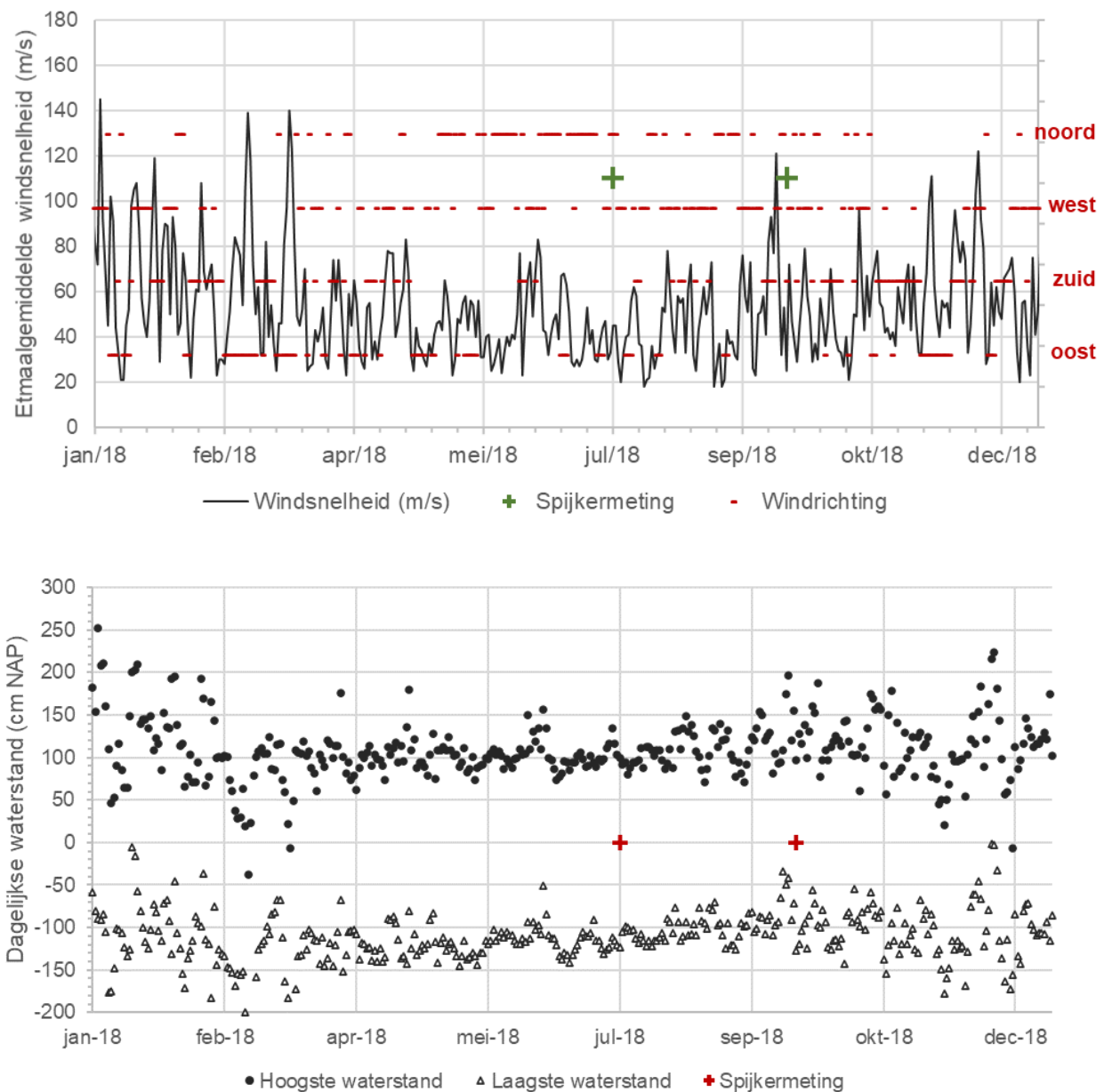
Vanwege het belang van de windsterkte en -richting zijn deze samen met de opgetreden waterstanden in beeld gebracht in *Figuur 10-13* voor 2018, in *Figuur 10-14* voor 2019 en in *Figuur 10-15* voor 2020. In de grafieken is zichtbaar dat alleen in februari 2020 een periode met sterke westenwinden is opgetreden die meerdere dagen duurde. Dat is tevens de periode dat de waterstand de hoogste waarde bereikt heeft in deze drie jaar.



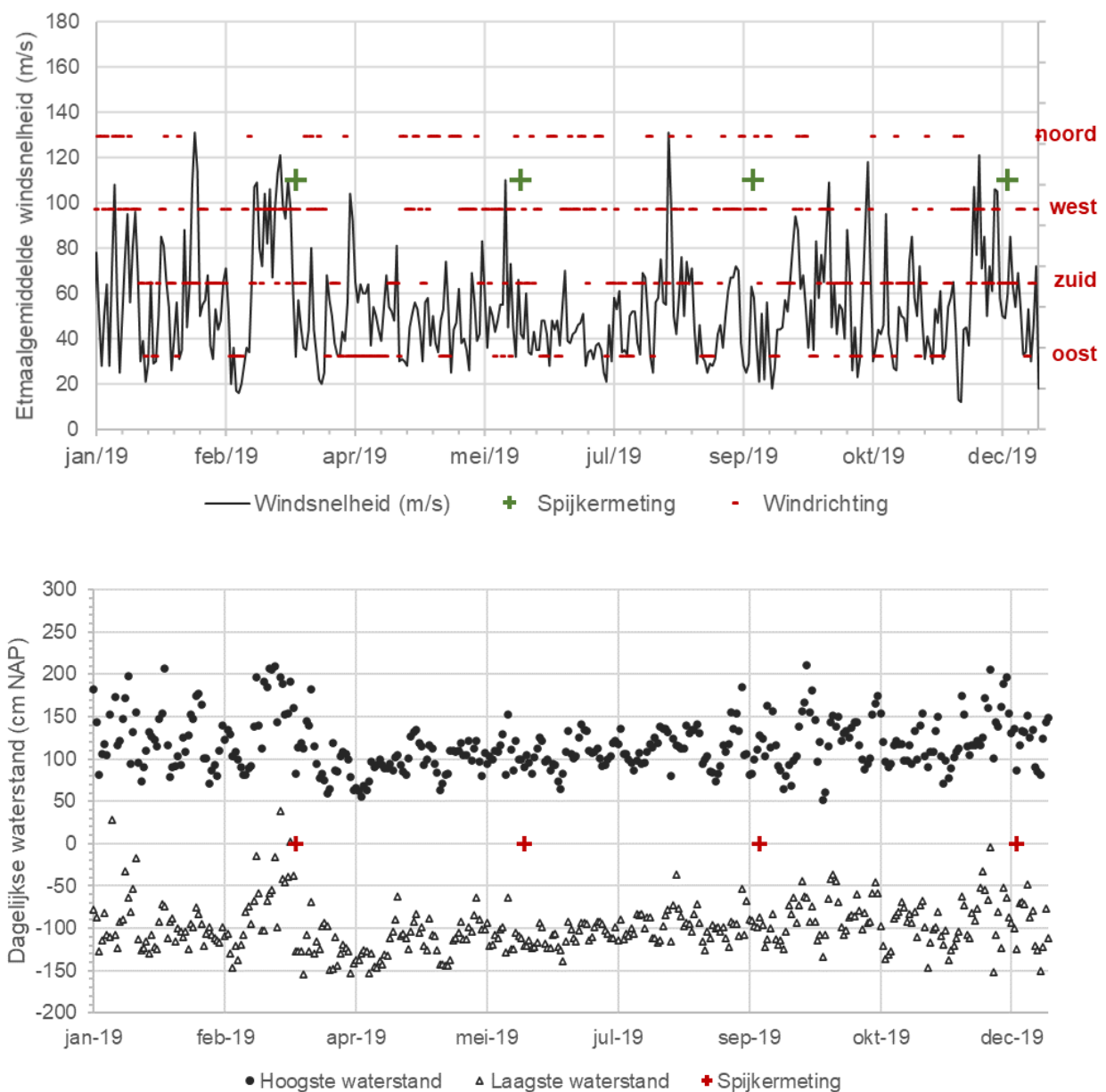
Figuur 10-11 Grafiek met de gemeten waterstanden en de berekende astronomische waterstanden te Harlingen voor 2012 (gegevens Rijkswaterstaat, via waterinfo.rws.nl). Bij 1 is de periode aangegeven waarin de gemeten waterstanden en de astronomische waterstanden min of meer overeenkomen, bij 2 is sprake van een verhogen en bij 3 is sprake van een verlaging van de gemeten waterstand ten opzichte van de astronomische waterstand.



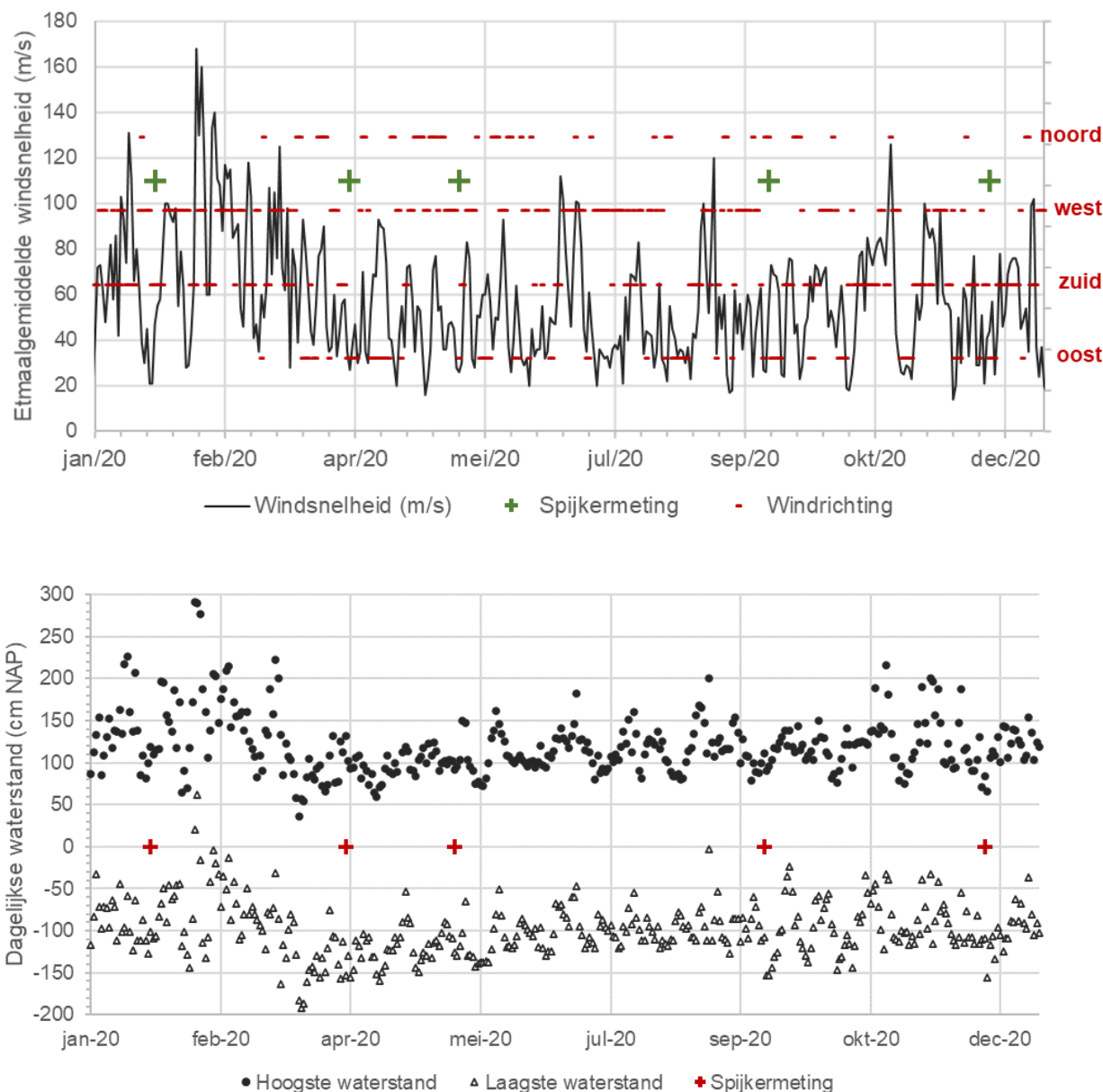
Figuur 10-12 Grafiek met de berekende astronomische waterstanden te Harlingen voor 2018, 2019 en 2020 (gegevens Rijkswaterstaat, via waterinfo.rws.nl).



Figuur 10-13 Bovenste grafiek: Etmaalgemiddelde windsnelheden in station de Kooy (Den Helder, data van KNMI). Onderste grafiek: Gemeten waterstanden in peilstation Harlingen (data Rijkswaterstaat). Beide voor het jaar 2018.



Figuur 10-14 Bovenste grafiek: Etmaalgemiddelde windsnelheden in station de Kooy (Den Helder, data van KNMI). Onderste grafiek: Gemeten waterstanden in peilstation Harlingen (data Rijkswaterstaat). Beide voor het jaar 2019.



Figuur 10-15 Bovenste grafiek: Etmaalgemiddelde windsnelheden in station de Kooy (Den Helder, data van KNMI). Onderste grafiek: Gemeten waterstanden in peilstation Harlingen (data Rijkswaterstaat). Beide voor het jaar 2020.

Een vergelijking van de wind en waterstandscondities voorafgaand aan de momenten waarop de spijkermetingen zijn uitgevoerd met de gemeten sedimentatie en erosie laat geen eenduidige relatie(s) zien. Als voorbeeld wordt de storm met de hoogste windsnelheden en waterstanden van februari 2020 gebruikt. Veel van de spijkermetingen laten erosie zien tussen de spijkermetingen voor en na de storm, maar bijvoorbeeld BP50 laat juist een hoogtetoename zien. Het is goed denkbaar dat deze storm voor een herverdeling van het sediment op de Ballastplaat heeft gezorgd. In geen van de waarnemingsperiodes vindt in de spijkermetingen in alle meetpunten of opbouw of afbraak plaats. Een van de verklaringen hiervoor is dat er ook structurele morfologische veranderingen plaatsvinden, bijvoorbeeld de verplaatsing van bodemvormen. Die structurele veranderingen treden op in combinatie met de opbouw en afbraak en dat kan op specifieke locaties leiden tot afwijkende ontwikkelingen. De komende periode zullen we op basis van meteorologische en hydrodynamische informatie komen tot een hypothese voor de morfologische ontwikkeling van de Ballastplaat. Deze ontwikkeling kan dan aan de hand van de monitoring met de verschillende meettechnieken getoetst worden.

10.5 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 -6 cm (BP90) tot een sedimentatie van +6 cm (BP130). 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.

Wanneer in de toekomst Pleistocene bodemdaling optreedt als gevolg van de zoutwinning, dan zal de waargenomen sedimentatiesnelheid uit de Spijkermetingen vergeleken met de snelheid van bodemdaling ter plaatse van de betreffende cluster. Per cluster wordt dan duidelijk of de sedimentatiesnelheid ter plaatse voldoende groot is om de Pleistocene bodemdaling bij te houden. De clusters worden daarna onderling vergeleken en er wordt gekeken naar relatie met de hoogte-ontwikkelingen uit de raaimetingen.

11 SEDIMENTSAMENSTELLING

In het monitoringrapport “Sedimentsamenstelling Studiegebied Zoutwinning Waddenzee; Jaarrapport 2019” (Van der Zee, 2021b) zijn de resultaten van de metingen aan de sedimentsamenstelling opgenomen.

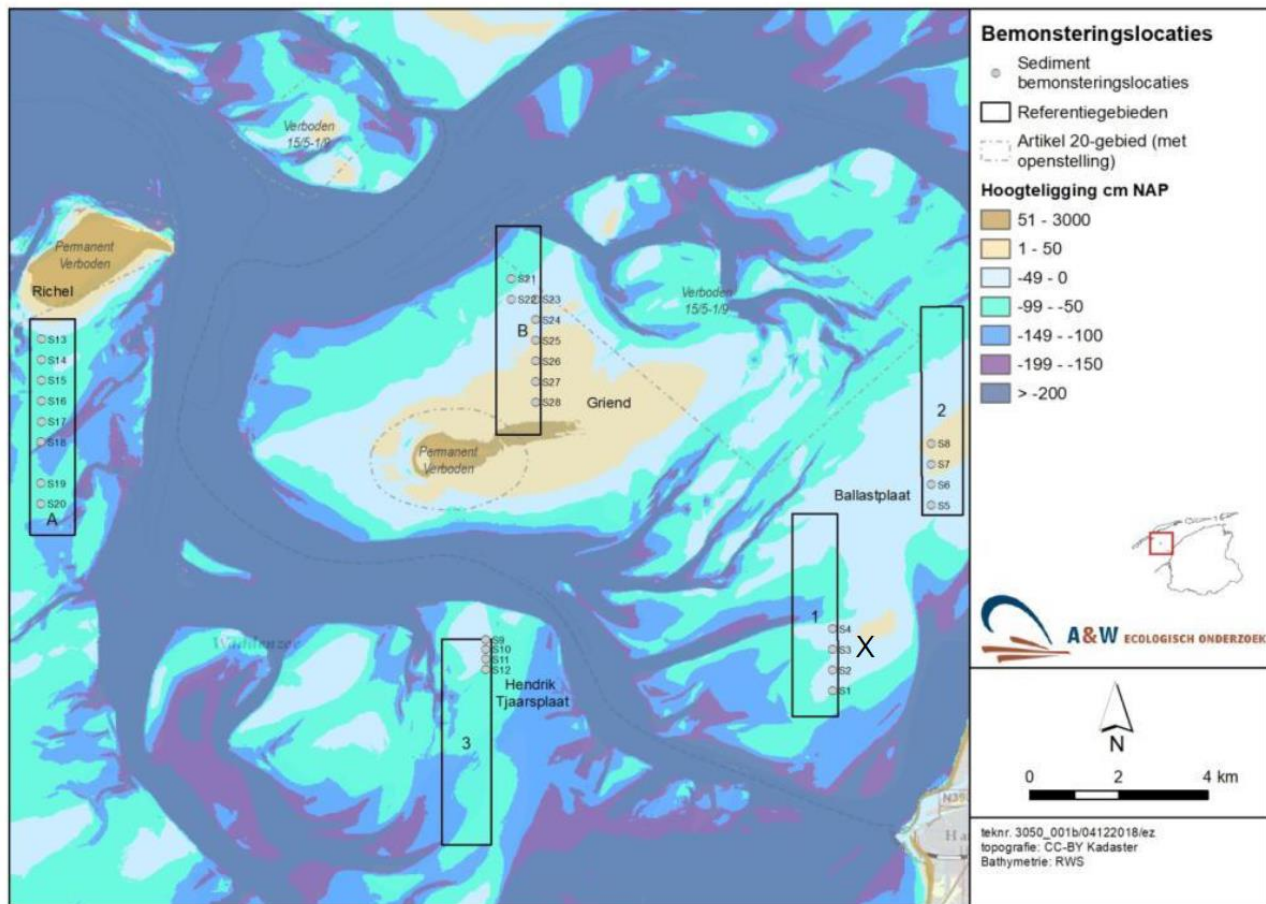
11.1 Introductie meetmethode

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 doormiddel 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 Van der Zee et al. (2020b) 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.

De locaties (Figuur 11-1) en de frequentie komen overeen met die van de benthosbemonstering.



Figuur 11-1 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.

11.2 Gegevens

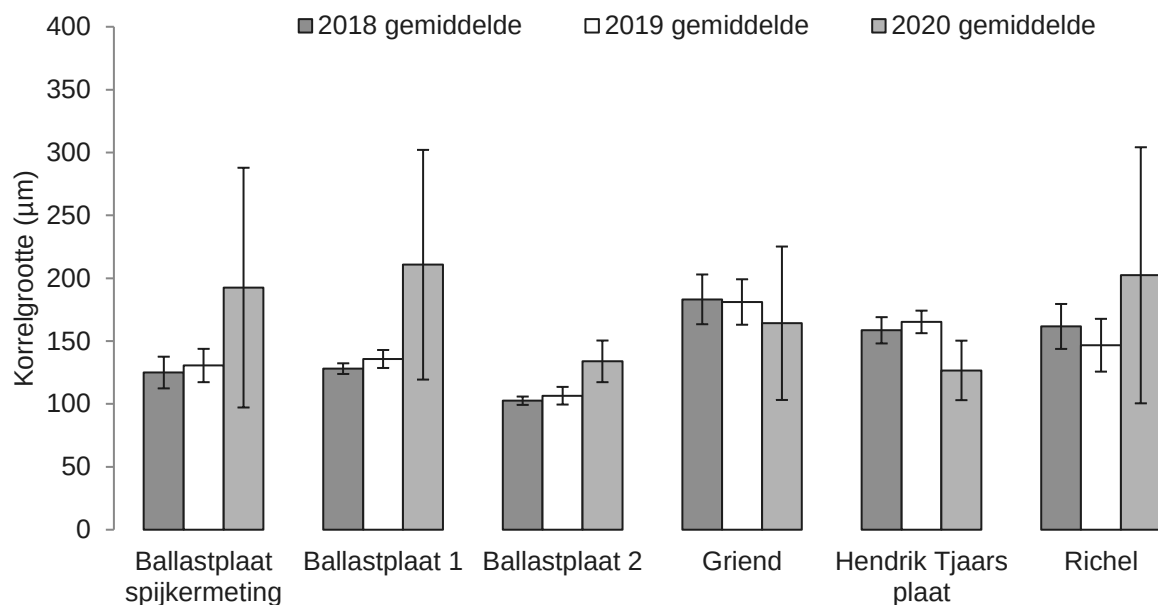
De belangrijkste resultaten uit van der Zee et al. (2020b) zijn in het voorliggende rapport overgenomen. De sedimentsamenstelling is bepaald in zes gebieden (Figuur 11-1), waarbij per gebied meerdere monsters zijn verzameld (Tabel 11.1). In de gebieden 1 t/m 3 zijn 4 locaties bemonsterd langs een raai. In de gebieden A en B zijn 8 locaties bemonsterd langs een raai. Daarnaast is het sediment bemonsterd op de spijkermetinglocaties.

