

MONITORING T0-SITUATIE STUDIEGEBIED ZOUTWINNING WADDENZEE

Concept Rapportage over 2019

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	12
1.1 Doel van de monitoring	12
1.2 Brondocumenten	12
1.3 Bevoegde gezagen en de Auditcommissie	13
1.4 Doel van dit document	15
2 ZOUTWINNING ONDER WADDENZEE	16
2.1 Zoutwinning en bodemdaling	16
2.2 De ligging van de Pleistocene bodemdalingsschotel	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	21
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 Integratie van de signalering via de effectketen	38

5.3	De ecologische bril	39
5.3.1	Wat wordt daarmee bedoeld?	39
5.3.2	Toepassing op andere vogelsoorten voor de signalering	41
5.4	Signaleringsschema voor integratie monitoringsuitkomsten	49
5.5	Opmerkingen bij de LiDAR hoogtemetingen van de platen	52
6	METINGEN PLEISTOCENE BODEMDALING	53
6.1	Introductie van de meetmethodes	53
6.2	Gegevens	54
6.3	Analyse	56
6.4	Samenhang met andere metingen	57
6.5	Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning	57
7	VAKLODINGEN	58
7.1	Introductie van de meetmethode	58
7.2	Gegevens	58
7.3	Analyse	59
7.4	Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen	62
7.5	Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning	64
8	HOOGTE/DIEPTE RAAIEN	65
8.1	Introductie van de meetmethode	65
8.2	Gegevens	66
8.3	Analyse	67
8.4	Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen	72
8.5	Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning	73
9	HOOGTE WADPLATEN LIDAR	75
9.1	Introductie meetmethode	75
9.2	Gegevens	76
9.3	Analyse	78
9.4	Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen	81
9.5	Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning	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	Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning	88
11	BENTHOS BEMONSTERING	89
11.1	Introductie meetmethode	89
11.2	Gegevens	89
11.3	Benthos en de habitatkwaliteit van de wadplaten	90
11.4	Aanpak van de ecologische analyses	91
11.5	Analyse en interpretatie	99
11.6	Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen	104
11.7	Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning	104
12	SEDIMENTSAMENSTELLING	106
12.1	Introductie meetmethode	106
12.2	Gegevens	107
12.3	Analyse	109
12.4	Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen	109
12.5	Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning	110
13	HOOGWATERVLUCHTPLAATS (HVP) TELLINGEN	111
13.1	Introductie meetmethode	111
13.2	Gegevens	113
13.3	Analyse en interpretatie	115
13.4	Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen	121
13.5	Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning	122
14	RUIENDE BERGEENDEN	124
14.1	Introductie meetmethode	124
14.2	Gegevens	125
14.3	Analyse	126
14.4	Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen	130
14.5	Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning	130
15	AANVULLENDE GEGEVENS EN INFORMATIE	133
15.1	Reguliere monitoring	133
15.2	Informatie over andere activiteiten	133
16	INTEGRATIE EN BEOORDELING	134

17 REFERENTIES

135

COLOFON

138

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 groot 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. 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 bodem. In de Waddenzee zal deze bodemdaling niet meetbaar zijn aan het wadoppervlak, vanwege de dynamiek van zand en slib. Daarom wordt de bodemdaling 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”.

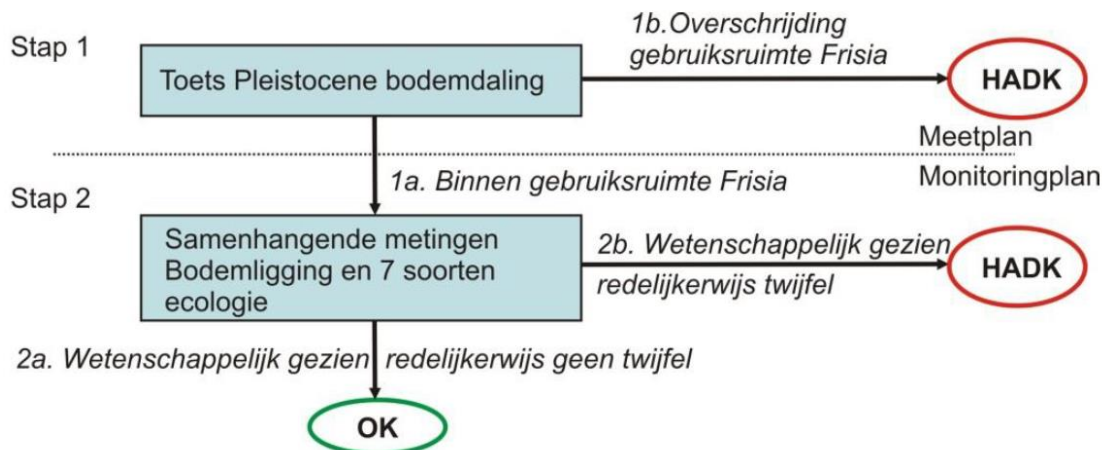
Zoutwinnen met de Hand-aan-de-Kraan

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 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 zal worden 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 nog niet begonnen. In 2019 is gestart met de boring naar de steenzoutlaag onder de Waddenzee. In 2020 zal de eerste winning van zout plaatsvinden, waarbij nog geen Pleistocene bodemdaling plaatsvindt, omdat nog geen volumeverlies in de ondergrond optreedt. Vóór 2021 zal geen Pleistocene bodemdaling aan de orde zijn. 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.

Metingen	Resultaat
<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 en 2019. 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 verwachte hoogteverschillen zien, die het gevolg zijn van de dynamiek van de wadbodem.
<u>Spijkermetingen:</u> 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 de hoogte van de droogvallende wadplaten integraal weer, met een nauwkeurigheid van enkele decimeters. De LiDAR hoogtemetingen wijken af van de raaimetingen. De raaimetingen zijn en blijven de basis voor de monitoring van de bodemligging, ook omdat deze jaarlijks worden opgemeten. Voorgesteld wordt om in plaats van de LiDAR hoogtemetingen aanvullende raaimetingen uit te voeren.
<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>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. Kokkels en mosselen laten in 2018 en 2019 voor dichtheden en biomassa verschillende onderschrijdingen zien ten opzichte van de trends. Omdat nog geen bodemdaling heeft plaatsgevonden, zijn deze afwijkingen van de trend met zekerheid niet het gevolg van zoutwinning. In een toekomstige situatie met bodemdaling zou een deel van de onderschrijdingen aanleiding zijn tot het uitvoeren van een nadere analyse. Omdat de variatie in de aantallen en de biomassa groot is, wordt verwacht dat ook in toekomstige metingen regelmatig een waarneming buiten de

Metingen	Resultaat
	bandbreedte zal vallen, waarbij een nadere analyse aan de orde is.
<u>Sedimentsamenstelling:</u> Bemonstering wadbodem en korrelgrootteanalyse 1 x per jaar op locaties benthosbemonstering	De metingen en analyses zijn uitgevoerd in 2018 en 2019 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>HVP-tellingen:</u> Reguliere tellingen 5 x per jaar, gecoördineerd door SOVON, uitgevoerd door vrijwilligers. Voor Frisia analyse van 3 vogelsoorten (scholekster, bonte strandloper, kanoetstrandloper) op 9 hoogwatervluchtplaatsen (HVP's)	De gegevens van de drie vogelsoorten van de afgelopen jaren zijn geanalyseerd en op basis van de trends en de variaties daarin, zijn de verwachte aantallen bepaald. De variatie in de aantallen kanoetstrandlopers is groot en dat is het gevolg van de wijze waarop deze soort in zeer grote groepen door het Waddengebied trekt. Dat betekent dat de kanoetstrandlopers in sommige jaren vrijwel niet aanwezig zijn in het aandachtsgebied, dan wel gemist worden tijdens de waarnemingsmomenten. In 2017 hebben over- als overschrijdingen plaatsgevonden ten opzichte van de bepaalde trends. Hiervan betreffen twee overschrijdingen de HVP's nabij het invloedsgebied. Omdat ook in de referentiegebieden overschrijdingen zijn opgetreden, zou dit geen aanleiding vormen tot het uitvoeren van een nadere analyse (indien zoutwinning en bodemdaling zouden plaatsvinden). In 2018 hebben alleen overschrijdingen plaatsgevonden, maar deze hebben zich niet voorgedaan in de HVP's nabij het invloedsgebied. De aantallen scholeksters zijn veel stabiel, omdat deze soort relatief honkvast is. De aantallen scholeksters in het Waddengebied nemen sinds halverwege de jaren '80 af. Hoewel nog niet onomstotelijk vast staat waarom deze afname destijds heeft plaatsgevonden, zijn er geen redenen om te veronderstellen dat een stabilisatie of herstel zal optreden. De aantallen scholeksters op de HVP's nabij het invloedsgebied vallen in 2018 binnen de trends, in 2017 heeft zich in een van de HVP's nabij het invloedsgebied een overschrijding voorgedaan. De waargenomen aantallen scholeksters in relatie tot de trends zouden geen aanleiding geven tot het uitvoeren van een nadere analyse indien bodemdaling zou zijn opgetreden. De aantallen bonte strandlopers vertonen ook fluctuaties, maar deze zijn minder uitgesproken dan bij de kanoetstrandloper. In 2017 en 2018 hebben zowel over- als overschrijdingen plaatsgevonden ten opzichte van de berekende trends. Omdat ook in de referentiegebieden over- en overschrijdingen hebben plaatsgevonden, zou dit geen aanleiding vormen tot het uitvoeren van een nadere analyse. 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 zullen optreden. Dergelijke uitschieters zijn dan niet noodzakelijkerwijs een gevolg van de zoutwinning. Na een

Metingen	Resultaat
	vergelijking met de ontwikkeling in de referentiegebieden, zal bij een afwijkende ontwikkeling in de invloedsgebieden een nadere analyse plaatsvinden om de afwijkende waarneming te beschouwen in het licht van de opgetreden bodemdaling.
<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 toename in de aantallen ten oosten van de Ballastplaat.

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. 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 wel effecten in de Waddenzee optreden die het gevolg zijn van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, dan zal de winningstrategie op een zodanige wijze worden aangepast dat de effecten binnen de gestelde grenzen blijven. De metingen die worden uitgevoerd om invulling te kunnen geven aan het Hand-aan-de-Kraan principe zijn vastgelegd in het meetplan en het monitoringsprogramma.

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

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

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

Het voorliggende document geeft een overzicht van het Meetplan en het Monitoringsprogramma, de resultaten van de metingen en van de nulsituatie (Tnul), voordat 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, bezwaar en beroep 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 Monitoringplan Zoutwinning Waddenzee, Arcadis Memo d.d. 28 november 2014.
3. Aangepast Addendum Monitoringplan Zoutwinning Waddenzee, d.d. 23 maart 2016, referentie 078878869 0.1.

In ieder hoofdstuk dat een onderdeel van het monitoringsprogramma beschrijft (hoofdstukken 4 tot en met 11) 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

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

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

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

Het meeste recente Meetplan is:

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

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

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

1.3 Bevoegde gezagen en de Auditcommissie

Monitoringsprogramma

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

Nb-wet vergunningverlening; Zoutwinning onder de Waddenzee²

In de vergunning is het volgende opgenomen over de monitoring:

Monitoring en rapportage

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

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

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:

“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.”

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

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 doel van het voorliggende document is om een overzicht te geven van de resultaten van de eerste 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. In de daaropvolgende hoofdstukken 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 15 wordt duidelijk gemaakt welke gegevens en informatie beschikbaar zijn in aanvulling op wat in de monitoring is opgekomen, zodat deze gegevens en informatie in voorkomende gevallen bij de interpretatie van de resultaten kan worden betrokken. Tenslotte wordt het rapport afgesloten met een hoofdstuk 'Integratie en beoordeling' waarin de resultaten van de metingen en monitoring in gezamenlijkheid worden beschouwd in relatie tot de zoutwinning. Omdat nog zoutwinning onder de Waddenzee heeft plaatsgevonden, is dit hoofdstuk 16 nog niet ingevuld.

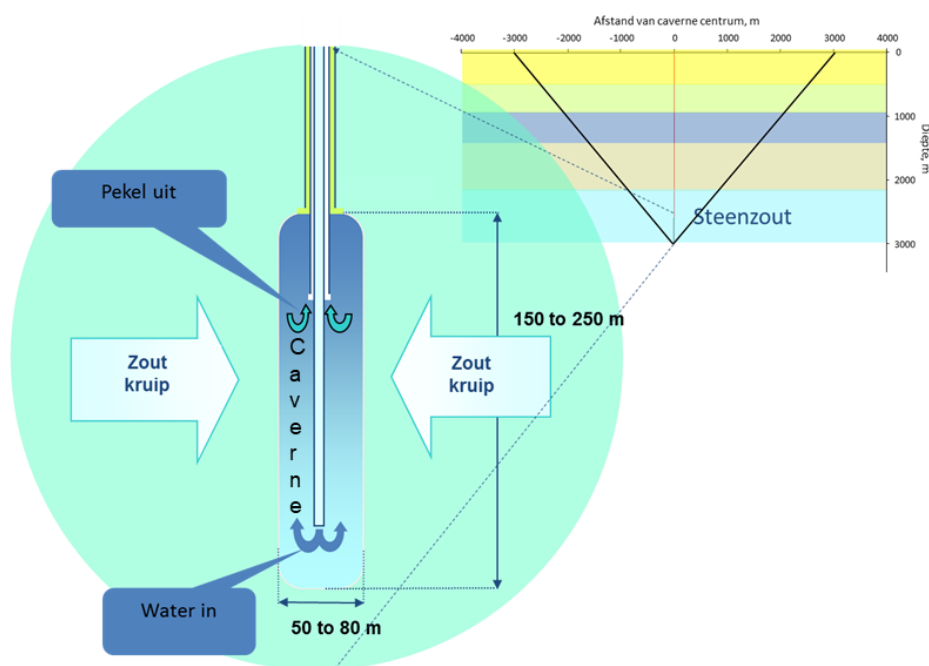
Het rapport is opgesteld voor de Auditcommissie die in brede zin toezicht zal houden op de monitoring. De meetresultaten worden vooraf door Frisia besproken met de "Groene Wetenschap". Opvallende ontwikkelingen worden door hen voorzien van voorlopige verklaringen en aandachtspunten.

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 zeer zuiver zout geproduceerd wordt.

Voordat zoutwinning kan plaatsvinden wordt een boring uitgevoerd. Hiervoor is een tijdelijke boorinstallatie (boortoren) geplaatst naast de Frisia-fabriek in Harlingen, die na afronding weer zal worden verwijderd. De boring reikt tot in de zoutlaag. In het boorgat worden buizen geplaatst. Via de buizen die in het boorgat worden geplaatst, wordt water naar de zoutlaag gepompt en wordt pekelt teruggevoerd. De pekelt ontstaat doordat het steenzout oplost in het water. 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.

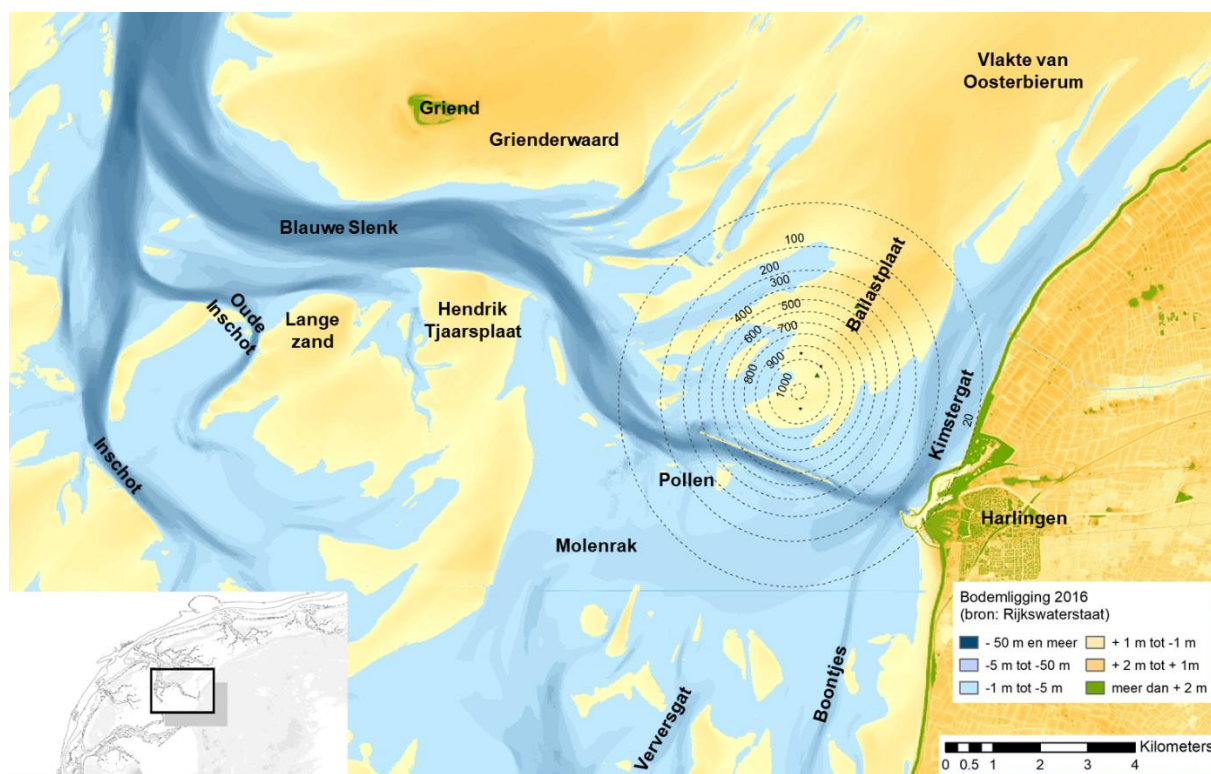


Figuur 2-1 Schematische weergave zoutwinning door middel van oplosmijnbouw. In de cirkel de caverne. De grafiek is een schematische dwarsdoorsnede van de ondergrond, die laat zien waar de caverne zich in de ondergrond bevindt. Ook verbreiding van de Pleistocene bodemdaling is daarin aangegeven met de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

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.

De bodemdaling door de zoutwinning treedt op doordat een volume van het steenzout in de ondergrond afneemt. Het volume van de bodemdaling is gelijk aan het volume zout dat wordt gewonnen minus het volume zout dat in pekelvorm in de caverne aanwezig blijft. De Pleistocene bodemdaling treedt op in een gebied dat wordt begrensd door, gerekend vanaf de caverne, met een hoek van 45° naar het aardoppervlak te bewegen (zie de dwarsdoorsnede van de ondergrond, rechtsboven in Figuur 2-1). Boven de caverne wordt een ronde Pleistocene bodemdalingsschotel gevormd, waarvan de straal gelijk is aan de diepte van de 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 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 winning van de vergunde hoeveelheid zoutwinning is de Pleistocene bodemdaling in het diepste punt 100 cm.



Figuur 2-2 Kaart van de Waddenzee, met de Pleistocene bodemdalingsschotel (contouren met de bodemdaling in mm) 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

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 milieuvriendelijke 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.

2.3 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. Vanwege het verschil in de fysische processen wordt niet verwacht dat door de zoutwinning aan het aardoppervlak meetbare of merkbare bodemtrillingen zullen optreden.

Tijdens de actieve zoutwinning door Frisia vanaf 1995 tot heden hebben zich in de verschillende winningsgebieden geen door het KNMI-geregistreerde bodemtrillingen voorgedaan. Ook uit de vakliteratuur zijn geen waarnemingen bekend aan de bodemtrillingen veroorzaakt door de winning van 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.

Omdat het uiterst onwaarschijnlijk is dat zich bodemtrillingen zullen voordoen als gevolg van de zoutwinning Havenmond, wordt hierover niet gerapporteerd in het voorliggende document.

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; Grootchalige 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 heel 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 voortduren 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 gebruiksruimte genoemd. De gebruiksruimte van de Waddenzee is gedefinieerd als: “Het verschil tussen het meegroeivermogen van een kombergingsgebied en de relatieve zeespiegelstijging (rZSS). Dit verschil is de ruimte 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 gebruiksruimte, vindt er geen verandering plaats in de kenmerken van de Waddenzee.

De omvang van de belastbare gebruiksruimte voor de bodemdaling door Frisia is vastgelegd in het Instemmingsbesluit op het Winningsplan. Deze omvang van de belastbare gebruiksruimte 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 gebruiksruimte. 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 gebruiksruimte 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.

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 gebruiksruimte 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 2-3. 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 2-3 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 2-3) en in beperkte mate, vanuit het voorzorgprincipe, voor de monitoring van biotiek (de 2^e orde gevolgen in het schema in Figuur 2-3).

De monitoring voor het vaststellen van de abiotische 1^e orde gevolgen (Figuur 2-3) omvat raaimetingen in drie raaien, Spijkermetingen en bepalingen van de sedimentsamenstelling, LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen en de Vaklodgingen 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 morfologie worden gesignaleerd. De LiDAR metingen van de hoogte van de droogvallende wadplaten geven inzicht in de ruimtelijke verbreiding van de hoogte-ontwikkeling. 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 benoemd ecologische parameters geselecteerd die uit voorzorg gemonitord zullen worden. Deze parameters sluiten het beste aan bij het gebied en doel van de monitoring. De zeven 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 2-3) 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)
- 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 drie indicatorsoorten (Kanoet, Scholekster en Bonte Strandloper) 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 vallen ook de soorten af die daarop foerageren, zoals de Lepelaar, Groenpootruiter en Zwarte Ruiter.

De Scholekster en Bonte strandloper 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 Kanoetstrandloper, die zo nu en dan in zeer grote aantallen aanwezig is, maar in andere jaren 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 worden gesignaleerd.

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 (H5)	Primaire meting hoogte wadbodem	1 x per jaar	Drie raaien in invloedsgebied
Spijkermetingen (H7)	Meting sedimentatie	4 x per jaar	14 meetstations op de Ballastplaat
Hoogte wadplaten LiDAR (H6)	Ruimtelijke beeld hoogte wadplaat	1 x per 3 jaar	Ballastplaat
Vaklodingen (H4)	MWTL-metingen van RWS	1 x per 6 jaar	Kombergingsgebieden
Benthos bemonstering (H8)	3 schelpdiersoorten: kokkel, mossel, nonnetje	1 x per jaar	9 analysegebieden van elk circa 400 ha
Sediment-samenstelling (H9)	Tijdens benthosbemonstering	1 x per jaar	Identiek aan benthosbemonstering
HVP tellingen (H10)	3 vogelsoorten: scholekster, bonte strandloper, kanoetstrandloper	5 x per jaar	9 hoogwatervluchtplaatsen (HVP)
Ruiende bergeenden (H11)		1 x per jaar	Oostzijde Ballastplaat & Vlake van Oosterbierum

3.3 Planning

De planning is thans gebaseerd op het starten van de eerste boring aan het einde van 2019 en het afronden aan het begin van 2020. Voorafgaand daaraan zullen de metingen worden uitgevoerd die worden betrokken in het vaststellen van de nulsituatie. 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 voorliggende rapportage is de tweede Tnul rapportage, die de metingen tot en met 2019 omvat.

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 wordt 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 Pleistocene bodemdaling (in deze fase is sprake van het inloggen en de ontwikkeling van de caverne). Dat betekent dat de gegevens van de monitoringsactiviteiten voor deze periode aanvullende informatie opleveren voor de situatie zonder Pleistocene bodemdaling.

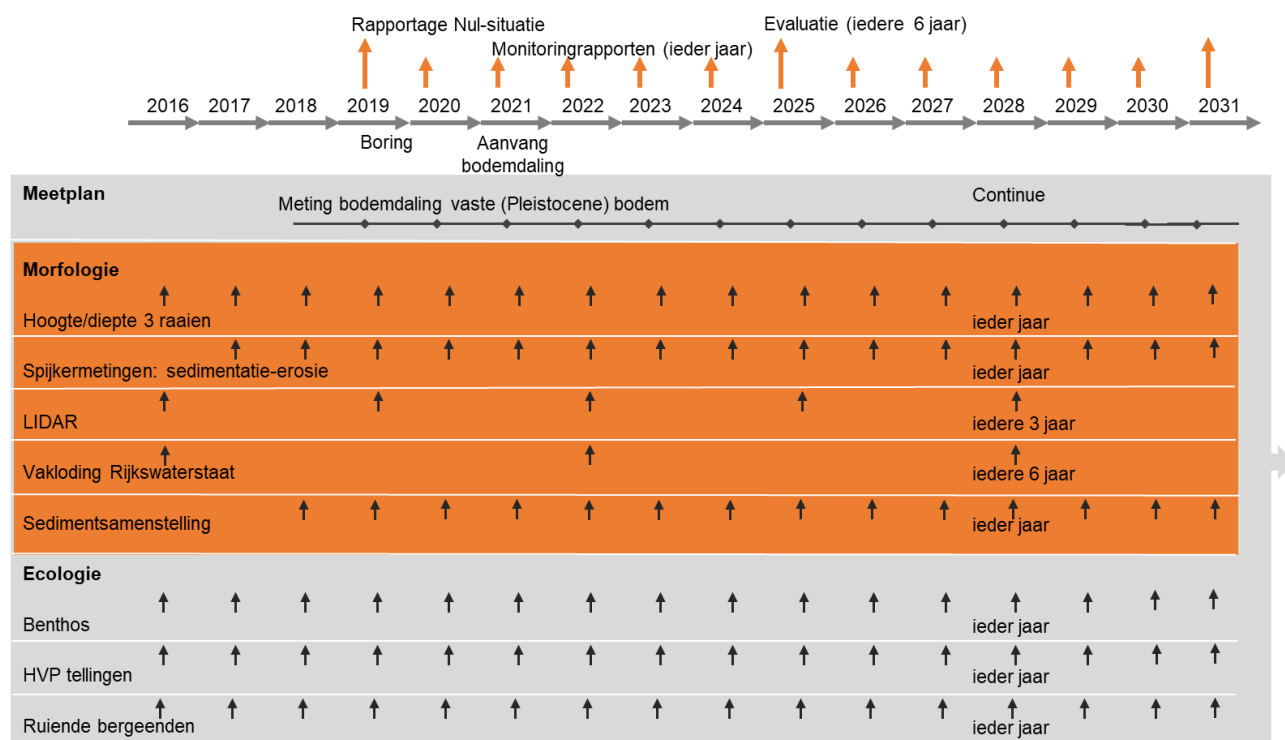
De planning van de aanvangsperiode is op hoofdlijnen:

- 2016-2019: Nulmeting;
- Eind 2019-begin 2020: Boring;

- 2020: vaststellen nulsituatie;
- 2020-2021: Inloofphase en caverne ontwikkeling
- 2021: eerste Pleistocene bodemdaling.

De voorliggende tweede Tnul rapportage omvat de metingen tot en met 2019, zodat deze de gegevens tot en met het jaar voorafgaande aan de boring omvatten. De hieropvolgende derde Tnul rapportage tot en met 2020 zal plaatsvinden voor 1 mei 2021.

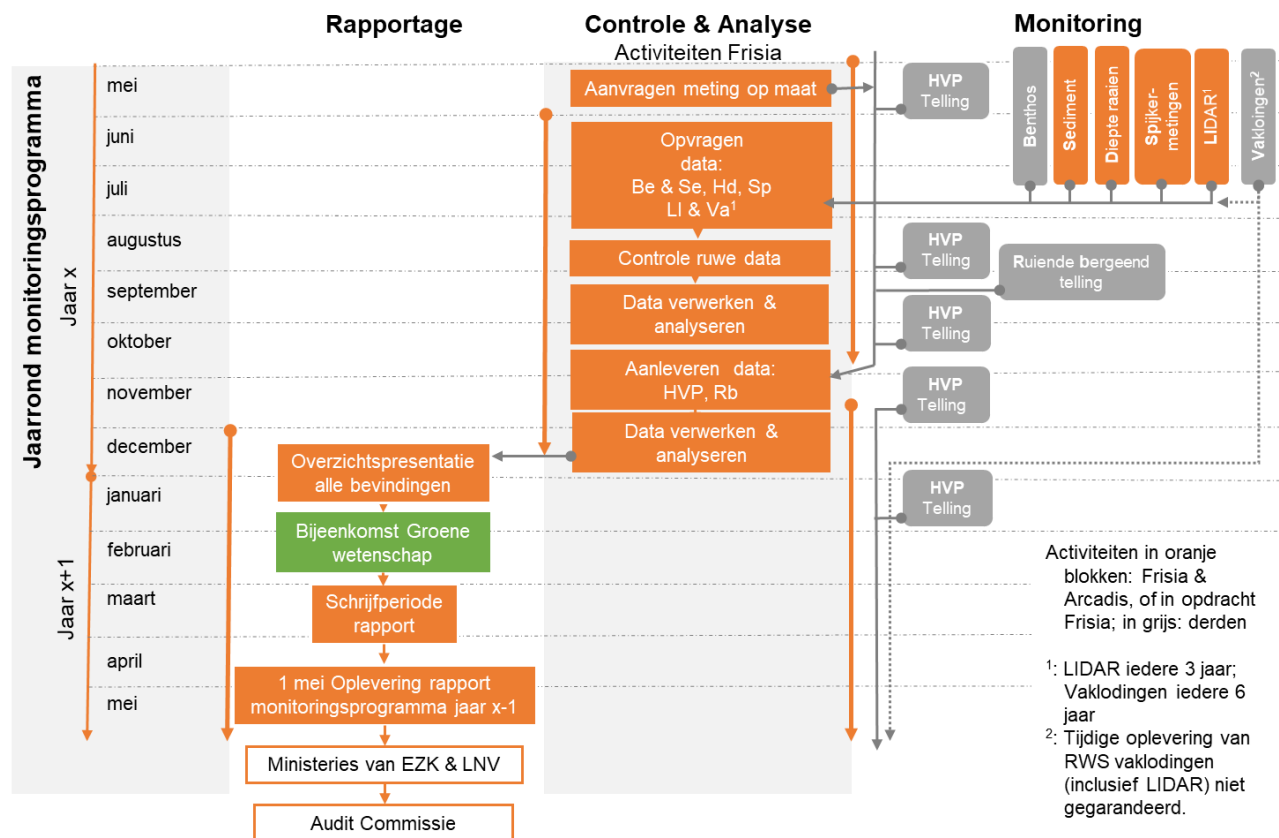
In de onderstaande figuur zijn de metingen weer gegeven, inclusief de momenten van rapportage.



3.4 Jaarkalender

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

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



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 respons optreedt, dan zal dit niet in de bodemligging zichtbaar zijn. Het eventuele effect is namelijk kleiner dan de nauwkeurigheid waarmee de bodemligging wordt gemeten.

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

Enkele aandachtspunten:

- De meting van de wadbodemhoogte in raaien moeten zoveel mogelijk plaatsvinden in dezelfde week als de benthosbemonstering op de Ballastplaat (= in de onderstaande tabel 3).
- De benthosbemonstering en de bemonstering voor het bepalen van de sedimentsamenstelling zal simultaan plaatsvinden (= in de onderstaande tabel 3).

- De meting van de wadhoogte (LiDAR) zal worden afgestemd op de periode waarin de benthosbemonstering plaatsvindt.
- Een van de vogeltellingen op de HVP's wordt uitgevoerd in dezelfde periode als de benthosbemonstering.
- Bergeenden ruien na het broedseizoen en de observaties moeten in die periode worden uitgevoerd.

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

Tabel 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 moet het gestelde in de voorschriften over 'hand aan de kraan' worden verwerkt. In de voorschriften bij de Natuurbeschermingswetvergunning staat:

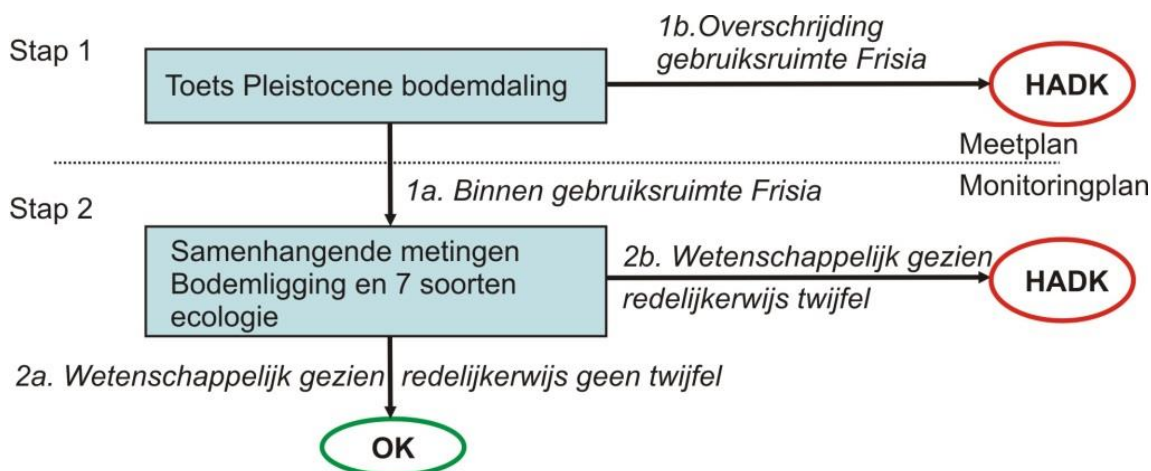
Hand aan de Kraan

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.

Dit voorschrift is uitgewerkt in de onderstaande beslisboom. In de beschrijving van het Stappenplan voor de verwerking van de resultaten van het monitoringsprogramma worden de stappen toegelicht.

4.2 Stappenplan en 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 (Figuur 4-1). De metingen van de meetstations worden berekend t.o.v. een onafhankelijk referentienetwerk van meerdere GPS-stations. De ervaring met

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

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.

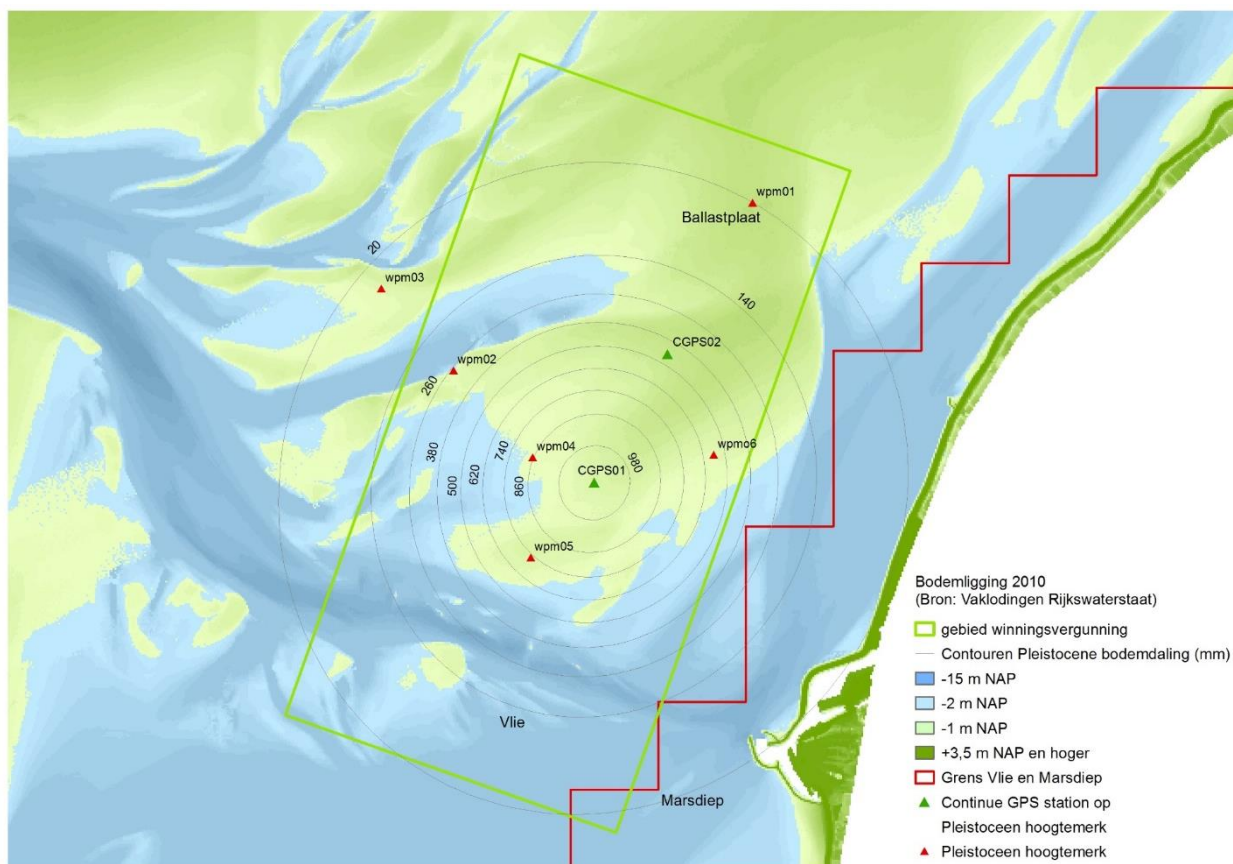
Toelichting bij Stap 2:

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 morfologie. 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 Kraan⁹.

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 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.



Figuur 4-1 Meetpunten Bodemdaling diepe (Pleistocene) ondergrond.

4.3 Jaarlijkse rapportage en zesjaarlijkse evaluatie

Iedere zes jaar, aansluitend aan het beschikbaar komen van de metingen van de bodemligging door Rijkswaterstaat (vaklodging), 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 Han-aan-de-Kraan principe, zijn hieronder vier situaties opgenomen, die zich in de toekomst zouden kunnen voordoen.

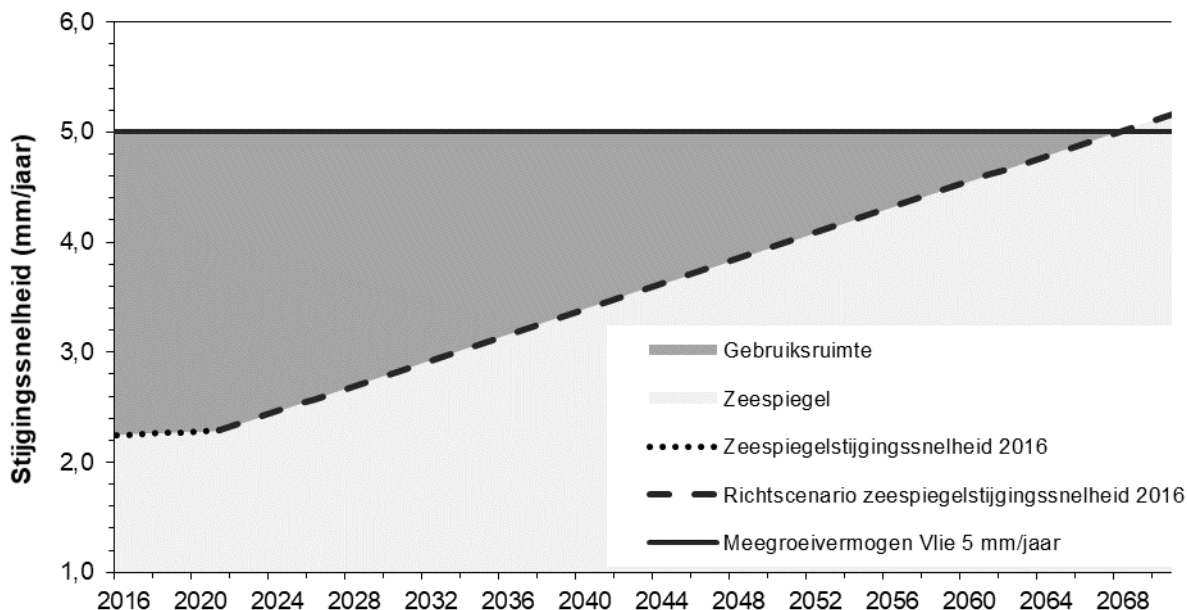
Situatie 1: versnelde zeespiegelstijging

De snelheid van zeespiegelstijging is onderdeel van de gebruiksrumberekening. Iedere vijf jaar wordt door het Ministerie van EZK het scenario voor de zeespiegelstijging voorgeschreven, waarbij sprake is van een beleidsszenario voor de volgende vijf jaar en een richtszenario voor na die vijf jaar. Indien er aanwijzingen zijn dat de zeespiegelstijging anders gaat verlopen dan voorzien, dan zal dit in het zeespiegelstijgingsszenario worden opgenomen. Veranderingen in de snelheid van zeespiegelstijging hebben gevolgen voor de beschikbare gebruiksrumberekening. Ter illustratie zijn hieronder in twee grafieken opgenomen. In de eerste grafiek staat het vigerende szenario voor zeespiegelstijging, waarbij is uitgegaan van een versnelling in 2021, bij het ingaan van het richtszenario. Het totaal beschikbare volume aan gebruiksrumberekening¹⁰ 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" szenario 0,116 mm/jaar (overeenkomend met de versnelling die in het Rijksprojectenbesluit en het 2011 szenario werd gehanteerd voor het richtszenario), in plaats van de 0,058 mm/jaar uit het 2016 szenario. In dit szenario is het totaal beschikbare volume aan gebruiksrumberekening $24 \times 10^6 \text{ m}^3$ 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.

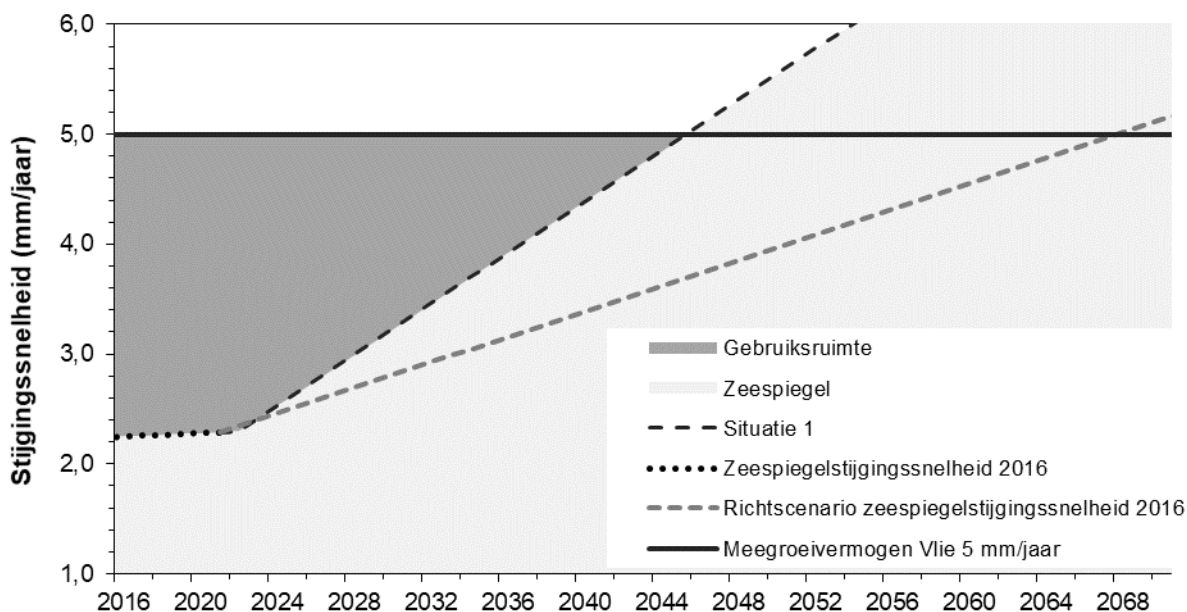
Wanneer aanwijzingen voor het optreden van een grotere versnelling van de zeespiegelstijging aanleiding zijn tot het aanpassen van het szenario voor de zeespiegelstijging, dan wordt het moment dat de snelheid van zeespiegelstijging eerder bereikt en is het beschikbare volume aan gebruiksrumberekening 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 kustlijnverzorging, wateroverlast en de beschikbaarheid van zoetwater. Nieuwe inzichten over de szenario's voor de regionale zeespiegelstijging komen voort uit (onderzoeks)-projecten en -programma die vanuit verschillende achtergrond lopen, of worden opgestart.

¹⁰ Niet alle gebruiksrumberekening in het kombergingsgebied van het Vlie is beschikbaar voor zoutwinning. In het Instemmingsbesluit op het Winningsplan is per jaar 0,99 mm, overeenkomend met een bodemdalingsvolume van 624.000 m³/jaar beschikbaar voor de zoutwinning door Frisia. Een klein deel van Pleistocene bodemdaling door zoutwinning vindt plaats onder het Marsdiep en belast de gebruiksrumberekening van dat kombergingsgebied.



Figuur 4-2 Grafiek met de gebruikruimte in het Vlie bij het vigerende "2016" scenario voor de snelheid van de toekomstige zeespiegelstijging.



Figuur 4-3 Grafiek met de gebruikruimte in het Vlie in het "situatie 1" scenario voor de snelheid van de toekomstige zeespiegelstijging. Ter vergelijking is ook het vigerende "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 even inzicht in de variatie in de sedimentatiesnelheid in de loop van de tijd in een beperkt aantal locaties.

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 5.3 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. 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 gesignaleerd. 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 Auditcommissie¹¹ 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 onafhankelijke Auditcommissie voor monitoring en analyse.

Onderdeel	Opmerking (a, b en c verwijzen naar de adviezen in voetnoot 11)	Waar te vinden in de rapportage
Algemeen	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, werkhypotheses 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 15
	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 5.2 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 5.2 en iedere laatste paragraaf van de hoofdstukken 6 tot en met 14
	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 5.2 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

¹¹ 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;

Onderdeel	Opmerking (a, b en c verwijzen naar de adviezen in voetnoot 11)	Waar te vinden in de rapportage
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
	Spijkermetingen: Maak het doel en de samenhang met de raai- en LiDAR-metingen duidelijk (b)	Paragraaf 10.4
	Vaklodingen: Maak het doel en de samenhang met de raai- en LiDAR-metingen duidelijk (b)	Paragraaf 7.4
	Vaklodingen: 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)	Paragraaf 5.5 en Hoofdstuk 9 en achtergrondrapportage "Monitoring t0-situatie bodemligging Waddenzee; Zoutwinning havenmond"
	Sedimentsamenstelling: Maak het doel en de samenhang met HadK duidelijk (b)	Paragraaf 12.4 en paragraaf 12.5
	Maak duidelijk welke ontwikkelingen als 'onverwachte ontwikkelingen' moeten worden aangemerkt (c)	Paragraaf 8.5
	Werk uit welke factoren de jaar-op-jaar geconstateerde verschillen de in aangroeisnelheid 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
Ecologische monitoring	Presenteer een beschrijving van de relevante verschillen bij de vergelijking LiDAR-raaimetingen	Paragraaf 9.4 en achtergrondrapportage "Monitoring t0-situatie bodemligging Waddenzee; Zoutwinning havenmond"
	Werk een alternatieve aanpak uit voor ruiende bergeenden (b,c)	Paragraaf 5.2 en Paragraaf 14.5
	Werk een alternatieve aanpak uit voor benthos en HVP-tellingen (b), bijvoorbeeld door een draagkrachtbenadering te hanteren (b, c)	Paragraaf 5.2
	Gebruik Trendspotter i.p.v. ARIMA voor de statistische analyses (b, c)	Hoofdstuk 11 en Hoofdstuk 13 en achtergrondrapportage "Monitoring ecologie studiegebied zoutwinning Waddenzee; Tnul-situatie 2019"
	Werk de referentiegebieden uit, om de veranderingen in schelpdieren en vogelaantallen in perspectief te plaatsen (b, c)	Hoofdstuk 11 en Hoofdstuk 13 en achtergrondrapportage "Monitoring ecologie studiegebied"

Onderdeel	Opmerking (a, b en c verwijzen naar de adviezen in voetnoot 11)	Waar te vinden in de rapportage
		<i>zoutwinning Waddenzee; Tnul-situatie 2019"</i>
	Beschouw in aanvulling op de statistische analyse ook de ecologie en ecologische ontwikkelingen: Hanteer een 'ecologische bril' (b, c)	Paragraaf 5.3, Hoofdstuk 11 en Hoofdstuk 13 en achtergrondrapportage "Monitoring ecologie studiegebied zoutwinning Waddenzee; Tnul-situatie 2019"
	Door het gebruik van alleen de HVP-tellingen van de maand september wordt de belangrijkste ondersoort van de Kanoetstrandsloper gemist	Paragraaf 13.2 en paragraaf 13.3
	Bij de vogelaantallen wordt gewerkt met de aantallen per telgebied, waarbij de gegevens van losse HVP's worden gecombineerd.	Paragraaf 13.1
	Beschouw aanvullende benthossoorten, waaronder de wadpier (b)	Paragraaf 2.5
	Beschouw aanvullende vogelsoorten, op basis monitoring Gaswinning Moddergat, Lauwers en Vierhuizen (b, c)	Paragraaf 5.3

In dit hoofdstuk zijn in de volgende paragrafen een aantal terugkerende aandachtspunten van de Auditcommissie aangaande de monitoring opgenomen.

5.2 Integratie van de signalering via de effectketen

De integratie van de uitkomsten van de metingen en de monitoring zal plaatsvinden volgens de onderlinge samenhang tussen abiotische en de biotische aspecten in de effectketen (Figuur 2-3). 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. 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 andere dan de draagkrachtbenadering, zoals die wordt toegepast bij de bodemdaling door de gaswinning MLV en waarover jaarlijks wordt gerapporteerd (Ens et al., 2019). Daar zijn goede redenen voor, die enerzijds te maken hebben met het verschil in de bodemdaling tussen

zoutwinning en gaswinning en die anderzijds te maken hebben met de morfologische en ecologische verschillen tussen de gebieden waar de bodemdaling optreedt. Beide aspecten worden hieronder toegelicht.