Tabel 11.1 Monstergebieden en -punten voor de sedimentbemonstering

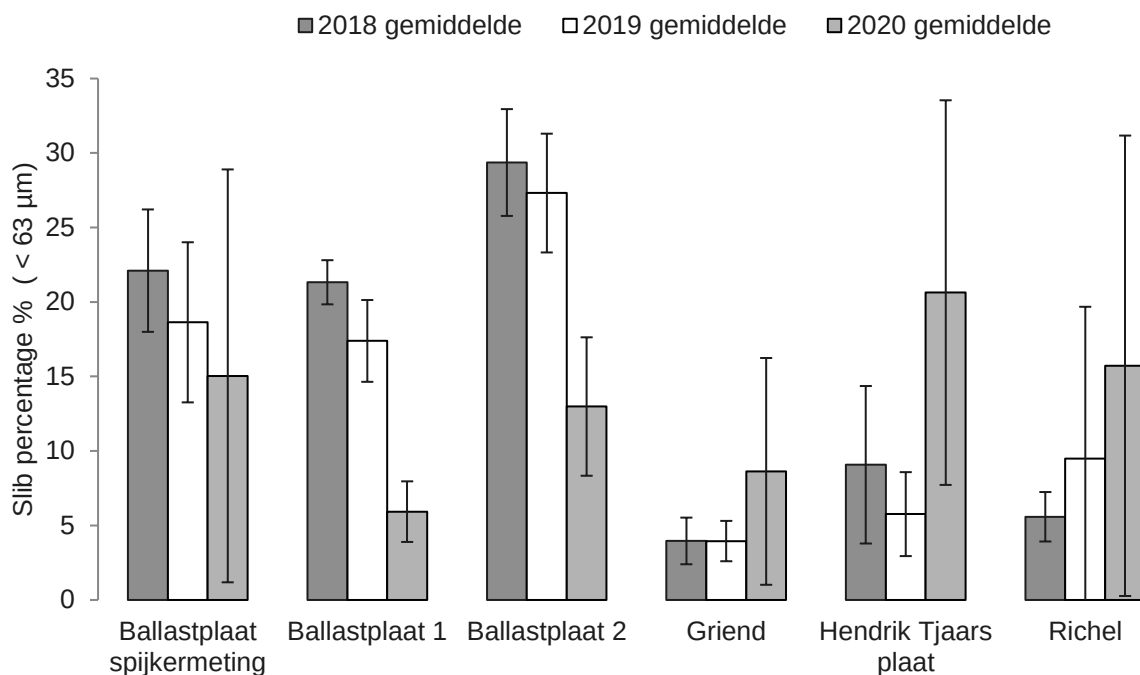
Gebieden	Wadplaat	Monsterpunten
Gebied 1 in het gebied met Pleistocene bodemdaling	Ballastplaat	4
Referentiegebied 2 binnen het invloedsgebied	Ballastplaat	4
Referentiegebied 3 binnen het invloedsgebied	Hendrik Tjaarsplaat	4

Benthosgebied A buiten het invloedsgebied	Richel	8
Benthosgebied B buiten het invloedsgebied	Grienderwaard	8
Spijkermetingen in het gebied met Pleistocene bodemdaling (X in Figuur 11-1)	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 sizer. De resultaten van de analyses zijn opgenomen in Figuur 11-2 en Figuur 11-3.



Figuur 11-2 Gemiddelde korrelgrootte (µm) met standaarddeviaties (balken) voor 2018, 2019 en 2020.



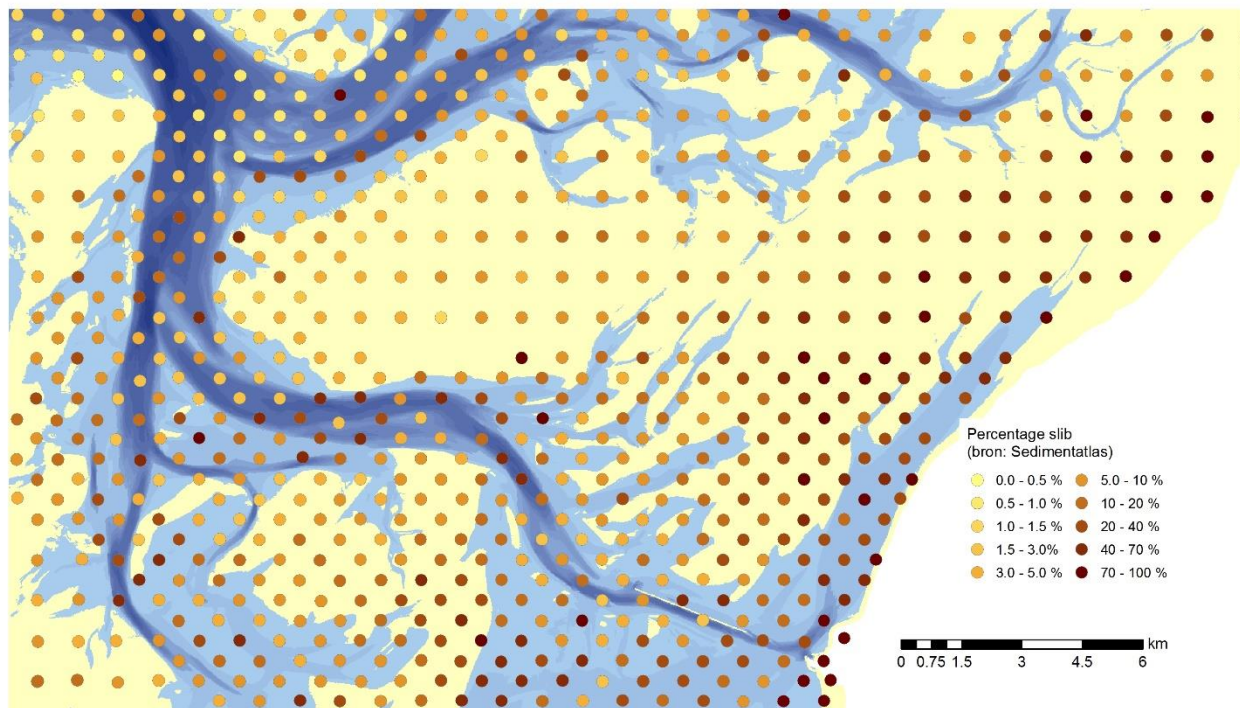
Figuur 11-3 Slib percentage (% < 63 µm) met standaarddeviaties (balken) voor de metingen van 2018 en 2019.

De gemiddelde korrelgroottes waren in 2018 en in 2019 goed vergelijkbaar en ook de waargenomen variatie komt overeen. In 2020 zijn de korrelgroottes op de Ballastplaat spijkermetingen, Ballastplaat 1 en Richel duidelijk grover dan in voorgaande jaren en is de spreiding ook beduidend groter. De ruimtelijke verschillen tussen de locaties zijn hierdoor in 2020 ook beduidend kleiner dan in de voorgaande jaren.

Ook de slibgehalten in 2020 wijken af van de slibgehalten in de twee jaar daarvoor. Op drie locaties is het slibgehalten afgenomen en op drie locaties is het toegenomen. Het slibgehalten bij Ballastplaat 1 is nu zelf het laagste van alle locaties. Net als bij de korrelgrootte geldt dat ook de variaties in de slibgehalten in 2020 groter is dan in de voorgaande jaren.

11.3 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). De ruimtelijke verdeling van de slibgehalten wijkt in 2020 wel af van wat eerder is aangetroffen in het gebied. Ter vergelijking is het slibgehalten, zoals het is bepaald medio jaren '90 weergegeven (gegevens uit de SedimentAtlas, Rijkswaterstaat, 1998). De kaart in Figuur 11-4 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). De verschillen in de korrelgroottes en de slibgehalten in 2020 ten opzichte van eerdere jaren is daarom extra opmerkelijk. Mogelijk bieden de meteorologische condities voorafgaand aan de metingen een verklaring voor de herverdeling van het slib en korrelgrootte. In het voorjaar van 2020 voorafgaand aan de metingen heeft (uitzonderlijk) vaak harde westenwind gewaaid. Dit kan mogelijk verklaren dat met name de Ballastplaat (monsterpunten ballastplaat spijkermetingen en ballastplaat 1) zandiger is geworden. Daar staat dan de wind vol op, terwijl de andere locaties iets beschutter liggen.



Figuur 11-4 Kaart met de sliibpercentages op de monsterpunten uit de Sedimentatlas.

11.4 Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen

De uitkomsten van de sedimentsamenstellingsmetingen komen overeen met de verwachting op basis van eerdere metingen aan de korrelgrootte en het sliibgehalte. De metingen van de komende jaren, voorafgaande aan het optreden van de Pleistocene bodemdaling, zullen aanvullend inzicht opleveren in de variatie die van jaar-op-jaar optreedt in de sedimentsamenstelling.

De sedimentsamenstelling is één van de abiotische parameters van het habitat van de droogvallende platen. Het sliibgehalte van de wadplaten is medebepalend voor de aan- en afwezigheid van bepaalde bodemdieren, hoewel de meeste wadbodembewoners een grote range kennen van sliibgehaltes waarbij deze aanwezig kunnen zijn. Het sliibgehalte van de wadbodem wordt overigens ook beïnvloedt door ecologische factoren, waaronder de aanwezigheid van phytobenthos en mossel- en kokkelbanken. De metingen van de sedimentsamenstelling zullen worden beschouwd in samenhang met de analyse van het benthos.

11.5 Tussenconclusie sedimentsamenstelling

De metingen aan de sedimentsamenstelling laten ter plaatse van de Ballastplaat een beperkte vergroving en afname van het sliibgehalte zien in de twee opeenvolgende metingen.

In een hypothetische situatie met bodemdaling zouden deze resultaten geen aanleiding geven om een relatie met de bodemdaling te veronderstellen, omdat jaar-op-jaar variatie in de korrelgrootte en het sliibgehalte een normaal onderdeel van het waddenmilieu is. In de meetresultaten tot nu toe is ook zichtbaar dat bij de Hendrik-Tjaarsplaat sprake is van een vergelijkbare ontwikkeling als bij de Ballastplaat. De ontwikkeling is dus niet beperkt tot het gebied waar in de toekomst Pleistocene bodemdaling zal gaan optreden.

De oorzaken voor de variaties in de korrelgrootte van de toplaag van de wadbodem zijn op hoofdlijnen bekend. Het is niet mogelijk om per meetlocatie en meetjaar specifiek aan te geven welke oorzaak of combinatie van oorzaken aan de veranderingen ten grondslag ligt.

Voor de toekomstige metingen geldt dat, indien zich een trendmatige verandering van de bodemsamenstelling voordoet die alleen optreedt in het gebied waar bodemdaling optreedt, dit kan wijzen op het optreden van een niet-voorspeld gevolg van de bodemdaling. De hypothetische signaleringsmeting bij de sedimentsamenstelling is: “De sedimentsamenstelling ter plaatse van de bodemdaling verandert en dat gebeurt niet in de andere gebieden.”

12 ECOLOGIE

In het monitoringrapport “Monitoring ecologie studiegebied zoutwinning Waddenzee; Tnul-situatie 2019” (Wortelboer et al, 2021) zijn de resultaten van de HVP-tellingen opgenomen.

12.1 Ballastplaat: habitat en vogelsoorten

De instandhoudingsdoelstellingen voor het Natura 2000 gebied Waddenzee die van belang zijn voor de zoutwinning onder Waddenzee zijn het habitatype H1140A slik- en zandplaten en de verschillende vogels (doelsoorten) die daarop foerageren. Voor het habitatype en de foeragerende vogels zijn zowel het bereikbare areaal van belang als de kwaliteit van het habitat, in termen van de aanwezige bodemdieren. Andere kwaliteitskenmerken van het habitatype, 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 uiteraard wel mogelijk.

De bodemdaling kan 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 verandert. 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 kleiner 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 en wordt gekeken naar drie schelpdiersoorten. 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 (bonte strandloper). In paragraaf 5.3 wordt toegelicht dat per 2021 wordt gestart met het onderzoek naar de voedselbeschikbaarheid voor de wormenetende vogels op de Ballastplaat.

Vogelsoorten voor de signalering

Op basis van vogeltellingen op hoogwatervluchtplaatsen en laagwatertellingen op de Ballastplaat (Alkyon, 2010b) en discussies met de Groene wetenschap tijdens de voorbereiding van het MER (Arcadis, 2010b) en de Passende beoordeling (Arcadis, 2013) voor de zoutwinning onder de Waddenzee is initieel een keuze gemaakt voor twee vogelsoorten als signaleringssoorten, namelijk de bonte strandloper en de scholekster. De signaleringssoorten bonte strandloper en de scholekster zijn geselecteerd omdat de soorten aantoonbare in grote aantallen aanwezig zijn op de Ballastplaat, zoals onder andere blijkt uit de laagwatertelling die is uitgevoerd in de voorbereiding van het MER en de Passende Beoordeling (gerapporteerd in Alkyon, 2010b). Later is daar de kanoetstrandloper aan toegevoegd, omdat dit een iconsoort voor de Waddenzee is. Van deze drie soorten is de scholekster een relatief grote steltloper die zich op het wad voornamelijk voedt met (grotere) schelpdieren. De bonte strandloper is een relatief kleine steltloper die zich voedt met allerlei bodemdieren, maar minder met schelpen. De kanoetstrandloper is ook een relatief kleine steltloper die zich voornamelijk voedt met kleine schelpdieren.

De analyse van de vogelaantallen van deze drie soorten op de HVP's in de nabijheid van de Ballastplaat (invloedsgebied) en in gehele Westelijke Waddenzee (referentiegebieden) heeft laten zien dat met name de aantallen van de bonte strandloper en de kanoetstrandloper sterk fluctueren. Ook blijken deze soorten een voorkeur te hebben voor de HVP's nabij het zeegat van het Vlie. Die voorkeur lijkt samen te hangen met het moment van droogvallen van de wadplaten in de nabijheid van het zeegat waardoor daar eerder gestart kan worden met foerageren dan op de Ballastplaat (beschreven in Duijns et al., 2013). De consequentie van de fluctuaties in de aantallen en de voorkeur voor de HVP's nabij het zeegat is dat de aantallen van de bonte strandloper en de kanoetstrandloper grote fluctuaties laten zien die hoogstwaarschijnlijk geen relatie hebben met de kwaliteit van het habitat voor foerageren. Daarmee zijn deze soorten minder bruikbaar als signaleringssoort. Vandaar dat is gekeken naar de mogelijke signaleringsfunctie van andere vogelsoorten die van de Ballastplaat gebruik maken om te foerageren.

Gekeken is naar de vogelsoorten die van het invloedgebied in de Waddenzee gebruik maken, zoals gerapporteerd in de Passende Beoordeling (tabel 25 in Arcadis, 2013). Daarbij is alleen gekeken naar soorten die foerageren op bodemdieren op de droogvallende platen. Herbivore soorten zijn buiten beschouwing gelaten, evenals de duikeenden. Dat levert de onderstaande lijst aan soorten op die zijn beschouwd:

- Bergeend
- Bontbekplevier
- Drieteenstrandloper
- Goudplevier
- Groenpootruiter
- Krombekstrandloper
- Kluut
- Rosse Grutto
- Steenloper
- Tureluur
- Wulp
- Zilverplevier

Van deze soorten is eerst gekeken naar het foeragegedrag en de habitatvoorkeur. Daarna is gekeken naar de aantallen en de verdeling over de westelijke Waddenzee. Het foeragegedrag en de habitatvoorkeur van de steenloper en de drieteenstrandloper sluiten niet aan bij de kenmerken van de Ballastplaat en daarom worden deze soorten niet beschouwd als een waardevolle aanvulling van de signalering.

Om van de overige vogelsoorten vast te stellen of de aantallen op de HVP's in de nabijheid van het invloedsgebied zinvolle informatie kunnen opleveren over het ecologische functioneren van het invloedsgebied, is gekeken naar de totale aantallen op de HVP's nabij het invloedsgebied en naar het relatieve belang van deze HVP's voor de Westelijke Waddenzee. De aantallen van de vogelsoorten op de drie HVP's in de nabijheid van het invloedsgebied (Harlingen-Afsluitdijk (Lorentzsluis)-WG 14, Griend-WG27 en Friese kust (Zwarte Haan-Harlingen)-WG 24), zoals geteld in september staan in Tabel 12.1.

In Tabel 12.1 is zichtbaar dat de aantallen voor de reeds geselecteerde signaleringssoorten scholekster en bonte strandloper de aantallen gemiddeld boven de tienduizend liggen over de gehele periode (aangegeven met de donkergroene kleuren). Voor de kanoetstrandloper is dat in twee perioden het geval. De enige andere soort waarvan in september gemiddeld meer dan tienduizend exemplaren worden waargenomen is de bergeend. Soorten waarvan tenminste gemiddeld duizend (zeer lichtgroene kleur in Tabel 12.1) en soms meer dan gemiddeld vijfduizend exemplaren aanwezig zijn (lichtgroene kleur in Tabel 12.1) zijn de rosse grutto en de wulp. Van de kluut zijn sinds 1995 gemiddeld meer dan 1000 exemplaren aanwezig op de HVP's nabij het invloedsgebied.

Op basis van de aantallen en het gebruik van de verschillende delen van de Westelijke Waddenzee analyse worden enkele soorten minder bruikbaar geacht voor signalering.

- Bergeend en Kluut

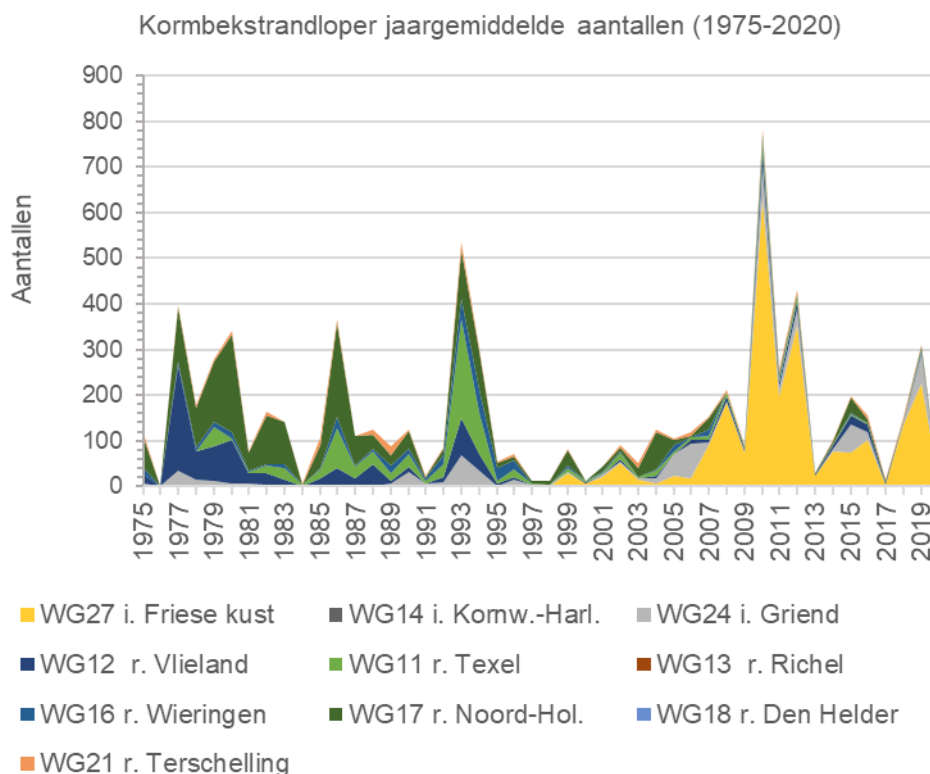
Bergeend en kluut zijn gebonden aan wadplaten met specifieke eigenschappen, omdat deze soorten kleinere bodemdieren uit de toplaag van slibrijke bodems slobberen. Vandaar dat de grotere aantallen van deze soorten verbonden zijn aan de HVP Friese kust (WG27), waar een uitgebreid slibrijk gebied voor de kust aanwezig is. Dit gebied ligt ver weg van het gebied waar Pleistocene bodemdaling door zoutwinning zal plaatsvinden. Bergeend en kluut zijn niet geschikt voor de signalering, vanwege hun relatie met het zachte substraat dat verder weg ligt van het bodemdalingsgebied (zie ook hoofdstuk 14 over de ruiende bergeenden).

- Bontbekplevier, Krombekstrandloper

Bontbekplevier en krombekstrandloper zijn steltlopers die op kleine bodemdieren foerageren op droogvallende wadplaten. Hierin komen deze soorten overeen met de bonte strandloper en de kanoetstrandloper. De aantallen van de bontbekplevier en krombekstrandloper zijn beduidend kleiner dan de aantallen van andere kleine steltlopers (Tabel 12.1; Figuur 12-1). Vanwege het kleine aantal van deze soorten zijn deze minder geschikt voor de signalering.