De Pleistocene bodemdaling bij de zoutwinning is in vergelijking met de Pleistocene bodemdaling bij de gaswinning meer lokaal. De omvang en snelheid in het diepste deel van de bodemdalingsschotel zijn groter bij zoutwinning dan bij gaswinning. Dit verschil heeft veel aandacht gekregen tijdens de m.e.r.-procedure en het verlenen van de vergunning vanwege de Wet Natuurbescherming, waarbij is vastgesteld dat de vereffening van de bodemdalingsschotel door zoutwinning ondanks de lokaal grotere omvang wetenschappelijke gezien zonder twijfel zal plaatsvinden. De relatief en absoluut grotere omvang en snelheid van de Pleistocene bodemdaling bij zoutwinning betekent ook dat indien zich desondanks onvoorzien toch een beperkte vereffening optreedt, dit aan de morfologie van de wadbodem meetbaar is (primair in de raaimetingen en de spijkermetingen). In de effectketen bij zoutwinning is een onvoorziene morfologische ontwikkeling dus meetbaar.

Bij de gaswinning MLV worden de kombergingsgebieden Pinkegat en Friesche Zeegat in hun geheel beschouwd, waarbij onder vrijwel het gehele kombergingsgebied Pinkegat bodemdaling optreedt. Bij de zoutwinning is sprake van een invloedsgebied dat slechts een beperkt deel van het kombergingsgebied van het Vlie omvat. Het gehele kombergingsgebied Vlie is met 668 km² beduidend groter dan de kombergingsgebieden Pinkegat en Friesche Zeegat die samen 195 km² zijn. Het invloedsgebied voor de zoutwinning ligt daarbij achterin het kombergingsgebied van het Vlie en heeft een relatief lage ligging. Dat betekent dat het invloedsgebied van zoutwinning tijdens ieder getij laat droogvalt in vergelijking met de andere wadplaten, bijvoorbeeld de wadplaten ten zuiden van Vlieland en Terschelling en rond Griend. Het invloedsgebied is vanwege de lage ligging gedurende een relatief korte periode beschikbaar voor foerageren. Het invloedsgebied komt daarmee als laatste aan de beurt voor foeragerende steltlopers, die tijdens dezelfde periode van laagwater al een groot areaal aan droogvallende platen tot hun beschikking hebben gehad in de rest van het kombergingsgebied. Dat neemt niet weg dat het invloedsgebied wel degelijk wordt benut voor het foerageren tijdens laagwater (hetgeen ook blijkt uit de laagwatertellingen die zijn uitgevoerd ter voorbereiding van de MER en uit observaties tijdens veldbezoeken), maar de intensiteit van de benutting/vogelaantallen zijn over het algemeen relatief laag. Alleen onder bijzondere omstandigheden, zoals tijdens koude winters, wordt verwacht dat het gebied intensiever benut zal worden. De Ballastplaat biedt een langer 'getijvenster', zodat de steltlopers in hun extra energiebehoefte tijdens koude omstandigheden kunnen voorzien. Dit geldt met name voor de Kanoetstrandloper en de Bonte strandloper, die in grote groepen actief zijn vanaf de HVP's Griend, Richel en Vlieland. Voor de Scholekster, die plaatstrouwer is en ook vanaf het lokale HVP bij Harlingen de Ballastplaat gebruikt als foerageergebied zal dit minder aan de orde zijn. Wel geldt ook voor de scholekster dat de foerageerduur op de Ballastplaat vanwege de lage ligging beperkt is.

De kennis van de specifieke hydromorfologische kenmerken van het kombergingsgebied van het Vlie en de relatie met de ecologische benutting van het invloedsgebied is gebruikt in de keuze van de uitwerking in samenhang van de morfologische en ecologische monitoring. Ook dit is een invulling van de 'ecologische bril', die in de volgende paragraaf wordt toegelicht. De essentie is dat de draagkracht van het invloedsgebied van de zoutwinning bij de Ballastplaat slechts in beperkte mate bijdraagt aan de vogelaantallen in het gehele kombergingsgebied. Dit in tegenstelling tot de gaswinning MLV, waarbij de bodemdaling onder vrijwel het gehele kombergingsgebied van het Pinkegat optreedt en daarmee in potentie de draagkracht in het gehele kombergingsgebied kan beïnvloeden. In combinatie met de specifieke kenmerken van de bodemdaling door zoutwinning biedt integratie via de effectketen voor het invloedsgebied van zoutwinning de mogelijkheid om vast te stellen of zich onvoorziene gevolgen voordoen van de bodemdaling. In paragraaf 5.4 is in een signaleringsschema uitgewerkt hoe de integratie van monitoringsuitkomsten via de effectketen tot stand komt.

5.3 De ecologische bril

5.3.1 Wat wordt daarmee bedoeld?

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 onvoorziene en

niet voorspelde ontwikkelingen te registreren en om vast te stellen of in dat soort gevallen sprake is van een oorzakelijke relatie met de bodemdaling door zoutwinning. Voor de monitoring en de analyse van de ecologische parameters is gekozen voor het gebruik van referentiegebieden en invloedsgebieden, waarvan de ontwikkelingen met een statistische analyse worden bepaald. Naast het gebruik van de statistische tools wordt de kennis en het begrip van de hydromorfologie en de ecologie en de onderlinge samenhang benut om de waarnemingen en ontwikkelingen te duiden. In navolging van de Auditcommissie wordt hiervoor het begrip 'ecologische bril' gehanteerd (waarmee ook de relatie met de morfologie wordt geduid).

In de voorgaande paragraaf is aangegeven dat de samenhang en de integratie van de monitoring bij de zoutwinning zal plaatsvinden via de effectketen, vanwege de specifieke rol die het invloedsgebied heeft binnen dit grote kombergingsgebied. Dit is één van de voorbeelden van de toepassing van de 'ecologische bril' in de opzet van de monitoring. In paragraaf 5.3.2 worden de vogelaantallen van een aantal andere soorten dan de drie signaleringssoorten nader uitgewerkt, met kennis van het gedrag van deze soorten én de kenmerken van de droogvallende wadplaten in de Westelijke Waddenzee én kennis van de hoogwatervluchtplaatsen rond de Westelijke Waddenzee. Ook dit is een toepassing van de 'ecologische bril', die er op is gericht om de ecologische monitoring minder gevoelig te maken voor de (grote) autonome variaties die daarin optreden.

De duiding van morfologische monitoring is, in vergelijking met die van ecologische monitoring relatief eenduidig. Vanwege de specifieke kenmerken van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, die veel meer lokaal is dan de bodemdaling door gaswinning, zal een onvoorziene tegenvallende sedimentatie ter plaatse van de Pleistocene bodemdaling, meetbaar zijn in de raaimetingen en ook in de spijkermetingen. Ondertussen zullen ook variaties optreden in de bodemligging, die worden geregistreerd in de raaimetingen en de spijkermetingen, bijvoorbeeld doordat de reeds aanwezige geultjes verplaatsen, verbreden of verondiepen. Dergelijke ontwikkelingen zullen zoveel als mogelijk worden verklaard, door te kijken naar klimatologische condities (stormen) en menselijke activiteiten (bodemberoerende visserij, verspeiden van baggerspecie). Ondertussen zullen ook variaties optreden in de groei van plaatareaal in het invloedsgebied, die met tussenstappen van 6 jaar worden geregistreerd in vaklodingen. Deze langjarige variaties over een groter gebied dan dat van raaimetingen zijn een gegeven van het Waddengebied en hebben geen relatie heeft met de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning. Het is voor de monitoring van de gevolgen van de bodemdaling door zoutwinning niet noodzakelijk om de aangroeisnelheid van de wadplaten te kunnen verklaren. De monitoring voorziet dan ook niet in het verklaren van dergelijke variaties. De langjarige veranderingen die worden geregistreerd met de vaklodingen geven wel zinvolle informatie om te begrijpen welke geleidelijke veranderingen het invloedsgebied doormaken. Deze geleidelijke veranderingen zullen op de termijn waarop de zoutwinning is voorzien, mogelijke gevolgen hebben voor de ecologische benutting van het invloedsgebied. De 'ecologische bril' is dus gebruikt om de morfologische monitoring en analyse specifiek te maken voor de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning.

De duiding van de uitkomsten van de ecologische monitoring is lastiger dan die van de morfologie, omdat hierin altijd grotere fluctuaties optreden. Een deel van de fluctuaties kan gerelateerd zijn aan morfologische veranderingen, maar er zijn ook veel andere verklaringen. Zelfs bij menselijke ingrepen die direct aangrijpen op ecologische variabelen is het lastig gebleken om eenduidige verbanden te leggen tussen ingreep en gevolg, zoals bijvoorbeeld in gebleken bij de studies naar de gevolgen van mechanische schelpdiervisserij. Omdat de effectketen tussen de zoutwinning en de ecologie indirect verloopt, via de Pleistocene bodemdaling en de morfologie, is het leggen van verbanden nog lastiger. De monitoring en analyse is er dan ook op gericht om afwijkende ontwikkelingen waar te nemen. Daarna worden deze ontwikkelingen geduid in het licht van de waargenomen morfologische veranderingen. Bij de analyse die is gericht op het waarnemen van afwijkingen zullen waarschijnlijk zo nu en dan 'schijnbare afwijkingen' worden geconstateerd. Dat is niet erg, want bij de daaropvolgende analyse volgt dan of er wel of geen plausibele relatie is met de morfologische veranderingen en de bodemdaling.

Net als bij de morfologie geldt voor de ecologische monitoring dat het geenszins de bedoeling is om alle waargenomen fluctuaties te begrijpen en te verklaren. Het is wel de bedoeling om van onvoorziene ecologische ontwikkelingen, die vanwege hun aard zouden kunnen samenhangen met de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, vast te stellen of deze redelijkerwijs zonder twijfel niet of wel daarvan het gevolg zijn.

Bij de ecologische monitoring wordt met referentiegebieden gewerkt, om daarmee de interpretatie van ontwikkelingen in het invloedsgebied beter te kunnen duiden. Van veel natuurlijke verklaringen voor de

optredende variatie, zoals het optreden van extreme stormen, uitzonderlijk warme zomers, of zeer koude winters, wordt verwacht dat deze zowel aangrijpen op de referentiegebieden als op het invloedsgebied. Daarmee zullen deze natuurlijke verklaringen zelden tot nooit een verklaring bieden voor situaties die zich alleen in het invloedsgebied voordoen. Dat geldt in minder mate voor menselijke ingrepen en handelingen. Zo kan de lokale invloed van bodemberoerende visserij of schelpdiervisserij in het invloedsgebied leiden tot lage aantallen en lage biomassa's van schelpdieren. Werkzaamheden voor het versterken van de dijk kunnen een verklaring zijn voor het optreden van lage aantallen vogels op de HVP's bij het vasteland rond Harlingen. Ook het spuien van grote hoeveelheden zoetwater bij Kornwerderzand vanuit het IJsselmeer en in de haven van Harlingen en bij Roptazijl vanuit de Friese boezem, kan wat betreft de invloedsfeer juist aangrijpen in het invloedsgebied van de zoutwinning. In de situatie dat zich een ecologische achteruitgang voordoet die is beperkt tot het invloedsgebied van Frisia, dan zullen aanvullende gegevens en informatie die daarop betrekking kunnen hebben worden opgevraagd en geanalyseerd. Het gaat dan informatie en gegevens over de hierboven genoemde menselijke activiteiten, maar ook aanvullende gegevens over de vogels (andere soorten, andere telmomenten) en het benthos (bijvoorbeeld de SIBES-data).

5.3.2 Toepassing op andere vogelsoorten voor de signalering

Op basis van vogeltellingen en tellingen (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 een keuze gemaakt voor initieel twee vogelsoorten als signaleringssoorten, namelijk de bonte strandloper en de scholekster. Later is daar de kanoetstrandloper aan toegevoegd, omdat dit een iconsoort voor de Waddenzee is. 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). Van deze twee 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 allerhande bodemdieren, maar minder met schelpen. De kanoetstrandloper is ook een relatief kleine steltloper, die zich voornamelijk voedt met kleine schelpdieren. De aantallen van de kanoetstrandloper tijdens de laagwatertelling varieerden meer dan bij de twee andere soorten en de totale aantallen waren kleiner dan bij de bonte strandloper.

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) 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 vaker onder- en overschrijdingen opleveren ten opzichte van de trends. Daarmee zijn deze soorten minder bruikbaar als signaleringssoort: er zal vaker sprake lijken te van een negatieve ontwikkeling, die na analyse blijkt mee te vallen. Vandaar dat is gekeken naar de mogelijke signaleringsfunctie van andere vogelsoorten die van de Ballastplaat gebruik maken om te foerageren.

Voor het beschouwen van aanvullende soorten zijn de aantallen van een aantal soorten op dezelfde HVP's als gebruikt bij de monitoring aangekocht bij SOVON. Gekeken is naar de vogelsoorten die van het invloedsgebied 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 zijn de steenloper en de drieteenstrandloper niet nader beschouwd, omdat het foeragegedrag en de habitatvoorkeur van deze twee soorten niet aansluiten bij de kenmerken van de Ballastplaat.

Drieteenstrandloper

De drieteenstrandloper is bij veel mensen bekend van het strand, waar deze met de golven die het strand oplopen heen- en weer rennen en ondertussen foerageren. In het waddengebied worden vanaf het begin van de 21^{ste} eeuw ook duizenden drieteenstrandlopers aangetroffen op de HVP's die in de nabijheid van de kust liggen (Texel, Vlieland, Richel, Terschelling en Griend). Op de HVP's aan het vasteland worden geen of vrijwel geen drieteenstrandlopers aangetroffen. De Ballastplaat is relatief slibrijk en daarmee geen aantrekkelijk foerageergebied voor de drieteenstrandloper.

Steenloper

De steenloper foerageert voornamelijk op substraat met losse schelpen, stenen of wier dat omgekeerd kan worden op zoek naar kleine beestjes (vandaar de engelse naam 'Turnstone'). Vanwege deze wijze van foerageren zijn steenlopers vaak aanwezig bij havendammen en aan de teen van de dijk en minder op wadplaten, zoals de Ballastplaat.

Om van de andere 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. Hiervoor zijn de getallen van de maand september gebruikt, omdat dit voor veel vogelsoorten de maand is waarin de grootste aantallen worden waargenomen. Voor de zilverplevier en rosse grutto geldt dat de grootste aantallen in het voorjaar (maart) in de het waddengebied aanwezig zijn, terwijl voor de goudplevier de grootste aantallen in november worden aangetroffen. De tureluur is het algemeenst aanwezig in juli en augustus. In de toekomst kan worden geverifieerd of de interpretatie op basis van de septembertellingen voldoende is voor de soorten die in andere perioden algemener zijn. Verder is naar de specifieke ecologische kenmerken van de soorten gekeken en naar de relatie die de soorten hebben met de Ballastplaat. Bij voorkeur wordt gebruik gemaakt van soorten die in grote aantallen gebruik maken van het invloedsgebied. De grote aantallen maken het plausibel dat een verband kan worden gelegd tussen de beschikbaarheid van voedsel in het invloedsgebied en de aantallen vogels. Bij kleine aantallen zal voedselbeschikbaarheid en foerageerareaal zelden limiterend zijn voor de betreffende soort.

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 5.2. De relatieve aantallen van de vogelsoorten op de drie HVP's nabij het invloedsgebied ten opzichte van de totale aantallen in de Westelijke Waddenzee zijn weergegeven in Tabel 5.3.

In Tabel 5.2 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 5.2) en soms meer dan gemiddeld vijfduizend exemplaren aanwezig zijn (lichtgroene kleur in Tabel 5.2) 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.

In Tabel 5.3 is zichtbaar dat voor de drie soorten die al zijn geselecteerd als signaleringssoort, de drie HVP's een belangrijke rol spelen in de totale aantallen van de betreffende soort in de Westelijke Waddenzee. De bijdragen van de drie HVP's samen ligt tussen de 9% en 31%. Deze tabel laat ook zien dat de HVP's nabij het invloedsgebied voor de bergeend en de kluut een buitengewoon belangrijke rol zijn gaan spelen, waarbij de percentages op deze HVP's oplopen tot 53% voor de bergeend en 69% voor de kluut. Ook voor een aantal soorten waarvan beduidend minder aanwezig zijn in de Westelijke Waddenzee, zoals de bontbekplevier en de krombekstrandloper spelen de HVP's nabij het invloedsgebied een belangrijke rol.

Hieronder wordt voor de verschillende vogelsoorten ingegaan op de mogelijke rol als signaleringssoort voor de zoutwinning onder de Waddenzee. Voor de kenmerken en jaarrondistributie is gebruik gemaakt van de informatie van SOVON (via <https://www.sovon.nl/nl/soort>) en van der Kam et al. (1999).

Tabel 5.2 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.

	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

Tabel 5.3 Relatieve vogelaantallen in september op de drie HVP's in de nabijheid van het invloedsgebied (WG 14, WG27 en WG 24) ten opzichte van alle vogels op de HVP's rond de Westelijke Waddenzee, gemiddeld over periodes van 10 jaar.

	Schol- ekster	Kanoet- strand- loper	Bonte strand- loper	Bergeend	Bontbek- plevier	Goud- plevier	Groen- pootruiter
1975-1984	17%	23%	21%	10%	22%	0%	5%
1980-1989	15%	18%	25%	11%	20%	0%	4%
1985-1994	20%	28%	31%	22%	19%	4%	3%
1990-1999	21%	28%	30%	26%	17%	4%	3%
1995-2004	26%	18%	22%	40%	18%	4%	5%
2000-2009	29%	20%	14%	45%	16%	5%	5%
2005-2014	30%	18%	10%	51%	15%	6%	2%
2010-2019	28%	17%	9%	53%	23%	8%	2%

	Kluut	Krombek- strand- loper	Rosse Grutto	Tureluur	Wulp	Zilver- plevier
1975-1984	1%	7%	18%	3%	9%	8%
1980-1989	1%	4%	13%	3%	7%	8%
1985-1994	19%	11%	16%	4%	10%	11%
1990-1999	22%	11%	16%	4%	10%	11%
1995-2004	37%	17%	10%	9%	10%	8%
2000-2009	45%	42%	5%	10%	9%	5%
2005-2014	58%	47%	4%	9%	10%	3%
2010-2019	69%	44%	5%	12%	12%	4%

Bergeend

Na de drie geselecteerde soorten is de bergeend de meestal algemene waargenomen vogelsoort in september op de HVP's nabij het invloedsgebied. Dit zo sinds halverwege de jaren '90. De toename van de aantallen bergeenden in september gaat gelijk op met de toename van ruiende bergeenden, zoals beschreven in hoofdstuk 14. Als nader wordt ingezoomd op de individuele HVP's, dan blijken de bergeenden voor het overgrote aanwezig in de WG27 Friese kust, dat het gebied van Harlingen tot Zwarte Haan omvat. Het ligt voor de hand dat een deel van de bergeenden die hier bijeenkomen om te ruien ook daarna in het gebied aanwezig blijven. bergeenden foerageren door kleine diertjes, zoals slijkgarnaaltjes (*Corophium*) en wadslakjes (*Peringia*) uit de toplaag van de wadbodem te slobberen. De bergeenden foerageren terwijl er

nog een laagje water op het wad staat en zijn niet afhankelijk van het volledig droogvallen van de wadbodem. Vanwege de grote aantallen en de aanwezigheid nabij het invloedsgebied is de bergeend in potentie bruikbaar als signaleringssoort.

Bontbekplevier

De bontbekplevier is een kleine steltloper, die als trekvogel in het waddengebied aanwezig is. De bontbekplevier is ook een schaarse broedvogel, maar in die hoedanigheid wordt de soort hier niet beschouwd. De aantallen van de bontbekplevier die op de HVP's in de Westelijke Waddenzee aanwezig zijn, zijn dermate klein dat de bontbekplevier niet geschikt is als signaleringssoort.

Goudplevier

De goudplevier is een grotere soort steltloper, waarvan de aantallen in de Westelijke Waddenzee en ook op de HVP's nabij het invloedsgebied in de waarnemingsperiode (1975-2018) zijn toegenomen. De hoofdmoot van de vogels (meer dan 50% van het totaal) bevinden zich op Texel. Ook op Terschelling en Wieringen worden veel goudplevieren aangetroffen. De Ballastplaat lijkt geen rol van betekenis te vervullen voor de goudplevier. Vanwege de beperkte aantallen van de goudplevier op de HVP's nabij het invloedsgebied, is de goudplevier niet geschikt als signaleringssoort.

Groenpootruiter

De groenpootruiter is steltloper van gemiddelde grootte, die als trekvogel in het waddengebied aanwezig is. De grootste aantallen worden waargenomen in juli en augustus en de aantallen in september, die zijn gebruikt in deze analyse zijn ongeveer een derde daarvan. De groenpootruiter heeft een voorkeur voor de HVP's op de elanden (Texel, Vlieland, Terschelling) en het Balgzand. Op Griend en Richel en bij het vasteland worden vrijwel geen groenpootruiters aangetroffen. De aantallen van de groenpootruiter die op de HVP's in de Westelijke Waddenzee aanwezig zijn, zijn dermate klein dat de groenpootruiter niet geschikt is als signaleringssoort.

Krombekstrandloper

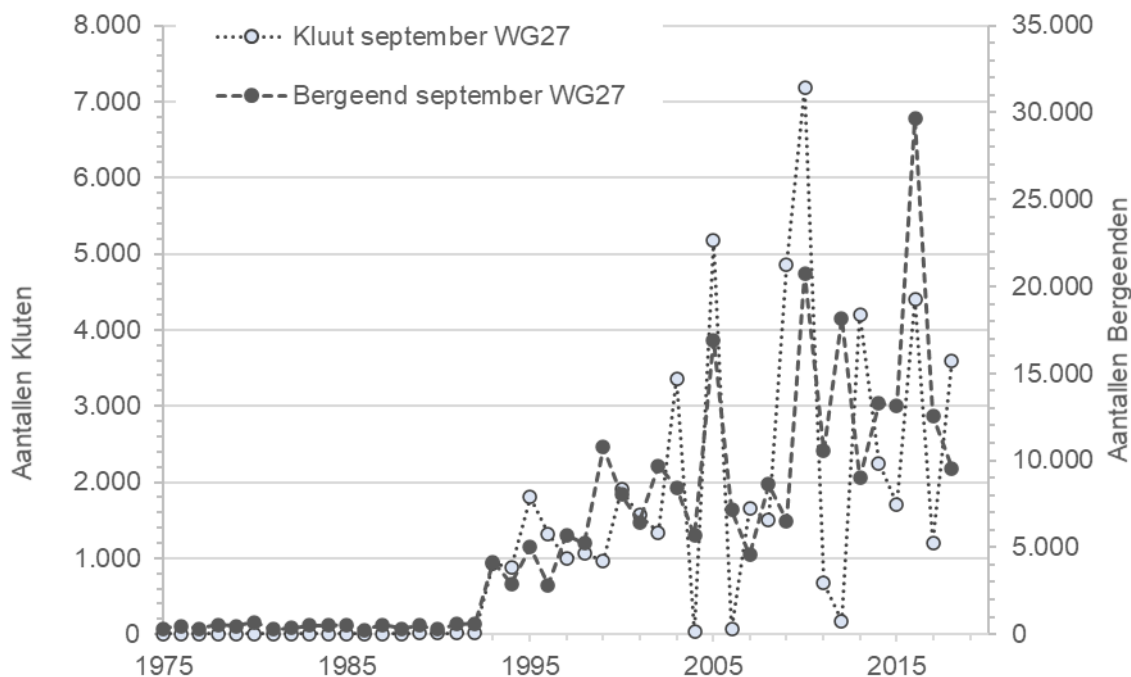
De krombekstrandloper is een kleine steltloper, die als trekvogel in het waddengebied aanwezig is. De grootste aantallen worden waargenomen in juli en augustus en de aantallen in september, die zijn gebruikt in deze analyse zijn alweer veel lager. Maar ook de aantallen in augustus komen niet boven de 2.500 uit. De aantallen van de krombekstrandloper die op de HVP's in de Westelijke Waddenzee aanwezig zijn, zijn dermate klein dat deze niet geschikt is als signaleringssoort.

Kluut

De kluut is een grotere steltloper die met zijn kenmerkende omhooggebogen bek foerageert op kleine bodemdierpjes in de toplaag van slibrijk sediment. Het aantal kluten in de nabijheid van het invloedsgebied is sinds halverwege de jaren '90 sterk toegenomen. Omdat bij de andere HVP's het aantal kluten laag was, of ondertussen is afgenomen, wordt tegenwoordig de grootste aantal kluten in de Westelijke Waddenzee aangetroffen langs de Friese kust (WG27). Dit HVP is een van de drie HVP's nabij het invloedsgebied van zoutwinning. De toename van het aantal kluten bij de Friese kust is gelijk opgegaan met de toename van het aantal bergeenden, zoals zichtbaar is in de grafiek met de aantal op WG27 in Figuur 5-1. De bergeend en de kluut hebben deels overeenkomstig voedsel en foerageren allebei in de toplaag van het sediment, onder andere op slijkgarnaaltjes (*Corophium*). Mogelijk heeft de slibrijke sedimentatie op de wadplaten zeewaarts van de Friese kust geleid tot het ontstaan van een gebied waar slijkgarnaaltjes goed gedijen en waar kluten en bergeenden kunnen foerageren in het slibrijke sediment. De ontwikkeling van de sedimentatie is goed te reconstrueren met de hoogtegegevens van de vaklodingen. De monitoring van de bodemdieren geeft geen informatie over de ontwikkeling van de aantallen slijkgarnaaltjes in het gebied. De SIBES monitoring, die inzicht geeft in de aantallen slijkgarnaaltjes loopt sinds 2010, na de toename van de aantallen van kluut en bergeend.

Vanwege het specifieke foerageergedrag van kluten is waarschijnlijk slechts een deel van invloedsgebied van zoutwinning geschikt voor kluten. Dat blijkt uit de vrijwel complete afwezigheid van kluten op de twee andere HVP's nabij het invloedsgebied. De kluut is vanwege de tegenwoordig grotere aantallen in de

nabijheid van het invloedsgebied in potentie geschikt als signaleringssoort voor de zoutwinning.



Figuur 5-1 Aantallen Kluten (linker-as) en Bergeenden (rechter-as) waargenomen op HVP WG26 Friese kust (van Harlingen tot Zwarte Haan.)

Rosse Grutto

De aantallen van de Rosse grutto in de Westelijke Waddenzee zijn sinds het begin van de eeuw sterk toegenomen (Figuur 5-2). Tegenwoordig zijn in september gemiddeld 60.000 Rosse grutto's aanwezig in de Westelijke Waddenzee, met in 2013 een uitschieter tot 100.000 exemplaren. Het overgrote deel van deze vogels is aanwezig op het HVP Vlieland, dat de afgelopen 15 jaar gemiddeld 65% van de Rosse grutto's opving. 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. Hoewel het invloedgebied van beperkt belang is voor de Rosse grutto, is het vanwege de op Griend aanwezige aantallen de Rosse grutto in potentie bruikbaar als signaleringssoort.

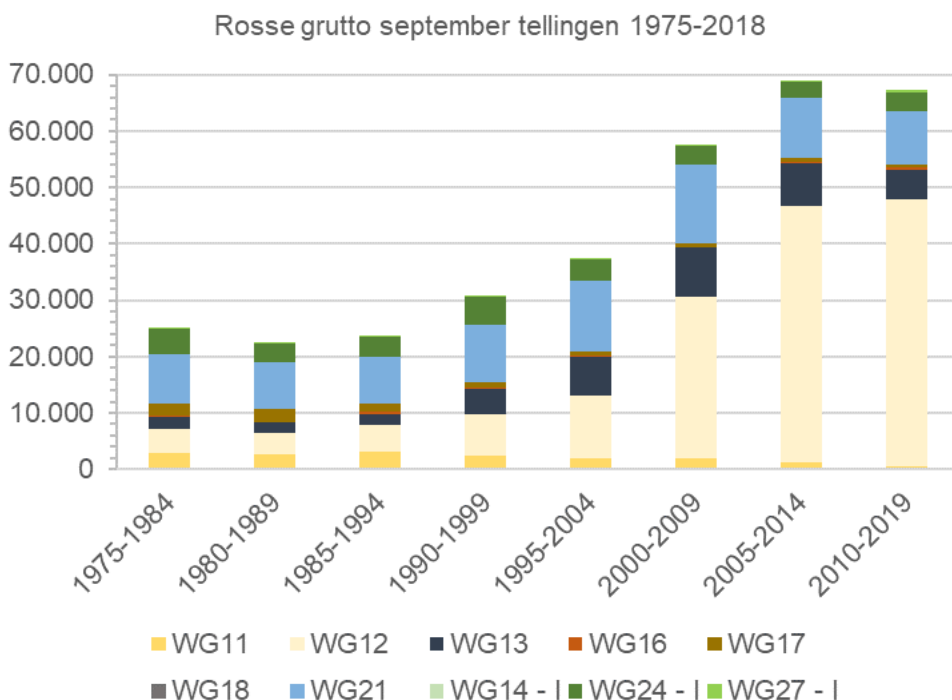
Tureluur

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 5-3, waarin de gemiddelde aantallen in september over perioden van 10 jaar zijn weergegeven. In de grafiek is ook zichtbaar dat de aantallen op de HVP's in de nabijheid van het invloedsgebied zijn toegenomen. Het is niet duidelijk waardoor deze toename heeft plaatsgevonden. De tureluur is een steltloper die niet verbonden is aan specifieke habitats, of bijvoorbeeld de nabijheid van kust. 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. Vanwege de tegenwoordig grotere aantallen is de tureluur in potentie geschikt als signaleringssoort voor de zoutwinning.

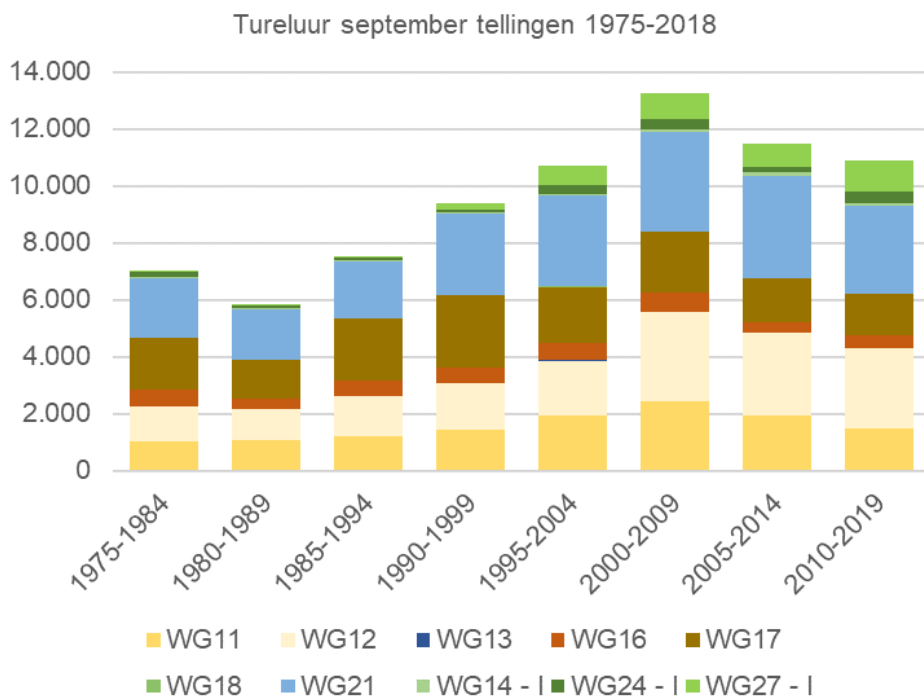
Wulp

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 (Figuur 5-4). 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

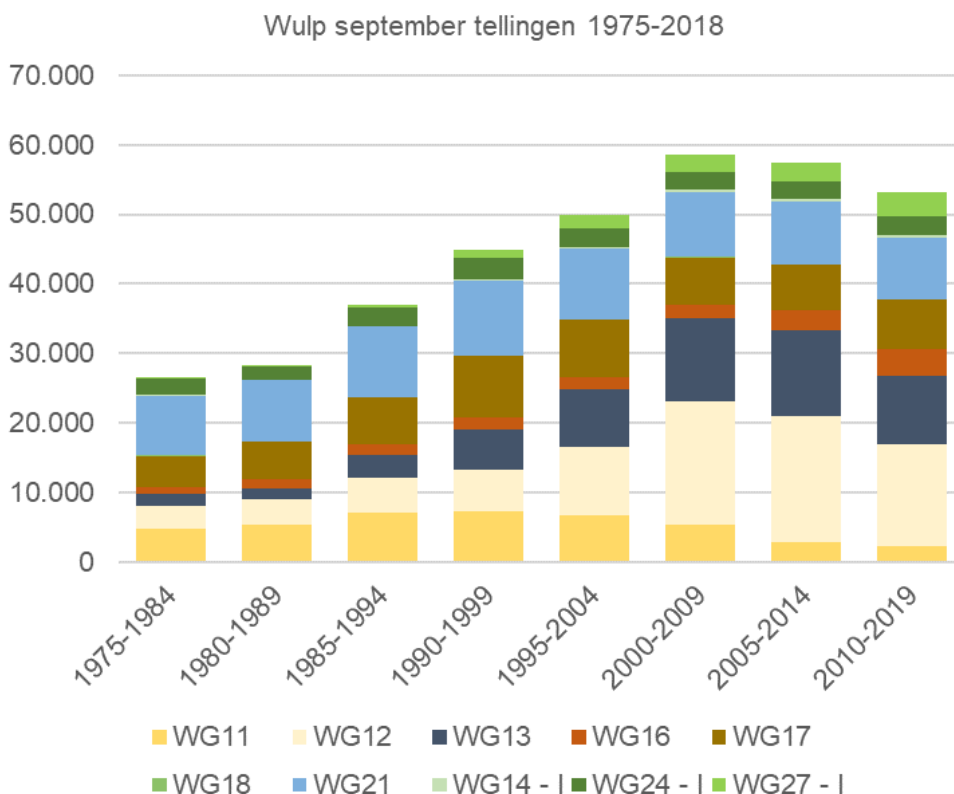
hebben, hoewel ook op het Balgzand veel wulpen worden aangetroffen. Op Griend zijn weinig wulpen aanwezig. Vanwege de tegenwoordig grotere aantallen wulpen is deze soort in potentie geschikt als signaleringssoort voor de zoutwinning.



Figuur 5-2 Grafiek met de gemiddelde aantallen Rosse Grutto's in periodes van 10 jaar voor de maand september op de HVP's rond de Westelijke Waddenzee.



Figuur 5-3 Grafiek met de gemiddelde aantallen tureluurs in periodes van 10 jaar voor de maand september op de HVP's rond de Westelijke Waddenzee.



Figuur 5-4 Grafiek met de gemiddelde aantallen wulpen in periodes van 10 jaar voor de maand september op de HVP's rond de Westelijke Waddenzee.

Zilverplevier

De zilverplevier is een grotere soort steltloper, waarvan de aantallen in de Westelijke Waddenzee en ook op de HVP's nabij het invloedsgebied in de waarnemingsperiode (1975-2018) zijn toegenomen tot ongeveer 2005 en daarna weer enigszins zijn afgenomen. De hoofdmoot van de vogels (meer dan 50% van het totaal) bevinden zich op Vlieland. De Ballastplaat lijkt geen rol van betekenis te vervullen voor de zilverplevier. Vanwege de beperkte aantallen van de zilverplevier op de HVP's nabij het invloedsgebied, is deze niet geschikt als signaleringssoort.

Op basis van de bovenstaande analyse zijn vijf soorten geïdentificeerd die in potentie kansrijk zijn als signaleringssoort voor de zoutwinning, dit zijn:

- Roose grutto, Wulp en Tureluur;
- Bergeend en Kluut.

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.

Bergeend en kluut zijn wel meer 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.

Van de vijf soorten zijn rosse grutto, wulp en tureluur meer geschikt voor de signalering, omdat deze soorten ook op de Ballastplaat, waar het centrum van de Pleistocene bodemdaling ligt, redelijk algemeen aanwezig zijn. Bergeend en kluut zijn minder geschikt, vanwege hun relatie met het zachte substraat dat verder weg ligt van het bodemdalingsgebied (zie ook hoofdstuk 14 over de ruiende bergeenden). Voorstel is om voor rosse grutto, wulp en tureluur in de volgende monitoringsrapportage de aantallen te analyseren met Trendspotter, zoals ook voor de andere signaleringssoorten wordt gedaan.

5.4 Signaleringschema voor integratie monitoringsuitkomsten

Het beschouwen van de monitoringsuitkomsten in onderlinge samenhang is een van de aandachtspunten die is meegegeven door de Auditcommissie. De uitkomsten van de monitoring kunnen aanleiding zijn voor een 'Hand aan de Kraan'. Bij het voorbeeld in paragraaf 4.4 is een tegenvallende jaar op jaar sedimentatiesnelheid genoemd als één van de monitoringsresultaten die aanleiding kan zijn voor een 'Hand aan de Kraan'. Het meten van de sedimentatie is een van de onderdelen van de monitoring, samen met de metingen van de sedimentsamenstelling en de ecologie.

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 deze paragraaf worden vier hypothetische uitkomsten van de monitoring in samenhang 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.

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 5.4. 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 15.1) en deze zullen worden opgevraagd als uit in signaleringsmetingen aanwijzingen worden gevonden die daar aanleiding toe geven.

Tabel 5.4 Signaleringschema monitoringsuitkomsten

	a.	b.	c.	d.	Nadere analysestappen en discussie
1.	a.				Achterblijvende sedimentatie in het gebied met Pleistocene bodemdaling: check op ruimtelijk verbreiding en analyse van afname areaal wadplaat en verandering droogvalpercentages. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken, bijvoorbeeld extreme weersomstandigheden (storm) of de lokale impact van bodemberoerende visserij.
2.		b.			Verandering in sedimentsamenstelling in het gebied met Pleistocene bodemdaling: Analyse van mate van verandering en potentiële ecologische gevolgen. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op

	a.	b.	c.	d.	Nadere analysestappen en discussie
					mogelijke andere oorzaken, bijvoorbeeld de lokale impact van bodemberoerende visserij.
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. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken, bijvoorbeeld de lokale impact van bodemberoerende visserij..
4.			c.		Afname benthos (dichtheid en/of biomassa): Via effectketen geen plausibele relatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, omdat geen verandering in de bodemligging en -samenstelling optreedt. Vaststellen mogelijke oorzaken anders dan morfologische veranderingen met de ecologische bril (zie paragraaf 5.3), zoals afwijkend spuiregime zoetwater en vaststellen relatie met bodemdaling zoutwinning.
5.				d.	Afname vogelaantallen: Via effectketen geen plausibele relatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, omdat geen verandering in de bodemligging en -samenstelling optreedt. Vaststellen mogelijke oorzaken anders dan morfologische veranderingen met de ecologische bril (zie paragraaf 5.3), zoals afwijkend spuiregime zoetwater en vaststellen correlatie met bodemdaling zoutwinning.
6.			c.	d.	Afname benthos (dichtheid en/of biomassa) en vogelaantallen: Via effectketen geen plausibele relatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, omdat geen verandering in de bodemligging en -samenstelling optreedt. Vaststellen mogelijke oorzaken anders dan morfologische veranderingen met de ecologische bril (zie paragraaf 5.3), zoals afwijkend spuiregime zoetwater en vaststellen correlatie met bodemdaling zoutwinning.
7.	a.			d.	Achterblijvende sedimentatie en afname vogelaantallen in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van afname areaal wadplaat, verandering droogvalpercentages, voedselbeschikbaarheid en foerageermogelijkheden. Vaststellen mogelijke oorzaken anders dan morfologische veranderingen met de ecologische bril (zie paragraaf 5.3), zoals afwijkend spuiregime zoetwater en vaststellen ruimtelijke correlatie met bodemdaling zoutwinning.
8.		b.		d.	Achterblijvende sedimentatie en afname vogelaantallen in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van veranderde areaal wadplaat, voedselbeschikbaarheid en foerageermogelijkheden. Vaststellen mogelijke oorzaken anders dan morfologische veranderingen met de ecologische bril (zie paragraaf 5.3), zoals afwijkend spuiregime zoetwater en vaststellen ruimtelijke correlatie met bodemdaling zoutwinning.
9.	a.		c.		Achterblijvende sedimentatie en afname schelpdieren in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van afname areaal wadplaat, verandering droogvalpercentages en foerageermogelijkheden. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken met de ecologische bril (zie paragraaf 5.3).
10.		b.	c.		Verandering sedimentsamenstelling en afname schelpdieren in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van veranderde areaal wadplaat en foerageermogelijkheden. Vaststellen ruimtelijke correlatie met

	a.	b.	c.	d.	Nadere analysestappen en discussie
					Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken met de ecologische bril (zie paragraaf 5.3).
11	a.	b.	c.		Achterblijvende sedimentatie met verandering sedimentsamenstelling en afname schelpdieren in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van afname areaal wadplaat, verandering droogvalpercentages en foerageermogelijkheden. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken met de ecologische bril (zie paragraaf 5.3).
12	a.	b.		d.	Achterblijvende sedimentatie met verandering sedimentsamenstelling en afname vogelaantallen in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van afname areaal wadplaat, verandering droogvalpercentages, voedselbeschikbaarheid en foerageermogelijkheden. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken met de ecologische bril (zie paragraaf 5.3).
13	a.	b.	c.	d.	Achterblijvende sedimentatie met verandering sedimentsamenstelling, afname schelpdieren en afname vogelaantallen in het gebied met Pleistocene bodemaling: check op ruimtelijk verbreiding, analyse van afname areaal wadplaat, verandering droogvalpercentages, voedselbeschikbaarheid en foerageermogelijkheden. Vaststellen ruimtelijke correlatie met Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en check op mogelijke andere oorzaken met de ecologische bril (zie paragraaf 5.3).

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.

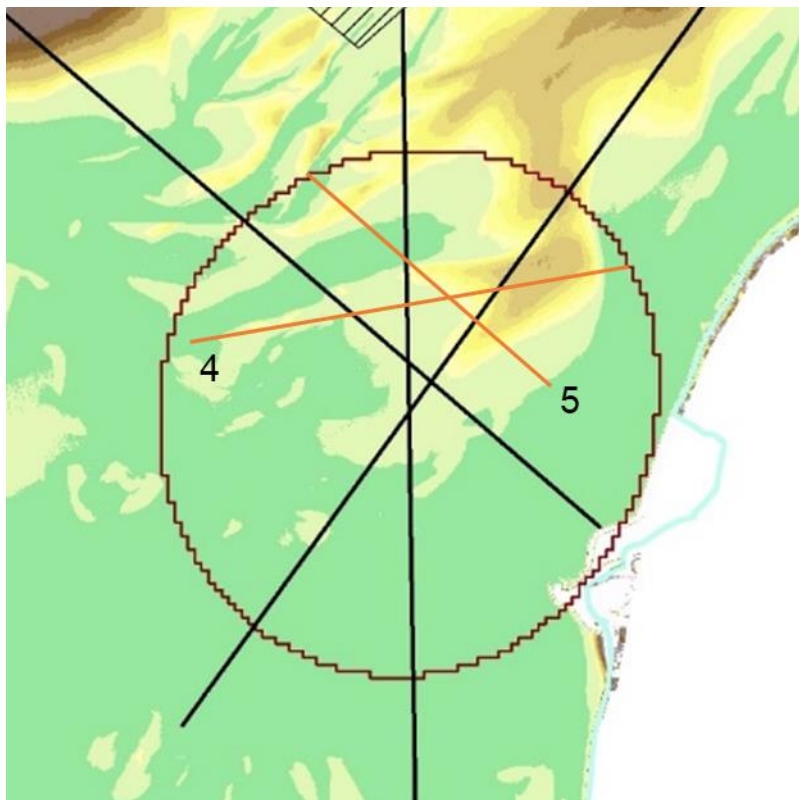
In het bovenstaande signaleringsschema zijn de LiDAR hoogtemetingen, vaklodingen en de bergeendentellingen niet betrokken. De morfologische metingen hiervan, dit zijn de LiDAR hoogtemetingen en vaklodingen, hebben als doel om naar de ruimtelijke ontwikkelingen te kijken en hebben daarmee een ander doel dan de morfologische signaleringsmetingen (raaimetingen en spijkermetingen). In de analyse van de waargenomen ontwikkelingen zullen de LiDAR hoogtemetingen (of een alternatieve meting van de hoogte van de platen, zie paragraaf 5.5) en de vaklodingen wel worden 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

ruide bergeenden. Vanwege het afwijkende gebruik van de bergeenden van het gebied wordt het niet zinvol geacht de aantallen in het signaleringsschema te betrekken.

5.5 Opmerkingen bij de LiDAR hoogtemetingen van de platen

De LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen zijn uitgevoerd in 2004, 2010 en 2016 in opdracht van Rijkswaterstaat en in 2019 in opdracht van Frisia. Voor de vergelijking zijn de LiDAR-hoogtemetingen van 2016 en 2019 gebruikt. De LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen leveren tot nu toe minder bevredigende resultaten op dan de drie hoogte/diepte metingen in de raaien. Vanwege de onderlinge consistentie van de opeenvolgende raaimetingen wordt aan de uitkomsten van de raaimetingen meer waarde toegekend dan aan de LiDAR hoogtemetingen. Verder zijn LiDAR metingen relatief complex om uit te voeren en door hun uitvoeringswijze gevoeliger voor de meteorologische omstandigheden en het getij. Dat maakt het zinvol om na te denken over alternatieve meetmethoden om de hoogte van de droogvallende platen te monitoren. Daarbij gaat de voorkeur uit naar robuuste meetmethoden, die bewezen effectief zijn op wadplaten. In de rapportage "Monitoring t0-situatie bodemligging Waddenzee; Zoutwinning havenmond" (Bergsma, J. & J. Cleveringa, 2020) is een beknopt overzicht van drie alternatieven opgenomen, namelijk "Bathymetric LiDAR", die ook wel bekend staat als Groene LiDAR, of LiDAR met groene laser, radar (in verschillende soorten) en een uitbreiding van de hoogte/diepte raaien.

De metingen van de hoogte van de wadplaten en het sublitoraal in de drie raaien is zeer succesvol in het studiegebied, zoals duidelijk is geworden in hoofdstuk 8. Vanwege de beperkte hoogte van de wadplaten leent het gebied zich uitstekend voor metingen met een ondiep stekend vaartuig. Voor dit gebied zijn de hoogte/diepte raaien bewezen effectief. Door een aantal aanvullende raaien in te meten worden een goed ruimtelijk beeld verkregen van de hoogte van de droogvallende platen. Een suggestie voor twee aanvullende raaien ter plaatse van de Pleistocene bodemdalingsschotel is aangegeven in Figuur 5-5. Voorstel is om in 2021 proef te draaien met dit alternatief.



Figuur 5-5 Aanvullende hoogte/diepte raaien voor het inmeten van de droogvallende platen, als alternatief voor de LiDAR-hoogtemetingen van de droogvallende platen.

6 METINGEN PLEISTOCENE BODEMDALING

In het monitoringrapport “Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee; Jaarrapportage 2019” (Antea, 2020) zijn de resultaten van de metingen aan de Pleistocene bodemdaling opgenomen.

6.1 Introductie van de meetmethodes¹²

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

De metingen aan de Pleistocene bodemdaling onder Waddenzee worden uitgevoerd met twee permanente meetopstellingen (meetpalen), die continue de hoogte meten (locaties in Figuur 6-1). Deze meetpalen zijn verankerd in de Pleistocene ondergrond, zodat hoogteveranderingen de Pleistocene ondergrond direct worden gemeten. Een van de permanente meetopstellingen is nabij het punt geplaatst waar volgens de prognose de grootste en snelste Pleistocene bodemdaling plaats zal vinden. De andere permanente meetopstelling is verder naar het noordoosten geplaatst, waar de omvang van de Pleistocene bodemdaling kleiner is. De gegevens van de twee permanente meetopstellingen geven daarmee inzicht in het verschil in Pleistocene bodemdaling nabij en verder van de zoutwincavernes. Jaarlijks worden verificatiemetingen uitgevoerd aan beide permanente meetopstellingen, waarvoor in de directe nabijheid van de meetpaal nog één controlepaal onder de wadbodem tot in het Pleistoceen is geplaatst en drie controlepalen ondieper zijn verankerd.