- Goudplevier, Groenpootruiter, Zilverplevier

Goudplevier en Zilverplevier komen in grote aantallen in het Westelijke Waddengebied voor, maar de grote aantallen vogels worden aangetroffen op de Waddeneilanden. Daarbij foerageren deze soorten niet alleen op droogvallende wadplaten, maar gaan deze soorten na de zomermaanden ook foerageren op grasland. De groenpootruiter komt in minder grote aantallen voor in de Westelijke Waddenzee, maar kent dezelfde verdeling over de gebieden. Deze soorten benutten het invloedsgebied voor de zoutwinning vrijwel niet en zijn daarom niet geschikt voor de signalering.



Figuur 12-1 Jaargemiddelde aantallen van de Krombekstrandloper op de HVP's rond de Westelijke Waddenzee (i.: invloedsgebied; r. referentiegebied, zie Figuur 12-3 voor de geografische ligging van de telgebieden).

In aanvulling op de drie reeds geselecteerde soorten scholekster, bonte strandloper en kanoetstrandloper worden voor de signalering van ontwikkelingen in het invloedsgebied ook beschouwd:

- Rosse grutto, Wulp en Tureluur;

Rosse grutto, wulp en tureluur zijn soorten die op wadplaten foerageren op grotere bodemdieren. Een deel van de prooien van deze soorten leeft in de wadbodem. In die zin is het foerageren van deze soorten vergelijkbaar met de scholekster, maar wel verschillen de soorten prooidieren. Rosse grutto, wulp en tureluur zijn algemeen verspreid in de Westelijke Waddenzee en niet gebonden aan wadplaten met specifieke eigenschappen. Rosse grutto, wulp en tureluur zijn redelijk algemeen aanwezig zijn op de Ballastplaat, waar het centrum van de Pleistocene bodemdaling ligt.

Tabel 12.1 Vogelaantallen in september op de drie HVP's in de nabijheid van het invloedsgebied (WG 14, WG27 en WG 24) gemiddeld over periode van 10 jaar. De kleuren geven de aantallen weer: Aantallen boven de tienduizend zijn donkergroen, aantallen tussen vijfduizend en tienduizend felgroen, aantallen tussen duizend en vijfduizend zijn lichtgroen en aantallen onder duizend hebben geen kleur.

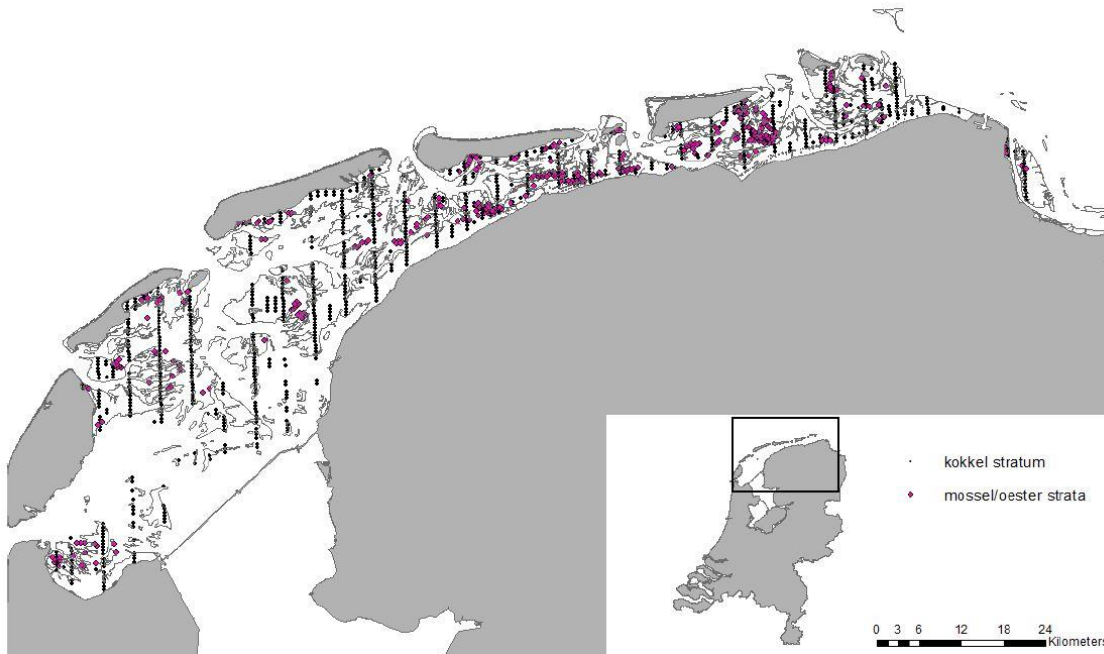
	Schol- ekster	Kanoet- strand- loper	Bonte strand- loper	Bergeend	Bontbek- plevier	Goud- plevier	Groen- pootruiter
1975-1984	13.213	6.926	12.572	970	209	16	57
1980-1989	12.785	5.201	14.676	997	193	14	34
1985-1994	14.538	8.764	21.844	1.867	244	407	46
1990-1999	15.902	13.671	23.529	4.715	272	554	63
1995-2004	16.487	7.856	17.485	7.877	345	413	71
2000-2009	17.184	7.859	14.751	10.268	404	488	63
2005-2014	15.483	9.137	10.746	15.084	360	751	22
2010-2019	14.147	12.969	11.873	18.386	737	1.236	19

	Kluut	Krombek- strand- loper	Rosse Grutto	Tureluur	Wulp	Zilver- plevier
1975-1984	21	23	4.524	225	2.389	409
1980-1989	19	11	3.222	141	1.996	424
1985-1994	206	31	3.551	180	3.078	899
1990-1999	821	33	5.052	370	4.397	1.115
1995-2004	1.505	11	3.852	1.064	4.798	802
2000-2009	2.252	123	3.310	1.368	5.311	668
2005-2014	2.826	150	3.130	1.147	5.566	356
2010-2019	2.836	135	3.819	1.571	6.506	273

Schelpdiersoorten en de habitatkwaliteit van de wadplaten

De benthosbemonstering is gericht op drie sleutelsoorten: kokkels (*Cerastoderma edule*), mosselen (*Mytilus edulis*) en nonnetjes (*Limecola (Macoma) balthica*), die inzichtelijk kunnen maken of de kwaliteit van het habitat droogvallende plaat verandert en welke eventuele gevolgen dat heeft voor de foeragerende wadvogels. Van deze drie benthossoorten is op dezelfde locaties en over langere tijd betrouwbare data beschikbaar, die door WMR worden verzameld (Figuur 12-2). Deze bemonstering omvat geen kleine wormen en kleine kreeftachtigen. De voedselvoorkeur van de soorten rosse grutto, tureluur en wulp, die ook worden beschouwd in deze rapportage, zie paragraaf 12.3.8 en verder is dit aspect dat samenhang verdient bij het beschouwen van de samenhang tussen de metingen en de integratie van de resultaten.

De aanwezigheid van deze drie benthossoorten op de droogvallende wadplaten is aan zeer grote schommelingen onderhevig. 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. Veranderingen in het klimaat kunnen leiden tot langjarige veranderingen in de aantallen schelpdieren (Philippart et al., 2003). 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).



Figuur 12-2 Kaart van de schelpdiersurvey door Wageningen Marine Research.

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 de paragraaf 12.4 “Integratie” zal hier nader op worden ingegaan. De gekozen soorten steltlopers *Haematopus ostralegus*, bonte strandloper *Calidris alpina*, kanoet *Calidris canutus*, rosse grutto *Limosa lapponica*, wulp *Numenius arquata* en de tureluur *Tringa totanus* foerageren deels op andere voedselsoorten en doen dat op verschillende manieren. Tezamen met de gegevens over de schelpdieren geven de aantallen van deze soorten steltlopers inzicht in de kwaliteit van de habitats droogvallende platen in de Westelijke Waddenzee, maar de rol die de Ballastplaat hierbij speelt is nog niet geheel duidelijk.

12.2 Introductie meetmethodes

12.2.1 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'.

Uit de HVP's rond en in de westelijke Waddenzee (Figuur 12-3) zijn tien geselecteerd (Tabel 12.2). De HVP's 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 invloedsgebied liggen. Feitelijk gaat het in Figuur 12-3 en Tabel 12.2 om de telgebieden, die in sommige gevallen meerdere HVP's omvatten. 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. Andere telgebieden, zoals Griend (WG24) en Richel (WG13) bestaan uit één hoogwatervluchtplaats. Richel (WG13) ligt nabij het zeegat. Griend (WG24) ligt te midden van droogvallende wadplaten.

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. Voor WG14 geldt bijvoorbeeld dat in het waddengebied in de nabijheid vrijwel geen droogvallende plaat aanwezig. Direct aangrenzend aan de dijk is alleen bij Harlingen sprake van een kleine droogvallende plaat (bij het Strand Harlingen). Daarbij is bij WG14 sprake van relatief veel menselijke invloed tot dicht bij de dijk, in de vorm van dichte bebouwing, industrie en een drukke vierbaansweg. Het contrast met WG27, ten oosten van Harlingen is groot, omdat daar sprake is van 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. De drie HVP's bij het invloedsgebied van zoutwinning (WG14, WG27 en WG24) hebben daarmee elk een geheel eigen karakter en spelen voor de verschillende (sleutel)vogelsoorten een verschillende rol. Ook voor de referentie HVP's geldt dat deze elk eigen kenmerken hebben, zowel ten aanzien van hun kenmerken als ten aanzien van hun relatie met het waddengebied.



Figuur 12-3: Indeling HVP telgebieden rond de westelijke Waddenzee, waaruit tien HVP's zijn geselecteerd voor de monitoring.

Tabel 12.2 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		

De HVP-tellingen worden uitgevoerd door vrijwilligers, onder supervisie van SOVON. Frisia vraagt de gegevens op van de HVP-tellingen van de negen gebieden, ten bate van het vaststellen van de Nul-situatie en de situatie ten tijde van de zoutwinning. Voor analyse wordt gebruik gemaakt van de jaargemiddelde aantallen op de HVP's.

12.2.2 Benthos bemonstering

De benthosbemonstering op de droogvallende platen (o.a. Ballastplaat) wordt uitgevoerd met steekbuizen. Deze buizen worden de bodem ingeduwd 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 en meegenomen. Daarna wordt het sediment wordt gezeefd zodat de bodemdieren van het sediment worden gescheiden. Voordat het monster wordt gezeefd wordt een (sub)monster genomen voor het bepalen van de sedimentsamenstelling. De bodemdieren worden geïdentificeerd en gesorteerd. Voor de drie sleutelsoorten kokkel (*Cerastoderma edule*), mossel (*Mytilus edulis*) en het nonnetje (*Limecola (Macoma) balthica*) wordt het aantal en het natgewicht bepaald.

De bemonstering van de schelpdieren vindt plaats als onderdeel (seizoen, methode, frequentie, dichtheid) van een bestaande bemonstering, namelijk de schelpdiersurveys door Wageningen Marine Research.

De kwaliteit van de habitats droogvallende platen en permanent overstroomde zandbanken wordt voor het studiegebied geïnterpreteerd als de aanwezigheid van voedsel voor de wadvogels in de vorm van schelpdieren, wormen en andere bodembewoners: het benthos. De benthosbemonstering is gericht op drie sleutelsoorten die inzichtelijk maken of de kwaliteit van het habitat droogvallende plaat verandert en welke eventuele gevolgen dat heeft voor de foeragerende wadvogels.

Voor de benthosbemonstering zijn 9 analysegebieden geselecteerd van circa 400 ha. Deze 9 locaties zijn verspreid gelegen op de droogvallende plaatgebieden omdat dit het habitatype van interesse is. De geometrie van deze gebieden sluit aan bij de reguliere monitoring van de schelpdierbestanden.

- Drie gebieden zijn geselecteerd in het invloedsgebied.
- Drie gebieden zijn geselecteerd buiten het invloedsgebied, maar in vloedkom Marsdiep of Vlie.
- Drie gebieden zijn geselecteerd buiten het invloedsgebied en buiten de vloedkommen Marsdiep en Vlie.

Voor de gebieden buiten het invloedsgebied is gekozen voor gebieden waar geen andere Pleistocene bodemdaling plaatsvindt. Door meer dan een of twee gebieden te selecteren wordt de invloed van lokale effecten op de analyse beperkt.

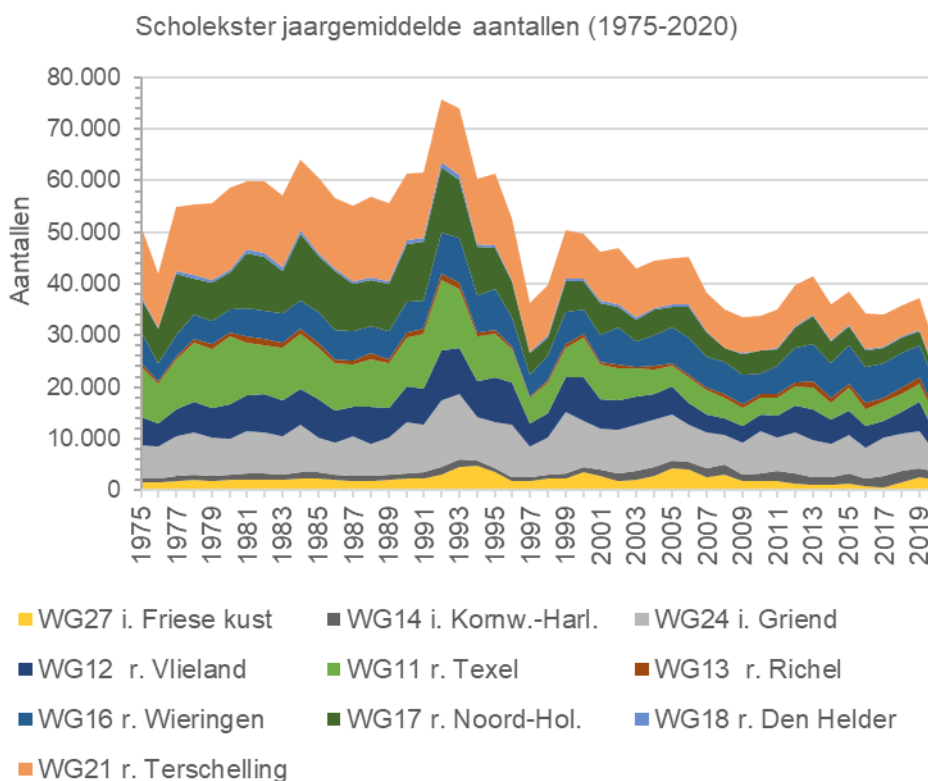
De frequentie van de bemonstering komt overeen met die van de bestaande surveys. Dit betekent een opname (voorjaar) per jaar.

12.3 Aantallen vogels en schelpdieren

In deze paragraaf zijn de jaargemiddelde vogelaantallen op de HVP's en de biomassa en dichtheden van de drie schelpdiersoorten opgenomen. Eerst worden de drie vogelsoorten beschouwd die een dieet hebben waarin schelpdieren een belangrijke rol spelen. Na de aantalsontwikkelingen van de scholekster, kanoetstrandloper en de bonte strandloper worden de drie schelpdiersoorten beschouwd in termen van dichtheden en biomassa. Daarna wordt ingegaan op de vogelsoorten die vooral andere bodemdieren dan schelpdieren eten, zoals wormen.

12.3.1 Scholekster

De waargenomen jaargemiddelde aantallen van de scholeksters op de HVP's staan in Figuur 12-4. De meeste scholeksters foerageren bij eb op droogvallende platen in het intergetijdengebied. Bij vloed concentreren ze zich in grote groepen op hoogwatervluchtplaatsen. Doorgaans zijn dit hooggelegen zandplaten, stranden, strandvlaktes, schorren en kwelders, soms ook havenhoofden of dijktafsluitingen, zoals bij Harlingen. Scholeksters zijn plaats getrouw ten aanzien van voedsel- en rustgebieden en individuele scholeksters leven in een relatief klein gebied. Wanneer scholeksters hun voedselgebieden moeten verlaten als gevolg van verstoring, een koude-inval of om andere redenen, kunnen zij niet makkelijk terecht in gebieden waar al andere scholeksters aanwezig zijn. Scholeksters foerageren vooral op meer zandige wadplaten en leven daar van een groot scala aan ongewervelden, waarbij het hoofdvoedsel bestaat uit grotere schelpdieren en dan vooral kokkels en mossels, gevolgd door wadpieren en zeeduizendpoten. De hoogste dichtheden van scholeksters worden aangetroffen op mossel- en kokkelbanken.



Figuur 12-4 Grafiek van het jaargemiddelde aantal scholeksters op de referentie HVP's (i) en de HVP's bij het invloedsgebied (r).

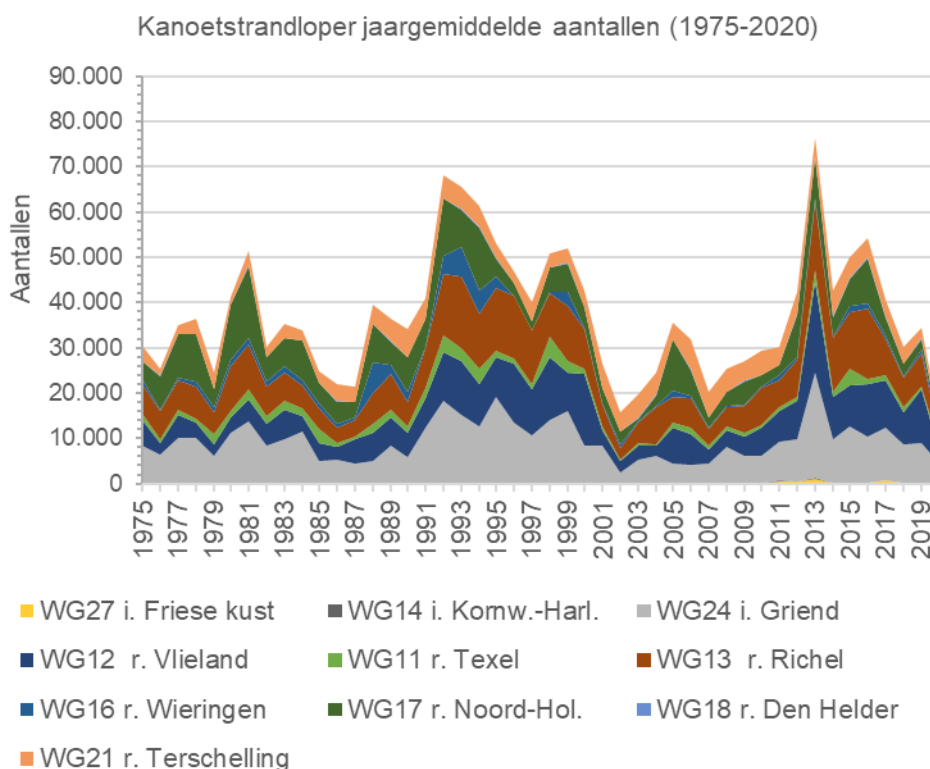
In de grafiek met de jaargemiddelde aantallen is zichtbaar dat het aantal scholeksters na een piek in 1993 is afgenomen op de HVP's rond de Westelijke Waddenzee. Dit is overigens een ontwikkeling die ook op veel grotere schaal speelt: het aantal scholeksters laat voor de gehele Waddenzee (en voor heel Nederland) een afname zien (<http://s1.sovon.nl/soorten.asp?euring=4500>). In de grafiek in Figuur 12-4 met de aantalsontwikkelingen op de HVP's nabij het invloedsgebied en bij de referentiegebieden is te zien dat het aantal scholeksters in de vorige eeuw gemiddeld hoger was dan in deze eeuw. Deze afname is overigens

niet in alle gebieden zichtbaar, ten zuidoosten van Harlingen in WG14 nemen de waargenomen kleine aantallen scholeksters toe. Bij het beschouwen van de aantalsontwikkelingen zal de autonome afname van de aantallen scholekster goed in ogenschouw worden genomen.

In vergelijking met de twee andere vogelsoorten vertonen de aantallen scholeksters in de gebieden minder variatie. Over het algemeen zijn in de HVP's enkele duizenden scholeksters aanwezig, met uitzondering van Den Helder (WG18), waar enkele honderden exemplaren worden aangetroffen en Harlingen-Zwarte Haan (WG27), waar de bovengrens tegenwoordig onder de duizend exemplaren ligt. De aantallen in 2019 komen overeen met de aantallen die in de jaren daarvoor zijn waargenomen. In 2020 heeft een scherpe daling in de aantallen plaatsgevonden.

12.3.2 Kanoetstrandloper

De waargenomen jaargemiddelde aantallen van de Kanoetstrandloper staan in Figuur 12-5. Van de kanoetstrandloper (of kortweg kanoet) komen twee ondersoorten voor in de Waddenzee. De ondersoort *Calidris canutus canutus* is een trekvogel en die alleen in voor- en najaar in de Waddenzee aanwezig is. De Waddenzee is een belangrijke stop tussen hun broedgebieden in het hoge noorden en de overwinteringsgebieden. De ondersoort *Calidris canutus islandica* overwintert in Nederland vanaf nazomer tot mei (sept-mei), maar is het hele jaar in de Waddenzee aanwezig. De hoogste aantallen worden aangetroffen in september. Beide ondersoorten zijn vertegenwoordigd in de gebruikte tellingen.



Figuur 12-5 Grafiek van het jaargemiddelde aantal kanoetstrandlopers op de referentie HVP's (i) en de HVP's bij het invloedsgebied (r).

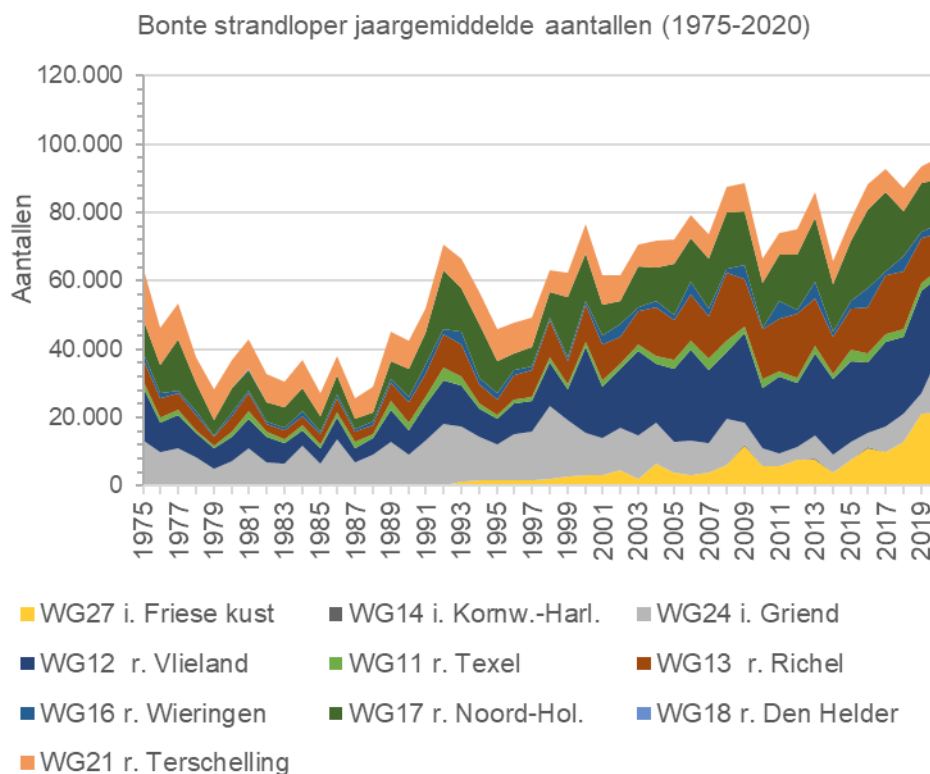
De kanoet foerageert voornamelijk op zandige en slikkige bodem. Het hoofdvoedsel is het nonnetje (*Limecola (Macoma) balthica*) maar als alternatief foerageert hij ook op kleinere en dus ook vaak jongere schelpdieren van bijvoorbeeld de kokkel (*Cerastoderma edule*) en mossel (*Mytilus edulis*).

De waarnemingen zoals getoond in Figuur 12-5 laten zeer grote variatie zien in de aantallen kanoetstrandlopers tussen de verschillende gebieden en in de tijd. Op een aantal HVP's zijn regelmatig tienduizenden kanoetstrandlopers aanwezig zijn, zoals Vlieland (WG12), Richel (WG13) en Griend (WG24). Ook op het Balgzand (WG17) kunnen duizenden Kanoetstrandlopers aanwezig zijn. Op andere HVP's zijn

de aantallen kanoetstrandlopers aanmerkelijk lager, van enkele tot enkele duizenden exemplaren. Hierbij hoort steeds de kanttekening dat bij de aantallen sprake is van grote en vaak incidentele pieken. Dit is het gevolg van de aanwezigheid van enkele zeer grote groepen kanoetstrandlopers die wel of niet aanwezig zijn in het Nederlandse deel van het waddengebied. In 2020 is sprake van lage aantallen van de kanoetstrandloper op alle HVP's bij de Westelijke Waddenzee.

12.3.3 Bonte strandloper

De jaargemiddelde aantallen van de bonte strandloper staan in Figuur 12-6. De waarnemingen aan HVP's van bonte strandlopers, laten grote verschillen zien in de aantallen bonte strandlopers tussen de verschillende gebieden, van tientallen tot tienduizenden. Het is duidelijk dat een aantal HVP's, zoals Vlieland (WG12), Richel (WG13) fungeren als 'hotspot' voor de bonte strandloper, met aantallen die gemiddeld over het jaar in de tienduizenden lopen. Enkele andere HVP's, zoals het Balgzand (WG17), Terschelling (WG21), Griend (WG24) en Harlingen-Zwarte Haan (WG27) zijn ook belangrijk, met enkele duizenden tot tienduizenden Bonte strandlopers. De andere gebieden herbergen enkele tot honderden bonte strandlopers, waaronder het gebied van Kornwerderzand tot Harlingen (WG14).



Figuur 12-6 Grafiek van het jaargemiddelde aantal bonte strandlopers op de referentie HVP's (i) en de HVP's bij het invloedsgebied (r).

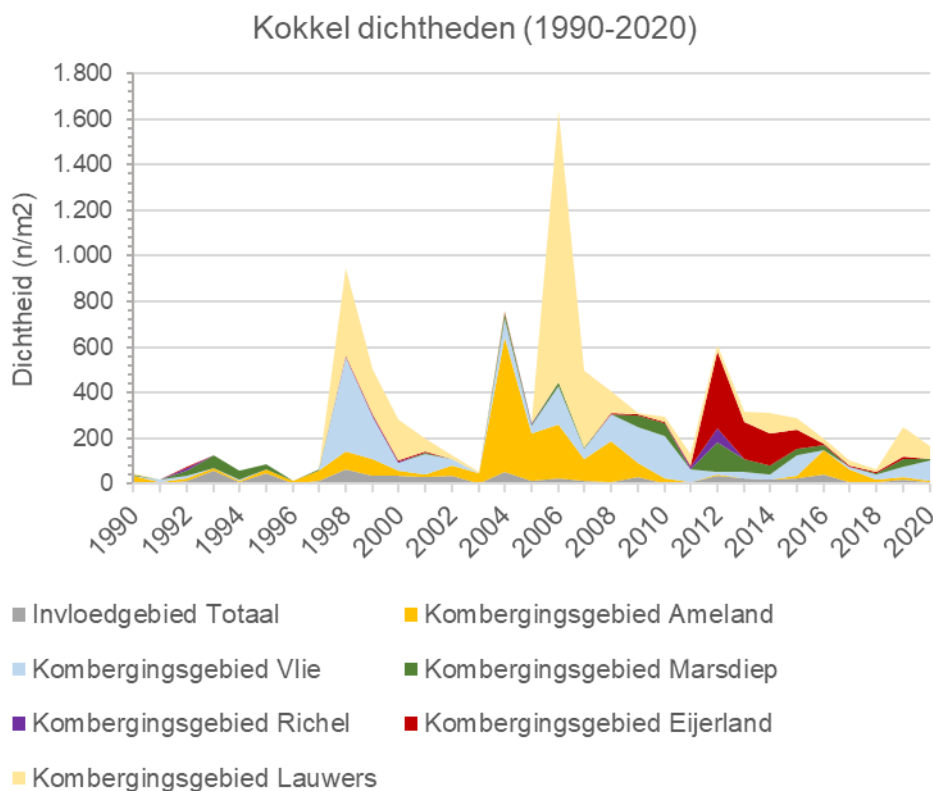
De aantallen van de Bonte strandloper op de HVP's in de westelijk Waddenzee zijn toegenomen. Een zeer duidelijke ontwikkeling is de toename van de aantallen in WG27, waar voor de jaren '90 in de vorige eeuw vrijwel geen bonte strandlopers werden waargenomen. Deze toename zal worden beschouwd in samenhang met de toename van de aantallen van de wulp, rossen grutto en tureluur.

In de tijd zijn variaties zichtbaar in de aantallen Bonte strandlopers. Deze piekerig in de data is overigens veel beperkter in de getoonde jaargemiddelde aantallen, dan in de aantallen in september, zoals die in voorgaande rapportages zijn getoond. De variaties in de aantallen passen bij de wijze waarop de Bonte strandlopers in grote groepen aanwezig zijn in de herfst in het waddengebied. Bonte strandlopers zijn in grote groepen aanwezig in het waddengebied. De voorkeur voor het gebruik van bepaalde HVP van deze groepen verandert in de tijd, waardoor de aantallen op de ene HVP toenemen en op de andere locatie

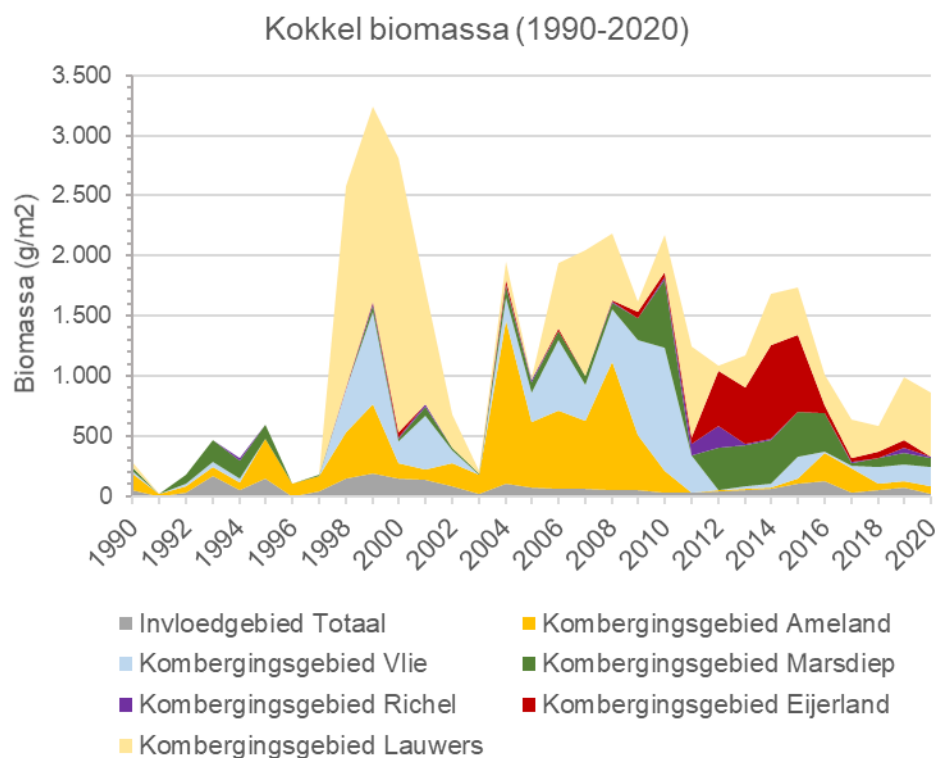
afnemen. Welke factoren de voorkeur van de Bonte strandlopers voor de HVP's bepalen is niet bekend, naast de beschikbaarheid van voedsel speelt bijvoorbeeld aanwezigheid van predatoren (slechtvalk) een rol.

12.3.4 Kokkels

De gemeten dichtheden en biomassa zijn opgenomen in Figuur 12-7 en Figuur 12-8. De waarnemingen aan de aantallen en dichtheden van kokkels tonen zeer grote variaties, zowel in de tijd als tussen de gebieden. Een belangrijke oorzaak hiervoor is het verschil in succesvolle broedval dat van jaar op jaar plaatsvindt, die tot uitdrukking komt in enorme pieken in de biomassa en dichtheden van de kokkels die zich voornamelijk in verschillende referentiegebieden laten zien. Een andere verklaring is het verplaatsen van kokkelbanken in en uit de waarnemingsraaien. Bij waarnemingen met lage biomassa en dichtheden van kokkels in de toekomst moet dit in ogenschouw worden genomen. Dat de pieken in de hoge dichtheden en de hoge biomassa niet samenvallen heeft te maken met de leeftijdsopbouw van de populatie: na een succesvolle broedval worden zeer veel kleine kokkels aangetroffen, die echter nog niet veel biomassa vertegenwoordigen. Alleen wanneer deze kleine kokkels kunnen uitgroeien tot grotere kokkels wordt een piek in de dichtheid gevolgd door een piek in de biomassa. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar in de periode 1998-2002.



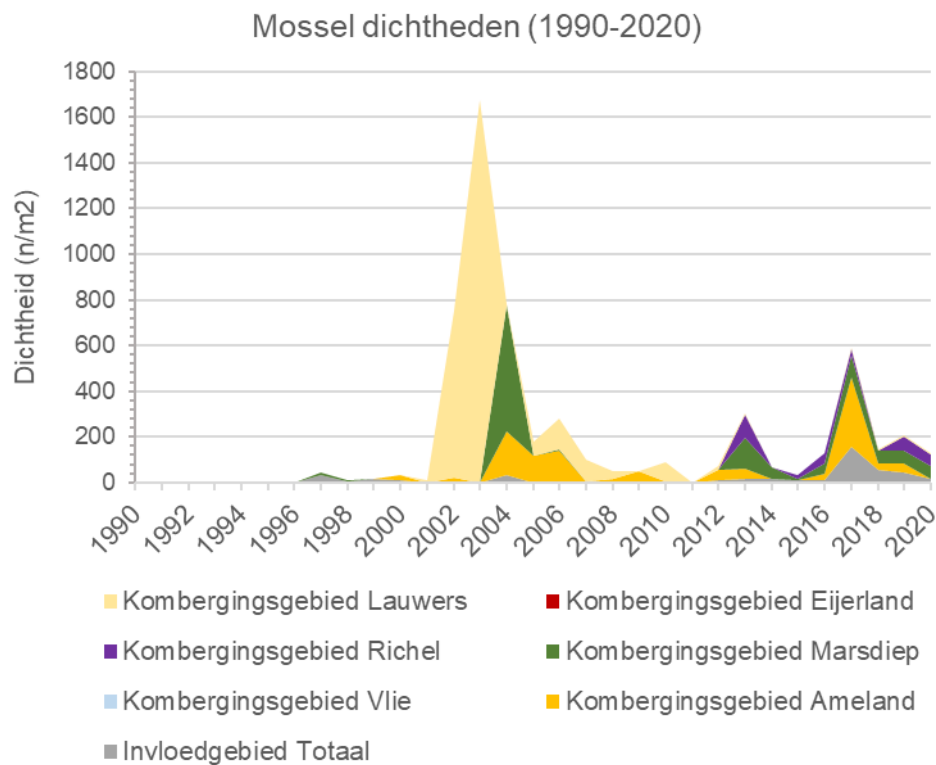
Figuur 12-7 Grafiek met de dichtheid van kokkels in de verschillende referentiegebieden en het invloedsgebied van 1990 tot en met 2020.



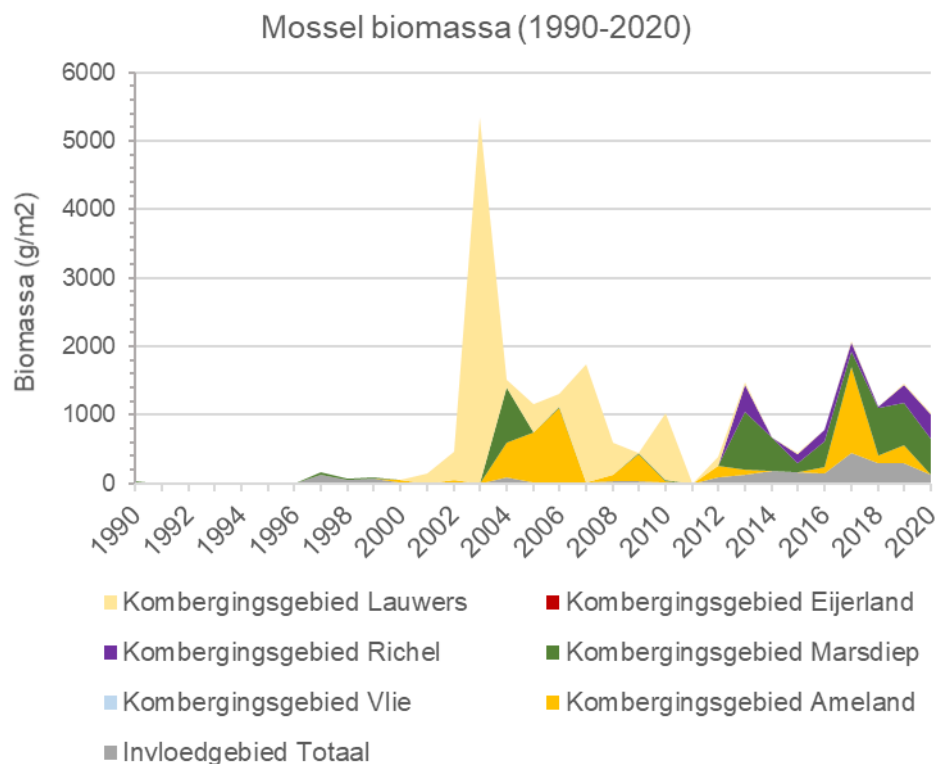
Figuur 12-8 Grafiek met de biomassa van kokkels in de verschillende referentiegebieden en het invloedsgebied van 1990 tot en met 2020.

12.3.5 Mossels

De dichtheden van de mosselen staan in Figuur 12-9 en de biomassa's in Figuur 12-10). In de tijd laten de waarnemingen aan de aantallen en dichtheden van mosselen zeer lage waarden zien voor het begin van de 21^{ste} eeuw. De zeer lage waarden zijn het gevolg van het wegvissen van de mosselbanken in de jaren '90 van de vorige eeuw (van der Meer et al., 2019 en zie bijvoorbeeld Dankers et al., 2004 voor de invloed van visserij op mosselbanken in de Waddenzee). In de periode 2002-2005 worden grote aantallen en hoge biomassa aangetroffen. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de succesvolle broedval en ontwikkeling van mosselbanken. Ook in 2017 is het bestand aan mossel en mosselbanken in de Waddenzee sterk toegenomen (van de Ende, 2017). Ondanks deze toename blijven de waarden voor het referentiegebied Lauwers achter. Een verklaring hiervoor is niet bekend. De variatie in de broedval van de mossels ligt waarschijnlijk in het moment en de verspreiding van de mossellarven en niet in één omgevingsparameter, zoals een koude winter voorafgaand aan de broedval (Folmer et al., 2014). Bij waarnemingen met lage biomassa en dichtheden van mosselen in de toekomst is het belangrijk om de grote autonome variaties die hierin optreden, te beschouwen.



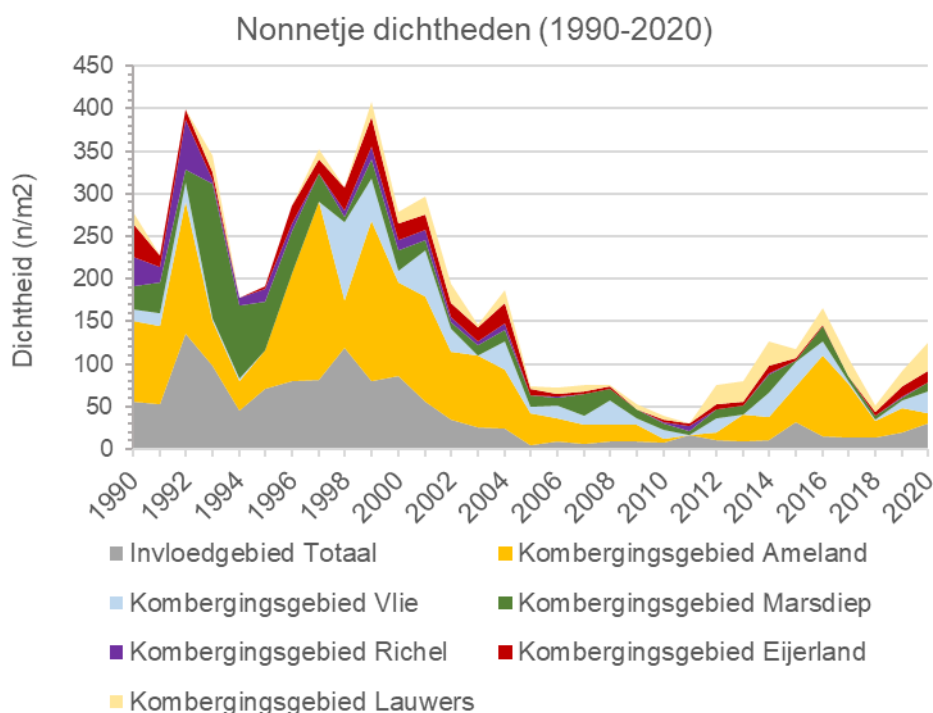
Figuur 12-9 Grafiek van dichtheid van mosselen in de verschillende referentiegebieden en het invloedsgebied.