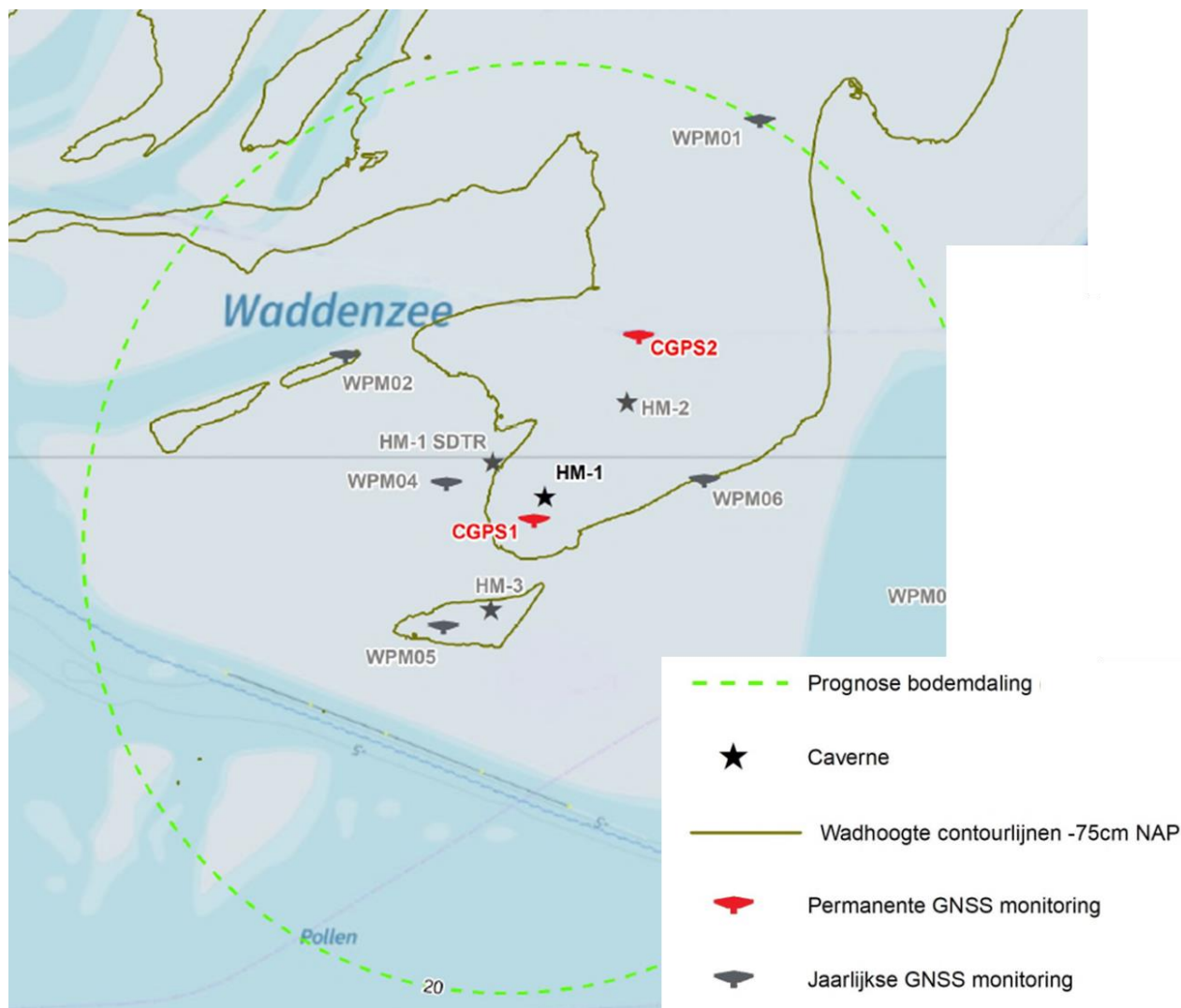
In aanvulling op de twee permanente meetopstellingen zijn in het wad op vijf locaties meetpalen onder de wadbodem aangebracht, die tot in het Pleistoceen reiken (locaties in Figuur 6-1). Op deze meetpalen wordt ieder jaar gedurende ongeveer 5 dagen een tijdelijke meetopstelling geplaatst, waarbij de 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 worden uitgevoerd om het volume van de caverne te controleren en dienen daarnaast mijnbouwkundige doeleinden.

¹² 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.



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.

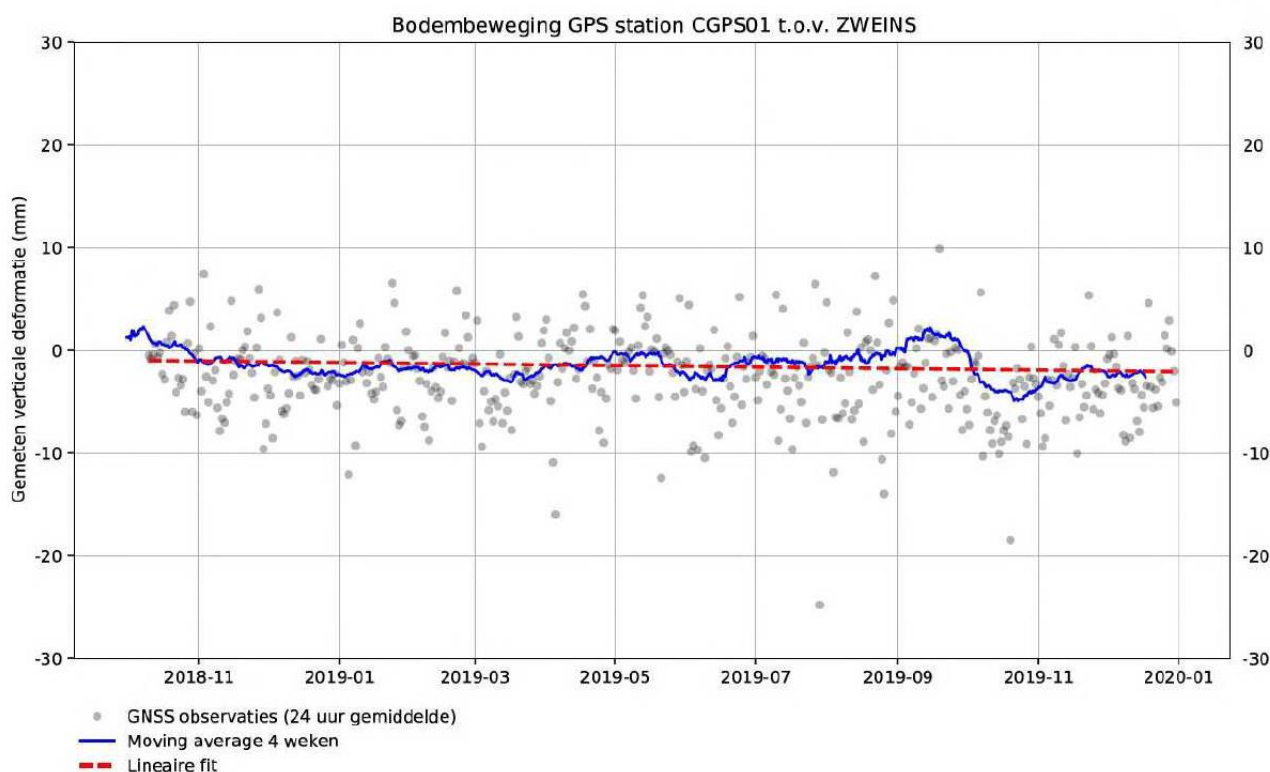
6.2 Gegevens

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 weergegeven van de individuele metingen is in de grafieken gekozen voor een periode van 8 uur. De keuze hierin heeft geen verdere invloed op de bepaling van de groundbeweging. De bodembeweging kan alleen nauwkeurig worden bepaald over een langere termijn en daarom zijn in de grafieken de moving average (in de grafieken is gekozen voor een 4 weekse moving average) weergegeven, als ook de lineaire fit over de gehele periode.

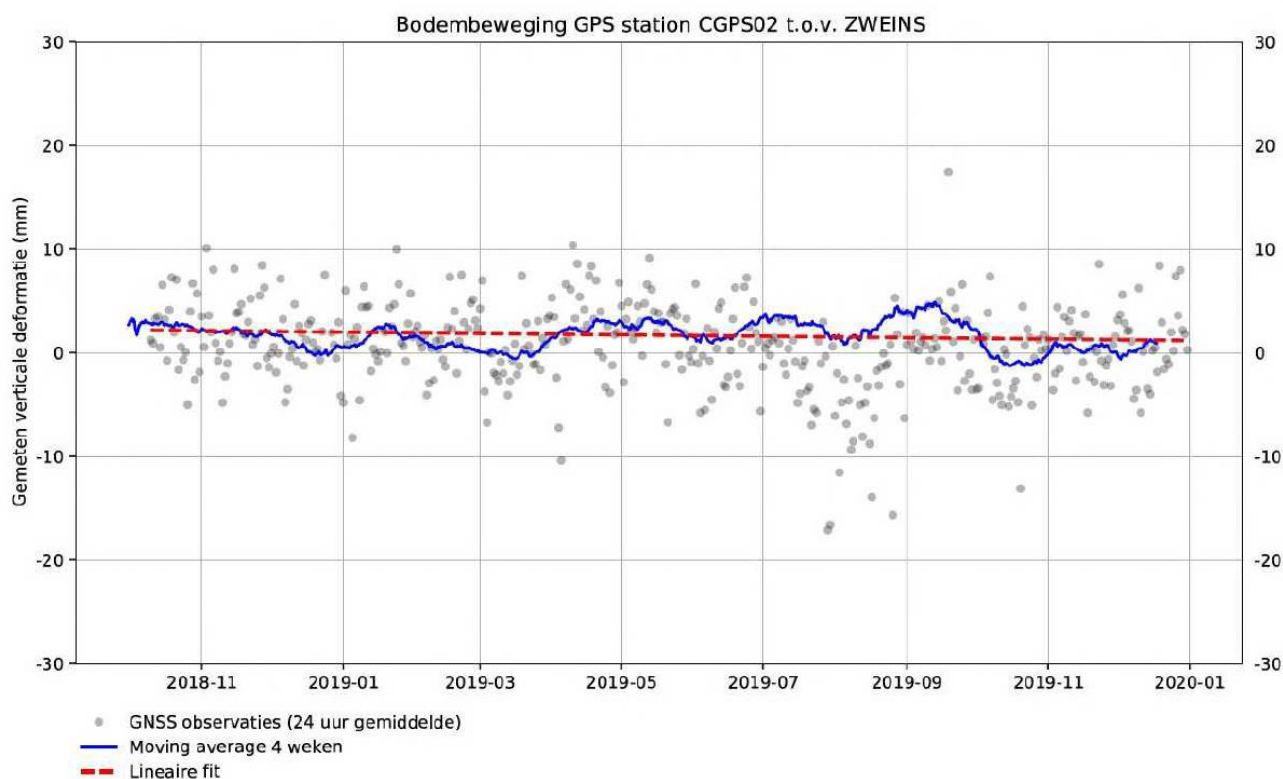
De algehele trend (lineaire fit) van de hoogte van station CGPS01 en CGPS02 is nagenoeg stabiel. De lineaire fit van CGPS01 laat een kleine daling zien van -1.0 mm per jaar en voor CGPS02 een kleine daling van -0.8 mm. Deze waarden veranderen lichtelijk over het jaar heen, wat kan betekenen dat nog niet alle seizoensinvloeden eruit worden gefilterd. Op basis van de beperkte duur van de meetreeks en de lineaire fits is nog geen sluitende conclusie te trekken over de bodembeweging. Het is te verwachten dat een lineaire trend op deze termijn schommelt en waarden voor de trends vallen binnen de verwachte meetnauwkeurigheid en kunnen worden beschouwd als ruis. Bij aanvang van de zoutwinning worden de analyses herhaald en dan wordt ook opnieuw de beginhoogte van de GNSS metingen bepaald zodat deze op nul begint.

De gegevens aan de peilmerken die jaarlijks worden opgenomen, zijn niet opgenomen in deze rapportage, omdat hiervan één waarneming beschikbaar is.

Omdat de zoutwinning nog niet is gestart, zijn nog geen gegevens over de zoutproductie, waterbalans en de holruimte beschikbaar.



Figuur 6-2 Grafiek met de resultaten van de continue GNSS-monitoring van station CGPS01 (uit Antea, 2020).



Figuur 6-3 Grafiek met de resultaten van de continue GNSS-monitoring van station CGPS01 (uit Antea, 2020).

6.3 Analyse

Op basis van de Tnul meting, waarin nog sprake is van Pleistocene bodemdaling, heeft nog geen analyse plaatsgevonden van de metingen.

In toekomstige rapportages zal worden opgenomen

- Bepaling van de omvang van de Pleistocene bodemdaling
- Toetsing van het bodemdalingsvolume aan de beschikbare 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:

- 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.
- Het bodemdalingsvolume per jaar wordt gemiddeld over een periode van 6 jaar.
- 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.
- 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 pekel stuurt Frisia op het bodemdalingvolume, zodat in de praktijk nooit een overschrijding zal plaatsvinden.

6.4 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 aanleiding geven tot het beschouwen van de ruimtelijke verbreiding van de Pleistocene bodemdaling en de ruimtelijke veranderingen in de bodemhoogte, dan 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.

6.5 Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning

Bij elk hoofdstuk met resultaten van de metingen en de monitoring is een hoofdstuk opgenomen dat de uitkomsten beschouwd alsof al sprake zou zijn van zoutwinning. Voor de metingen van de Pleistocene bodemdaling is deze beschouwing van de hypothetische situatie niet zinvol, omdat nog geen bodemdaling heeft plaatsgevonden. 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 varende 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.

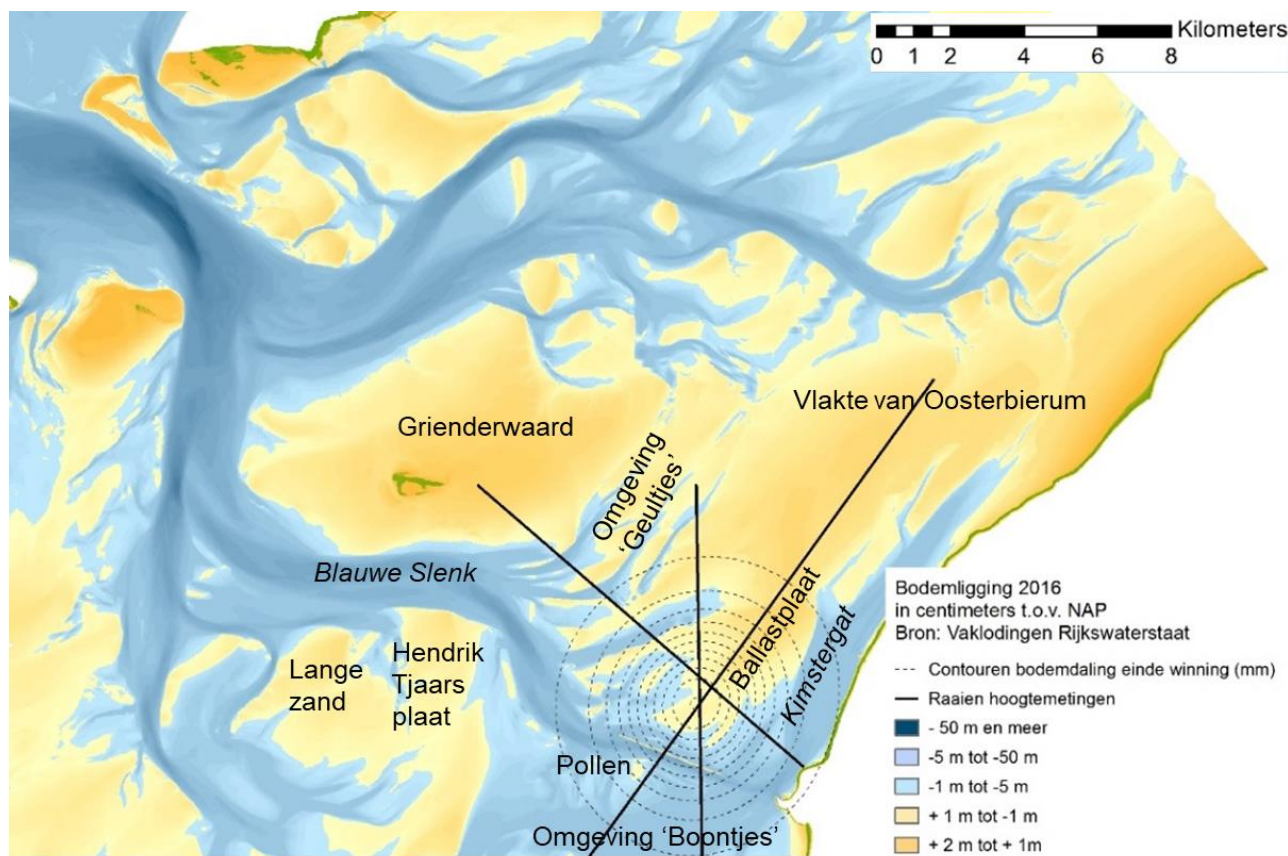
Het doel van deze metingen is om vast te stellen welke veranderingen in de hoogte/diepte optreden in het gehele kombergingsgebied. Doordat de meettraaien doorlopen tot buiten het gebied met Pleistocene bodemdaling worden referentiegebieden ingemeten.

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.

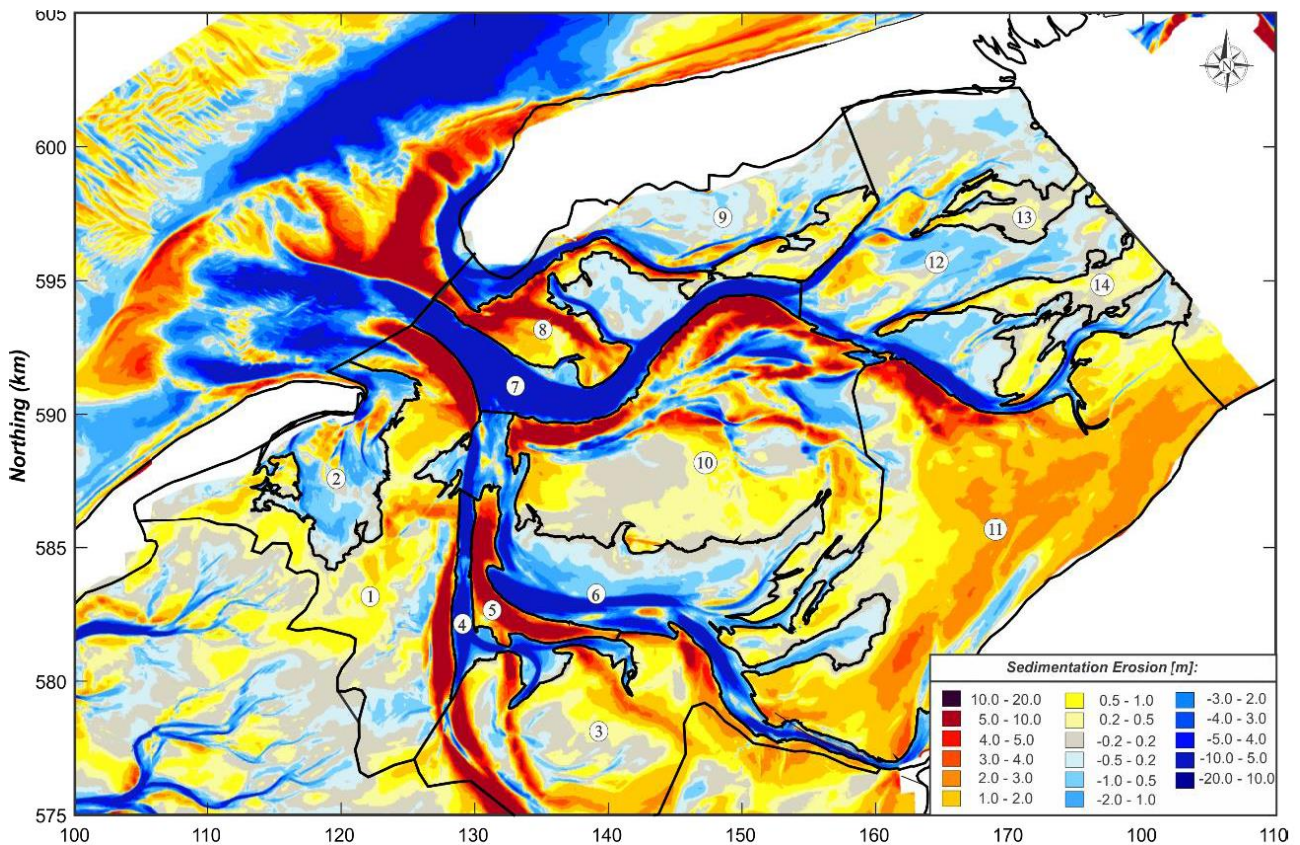
7.3 Analyse

De vaklodingen zijn uitstekend bruikbaar 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.

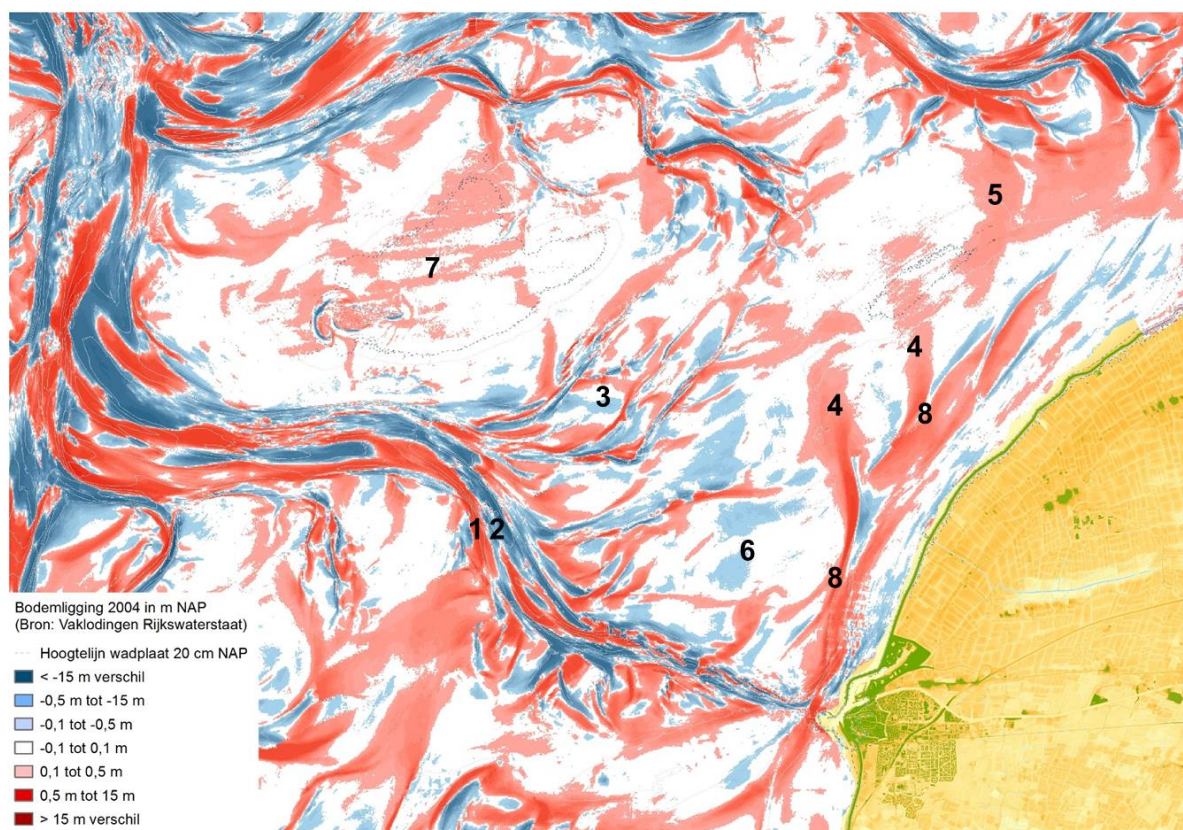
In het studiegebied voor de zoutwinning treden een aantal structurele langjarige veranderingen op, die zichtbaar zijn in de opeenvolgende vaklodingen. Dit is geïllustreerd met de verschilkaarten tussen vakloding 1933-2015 van Elias (2019) in Figuur 7-2 en die van de vakloding van 2010 en die van 2016 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.