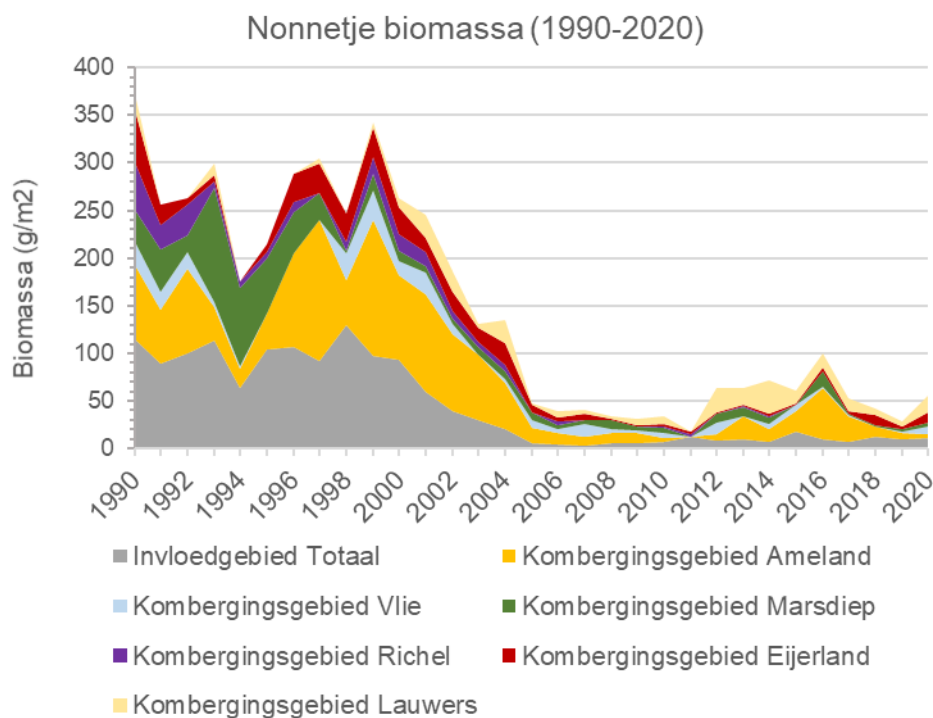
Figuur 12-10 Grafiek met de biomassa van mosselen in de verschillende referentiegebieden en het invloedsgebied.

12.3.6 Nonnetjes

De dichtheden van het nonnetje staan in Figuur 12-11 en de biomassa's in Figuur 12-12. Vanaf 2000 tot 2006 was sprake van een sterke afname van de dichtheden en biomassa van nonnetjes ten opzichte van de periode daarvoor). Vanaf 2012 nemen de dichtheden en biomassa in een aantal gebieden toe, om na 2016 weer af te nemen. In het invloedsgebied is de toename beperkt gebleven. De Waddenzee-brede afname van Nonnetjes is door onderzoekers gerelateerd aan de toename van de gemiddelde watertemperatuur van de Waddenzee (zie bijvoorbeeld Beukema et al., 2009). Dit verklaart echter niet de recente toename. Mogelijk heeft een ziekte ook bijgedragen aan de Waddenzee-brede afname en het verdwijnen van deze ziekte aan de recente toename (Beukema, 2017). Bij dalende en stijgende trends in de toekomst moeten de langjarige autonome variaties in ogenschouw worden genomen. In grafieken in Figuur 12-11 en Figuur 12-12. is zichtbaar dat de hogere dichtheden bij Nonnetjes in vergelijking met de andere schelpdieren over meerdere jaren voorkomen, in plaats van één jaar.



Figuur 12-11 Grafiek van de dichtheid van Nonnetjes in de verschillende referentiegebieden en het invloedsgebied.



Figuur 12-12 Grafiek met de biomassa van Nonnetjes in de verschillende referentiegebieden en het invloedsgebied.

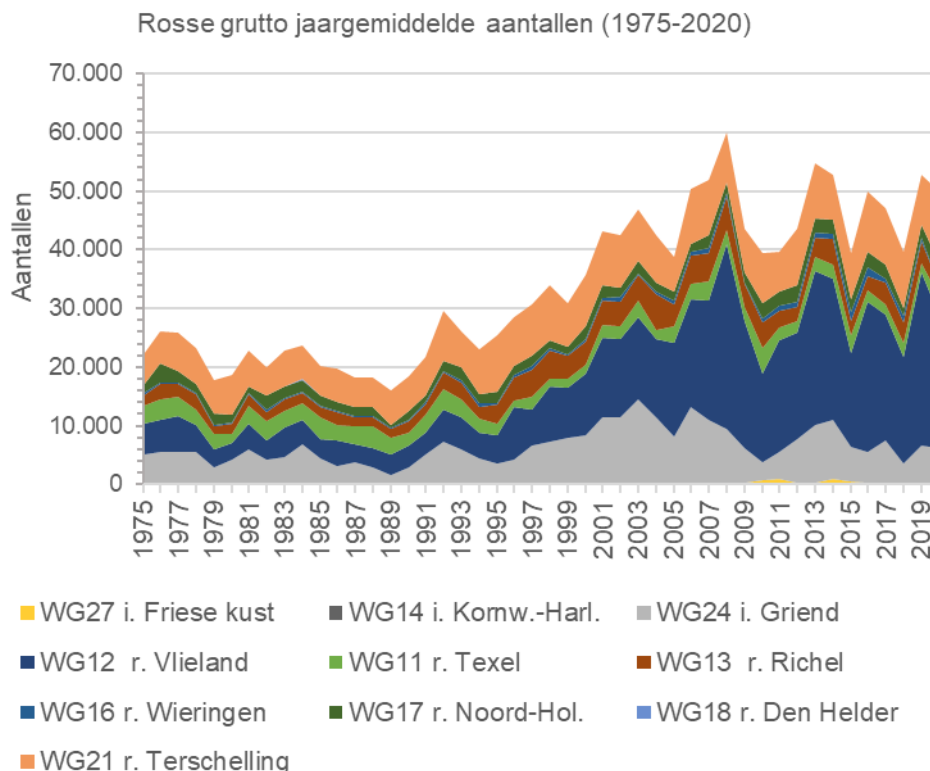
12.3.7 Schelpdieren en vogels

De analyses van de dichtheden en biomassa's van de kokkels, mosselen en nonnetjes laten grote variaties zien. In het algemeen geldt dat de drie soorten schelpdieren in het invloedsgebied niet in grote dichtheden worden aangetroffen. Ook de omvang van de biomassa in het invloedsgebied is niet bijzonder groot. Voor 2005 waren, net als in de rest van de Waddenzee, meer nonnetjes in het invloedsgebied aanwezig. Tegenwoordig is het invloedsgebied voor wat betreft deze drie benthossoorten niet bijzonder rijk.

De ontwikkelingen in de aantallen van de scholekster, bonte strandloper en kanoetstrandloper gaan niet gelijk op met de dichtheden en biomassa van de bodemdieren. Hier wordt niet nader ingegaan op de diverse mogelijke verklaringen daarvoor, die zeer divers zijn en die in verschillende kaders nader worden onderzocht. Wel zal in paragraaf 12.5.2 worden ingegaan op een van de aspecten die een rol speelt bij de benutting van de aanwezige schelpdieren door foeragerende vogels, namelijk de bereikbaarheid. Voorafgaand daaraan wordt ingegaan op de drie vogelsoorten die nieuw zijn geïntroduceerd in het monitoringsprogramma.

12.3.8 Rosse grutto

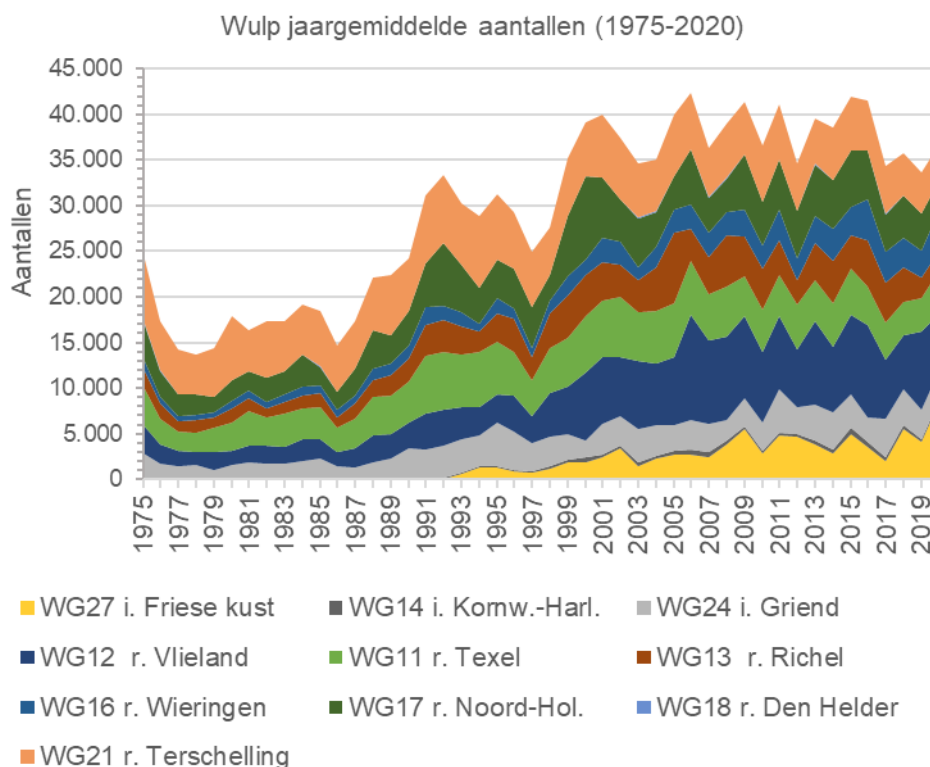
De waargenomen jaargemiddelde aantallen van de rosse grutto op de HVP's staan in Figuur 12-13. De aantallen van de Rosse grutto in de Westelijke Waddenzee zijn sinds het begin van de eeuw sterk toegenomen. Het is niet duidelijk of deze toename het gevolg is van het aantrekkelijker worden van de Westelijke Waddenzee als foerageergebied, of het afnemen van de kwaliteit van gebieden waar eerder werd gevoerd, oostelijker in de Nederlandse Waddenzee en in Duitsland en Denemarken. Tegenwoordig zijn in jaargemiddeld 40.000 -50.000 Rosse grutto's aanwezig in de Westelijke Waddenzee. Het overgrote deel van deze vogels is aanwezig op het HVP Vlieland. De andere HVP's die tegenwoordig belangrijk zijn Terschelling en Richel. Op de HVP's in de nabijheid van de het invloedsgebied worden weinig Rosse Grutto's aangetroffen. Alleen op Griend zijn de aantallen hoger met gemiddeld iets minder dan 4000 exemplaren in september. Omdat de aantallen in andere gebieden zijn toegenomen, is het relatieve belang van Griend afgenomen. Het invloedsgebied lijkt van beperkt belang is voor de Rosse grutto. De aantallen van de Rosse Grutto in 2019 en 2020 liggen op hetzelfde niveau als de aantallen in de voorgaande jaren.



Figuur 12-13 Grafiek van het jaargemiddelde aantal rosse grutto's op de referentie HVP's (i) en de HVP's bij het invloedsgebied (r).

12.3.9 Wulp

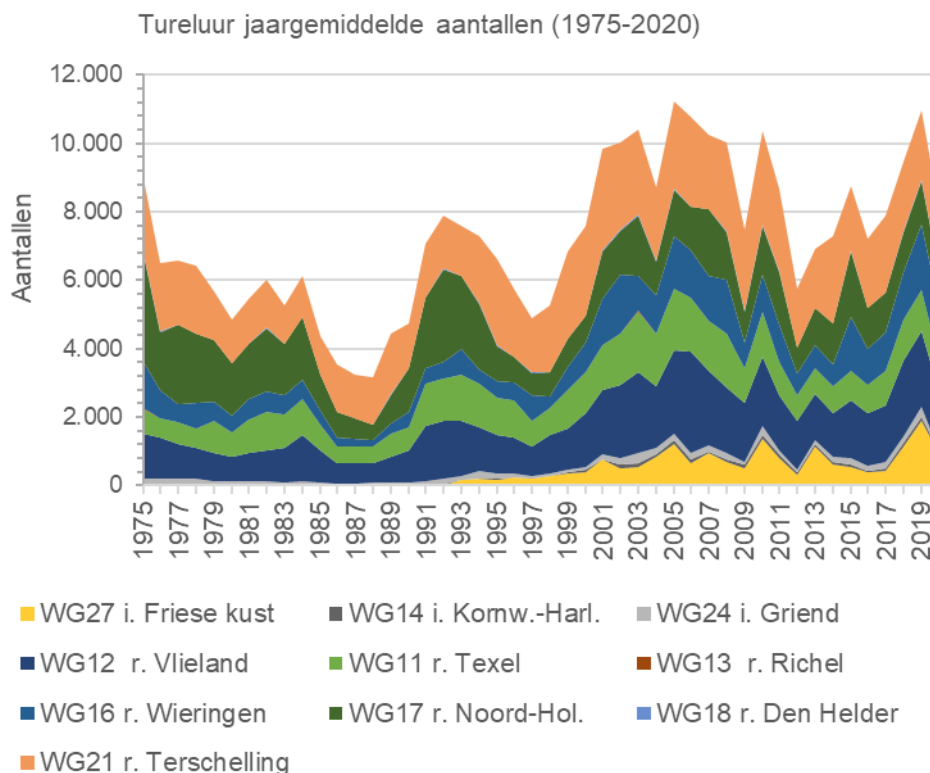
De aantallen wulpen op de HVP's in de westelijke Waddenzee in de maand september zijn vanaf 1975 toegenomen tot ongeveer 2005 en daarna zijn de aantallen weer iets afgenomen, zoals zichtbaar in Figuur 12-14. Nog steeds zijn in september op de HVP's rond de Westelijke Waddenzee tenminste 50.000 wulpen aanwezig. Ook op de HVP's rond het aandachtsgebied zijn enkele duizenden wulpen aanwezig. Op basis van de verdeling over de verschillende HVP's lijken wulpen een voorkeur voor de HVP's op de eilanden en op Richel te hebben, hoewel ook op het Balgzand veel wulpen worden aangetroffen. Op Griend zijn weinig wulpen aanwezig. Een van de gebieden waar de aantallen van de wulp sterk zijn toegenomen is de Friese kust (WG27 – een van de invloedsgebieden). Voor 1993 waren de aantallen dermate laag (maximaal 15) dat deze niet zichtbaar zijn in de grafiek. Deze toename is begonnen in hetzelfde jaar als de toename van de Bonte strandloper in dit gebied.



Figuur 12-14 Grafiek van het jaargemiddelde aantal wulpen op de referentie HVP's (i) en de HVP's bij het invloedsgebied (r).

12.3.10 Tureluur

De tureluur is een middelgrote steltloper, waarvan de aantallen in september in de Westelijke Waddenzee vanaf de jaren negentig gemiddeld hoger waren dan daarvoor. In 2018 was sprake van de hoogste piek in de aantallen tureluurs in de waarnemingsreeks. De ontwikkeling is zichtbaar in de grafiek in Figuur 12-15. In de grafiek is ook zichtbaar dat de aantallen op de HVP's in de nabijheid van het invloedsgebied zijn toegenomen, waaronder WG27. De tureluur is een steltloper die niet verbonden is aan specifieke habitats, of bijvoorbeeld de nabijheid van de Noordzeekust. Dit blijkt ook uit de aanwezigheid van de tureluur in grotere aantallen op zowel het Balgzand, als op de eilanden. Griend en Richel zijn voor de tureluur geen HVP's waar deze in grotere aantallen aanwezig zijn.



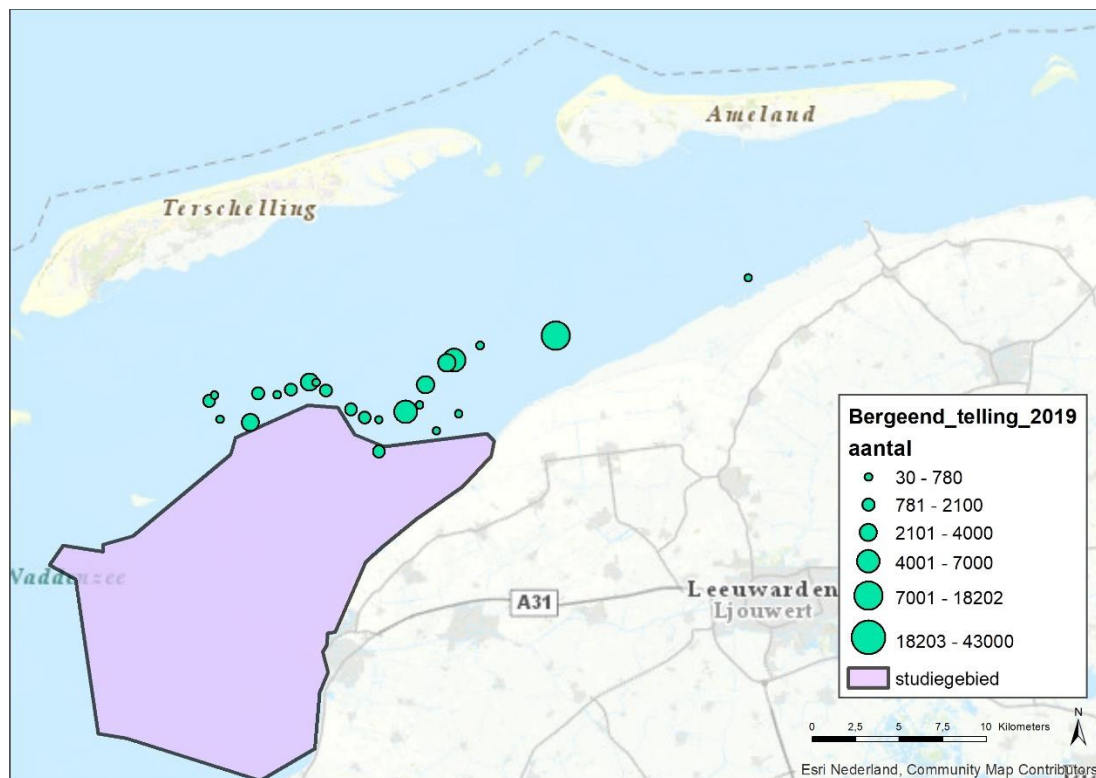
Figuur 12-15 Grafiek van het jaargemiddelde aantal tureluurs op de referentie HVP's (i) en de HVP's bij het invloedsgebied (r).

12.3.11 Ruiende bergeenden

Tijdens de ruiperiode worden grote aantallen bergeenden in het gebied ten oosten van de Ballastplaat aangetroffen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het gegeven dat dit gebied voldoet aan de drie eisen die bergeenden stellen aan hun ruigebied: beschutting, rust en voldoende voedsel. Na het broeden maken bergeenden een complete rui door. Dit moment valt binnen de periode van zes weken van eind juli tot eind augustus. Gedurende de ruiperiode, die ongeveer een maand duurt, kunnen de dieren niet of nauwelijks vliegen. Ze zijn dan erg kwetsbaar voor verstoring en zoeken veilige, voedselrijke ruigebieden op. Luwte is een belangrijke voorwaarde voor een goede ruiplaats en dat betekent een gebied waar wind en storm geen vat op hebben. Door harde wind lopen de bergeenden namelijk het risico over grotere afstanden verplaatst te worden (Nehls et al., 1992). De noordzijde van de Ballastplaat en het aangrenzende Kimstergat is tegenwoordig een aantrekkelijk voor ruiende bergeenden en er worden sinds de jaren '90 van de vorige eeuw grote aantallen aangetroffen. HVP-tellingen op het telgebied in de nabijheid (WG27) laten ook een toename van de aantallen bergeenden zien. De veranderingen in deze vogelaantallen zijn gelijk opgegaan met grootschalige sedimentatie van slibrijk sediment in de Waddenzee voor de Friese kust van ruwweg Koehoal tot de veerdam naar Ameland. Het gebied ligt tegenwoordig relatief hoog en bestaat voornamelijk zachte modder, met veel voedsel te bieden in de vorm van slijkgarnalen, wadslakjes en nonnetjes.

Ieder jaar wordt eind juli/begin augustus eenmaal het aantal bergeenden geteld in het gebied ten oosten van de Ballastplaat. In Figuur 12-16 is een kaart opgenomen met de aantallen bergeenden die zijn geteld tijdens de rui periode in 2019.

Bij de ruiende bergeenden is geen sprake van een effectrelatie tussen de toekomstige Pleistocene bodemdaling als gevolg van zoutwinning en onvoorziene morfologische en ecologische gevolgen, zoals is verduidelijkt in de rapportage over 2019 (Arcadis, 2020b). Een onvoorziene afname van de plaathoogte als gevolg van de Pleistocene bodemdaling is gekoppeld aan de locatie waar de bodemdaling optreedt en zal zich niet voordoen aan de oostzijde van het Ballastplaat gebied waar de ruiende bergeenden aanwezig zijn.



Figuur 12-16 Aantallen ruiende bergeenden in en rondom het studiegebied in 2019.

12.3.12 Aantalsontwikkeling Friese kust

Drie vogelsoorten (wulp, tureluur en bonte strandloper) laten een duidelijke toename zien van de aantallen die worden waargenomen op WG27, de Friese kust ten oosten van Harlingen. Ook de aantallen van de kormbekstrandloper in het gebied zijn sterk toegenomen (Figuur 12-1). In de herziene rapportage over 2019 (Arcadis, 2020) is al getoond dat in dezelfde periode ook een toename heeft plaatsgevonden van de aantallen van de kluut en de bergeend op de HVP. Daarbij is ook relatie gelegd met de morfologische ontwikkelingen die zich voor de kwelders van de Friese vastelandskust hebben voorgedaan. In dit gebied heeft op grote schaal sedimentatie plaatsgevonden van slib. Het is waarschijnlijk dat deze wadplaten steeds beter geschikt zijn geworden voor het foerageren door deze vogelsoorten. Maar het is daarbij niet op voorhand duidelijk welke factor of factoren daarvoor doorslaggevend zijn geweest. Wulp, tureluur en bonte strandloper foerageren onder andere op wormen. Het is plausibel dat er voldoende aanbod van wormen in het slibrijke sediment. De bereikbaarheid van het gebied is in ieder geval toegenomen. Door de toename van de hoogte ligt het gebied langer droog bij laagwater, zodat langer kan worden gefoerageerd. Of ook de aantal bodemdieren die als voedsel dienen zijn toegenomen is lastig vast te stellen, zonder gegevens over deze bodemdieren die een lange tijdreeks omvatten. Dergelijke gegevens zijn ons van dit gebied niet bekend. Wel is uit de rapportage over de SIBES-gegevens bekend dat in het gebied hoge dichtheden aanwezig kunnen zijn van slijkgarnalen en wadslakjes (Duijns et al., 2013). Beide soorten prefereren slibrijke wadplaten.