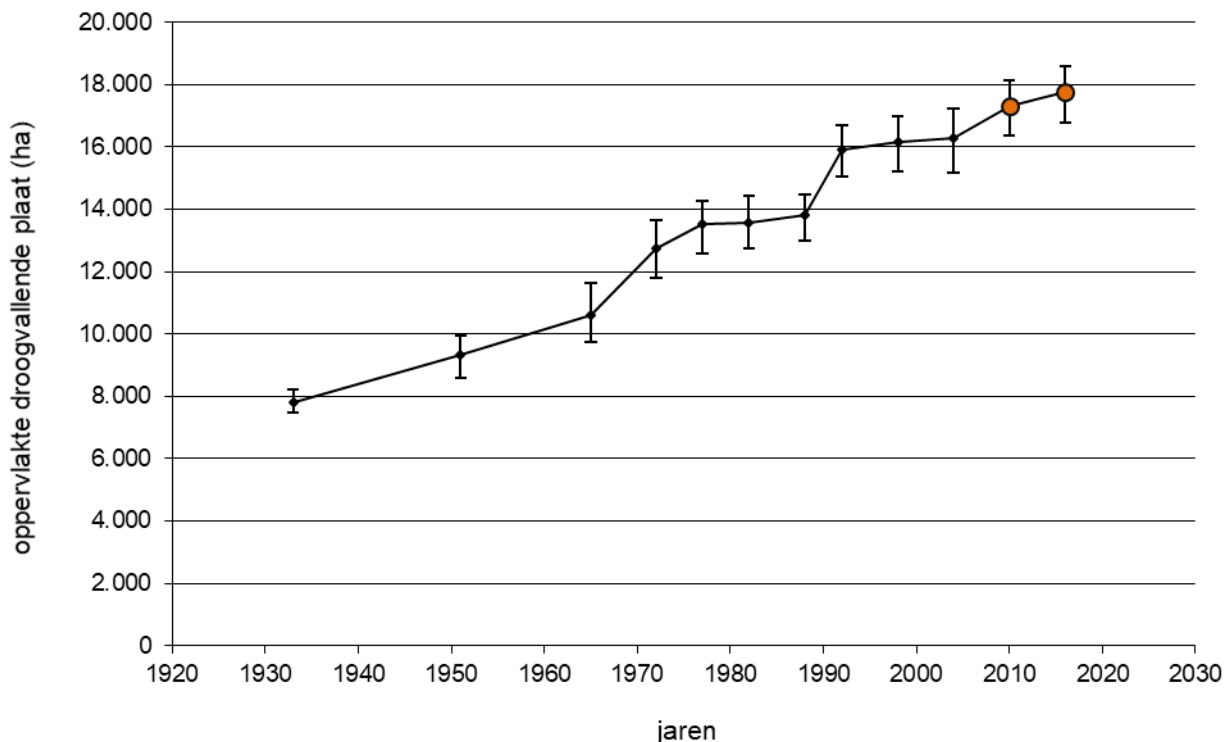


Figuur 7-3 Kaart met de verschillen in bodemhoogte tussen de vaklodgingen 2010 en 2016 (Blauw: de bodem ligt lager; Rood: de bodem ligt hoger).

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 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 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.

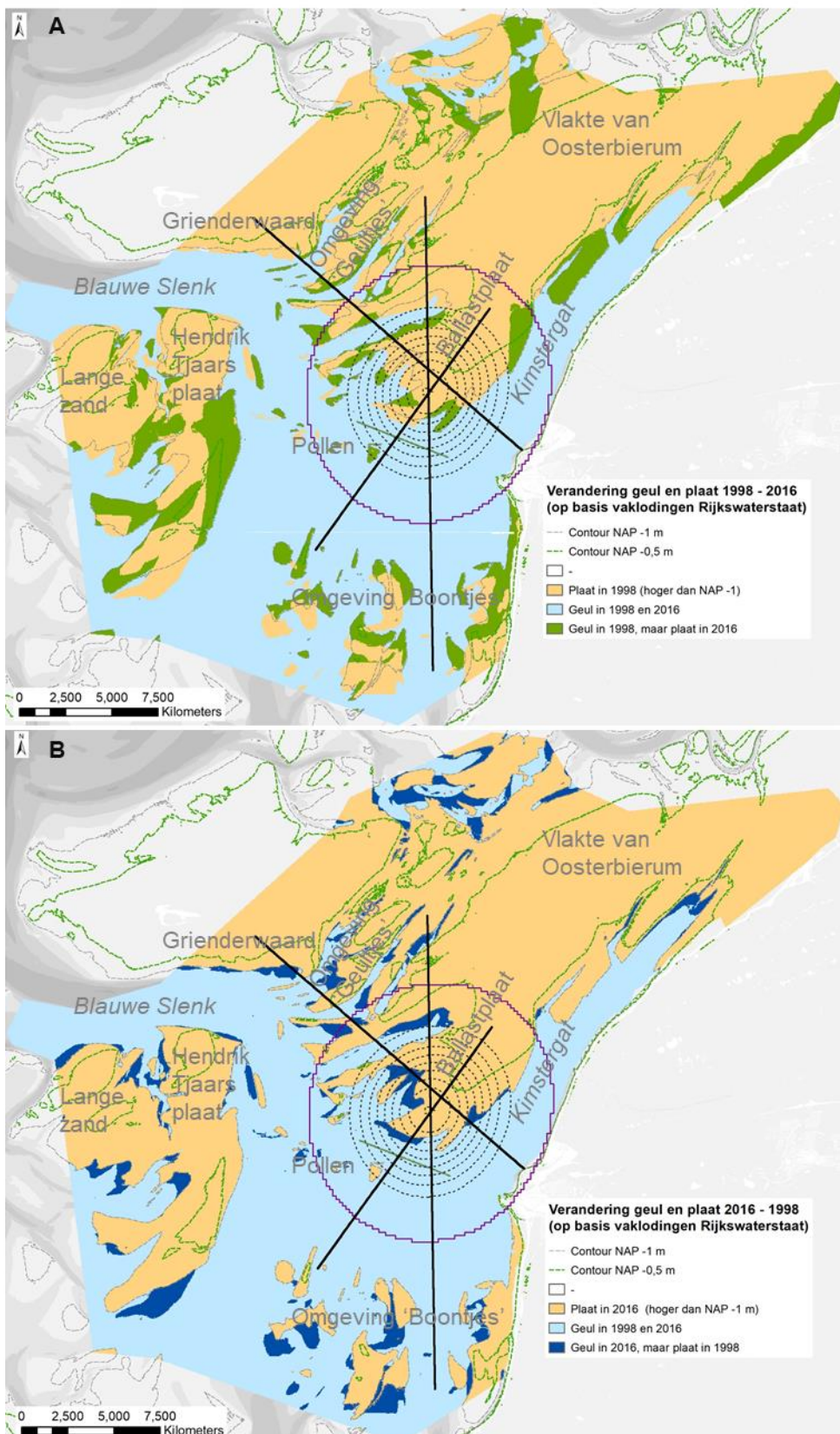


Figuur 7-4 Grafiek met de arealen droogvallende plaat in de opeenvolgende vaklodings van het studiegebied.

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. Hierbij 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 geven een ruimer beeld dan de LiDAR-metingen, omdat die alleen de droogvallende gebieden omvatten. De vaklodings zijn bij uitstek geschikt om langjarige trends in beeld te brengen, zoals de getoonde toename van het areaal droogvallende platen (Figuur 7-4). De vaklodings zijn niet geschikt om vast te stellen of de sedimentatie in de kombergingsgebieden voldoende groot is om de zeespiegelstijging en de Pleistocene bodemdaling bij te houden. De omvang van die sedimentatie is ten opzichte van de omvang van het kombergingsgebied dusdanig klein, dat deze niet waargenomen kan worden. Om desondanks een uitspraak te kunnen doen over het vermogen om mee te groeien met de stijgende zeespiegel is de gebruiksruimte methodiek 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 Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning

Bij elk hoofdstuk met resultaten van de metingen en de monitoring is een hoofdstuk opgenomen dat de uitkomsten beschouwd alsof al sprake zou zijn van zoutwinning. Voor de vaklodingen geldt, zoals beschreven in de voorgaande paragraaf, dat deze metingen de context geven 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). De grootte van die trend fluctueert. Ook in de situatie met zoutwinning wordt een trendmatige toename van het plaatareaal verwacht, met fluctuaties in de snelheid daarvan. Deze trendmatige toename is het netto gevolg van het verdwijnen en verschijnen van plaatareaal, zoals getoond in Figuur 7-5. 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.

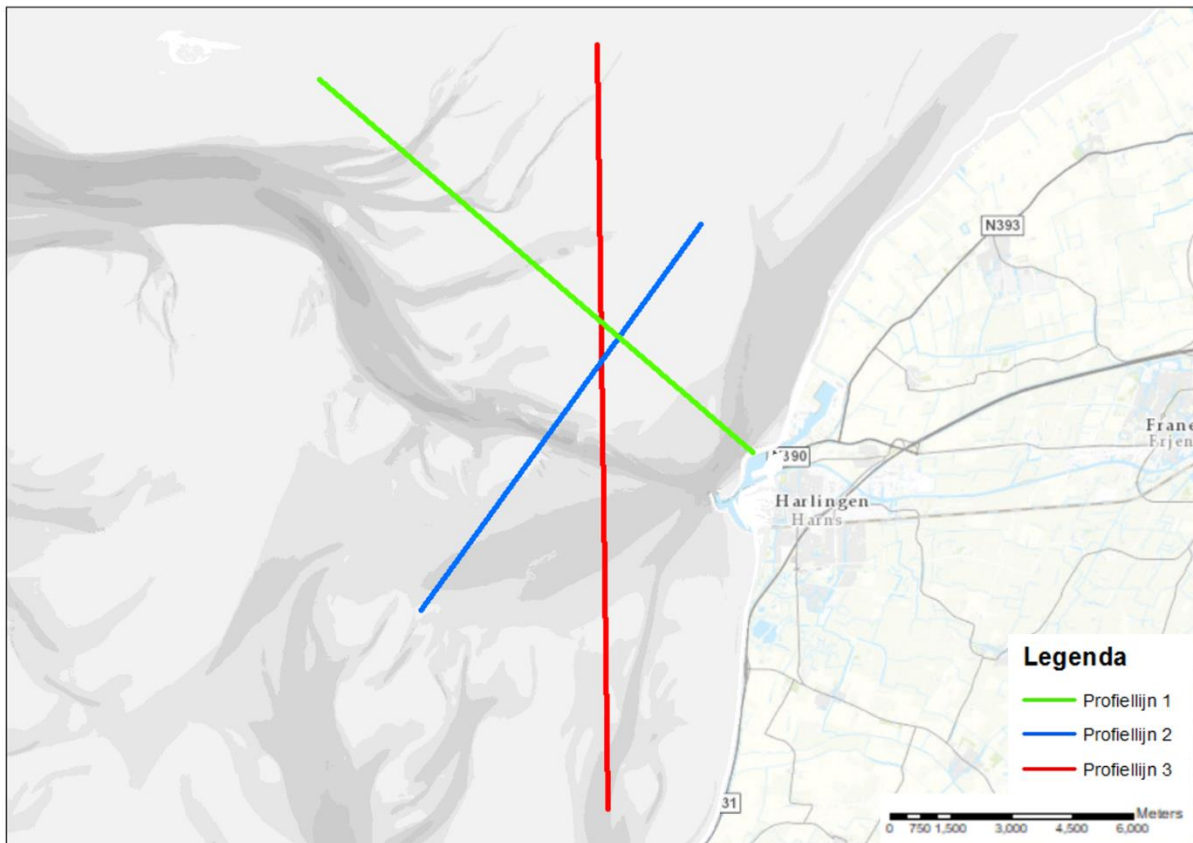
8.1 Introductie van de meetmethode

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

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

De frequentie is 1 keer per jaar bodemliggingsmetingen in drie raaien in het invloedsgebied. In de onderstaande kaart (Figuur 8-1) is aangegeven hoe deze raaien lopen. De meetraaien lopen niet direct naast de permanente meetpalen waar de bodemdaling van de pleistocene ondergrond wordt gemeten, zodat lokale effecten rond deze locatie de metingen niet beïnvloeden. Door de raaien op drie locaties te laten kruisen worden drie punten verkregen waar een onderlinge vergelijking van de metingen kan plaatsvinden.

Frisia Zout B.V. is de opdrachtgever voor het uitvoeren van deze meting. In 2016-2019 zijn de metingen uitgevoerd door Deep B.V.

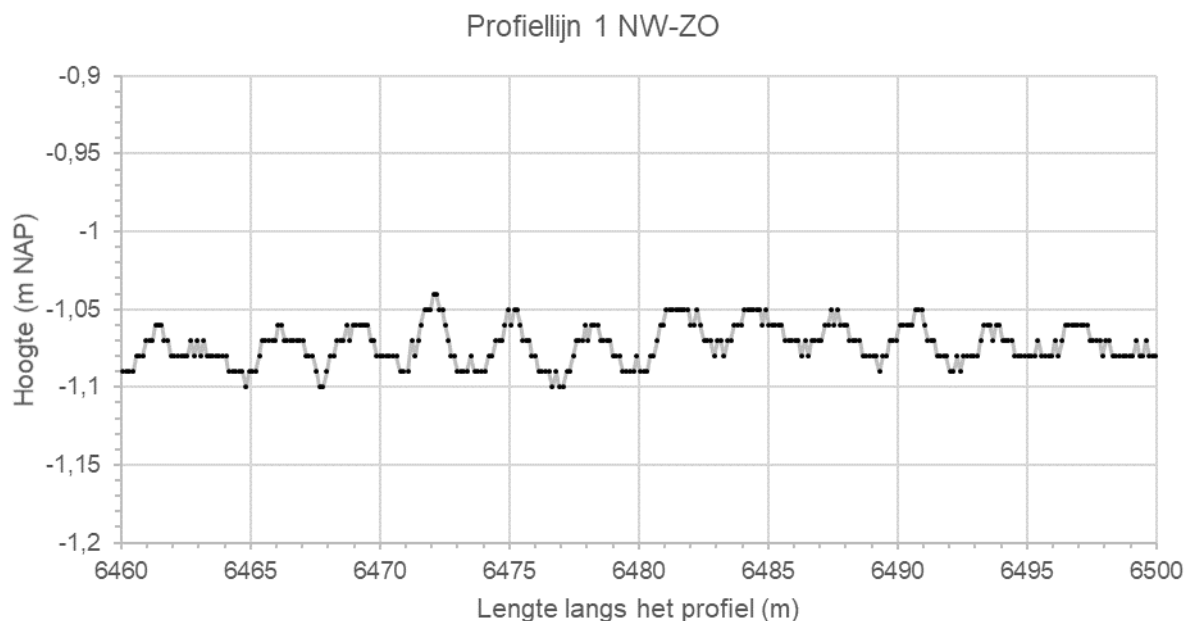


Figuur 8-1 Overzichtskartaal van het gebied waar Pleistocene bodemdaling door zoutwinning kan optreden, met daarbij een overzicht van de hoogte/diepte raaien die jaarlijks worden gemeten.

8.2 Gegevens

Jaarlijks worden drie dezelfde raaien ingemeten, zoals aangegeven in Figuur 8-1. De metingen worden tijdens hoogwater varend uitgevoerd met een ondiep stekend meetschip. Tot heden zijn er hoogte/diepte raaien ingewonnen in 2016, 2017, 2018 en 2019¹³. 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).

¹³ 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 in de rapportage "Monitoring t0-situatie bodemligging Waddenzee; Zoutwinning havenmond" (Bergsma, J. & J. Cleveringa, 2020), omdat de extra meting in januari inzicht oplevert in de ontwikkelingen en de variaties in de gemeten bodemhoogte.

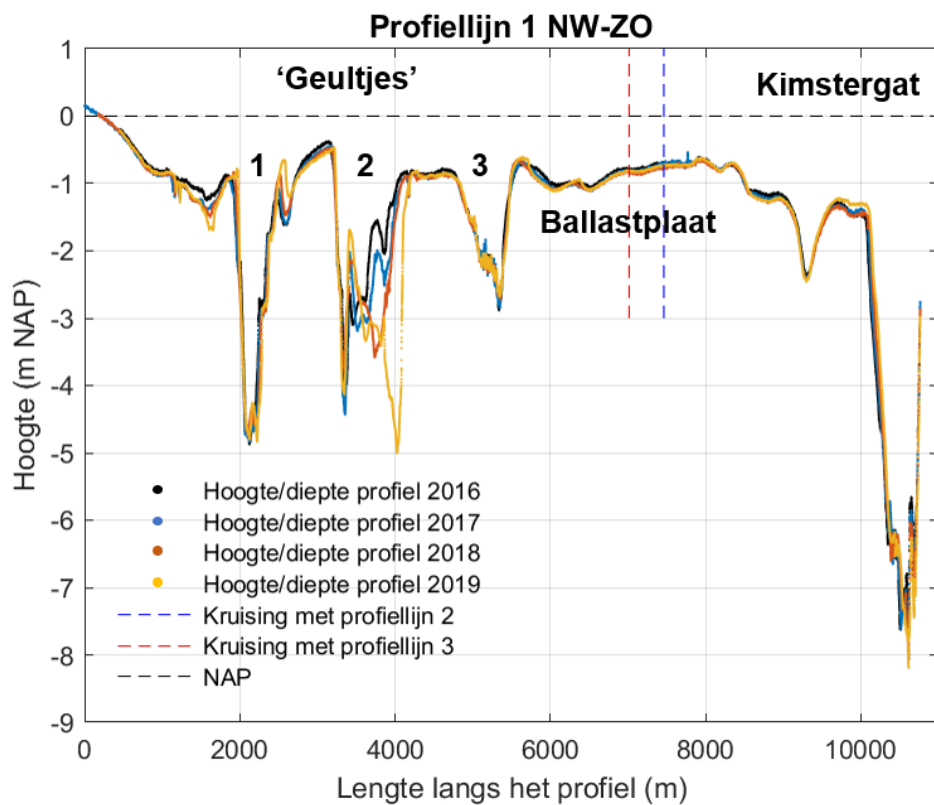


Figuur 8-2 Detail van het dwarsprofiel langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens 2018.

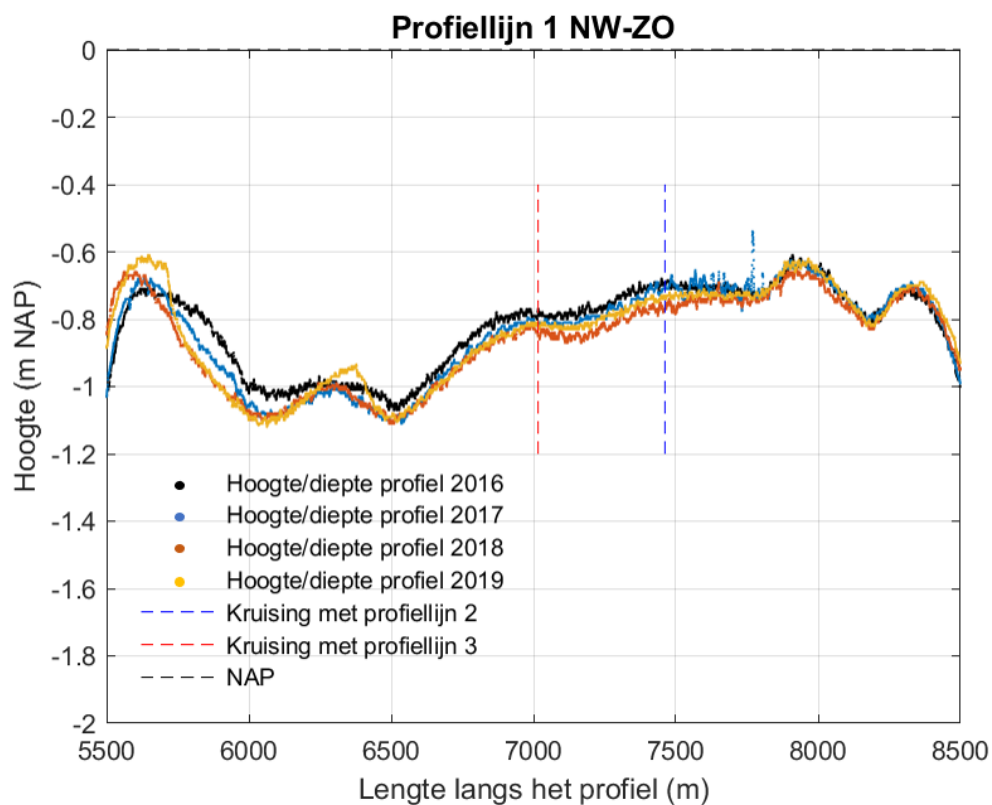
8.3 Analyse

De hoogte/diepte raaien zijn met succes ingemeten in 2016, 2017, 2018 en 2019. 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 drie elkaar kruizen laten dit duidelijk zien. Ook de metingen uit de opeenvolgende jaren laten betrouwbare resultaten zien. De raaimetingen zijn uitstekend bruikbaar voor het uitvoeren van de monitoring.

De overeenkomsten en beperkte verschillen tussen de drie opeenvolgende opnamen zijn zichtbaar in dwarsdoorsneden van de drie profiellijnen met de vier opeenvolgende metingen van 2016-2019. 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 7200 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. Vanwege de beperkte hoogteverschillen en het beperkte aantal opnamen is het nog niet mogelijk om van een trendmatige verandering te spreken. Ten noordwesten en ten zuidoosten van dit stuk varieert de bodemligging.

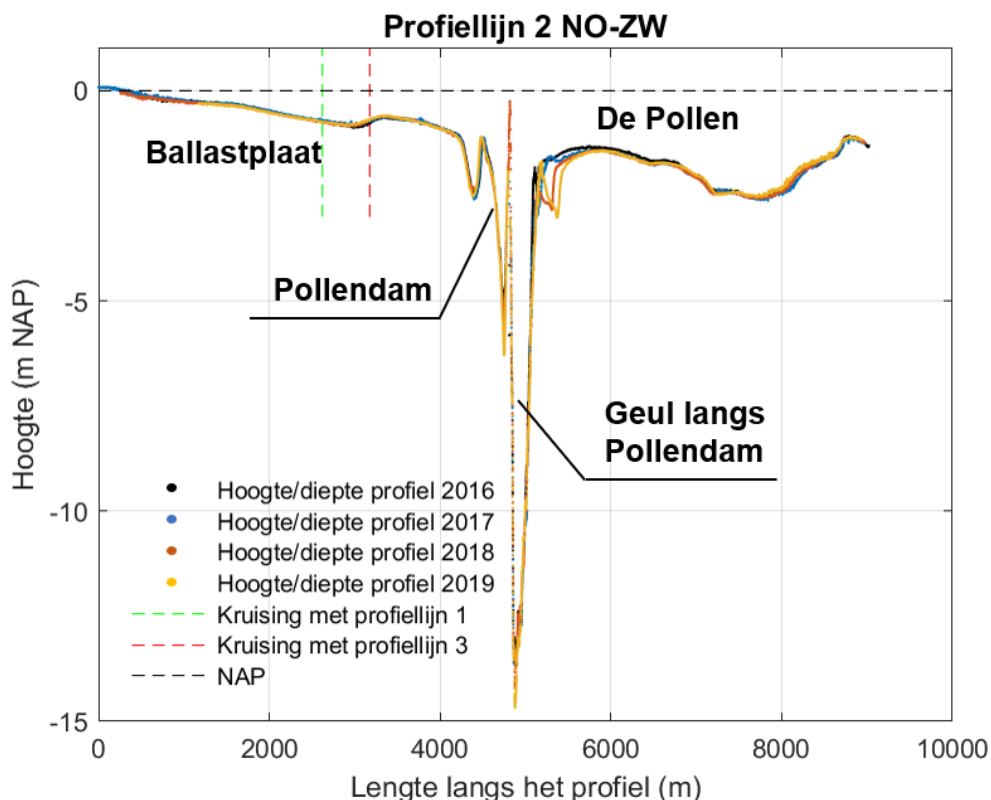


Figuur 8-3 Dwarsprofiel langs profiellijn 1 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2019. De nummers 1, 2 3 hebben betrekking op de drie naamloze geultjes.

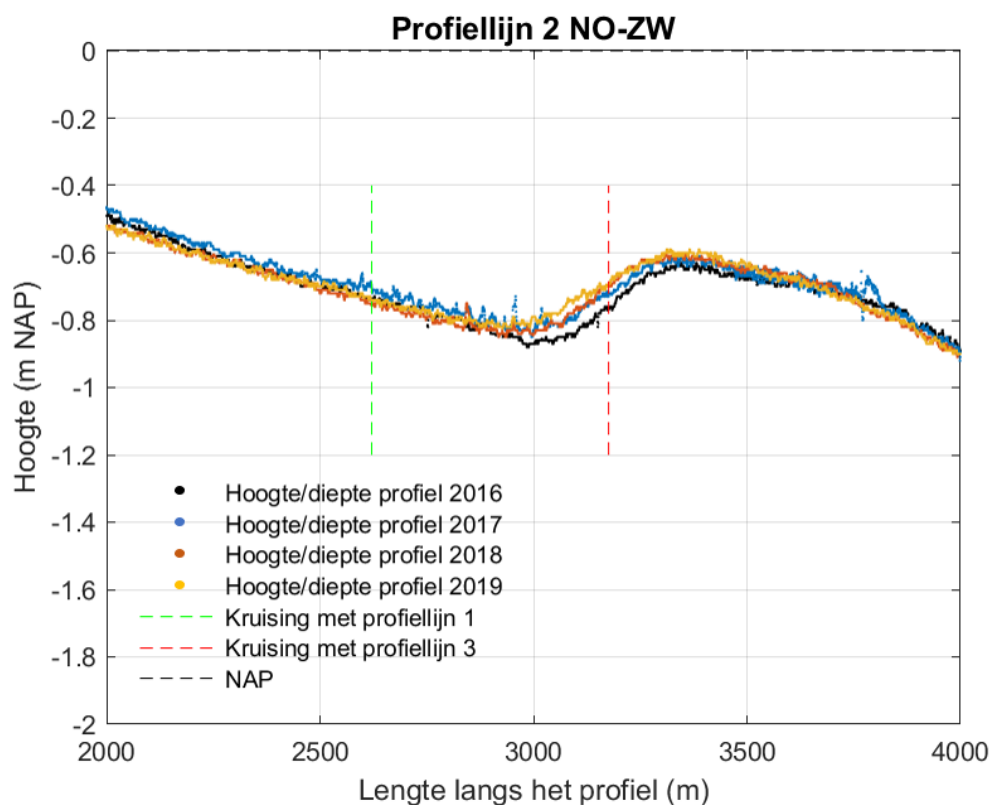


Figuur 8-4 Ingezoomd dwarsprofiel van de Ballastplaat langs profiellijn 2 van noordwest naar zuidoost voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2019 (Detail van Figuur 8-3).