Dat de bereikbaarheid van voldoende voedsel alleen niet doorslaggevend is voor de aantallen op de HVP's in de nabijheid laten de aantallen van de Rosse grutto zien. De voedselvoorkeur van deze soort gaat uit naar wormen, maar in tegenstelling tot wulp, tureluur en bonte strandloper is deze soort slecht marginaal in aantal toegenomen bij de Friese kust. De verschuiving van rosse grutto naar de Westelijke Waddenzee heeft zich geconcentreerd in de omgeving van Vlieland. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de voorkeur van de rosse grutto voor het foerageren op zandige bodems (Ens et al., 2021).

12.4 Beslisschema ecologische analyses

In de rapportage over 2019 is de stapsgewijze analyse nader uitgewerkt, met inbegrip van een beslisschema over de beschouwing van de trends in de vogelaantallen en de schelpdierdichtheden en biomassa's. Deze stappen zijn in detail doorlopen en toegelicht, ook aan de hand van voorbeeld uitwerkingen. Omdat in deze rapportage nog steeds de Tnul situatie zonder bodemdaling wordt beschouwd, is er voor gekozen om deze stappen hier niet te herhalen. Wel worden hier de stappen genoemd en is het beslisschema opgenomen. Voor een toelichting op de stappen wordt verwezen naar de rapportage over 2019 (Arcadis 2020). De stappen die worden doorlopen zijn:

Stap 1

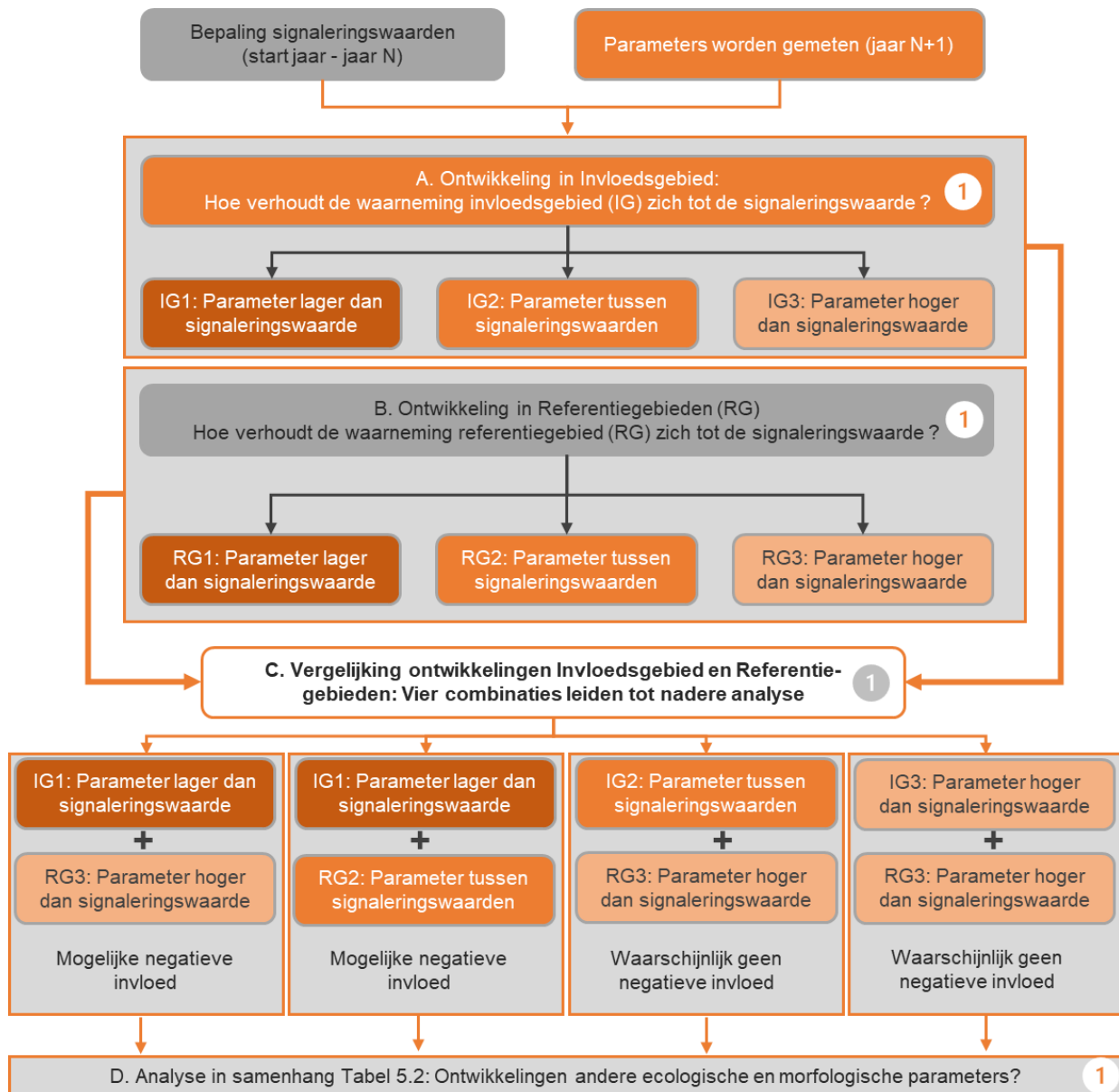
Het bepalen van de trends en de signaleringswaarden per gebied, op basis van de waarnemingsreeksen voorafgaand aan het jaar waar de analyse betrekking op heeft. De data van meerdere jaren laat patronen zien en uit deze patronen wordt de toekomstige trend bepaald. Met deze trend kan vervolgens aangetoond worden of wel of geen verandering in het patroon optreedt. Afwijkingen van het patroon treden op als waarnemingen buiten de bandbreedte voor de signaleringswaarden vallen.

Stap 2

Het doorlopen van het beslisschema. Als de signaleringswaarden worden overschreden (erboven of eronder) – dit wordt ook wel een trendbreuk genoemd – in het invloedsgebied, dan wordt gekeken of deze trendbreuk alleen plaats vindt in het invloedsgebied of ook in referentie gebieden. Door de trends in het invloedsgebied te vergelijken met die in de referentiegebieden wordt bepaald of de variatie een Waddenzee-brede trend is of dat deze lokaal is. Wanneer sprake is van verschillende trendbreuken in het invloedsgebied en de referentiegebieden, die wijzen op een verslechtering die alleen in het invloedsgebied plaatsvindt, dan wordt verder gegaan met de volgende stap in het beslisschema.

Beslisschema

Om vast te stellen of sprake is van mogelijke invloed van de Pleistocene bodemdaling op de ecologische parameters (benthos en vogels) wordt een beslisschema gehanteerd (Figuur 12-17). Dit schema geeft stap voor stap aan wat er moet gebeuren om te bepalen of er een effect optreedt. Als eerste worden de gemeten parameters getoetst aan de signaleringswaardes (valt de gemeten waarde binnen of buiten de bandbreedte). Dit wordt gedaan voor het invloedsgebied (A in Figuur 12-17) en voor de referentiegebieden (B in Figuur 12-17). Daarna wordt de vergelijking uitgevoerd van de ontwikkelingen in het invloedsgebied en in de referentiegebieden (C in Figuur 12-17). Bij het doorlopen van deze stappen worden steeds de ecologische consequenties van de waargenomen ontwikkelingen geduïd (in de figuur is dit gemarkeerd met ^①)



Figuur 12-17 Algemeen beslisschema voor de analyse van de ecologische parameters. Daar waar 1 staat in het beslisschema wordt met de ecologische bril naar de uitkomsten van de analyses gekeken.

Wanneer in het invloedsgebied de parameters boven de signaleringswaarde uitkomen (positieve ontwikkeling), dan is geen sprake van een nadelig gevolg van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning.

Wanneer in het invloedsgebied de parameters binnen de bandbreedte vallen (tussen de signaleringswaarde uitkomen), dan is ook geen sprake een nadelige ontwikkeling ten gevolge van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning.

Wanneer in het invloedsgebied de parameters onder de signaleringwaarde vallen, dan is geen sprake van gevolgen van zoutwinning indien dit ook het geval is in de referentiegebieden. Wanneer in de referentiegebieden sprake is van waardes die binnen bandbreedte vallen, of zelfs hoger zijn dan de signaleringswaarde, wordt de volgende stap in het beslisschema genomen.

12.5 Integratie

De beschermde instandhoudingsdoelen waar deze monitoring zich op richt zijn het areaal droogvallende wadplaten en de draagkracht voor de beschermde doelsoorten (vogels) die van de wadplaten afhankelijk zijn om te foerageren. Bodemdaling door zoutwinning mag geen nadelig effect hebben op deze natuurwaarden en het monitoringprogramma is vormgegeven om dit te kunnen onderbouwen.

Het monitoringprogramma voorziet in de monitoring van een groot aantal ecologische parameters die in samenhang moeten worden beschouwd. Deze samenhang dient te worden bereikt door de parameters op een logische wijze te integreren. Het doel van deze integratie is een zo goed mogelijke kwantificering van een instandhoudingsdoel. De aanpak hiervoor is data-integratie aan de hand van een ecologisch model voor het betreffende instandhoudingsdoel.

Het instandhoudingsdoel voor de droogvallende wadplaten luidt: *“Bij eb droogvallende slikwadden en zandplaten... Dit habitattype bevindt zich tussen hoog- en laagwater... De bovengrens wordt gevormd door de gemiddelde hoogwaterlijn... De benedengrens wordt gevormd door de laagwaterlijn die gebaseerd is op de L.A.T. (= Lowest Astronomical Tide)... Het habitattype bestaat intern uit een mozaïek van mariene ecotopen. De afwisseling van en de functionele samenhang tussen de ecotopen vormen een wezenlijk aspect van de structuur en functie van het habitattype... De kwaliteit van het habitattype wordt bepaald door deze habitatdiversiteit en de daarmee gepaard gaande biodiversiteit “* (Profieldocument H1140).

In dit monitoringprogramma integreren we de verzamelde hoogte- en dieptemetingen voor het invloedsgebied tot de oppervlakte en de gemiddelde hoogteligging van het areaal droogvallende wadplaten. Deze twee variabelen zullen we volgen in de tijd. In dit rapport wordt voor de T-nul situatie gekeken naar de ontwikkeling van gemiddelde hoogte van raaimetingen. Om de betekenis van veranderingen in raaimetingen tussen jaren voor het habitattype te interpreteren, is een vertaling naar een ruimtelijk beeld nodig. De twee aanvullende raaien waarmee in 2021 is begonnen, gaan daarbij helpen. We willen periodiek een vlakdekkende kaart van H1140 in het invloedsgebied maken op basis van de ruimtelijke resolutie van de Vaklodgingen. Jaarlijks kunnen we deze kaart aan de hand van interpolatie tussen de raaimetingen verticaal aanpassen.

De kwaliteit van het habitattype, waarnaar het profieldocument refereert, is de vertegenwoordiging van diverse ecotopen. Het is echter niet zo dat al deze ecotopen op de Ballastplaat aanwezig hoeven te zijn. De instandhoudingsdoelen worden namelijk op de schaal van de hele Waddenzee beschouwd en op die grotere schaal wisselen ecotopen elkaar af. Omdat de Ballastplaat niet bekend staat om haar schelpdierbanken of zeegrasvelden wordt hier niet afzonderlijk aandacht aan besteed. In dit monitoringprogramma gaan we er vanuit dat de kwaliteit van dit habitattype in voldoende mate vertegenwoordigd is de kwaliteit van de plaat als fourageergebied voor vogels (doelsoorten). Dit deel van de voorgenomen integratie wordt hieronder toegelicht.

Het instandhoudingsdoel voor een vogelsoort die onderdeel is van deze monitoring luidt: *“Behoud omvang en kwaliteit van het fourageergebied voor broed-, trek- en overwinterende vogels”*. Per vogelsoort wordt voor het natura 2000-gebied Waddenzee beschreven voor hoeveel exemplaren of broedparen het gebied draagkracht moet bieden. Tevens beschrijft het Aanwijzingsbesluit Waddenzee waar eventuele hotspots zich bevinden. De best beschikbare technische beschrijving van dit instandhoudingsdoel voor 1) *omvang* en 2) *kwaliteit* zijn a) het oppervlakte geschikt fourageergebied en b) de oogstbare hoeveelheid voedsel per getij. In dit monitoringprogramma integreren we de verzamelde data tot deze twee parameters, welke we zullen volgen in de tijd. Deze twee parameters worden per vogelsoort bepaald aan de hand van hun dieet en andere ecologische kenmerken. Uitgaande van een indeling van het invloedsgebied in gridcellen geldt:

- a. De oppervlakte geschikt fourageergebied staat voor het areaal met de minimale biomassa prooidieren die binnen het dieet van de vogelsoort vallen, vermenigvuldigd met gemiddelde de droogvalduur van de betreffende gridcellen.
- b. De oogstbare hoeveelheid voedsel per getij staat voor totale biomassa, vermenigvuldigd met de droogvalduur van de betreffende gridcellen.

Omdat hierbij geen rekening wordt gehouden met het feit dat vogels een beperkte voedselopnamecapaciteit hebben, zegt parameter 1 meer over de draagkracht van het gebied als fourageergebied en parameter 2 meer over de rijkheid van het fourageergebied voor de betreffende vogelsoort.

Om droogvalduur te bepalen wordt de vlakdekkende hoogtekaart van het invloedsgebied gecombineerd met de waterstanden die dat monitoringsjaar daadwerkelijk zijn gemeten (een eerste analyse van de waterstanden voor het invloedsgebied is te vinden in paragraaf 12.5.1). Om de lokale waterstanden te berekenen kunnen deze tussen meetpalen worden geïnterpoleerd, zoals in de tool InterTides (Rappoldt et al., 2014) gebeurt.

Om de biomassa prooidieren voor een vogelsoort te bepalen, zijn macrofauna monsters nodig in aanvulling op de data van de schelpdiersurveys. De veronderstelde diëten van de gemonitorde vogelsoorten zijn bekend en o.a. gepubliceerd in het kader van het model WADMAP dat is ontwikkeld in het kader van het monitoringprogramma voor gaswinning onder de Waddenzee (Ens et al. 2021).

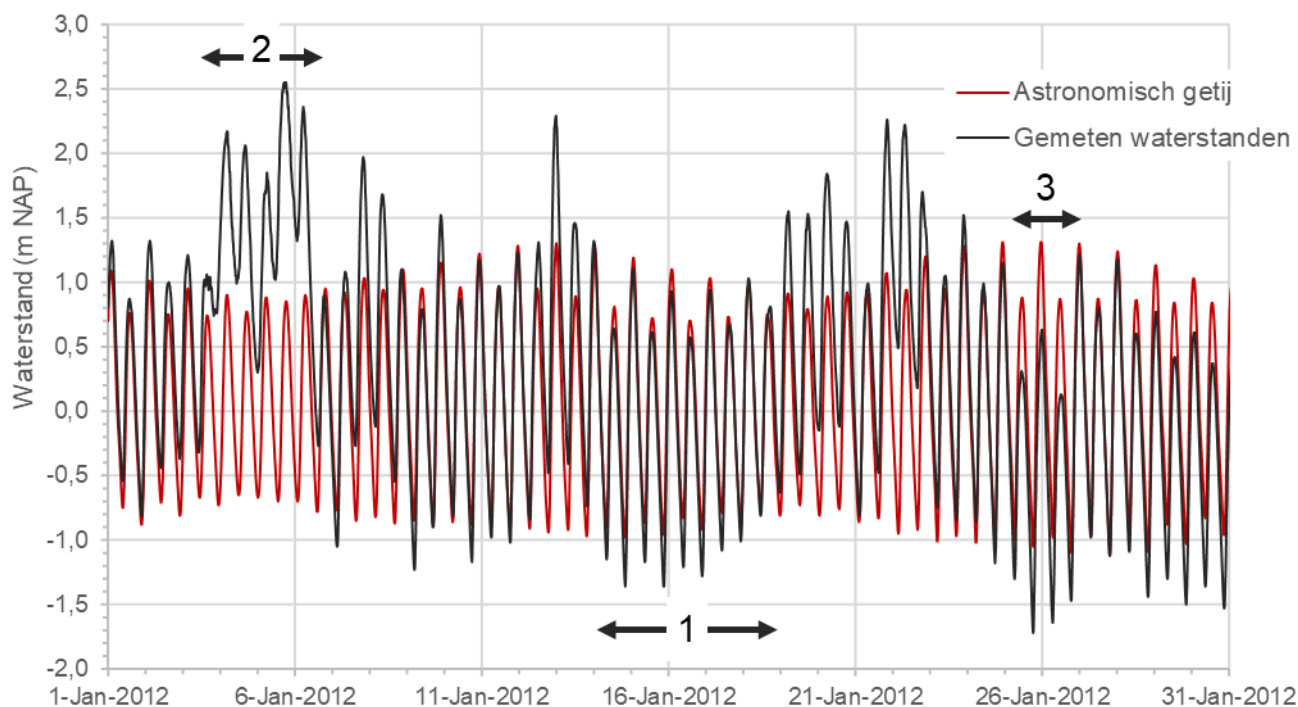
In aansluiting op de bovenstaande data-integratie kan jaarlijks de effectketen worden doorlopen. Indien er sprake is van een nadelige ontwikkeling in een van de instandhoudingsdoelstellingen zal aan de hand van het model gekeken worden of dit veroorzaakt wordt door een verlaging van de wadplaathoogte. Is dat het geval, dan kan aan de hand van (o.a.) de Spijkermetingen en bodemdalingsmetingen worden vastgesteld of een effect van de zoutwinning niet kan worden uitgesloten.

De vogeltellingen worden als signaleringsparameter gebruikt. Enerzijds gebeurt dit geautomatiseerd aan de hand van trendspotteranalyses en vergelijkingen met referentiegebieden. Anderzijds leunt deze analyse op de veldkennis van onderzoekers die de vogelpopulaties in de trilaterale Waddenzee al jaren volgen. Onder andere binnen de Groene Wetenschap (paragraaf 5.2) ondersteunen zij bij het interpreteren van de vogeltellingen. Uit de laatste ecologische discussie over de ontwikkelingen in de vogelaantallen kwam naar voren dat we nog te weinig weten van het daadwerkelijke belang van de Ballastplaat als fourageergebied voor de vogels op de HVP's. In 2021 wordt een gecombineerde hoog- en laagwatertelling uitgevoerd om hier een beter beeld van te krijgen.

12.5.1 Waterstanden en bereikbaarheid

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.

De meetgegevens van het waterstandmeetstation te Harlingen zijn bij Rijkswaterstaat opgevraagd voor de periode van 2010 tot 2020. Deze gegevens geven inzicht in de waterhoogte zoals die daadwerkelijk optreden in de Waddenzee. In Figuur 12-18 is een tijdreeks weergegeven van de gemeten waterstanden in de periode 1 tot 31 januari 2012. In deze grafiek is naast de gemeten waterstanden ook het astronomisch getij weergegeven. Soms liggen de gemeten waterstanden en de astronomische waterstanden op elkaar, zoals aangegeven bij 1 in Figuur 12-18. In deze periode zijn ook verhogingen (o.a. bij 2 in Figuur 12-18) als verlagingen (bij 3 in Figuur 12-18.) van de waterstanden zichtbaar ten opzichte van de astronomische waterstand. Die verschillen zijn het gevolg van meteorologische effecten: de wind blaast als het ware water de Waddenzee in of uit. De omvang van de meteorologische effecten wordt bepaald door de windrichting en -sterkte en door de duur van een bepaalde windconditie. Sterk verhoogde waterstanden in de Waddenzee gaan meestal samen met stormachtige condities. Een beschrijving van deze processen kan onder andere worden gevonden in Gräwe (2016).