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.

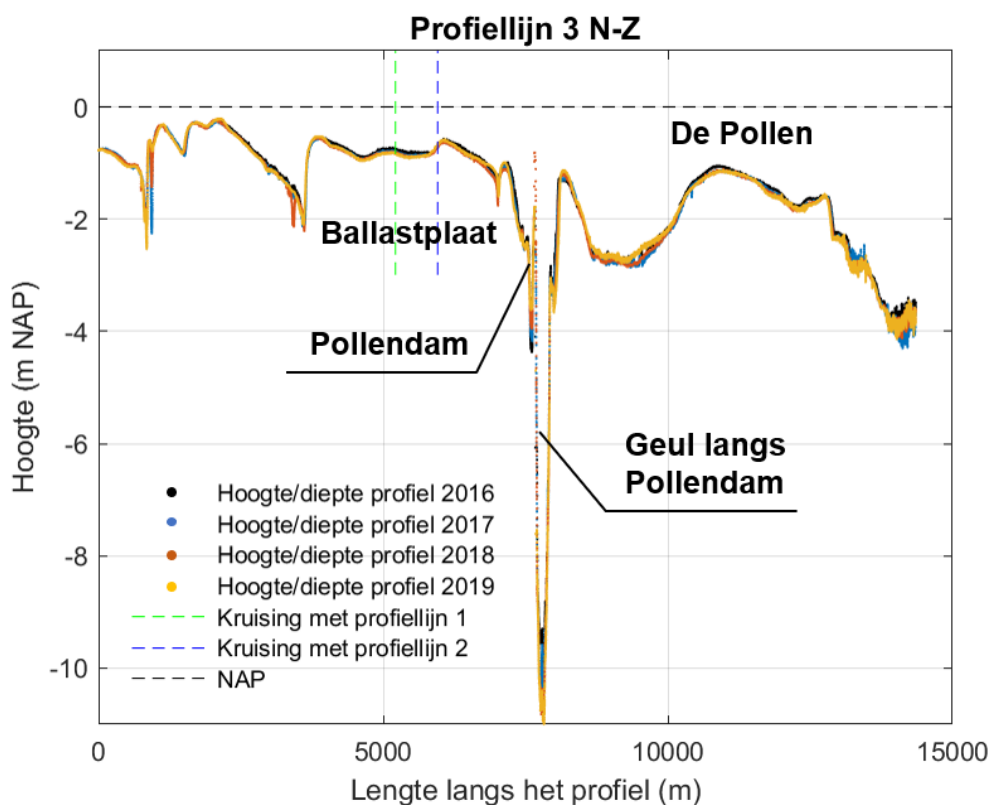


Figuur 8-5 Dwarsprofiel langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2019.

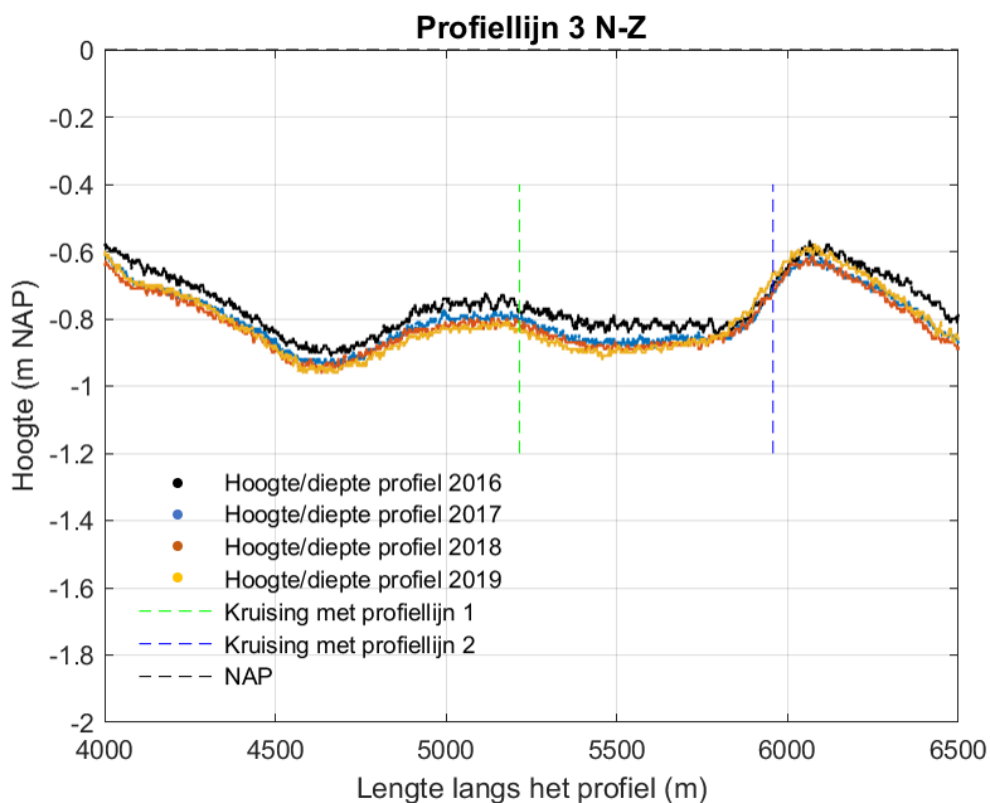


Figuur 8-6 Ingezoomd dwarsprofiel langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2019 (Detail van Figuur 8-5).

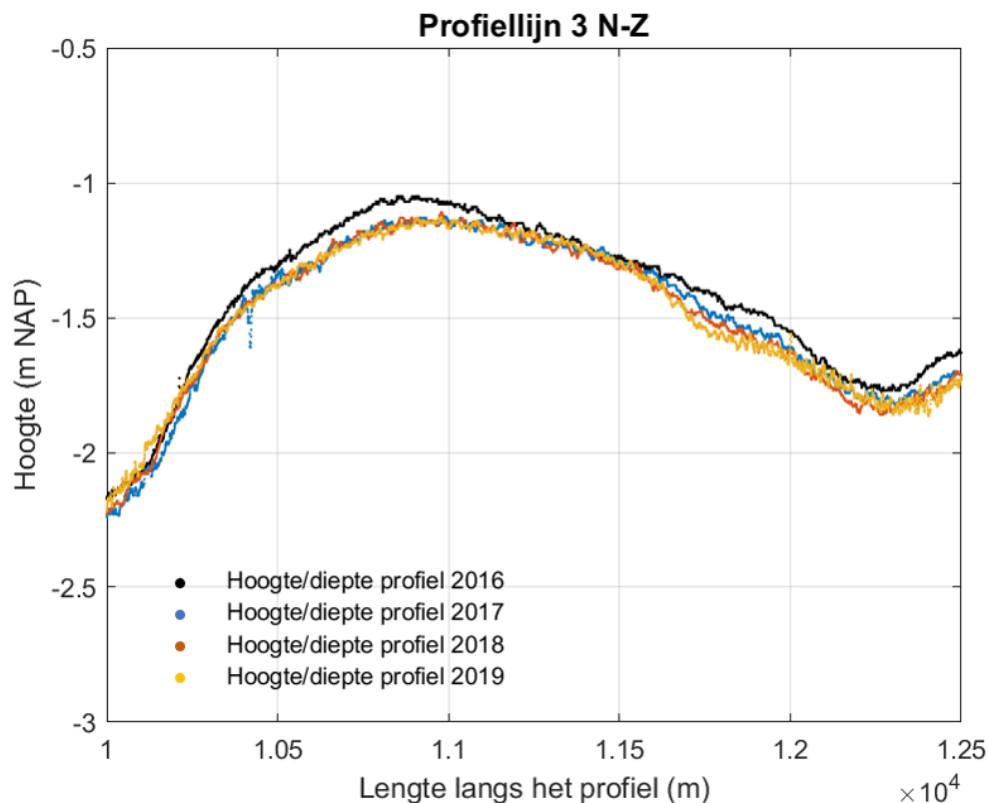
De overzichtsdwarsdoorsnede van profiellijn 3 in Figuur 8-7 laat zien dat de verschillen tussen de opeenvolgende metingen bij de geulen beperkt zijn. Figuur 8-8 toont een detail van de Ballastplaat waarin opvalt dat in het deel van 4800 tot 5800 de hoogteligging in de opeenvolgende metingen steeds iets 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 2016-2019.



Figuur 8-8 Ingezoomd dwarsprofiel van de Ballastplaat langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2019 (Detail van Figuur 8-7).



Figuur 8-9 Ingezoomd dwarsprofiel langs profiellijn 3 van noord naar zuid voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2019 (Detail van Figuur 8-7).

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.

De LiDAR metingen van de plaatshoogte 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. De raaimetingen laten de jaar-op-jaar ontwikkelingen van hoogte en diepte in zien en de Spijkermetingen geven inzicht in verticale aangroei en 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 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.

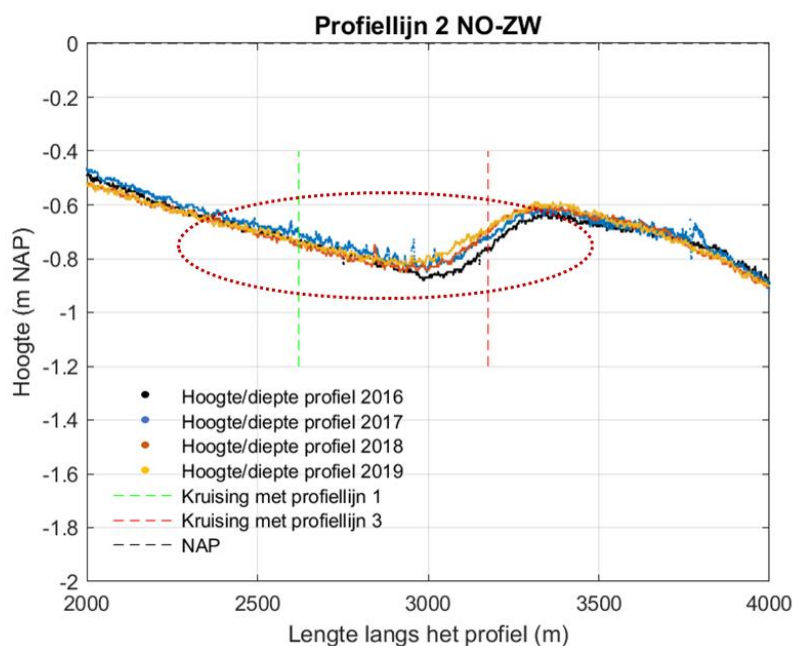
8.5 Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning

Bij elk hoofdstuk met resultaten van de metingen en de monitoring is een hoofdstuk opgenomen dat de uitkomsten beschouwd alsof al sprake zou zijn van zoutwinning. In de situatie waarin zich bodemdaling door zoutwinning zou hebben voorgedaan, zouden de ontwikkelingen in de raaien ter plaatse van de grootste bodemdaling met extra aandacht worden 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 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 8-10 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.

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 mogelijke 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.

De raaimetingen, in combinatie met de spijkermetingen, kunnen 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.”



Figuur 8-10 Ingezoomd dwarsprofiel langs profiellijn 2 van noordoost naar zuidwest voor de hoogte/diepte raai meetgegevens van 2016-2019 (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 drone¹⁴), 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 langs elkaar te liggen en wordt een gebiedsdekkende opname verkregen.

Voorwaarden voor een geslaagde LiDAR hoogtemeting van wadplaten zijn:

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

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. Tabel 9.1 geeft de belangrijkste verschillen en overeenkomsten tussen de meetmethoden. Deze raaimetingen hebben een hoge mate van betrouwbaarheid en zijn in de tijd goed te koppelen aan andere metingen. Dat laatste 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 LiDAR hoogtemetingen leveren aanvullende informatie met betrekking tot de ruimtelijk ontwikkeling in het droogvallende gebied.

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

¹⁴ LiDAR metingen met een drone zijn (nog) niet mogelijk boven het studiegebied, vanwege praktische bezwaren (omvang gebied in verhouding tot de accucapaciteit), de algemene regels over het besturen van drones en specifieke regels over het vliegen met drones boven Natura 2000-gebieden.

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.

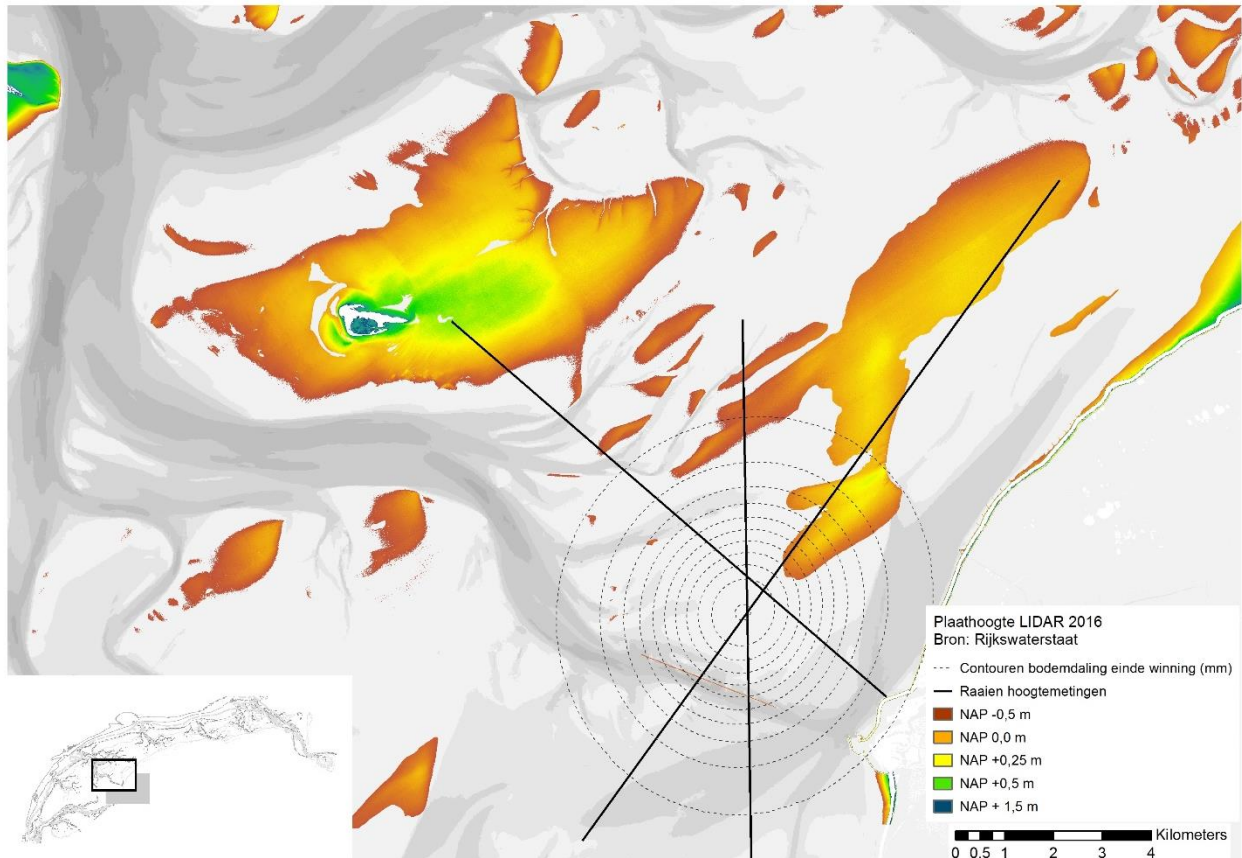
De raaimetingen geven goed inzicht in de hoogte van de wadbodem en de uitvoering is goed te koppelen aan andere monitoringinspanningen. Het meten van de wadbodemhoogten met raaimetingen is niet gevoelig voor de aanwezigheid van een laagje water op de platen. LiDAR metingen van de plaathoogte hebben dezelfde nauwkeurigheid als de raaimetingen, maar zijn wel gevoelig voor aanwezigheid van een laagje water op de platen. De aanwezigheid van een dun laagje water 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 wateroppervlakte. Een groot gedeelte van het invloedsgebied kent geen wadplaten, waardoor LiDAR metingen voor het inmeten van hoogte daar niet haalbaar is. 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 raaimetingen zullen jaarlijks worden ingemeten om de hoogteontwikkeling van de platen met zekerheid vast te kunnen stellen. De LiDAR metingen zijn verificatie metingen en vormen een aanvulling op de raaimetingen, waarmee het ruimtelijke beeld van de hoogteontwikkeling wordt aangevuld. De LiDAR metingen zijn niet bedoeld als signaleringsmeting en worden daarom niet jaarlijks uitgevoerd, zoals de raaimetingen. De LiDAR hoogtemetingen zullen iedere drie jaar worden 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 (referentie).

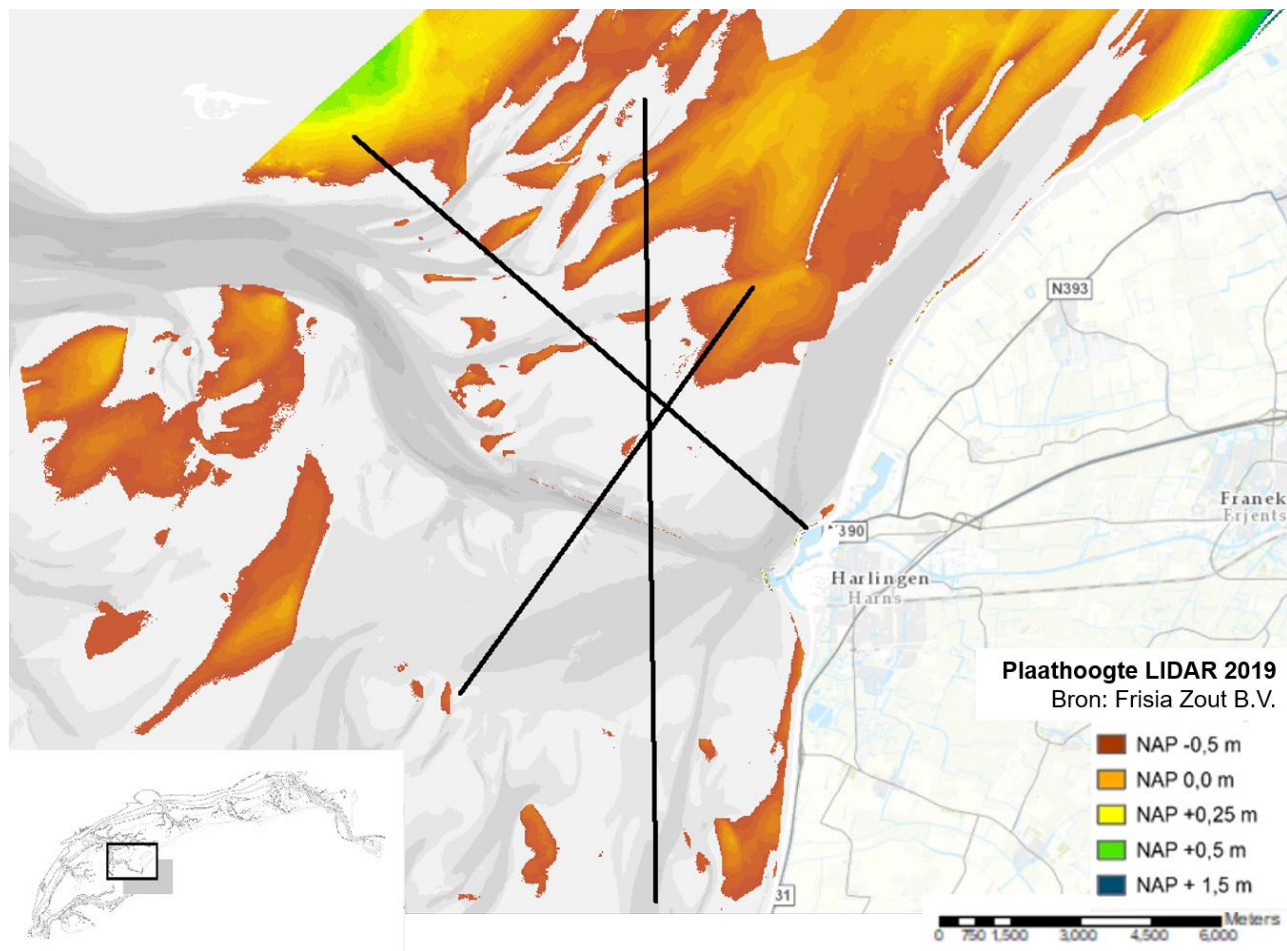
Indien in het gebied waarin de bodemdalingsschotel onder de droogvallende plaat ligt geen verlaging van de wadbodem wordt waargenomen, dan is het uiterst onwaarschijnlijk dat in de aanliggende of andere plaatgebieden een meetbare of merkbare verlaging van de wadbodem zal optreden door de Pleistocene bodemdaling. Het is daarom niet zinvol om het meetgebied voor LiDAR uit te breiden tot verder buiten de Ballastplaat. In 2019 is volgens de planning de plaathoogte met LiDAR opgemeten in opdracht van Frisia.

9.2 Gegevens

In 2004& 2007, 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 hoogtediepteraaien aangegeven.

9.3 Analyse

De LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen, die zijn uitgevoerd in 2004 & 2007, 2010 en 2016 in opdracht van Rijkswaterstaat en de meting van 2019 in opdracht Frisia zijn in deze Tnul rapportage gebruikt. 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.

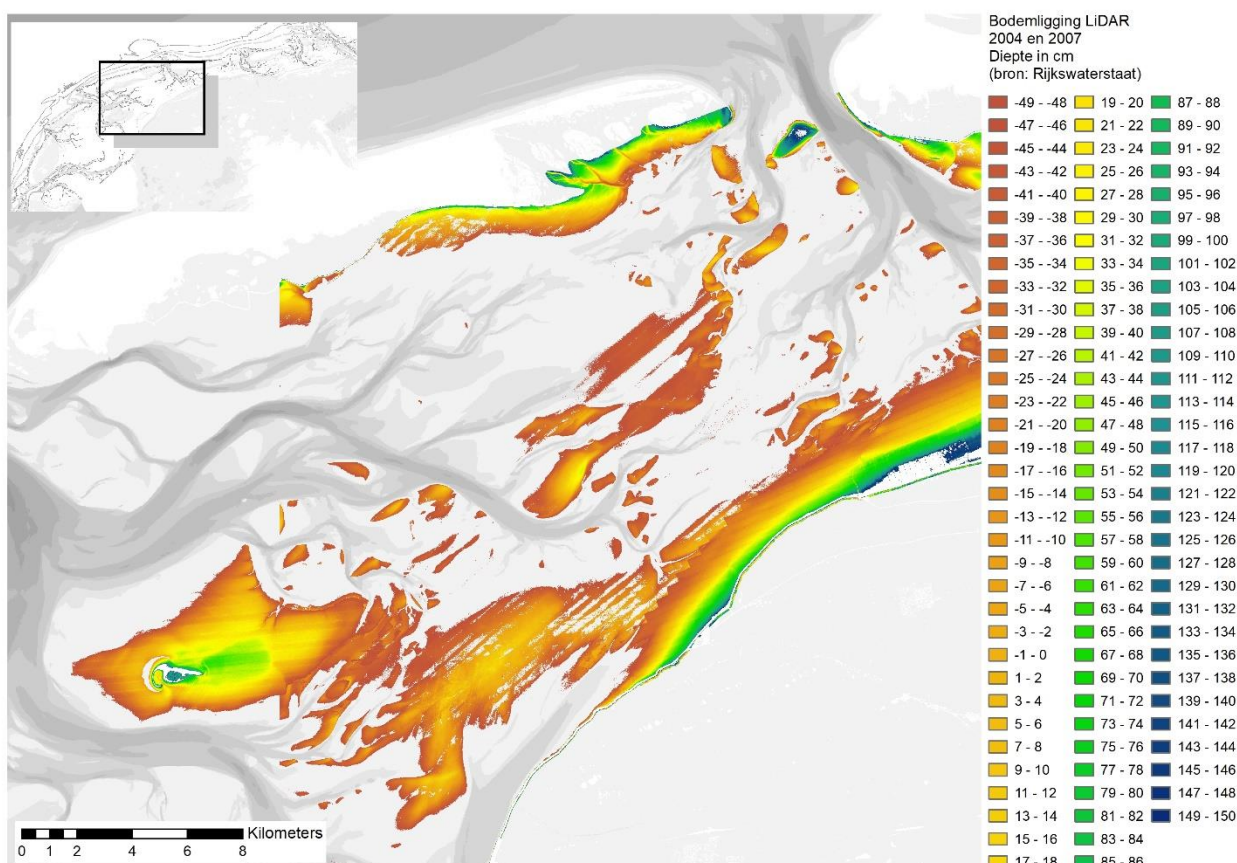
Vergelijking van de LiDAR opnames van 2010 en 2016 laat voor een groot deel van het gemeten plaatoppervlakte in studiegebied zien dat de hoogte van deze platen in 2016 lager is dan in 2010. Uitzondering zijn een aantal overgangsgebieden van wadplaat naar geul, waar de plaat in 2016 hoger ligt dan in 2016. Bij de Ballastplaat is dit het geval aan de zuidzijde. Hierbij past de opmerking dat alleen voor het plaatgebied waarvoor in 2010 én 2016 meetresultaten beschikbaar zijn een vergelijking van de hoogte mogelijk is. Van een groot deel van de wadplaten zijn 2016 geen meetresultaten beschikbaar, zodat daarvan geen ontwikkeling op basis van LiDAR-gegevens kan worden vastgesteld. Bij het inwinnen van de LiDAR hoogtemetingen in 2019 is aandacht besteed aan het inwinnen van het volledige droogvallende areaal (boven NAP -0,5 m) in het studiegebied. Het ingewonnen gebied is dan ook veel omvangrijker dan het gebied dat in 2016 is ingewonnen. De LiDAR opnames van 2016 en 2019 laten zien dat in een groot deel van het studiegebied de platen lager lijken te liggen, met uitzondering van een aantal plaatranden en de

Grienderwaard die in het algemeen hoger zijn geworden. Met name de Ballastplaat lijkt in de LiDAR-opnames van 2019 in zijn geheel lager te liggen. Het is echter waarschijnlijk dat het beeld dat de opeenvolgende LiDAR hoogteopnames van het invloedsgebied laten zien geen representatieve weergave geeft van de hoogte en hoogteveranderingen. Dit blijkt uit de vergelijking van de raaimetingen met de LiDAR hoogtemetingen, die is uitgevoerd voor 2016 en 2019.