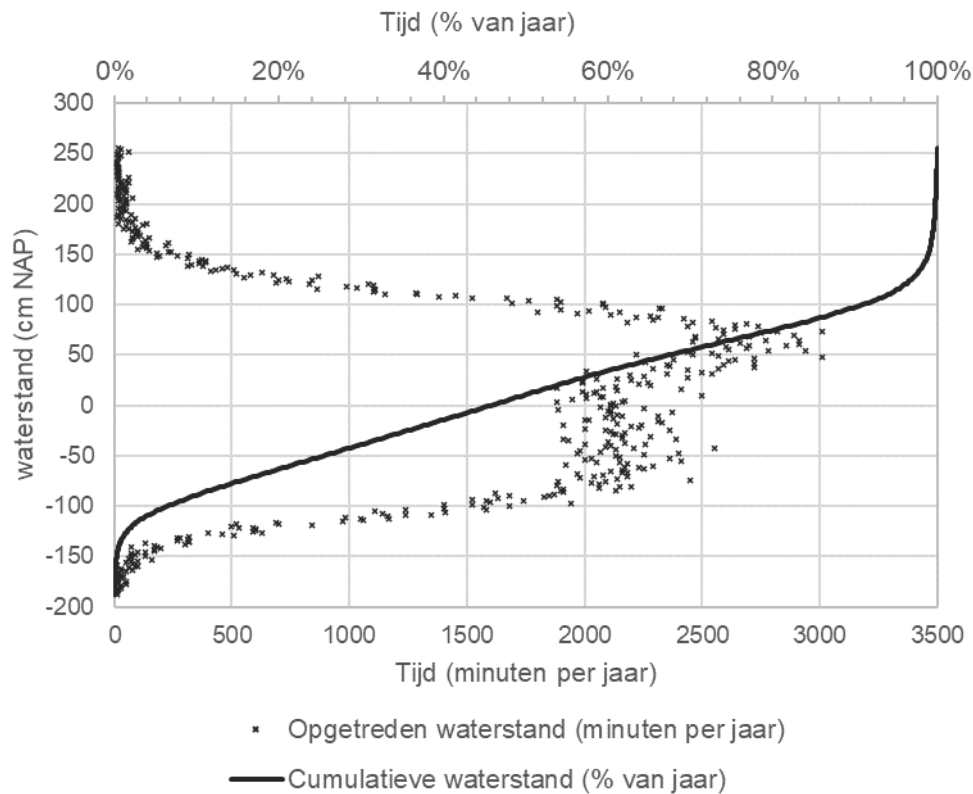
Figuur 12-18 Grafiek met de gemeten waterstanden en de berekende astronomische waterstanden te Harlingen voor 2012 (gegevens Rijkswaterstaat, via waterinfo.rws.nl). Bij 1 is de periode aangegeven waarin de gemeten waterstanden en de astronomische waterstanden min of meer overeenkomen, bij 2 is sprake van een verhogen en bij 3 is sprake van een verlaging van de gemeten waterstand ten opzichte van de astronomische waterstand.

De opgetreden waterstanden in de Waddenzee zijn onder andere relevant voor het droogvallen van de wadplaten: bij hogere waterstanden staat een wadplaat langer onder water dan bij lagere waterstanden. En dat heeft weer gevolgen voor de bereikbaarheid van de wadplaat. Uit de grafiek met de opgetreden waterstanden per jaar is moeilijk op te maken hoelang een wadplaat droog blijft dan wel onder staat per jaar. Daarom zijn de gemeten waterstanden op twee andere manieren weergegeven in Figuur 12-19. In deze grafiek is (met de punten) per opgetreden waterstand weergegeven hoeveel minuten per jaar dit in totaal optreedt. Zichtbaar is dat zowel de lage (lager dan NAP -1 m) als hoge waterstanden (hoger dan NAP +1 m) veel minder vaak optreden (beide 25 uur per jaar) dan de waterstanden daartussen in. De extreem (lager dan NAP -1,5 m) en extreem hoge waterstanden (hoger dan NAP +1,5 m) treden nog veel minder vaak op.

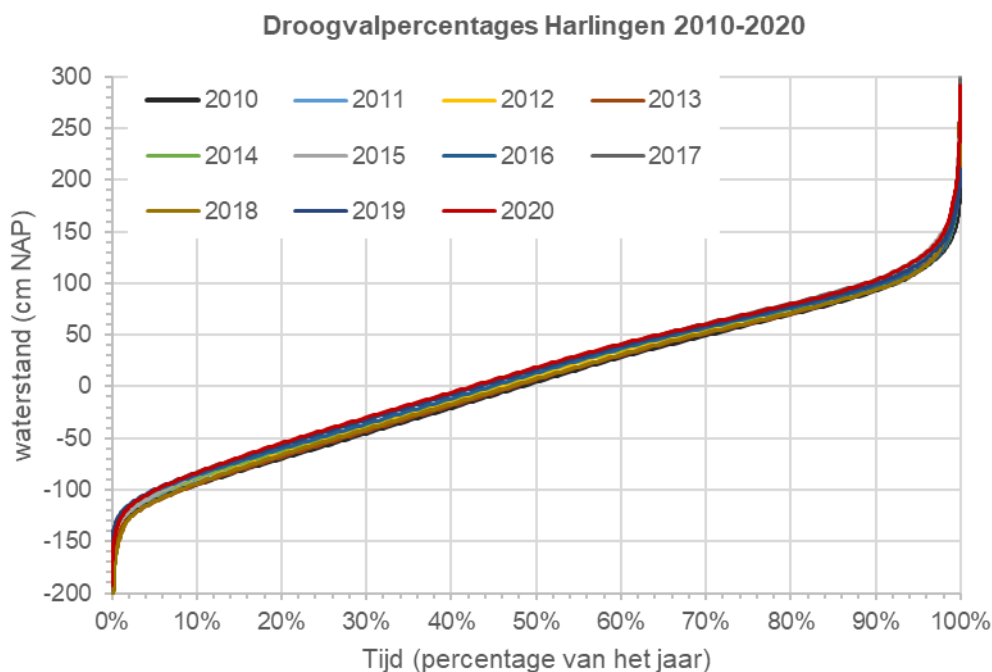
Met de minuten per jaar die van iedere waterstand is het percentage berekend dat die waterstand per jaar optreedt. In de grafiek in Figuur 12-19 zijn deze waardes cumulatief weergegeven als een lijn. Met deze lijn is voor het jaar 2012 af te lezen hoe lang een gebied met een bepaalde hoogte droogvalt gedurende het jaar. Om met de uiteinden te beginnen: Gebieden met een hoogte van NAP -1,87 m zijn in 2012 nooit drooggevallen, deze hebben de waarden 0%; Gebieden met een hoogte boven de NAP +2,55 m zijn in 2012 niet bedekt door zeewater. Een gebied met een hoogte van NAP -0,5 m lag in 2021 gedurende 25% van de tijd droog, terwijl een gebied met een hoogte van NAP 0 m 46% van de tijd droog lag en een gebied met hoogte NAP +0,5 m 67% van de tijd droog lag. De cumulatieve weergave van de opgetreden waterstanden als percentage van de tijd geeft dus het droogvalpercentage weer.

De droogvalpercentages voor alle jaren van 2010 tot 2020 zijn weergegeven in Figuur 12-20. In deze grafiek is zichtbaar dat de droogvalpercentages een band vormen. De bandbreedte van de droogvalpercentages in het bereik waarbinnen de waterstanden het frequentst optreden tussen de NAP -1 m en +1 m is ongeveer 6%. Dat wil zeggen dat bij een bepaalde hoogte het verschil tussen het hoogste en het laagste droogvalpercentage in de periode 2010-2020 ongeveer 6% is. Deze analyse is ook uitgevoerd voor de astronomische waterstanden en de bandbreedte daarin is zeer klein. De variaties in de waterstanden en droogvalpercentages zijn vrijwel geheel het gevolg van de verschillen in de meteorologische condities.

In de volgende paragraaf zal worden ingegaan op de gevolgen van de variaties in de waterstanden voor de bereikbaarheid van de Ballastplaat.

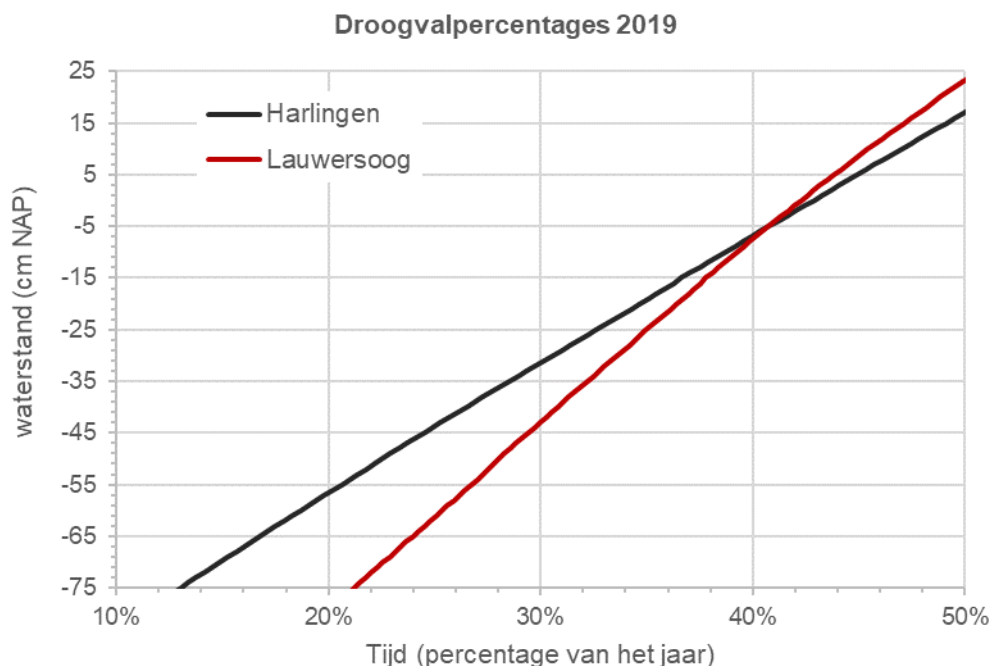


Figuur 12-19 Grafiek met totale duur per gemeten waterstand (punten, schaalindeling op onderste as) en de cumulatieve duur als percentage van het jaar (lijn, schaalindeling op bovenste as) te Harlingen voor 2012 (gegevens Rijkswaterstaat, via waterinfo.rws.nl). Dit zijn dezelfde gegevens als in Figuur 12-18.



Figuur 12-20 Grafiek met droogvalpercentages per jaar (cumulatieve duur als percentage van het jaar) te Harlingen voor 2010-2020 (gegevens Rijkswaterstaat, via waterinfo.rws.nl).

De waterstandsgegevens zijn ook bruikbaar om duidelijk te maken dat de omstandigheden waaronder de monitoring wordt uitgevoerd in de omgeving van de Ballastplaat anders zijn dan in het gebied waar de bodemdaling door gaswinning MLV plaatsvindt. Daartoe zijn de droogvalpercentages van Harlingen (voor de omgeving Ballastplaat) en Lauwersoog (in het Friesche zeegat, waar de bodemdaling door de gaswinning MLV plaatsvindt) weergegeven in Figuur 12-21. Hierbij is het hoogtembereik van NAP -0,75 tot +0,25 m weergegeven, omdat dit het hoogtembereik van de Ballastplaat ter plaatse van het gebied waaronder de Pleistocene bodemdaling plaatsvindt. Duidelijk is dat de droogvalpercentages van het lage deel van de Ballastplaat lager zijn dan bij het Friesche zeegat. Bij een hoogte van NAP -0,5 m is het droogvalpercentage in Harlingen 23% en bij Lauwersoog 28%. Dat maakt het uitvoeren van 'droge' metingen, zoals de LiDAR en Spijkermetingen lastiger uitvoerbaar bij Harlingen dan bij Lauwersoog. 'Natte' metingen zoals de raaimetingen zijn hierdoor beter uitvoerbaar bij Harlingen.



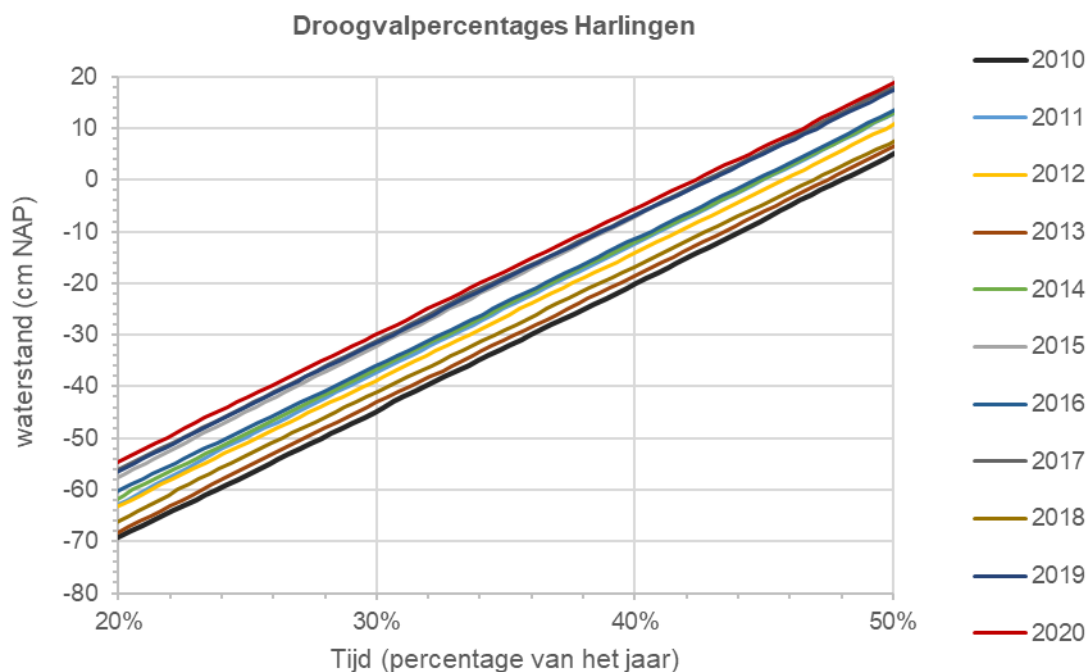
Figuur 12-21 Grafiek met droogvalpercentages per jaar (cumulatieve duur als percentage van het jaar) voor 2019 de meetstations Lauwersoog en Harlingen (gegevens Rijkswaterstaat, via waterinfo.rws.nl).

De essentie van de analyse van de waterstanden is dat de variatie hierin een groot is te invloed heeft op de bereikbaarheid. De bandbreedte voor de droogvalpercentages van een absolute hoogte ligt rond de 6%. De variatie in de droogvalpercentages van 6% is het equivalent van een hoogteverandering van 15 cm.

12.5.2 Bereikbaarheid van de Ballastplaat

In de voorgaande paragraaf is een analyse opgenomen van de opgetreden waterstanden bij Harlingen over een periode van 11 jaar. Het meetpunt bij Harlingen ligt dermate dicht bij de Ballastplaat dat dit een goede indicatie geeft van de waterstanden daar. Voor het bepalen van de droogvalpercentages in de Waddenzee verschillende methoden en tools (bijvoorbeeld InterTides- Rappoldt et al., 2014) ontwikkeld zijn, die rekening houden met de ruimtelijke variatie in de waterstanden, maar dat is in deze eerste analyse nog niet gedaan. In de grafiek in Figuur 12-22 is voor het hoogtebereik van de Ballastplaat aangegeven welke droogvalpercentages optreden in de betreffende periode. De bandbreedte voor de droogvalpercentages van een absolute hoogte ligt rond de 6%. Deze bandbreedte is ook omgekeerd te benaderen: het maximale verschil in de hoogte bij het droogvalpercentage van 30% bedraagt 15 cm.

De absolute hoogtes bij de droogvalpercentages van het meest 'droge' (2010) en het meest 'natte' (2020) jaar zijn gebruikt om twee kaarten van de droogvalpercentages te maken van de Ballastplaat voor de vaklodging 2016. De kaart met de droogvalpercentages van 2010 staat in Figuur 12-23 en die met droogvalpercentages van 2020 staat in Figuur 12-24. De absolute hoogtes van de droogvalklassen staan in Tabel 12.3. Zichtbaar is dat door de jaar op jaar variaties in de waterstanden grote verschillen optreden in de droogvalpercentages op de Ballastplaat. Het hoogste deel van de Ballastplaat binnen de contour van de bodemdalingsschotel is één droogvalklasse opgeschoven. Hierbij is dus nog geen rekening gehouden met de veranderingen in de bodemhoogte die optreden in het gebied.

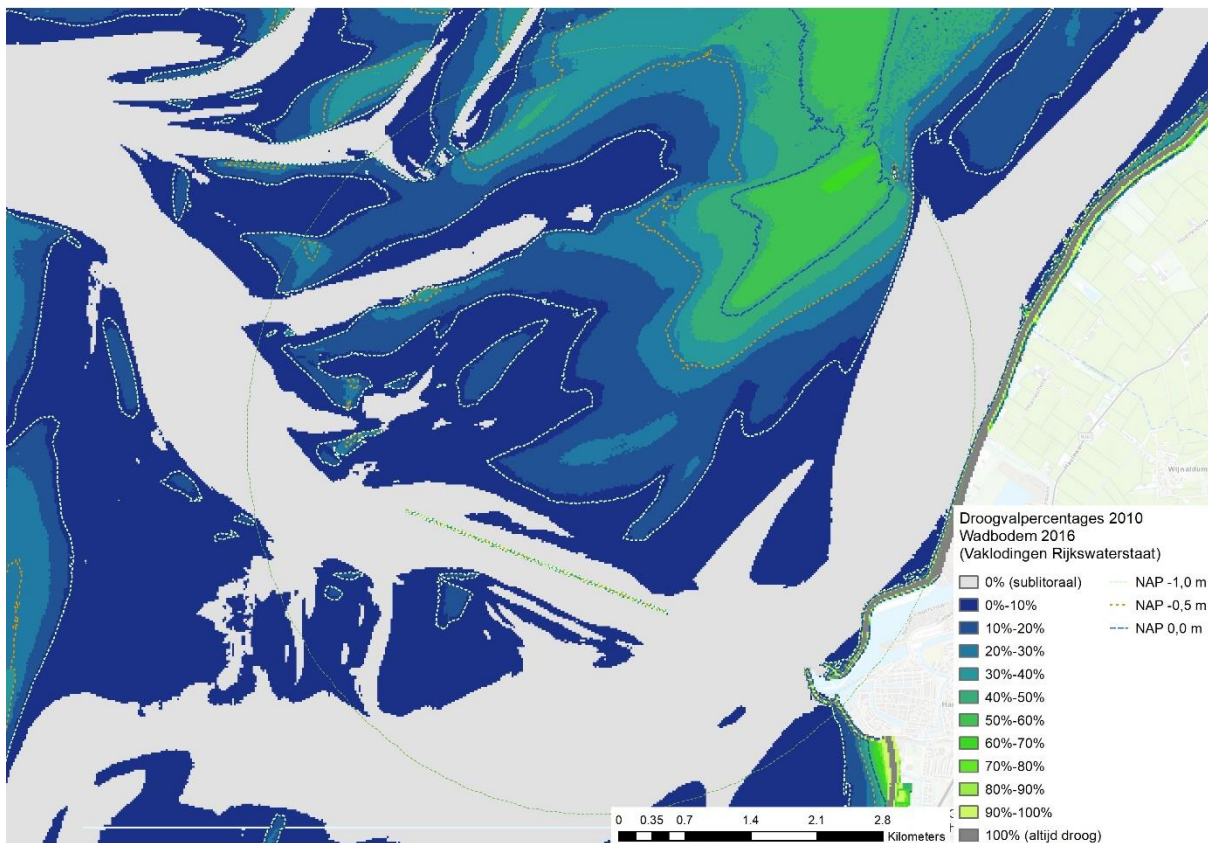


Figuur 12-22 Grafiek met droogvalpercentages per jaar (cumulatieve duur als percentage van het jaar) te Harlingen voor 2010-2020 (gegevens Rijkswaterstaat, via waterinfo.rws.nl).

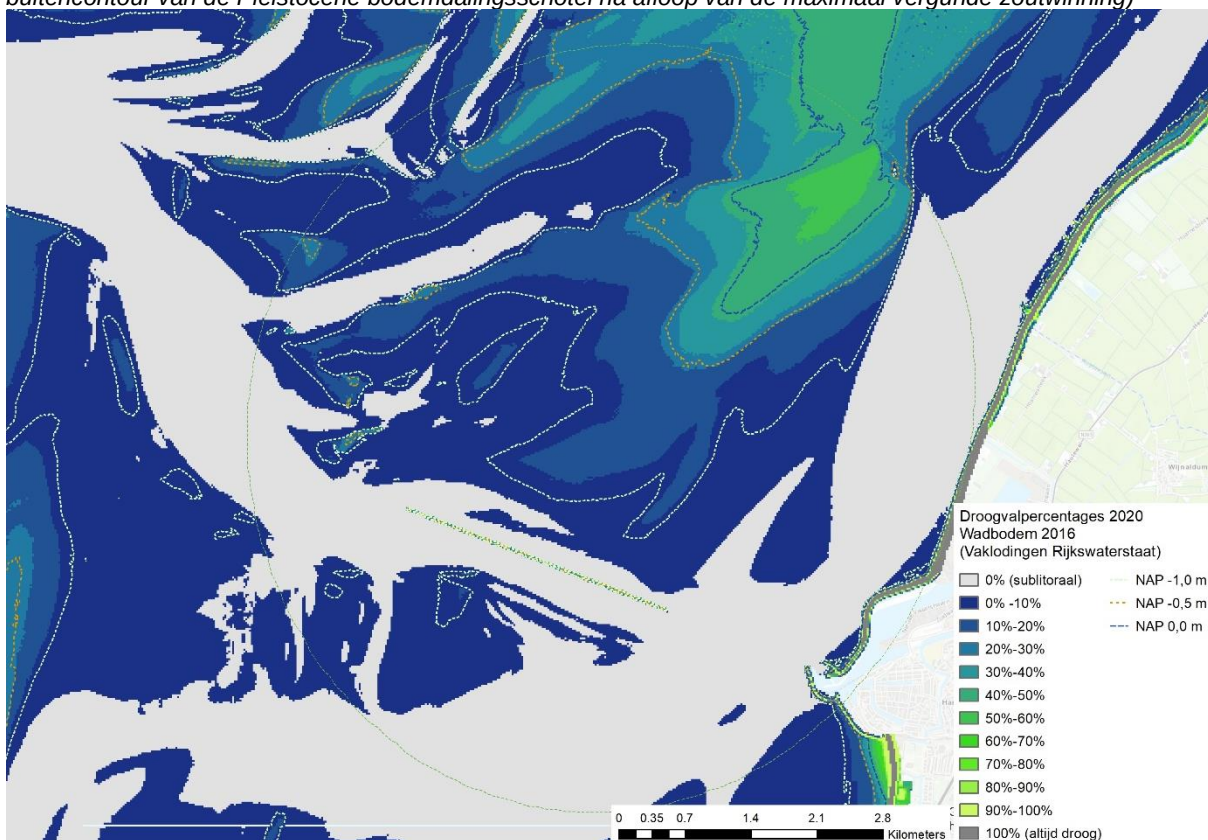
Figuur 12-25 toont de hoogteligging van de 2010 (vakloding) met de droogvalklassen van 2010. Het verschil ten opzichte van de kaart in Figuur 12-23 is hiermee de bodemligging, de indeling in hoogteklassen is hetzelfde. Het meest in het oog springende verschil is de droogvalklasse waar het hoogste deel van de Ballastplaat in valt, die in de bodem van 2016 een droogvalklasse hoger is dan in 2010. Deze toename van het droogvalpercentage is het gevolg van de toename van de hoogte van dit deel van de Ballastplaat. Deze verandering door de toename van de bodemhoogte heeft dezelfde grootte van orde als de variatie die optreedt in de droogvalpercentages door de variatie in de waterstanden die van jaar optreden.

Tabel 12.3 Hoogtegrens (in m NAP) van de droogvalklassen voor 2010 en 2020.

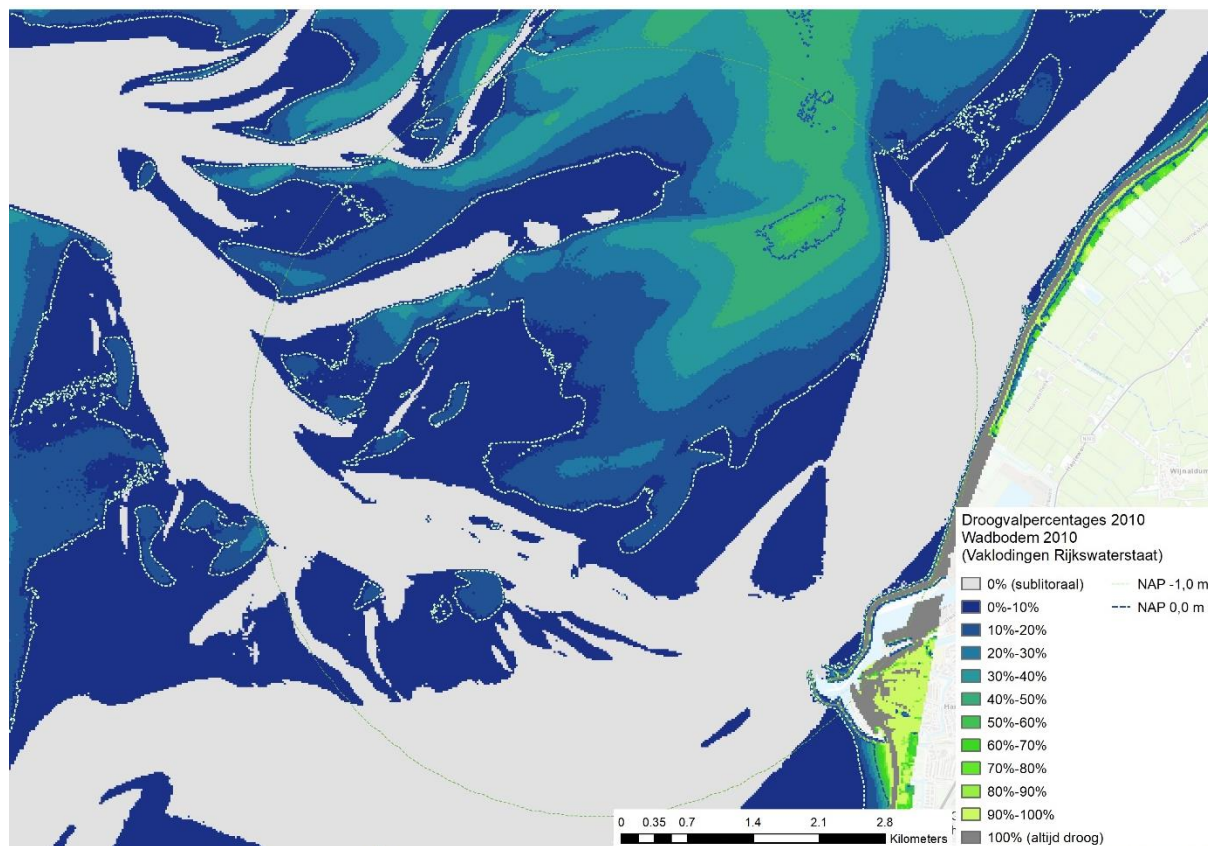
droogvalpercentage	2010	2020
0%	-1,92	-1,92
10%	-0,94	-0,84
20%	-0,69	-0,55
30%	-0,45	-0,3
40%	-0,2	-0,06
50%	0,05	0,19
60%	0,29	0,41
70%	0,5	0,61
80%	0,7	0,8
90%	0,94	1,03
100%	2,54	2,91



Figuur 12-23 Kaart van de bodem van 2016 met indeling in de droogvalpercentages van 2010 (vaklodingen, gegevens Rijkswaterstaat). Drie contouren van de absolute hoogte (ten opzichte van NAP zijn ook aangegeven, evenals de buitencontour van de Pleistocene bodemdalingsschotel na afloop van de maximaal vergunde zoutwinning)



Figuur 12-24 Kaart van de bodem van 2016 met indeling in de droogvalpercentages van 2020 (vaklodingen, gegevens Rijkswaterstaat). Drie contouren van de absolute hoogte (ten opzichte van NAP zijn ook aangegeven, evenals de buitencontour van de Pleistocene bodemdalingsschotel na afloop van de maximaal vergunde zoutwinning).



Figuur 12-25 Kaart van de bodem van 2010 met indeling in de droogvalpercentages van 2010 (vaklodingen, gegevens Rijkswaterstaat). Twee contouren van de absolute hoogte (ten opzichte van NAP zijn ook aangegeven, evenals de buitencontour van de Pleistocene bodemdalingsschotel na afloop van de maximaal vergunde zoutwinning)

De essentie van deze paragraaf is dat rekening moet worden gehouden met fluctuaties in de droogvalpercentages van de Ballastplaat van tenminste 6% door waterstandsvariatiën. Deze variaties vertegenwoordigen een hoogteverschil van 15 cm. Daarbovenop komen de veranderingen in de droogvalpercentages door veranderingen in de bodemhoogte, die een vergelijkbare omvang kunnen hebben. Dit betekent dat van het ene op het andere jaar de condities op de Ballastplaat duidelijk verschillen. Deze verschillen in de condities op de Ballastplaat hebben gevolgen voor de bodemdieren, omdat de droogvalpercentages één van de abiotische parameters zijn, die bepalend zijn voor hun aanwezigheid en ontwikkeling. Anderzijds hebben deze verschillen in de condities gevolgen voor de bereikbaarheid van het aanwezige voedsel door foeragerende vogels.

In toekomstige rapportages zal de hoogte en het areaal van de Ballastplaat worden gecombineerd met de droogvalpercentages. Op die manier wordt de jaar-op-jaar bereikbaarheid van de Ballastplaat in beeld gebracht en komen variaties en trends in de bereikbaarheid in beeld.

12.6 Tussenconclusies ecologie

In dit hoofdstuk “Ecologie” is een analyse en beschrijving gemaakt van de T-nul situatie voor het invloedgebied en referentiegebieden. Geconcludeerd wordt dat de Ballastplaat niet opvallend rijk is aan mossels en kokkels en dat de populatie nonnetjes er in de loop der jaren sterk is afgenomen. De populatieontwikkelingen van schelpdieretende vogels, die onderdeel zijn van deze monitoring, vertonen een wisselend beeld. In omvang nemen de aantallen van de Scholekster af. Dit past in de landelijke trend en het is maar zeer de vraag of de voedselvoorziening in de Waddenzee daar de oorzaak van is.

De HVP-tellingen van de Kanoet tonen een soort golfbeweging met een golflengte van ca. 20 jaar. Of hier een sturende factor achter zit is onduidelijk. Zou de trend zich voortzetten, dan zouden de aantallen Kanoeten in de westelijke Waddenzee over enkele jaren weer kunnen gaan toenemen. Voor de Kanoet is gesuggereerd dat de Ballastplaat, gezien haar ligging, van specifieke ecologische waarde zou kunnen zijn (Duijns et al., 2013) Hoe het zit met de draagkracht van de Ballastplaat voor de Kanoet kunnen we aan de hand van de huidige schelpdierdata niet goed zeggen. Kanoeten eten bijvoorbeeld ook wadslakjes, krabbetjes en garnalen, welke momenteel niet bekeken worden.

Opvallend is de toename van de aantallen Rosse grutto's, Tureluurs, Wulpen en Bonte Strandlopers in de bestudeerde vogeltelgebieden. Voor de Tnul situatie kan geconcludeerd worden dat de aantallen van deze vogels in de loop der jaren in de westelijke Waddenzee zijn toegenomen en dat deze toename lijkt te zijn afgevlakt of wellicht zelfs licht dalend is. De rol van de Ballastplaat in deze ontwikkeling zal klein zijn, maar is niet uit te sluiten. Inzicht in zowel de draagkracht van dit gebied voor, als het gebruik ervan door deze soorten is nodig om verder gaande conclusies te kunnen trekken. In paragraaf 12.5 wordt aangegeven hoe hier per 2021 invulling aan zal worden gegeven.

13 AANVULLENDE GEGEVENS EN INFORMATIE

13.1 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 color infrared): jaarlijkse opnames beschikbaar via Beeldmateriaal.nl.

In de voorliggende rapportage is gebruik gemaakt van de gegevens over de waterstanden en wind. De gemeten waterstanden en windsnelheden zijn beschouwd in de context van de spijkermetingen in paragraaf 10.4. In de toekomst zullen deze gegevens worden geïntegreerd in een model van de morfologische veranderingen op de schaal van de Ballastplaat, waarmee de correlaties tussen de opgetreden waterbeweging en de bodemdynamiek op de verschillende tijd- en ruimteschalen worden onderzocht. De waterstanden zijn ook gebruikt voor de eerste analyse van de bereikbaarheid van de Ballastplaat in paragraaf 12.5.1 en 12.5.2. Deze analyse is een eerste stap in de integratie van de ecologische en morfologische monitoring via een draagkrachtbenadering. Voor de toekomstige analyse zullen zo nodig ook de meetgegevens van andere relevante parameters worden opgevraagd en gebruikt.

13.2 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);
- Handkorkelvisserij (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);

Ook voor deze activiteiten geldt dat deze gegevens in de analyse worden betrokken, indien er aanwijzingen zijn dat deze van invloed zijn op de waarnemingen aan de bodemdaling, bodemligging, sedimentatie en erosie, sedimentsamenstelling, benthos en vogelaantallen.

14 CONCLUSIES

De monitoring is onderdeel van de zoutwinning onder de Waddenzee met de Hand aan de Kraan, zoals is voorgeschreven in de Wet Natuurbeschermingsvergunning. In essentie is de monitoring gericht op het signaleren van niet verwachte gevolgen op de Natura 2000-instandhoudingsdoelstellingen voor de Waddenzee van de droogvallende wadplaten. De betreffende Natura 2000-instandhoudingsdoelstellingen zijn de vogelsoorten die gebruik maken van de droogvallende platen en de kwantiteit en de kwaliteit van het habitattype H1140 droogvallende wadplaten. De relatie tussen de ecologische waarden, in termen van de instandhoudingsdoelstellingen, en de Pleistocene bodemdaling als gevolg van zoutwinning is weergegeven in de effectketen in Figuur 2 5.

Pleistocene bodemdaling en morfologie

De metingen aan de Pleistocene bodemdaling geven direct inzicht in de daadwerkelijk optredende bodemdaling. In lijn met het tot dusver zeer beperkte productievolume blijkt uit de metingen dat er tot dusver geen meetbare bodemdaling door zoutwinning heeft plaatsgevonden. Dit is ook terug te zien in een minuscule belasting van de gebruiksruijme. De bodemdaling door de zoutproductie onder de Waddenzee is in 2020 dan ook binnen de vergunde grenzen gebleven.

De verschillende metingen aan de bodemhoogte en de sedimentatie en erosie geven duidelijke inzichten in de morfologische veranderingen die optreden op de verschillende ruimte- en tijdschalen.

Op de schaal van het kombergingsgebied en het studiegebied laten de vaklodingen zien dat het plaatareaal toeneemt over tientallen jaren. Deze toename van het areaal van het habitattype H1140 is het netto gevolg van het ontstaan van meer plaatareaal dan er op andere plekken verdwijnt. De afsluiting van de Zuiderzee wordt gezien als de sturende factor voor de netto toename van het plaatareaal. Deze toename treedt niet overal op in het studiegebied, ter plaatse van de raai- en spijkermetingen op de Ballastplaat is geen sprake van een toename, maar verder naar het noordoosten aan de noordzijde van de Ballastplaat-Vlakte van Oosterbierum is dat wel het geval.

De raai- en de spijkermetingen laten zien dat op tijdschalen van jaren tot maanden ook veranderingen optreden in de bodemhoogte van de Ballastplaat. Deze veranderingen bestaan uit de geleidelijke verplaatsing van grootschalige structuren op de plaat, zoals zichtbaar in de raaimetingen (zie bijvoorbeeld Figuur 8 6) en uit de vorming en verplaatsing van bodemvormen (megaribbels, zoals zichtbaar in Figuur 8 2 en dendritische geulpatronen, zoals zichtbaar in Figuur 10 9). Deze en andere morfologische veranderingen op korte tijdschalen leiden tot variaties in de gemiddelde bodemhoogte in de raaimetingen een komen tot uitdrukking in variaties in de sedimentatie en erosie in de raaimetingen. Een eerste analyse van de mogelijk relaties tussen de opgetreden hydrodynamische en meteorologische condities en de veranderingen in de bodemligging op de tijdschaal van maanden tot jaren in de spijkermetingen en de raaimetingen laat nog geen uitgesproken verbanden zien. Verdere uitwerking in een model van de morfologische response op verschillende forceringen biedt de mogelijkheid om deze verbanden beter in beeld te krijgen. Daarin zal dan ook de bodemsamenstelling worden betrokken, omdat het verschil in de dynamiek van zand en slijb een verklarende factor kan zijn voor een aantal morfologische ontwikkelingen (Oost et al., 2021). De metingen aan de bodemsamenstelling (korrelgrootte, slijbgehalte) geven daar mede input voor.

Op basis van de metingen aan de Pleistocene bodemdaling en de morfologie kan in de toekomst, wanneer de omvang van de zoutwinning resulteert in meetbare Pleistocene bodemdaling, worden vastgesteld of de sedimentatie in de Waddenzee deze bodemdaling vereffend aan het oppervlak van de Waddenzee.

Bereikbaarheid, voedselbeschikbaarheid en benutting

De bodemligging van de wadplaten is niet de enige factor die bepaald of deze geschikt zijn als foerageergebied voor wadvogels. Hoeveel vogels foerageren op de Ballastplaat is enerzijds afhankelijk van de draagkracht van het gebied en anderzijds van de benutting daarvan. De benutting van de draagkracht wordt per vogelsoort bepaald door hun gedrag, de ligging van de hoogwatervluchtplaatsen en het getijvenster van de Ballastplaat in relatie tot het getijvenster van andere plaatgebieden in de Westelijke Waddenzee. De draagkracht wordt enerzijds bepaald door de aanwezigheid van voedsel in de vorm van bodemdieren, oftewel de beschikbaarheid van voedsel, en anderzijds door mogelijkheid voor de vogels om te foerageren, oftewel de bereikbaarheid van het voedsel.

Uit analyses van de waterstanden blijkt dat het deel van de Ballastplaat dat in de toekomst onderhevig wordt aan Pleistocene bodemdaling door zoutwinning droogvalpercentages kent tot 60%. Analyse van de waterstanden laat zien dat in de droogvalpercentages van jaar op jaar variaties in optreden van 6% en dit komt overeen met een veranderingen in de bodemhoogte van ca. 15 cm. Grote delen van de Ballastplaat zijn slechts gedurende een korte periode als foerageergebied beschikbaar en per jaar varieert de mate van beschikbaarheid sterk.

De vogeltellingen en analyse daarvan tonen duidelijke verschillen tussen de soorten. Een van de opvallende ontwikkelingen is de toename van de aantallen van de bonte strandloper, rosse grutto, wulp en tureluur in de Westelijke Waddenzee. Deze soorten hebben een voorkeur voor een dieet met wormen, of hebben een breed dieet (bonte strandloper). Een deel van de toename vindt plaats op de HVP Friese kust en deze toename gaat gelijk op met de toename van het aantal kluten en bergeenden en een afname van het aantal scholeksters. Alleen de aantallen van de rosse grutto nemen niet toe bij de Friese kust, waar sinds het begin van jaren '90 van de vorige eeuw een sterke sedimentatie heeft plaatsgevonden wat invloed heeft op de daarin levende bodemdieren. Deze verandering wordt als een van de oorzaken voor de veranderen vogelfauna gezien.

De beschikbaarheid van het voedsel wordt onderzocht door de monitoring van drie schelpdiersoorten. De resultaten tot nu toe laten zien dat op de Ballastplaat geen grote hoeveelheden kokkels of mossels aanwezig zijn. De Ballastplaat is in het verleden relatief rijk geweest aan nonnetjes, maar de aantallen en biomassa van nonnetjes in de Waddenzee zijn sterk afgenomen vanaf 2000-2006 en dat is ook het geval voor de Ballastplaat. Naast deze drie schelpdiersoorten zijn ook andere bodemdieren van belang als voedsel voor de verschillende vogelsoorten op de Ballastplaat. Denk daarbij aan verschillende soorten wormen, kreeftachtigen. De veronderstelling tijdens het opstellen van het monitoringsprogramma was dat de andere bodemdieren niet limitatief zijn voor de vogelaantallen van de oorspronkelijk drie vogelsoorten in het programma. Met de uitbreiding van de monitoring met drie vogelsoorten die met name wormen eten is deze veronderstelling niet meer houdbaar. Inzicht in een groter deel van de macrofauna van de Ballastplaat is nodig om de draagkracht van dit gebied voor de gemonitorde vogelsoorten te kunnen gaan kwantificeren.

Resumerend

Tezamen omvatten de onderdelen van het monitoringsprogramma alle delen van de effectketen tussen de zoutwinningen en Natura-2000 instandhoudingsdoelstellingen in de Waddenzee. De uitkomsten van de metingen maken het mogelijk om relaties te leggen tussen de stappen in de effectketen, zodat vastgesteld kan worden of wetenschappelijk gezien redelijkerwijs geen twijfel bestaat over de gevolgen van de zoutwinning.

15 REFERENTIES

Rapporten Monitoring Frisia Havenmond over 2020

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, 2020. Monitoring t0-situatie bodemligging Waddenzee; Zoutwinning havenmond. Arcadis-rapport

Wortelboer, R. & O. Bensing, 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 gebruikruimte in de getijdebekkens 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.
- Baptist, M.J., T. Gerkema, B.C. van Prooijen, D.S. van Maren, M. van Regteren, K. Schulz, I. Colosimo, J. Vroom, T. van Kessel, B. Grasmeyer, P. Willemsen, K. Elschot, A.V. de Groot, J. Cleveringa, E.M.M. van Eekelen, F. Schuurman, H.J. de Lange, M.E.B. van Puijenbroek, 2019. Beneficial use of dredged sediment to enhance salt marsh development by applying a 'Mud Motor', Ecological Engineering, Volume 127, pag. 312-323.
- 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.
- Colosimo, I., de Vet, P. L. M., van Maren, D. S., Reniers, A. J. H. M., Winterwerp, J. C. & van Prooijen, B. C., 2020, The impact of wind on flow and sediment transport over intertidal flats, Journal of Marine Science and Engineering. 8, 11, p. 1-26 26.
- Compton, T.J., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekinga, A., ten Horn, J., Smith, J., Galama, Y., Brugge, M., van der Wal, D., van der Meer, J., van der Veer, H. W., & Piersma, T. (2013). Distinctly variable mudscapes: Distribution gradients of intertidal macrofauna across the Dutch Wadden Sea. Journal of Sea Research, 82, 103-116.
- 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., 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 German 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,
- 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).
- 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. Rehfish, 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.

- Oost, A.P., A. Colina Alonso, P. Esselink, Z. B. Wang, T. van Kessel & B. van Maren, 2021. Where Mud Matters; Towards a mude Balance fort he Trilateral Wadden Sea Area: Mid supply, transport ande deposition. Report Wadden Academy 2021-02.
- 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., O.R. Roosenschoon & D.W.G. van Kraalingen, 2014. InterTides ; maps of the intertidal by interpolation of tidal gauge data. EcoCurves rapport 19, EcoCurves BV, Haren. Updated document, April 2020. 52 p.
- 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.
- 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>

COLOFON

MONITORING T0-SITUATIE STUDIEGEBIED ZOUTWINNING WADDENZEE
RAPPORTAGE OVER 2020

KLANT

Frisia Zout B.V.

AUTEUR

Jelmer Cleveringa

PROJECTNUMMER

C03081.000369

ONZE REFERENTIE

D10012045:39

DATUM

14 mei 2021

Arcadis Nederland B.V.

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

www.arcadis.com