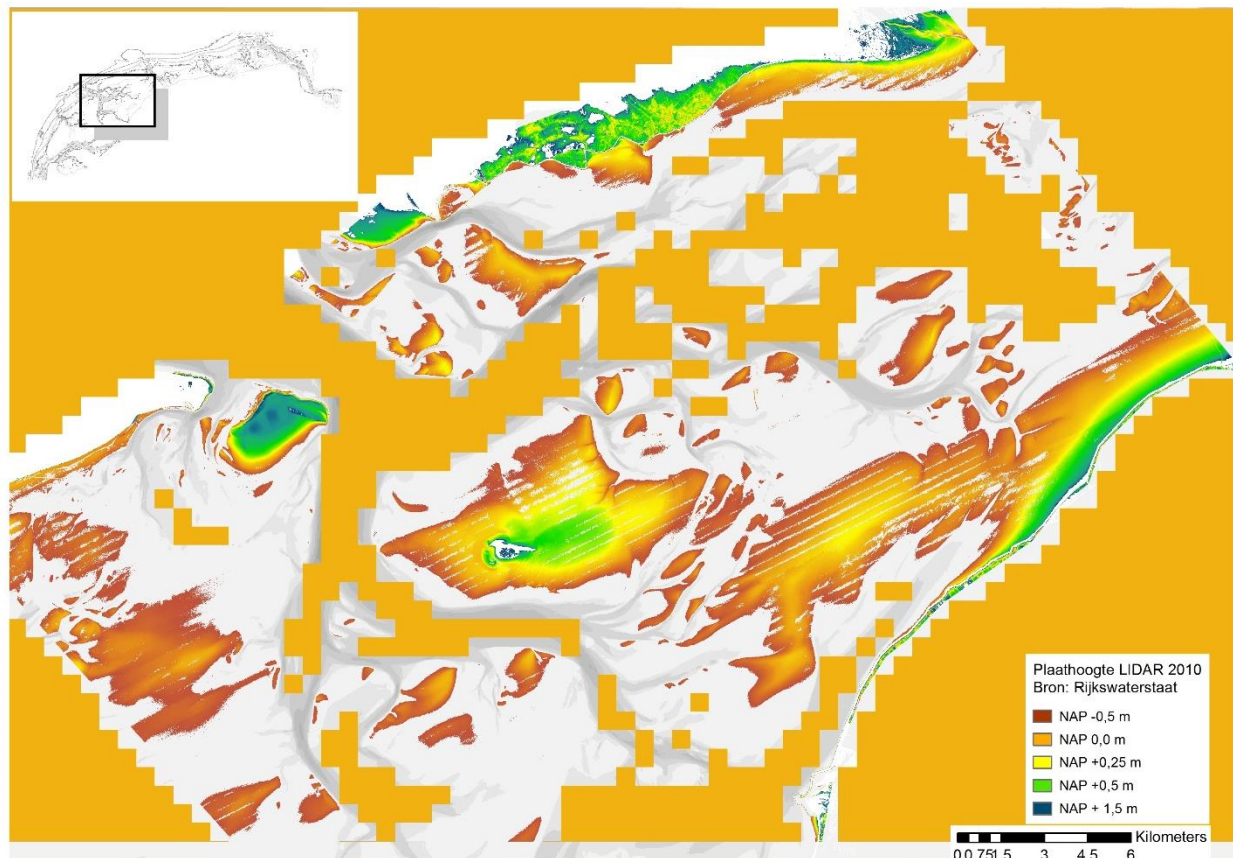
De opeenvolgende raaimetingen, met inbegrip van de interne controle punten, geven vertrouwen in deze kwaliteit van deze hoogtemetingen en de nauwkeurigheid bedraagt enkele centimeters.

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 waardes 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.

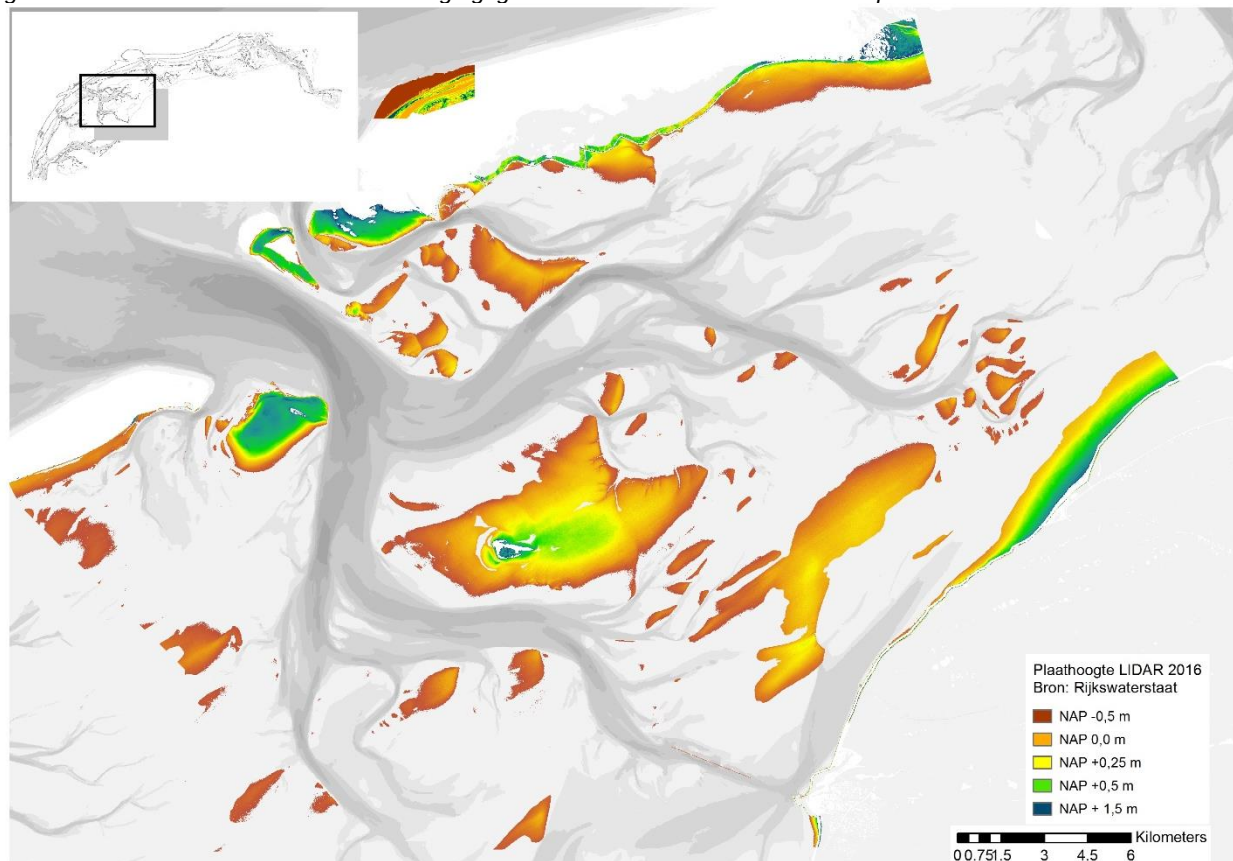
De verschillen zijn groter dan verwacht mag worden op basis van de beide meettechnieken. Vanwege de consistente kwaliteit van de raaimetingen wordt getwijfeld aan de kwaliteit van de opeenvolgende LiDAR-hoogtemetingen.



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



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



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

9.4 Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen

Het blijkt lastig om de LiDAR-metingen te verkrijgen voor het gehele droogvallende areaal, omdat het studiegebied relatief veel laagliggende wadplaten omvat. En de nauwkeurigheid van de LiDAR-metingen is minder groot dan de nauwkeurigheid van de raaimetingen. De resultaten van de LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen laten in de opeenvolgende opnames behoorlijk veel verschillen zien. Die verschillen betreffen zowel de omvang van het areaal waarvan de gegevens zijn ingewonnen, als de hoogte en vorm van de droogvallende platen. Het verschil in het waargenomen areaal is een gevolg van de vereisten die aan de metingen worden gesteld, zoals is uitgelegd in paragraaf 2.2. Omdat een belangrijk deel van het plaatareaal in het invloedsgebied laag ligt, dat wil zeggen in het onderste deel van het intergetijde bereik, is de duur van de laagwaterperiode bij plaatareaal beperkt. Dat betekent dat het water, in vergelijking met hogere wadplaten, weinig tijd heeft om af te stromen via geultjes, of in wadbodem weg te zakken. Daarmee wordt de kans vergroot dat de laserstraal van de LiDAR, in plaats van het sedimentoppervlakte het wateroppervlakte raakt. Dat betekent niet alleen dat daarmee een andere hoogte wordt ingemeten dan bedoeld, maar ook dat veel minder metingen worden uitgevoerd. Dat laatste heeft te maken met de wijze waarop de meting wordt uitgevoerd: het door de bodem verstrooide licht wordt gemeten. Een wateroppervlakte reflecteert meer dan het verstrooid, waardoor minder wordt gemeten.

De vergelijking van de LiDAR hoogtemetingen met de raaimetingen voor de opnames van 2016 en 2019 maakt duidelijk dat de verschillen relatief groot zijn, in vergelijking met de verschillen tussen de opeenvolgende raaimetingen. Hierdoor is het vertrouwen in de uitkomsten van de LiDAR hoogtemetingen minder groot dan dat in de raaimetingen. Daarbij komt dat de LiDAR metingen slechts een beperkt deel omvatten van het gebied waar Pleistocene bodemdaling door zoutwinning kan plaatsvinden.

Daarmee lenen de LiDAR hoogtemetingen van de droogvallende platen zich veel minder dan de raaimetingen voor het signaleren van de kleine morfologische veranderingen waar in de autonome situatie sprake van is. In hoofdstuk 9 zal nader worden ingegaan op de beperkingen van de LiDAR hoogtemetingen en het voorstel voor een alternatieve meetmethode.

De samenhang met de raaimetingen is hierboven en bij de raaimetingen zelf al aangestipt. De raaimetingen geven in de drie raaien een nauwkeurig en frequent inzicht in de hoogteveranderingen. De LiDAR-hoogtemetingen voegen daar het ruimtelijk dekkende beeld van de platen aan toe. De LiDAR hoogtemetingen die door Rijkswaterstaat worden ingewonnen, worden ook gebruikt in de vaklodingen. Omdat de ruimtelijke resolutie van de vaklodingen met 20 m x 20 m veel grover is dan de ruimtelijke resolutie van 5 m x 5 m, is het zinvol om beide te beschouwen.

9.5 Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning

Bij elk hoofdstuk met resultaten van de metingen en de monitoring is een hoofdstuk opgenomen dat de uitkomsten beschouwd alsof al sprake zou zijn van zoutwinning. Uit de voorgaande paragraaf is op te maken dat de LiDAR metingen geen eigenstandige signalering opleveren van veranderingen in de wadbodemhoogte die te relateren zijn aan Pleistocene bodemdaling. Indien zich dergelijke onvoorziene ontwikkelingen 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.

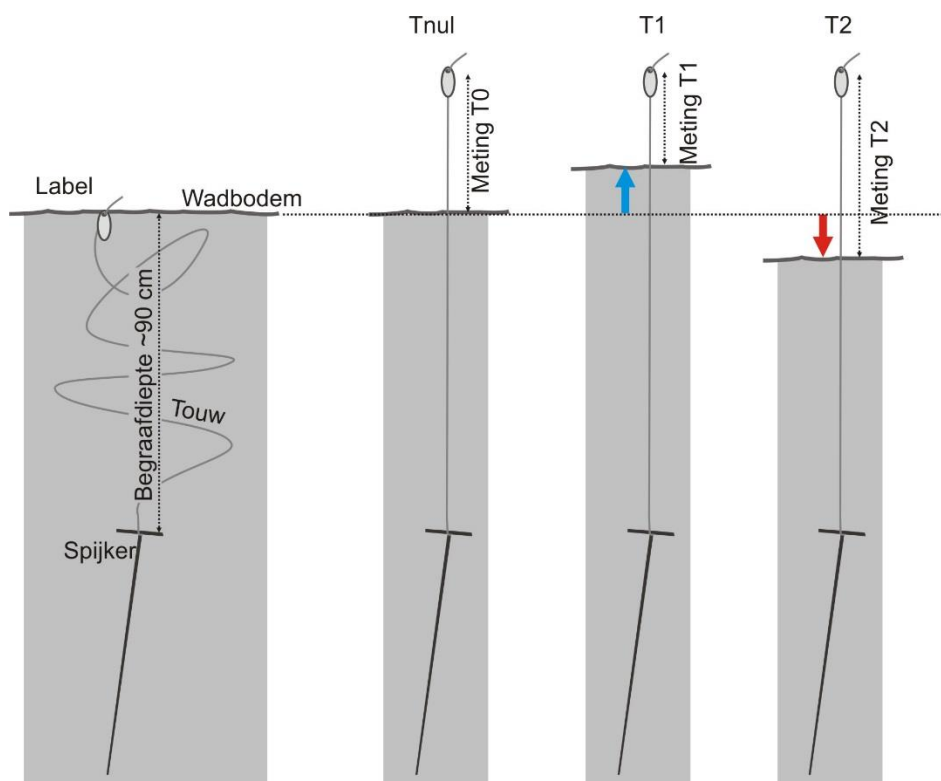
Indien de meetresultaten, zoals weergegeven in Figuur 9-2, zich zouden hebben voorgedaan in een situatie mét bodemdaling, zou de analyse beginnen met een vergelijking met de raaimetingen. De lagere ligging van de Ballastplaat in de LiDAR-metingen is niet gemeten in drie opeenvolgende raaimetingen. Dat geeft meer vertrouwen in de raaimetingen dan in de LiDAR-metingen. Daarna zou ook een vergelijking met de spijkermetingen zijn uitgevoerd. Indien zich wel een verlaging van de Ballastplaat zou hebben voorgedaan (die is gemist in drie opeenvolgende raaimetingen), dan zou de sedimentatiesnelheid, zoals gemeten met de Spijkermetingen, lager moeten zijn dan de snelheid van bodemdaling. Op basis van deze cross-check zou dan zijn geconcludeerd dat de waarnemingen aan de wadbodemhoogte in de raaimetingen prevaleren boven die met de LiDAR.nadre

10 SPIJKERMETINGEN OP DE BALLASTPLAAT

In het monitoringrapport “Wadsedimentatie Studiegebied Zoutwinning Waddenzee; Jaarrapport 2019” (van der Zee et al., 2020) 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. 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 aanvullende 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:

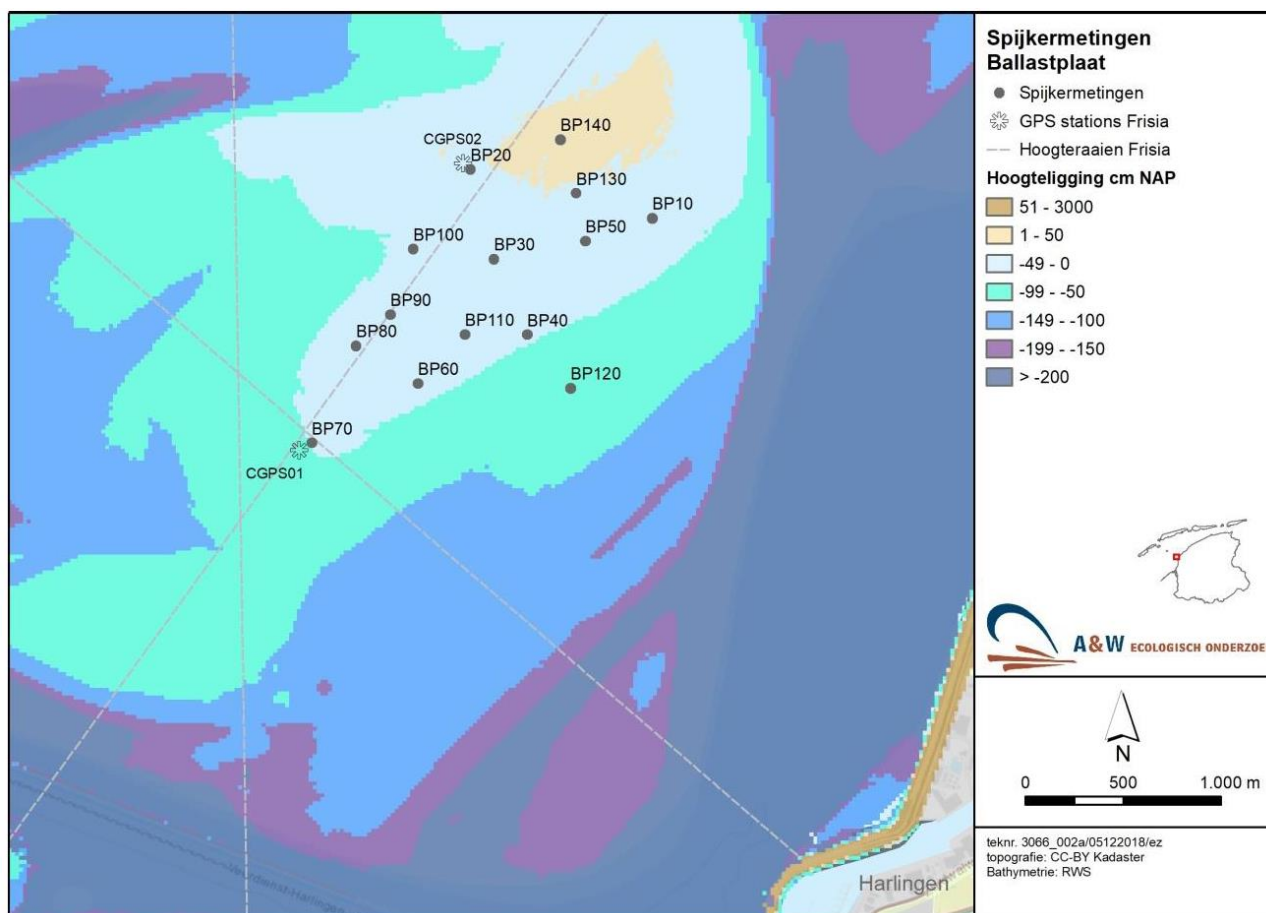
1. Vóór het broedseizoen in maart;
2. In mei om de 2de spijkermeting te laten samenvallen met een raaimeting;
3. In juli (na het broedseizoen en vóórdat overwinterende vogels massaal terugkeren);
4. In september (na het broedseizoen en vóórdat overwinterende vogels massaal terugkeren).

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.

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

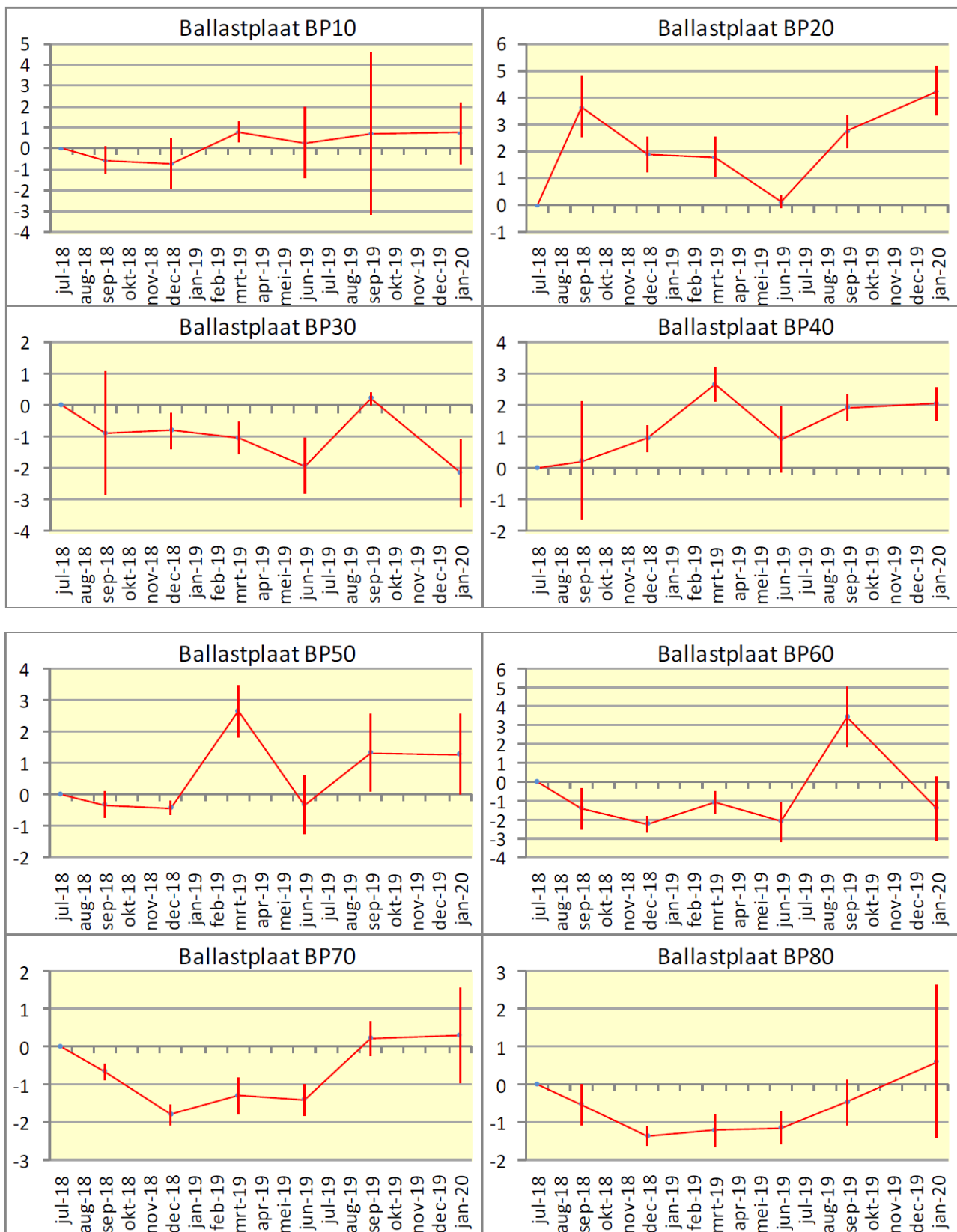
10.2 Gegevens

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 maart 2019 in gemeten met een DGPS-RTK. Het laagstgelegen station heeft een hoogte van NAP -0,84 m en het hoogstgelegen station heeft een hoogte van NAP +0,07 m (het veertiende station heeft waarschijnlijk een nog hogere ligging, maar dit station is geplaatst na de meting met de DGPS-RTK, zodat nog geen hoogtemeting is uitgevoerd).

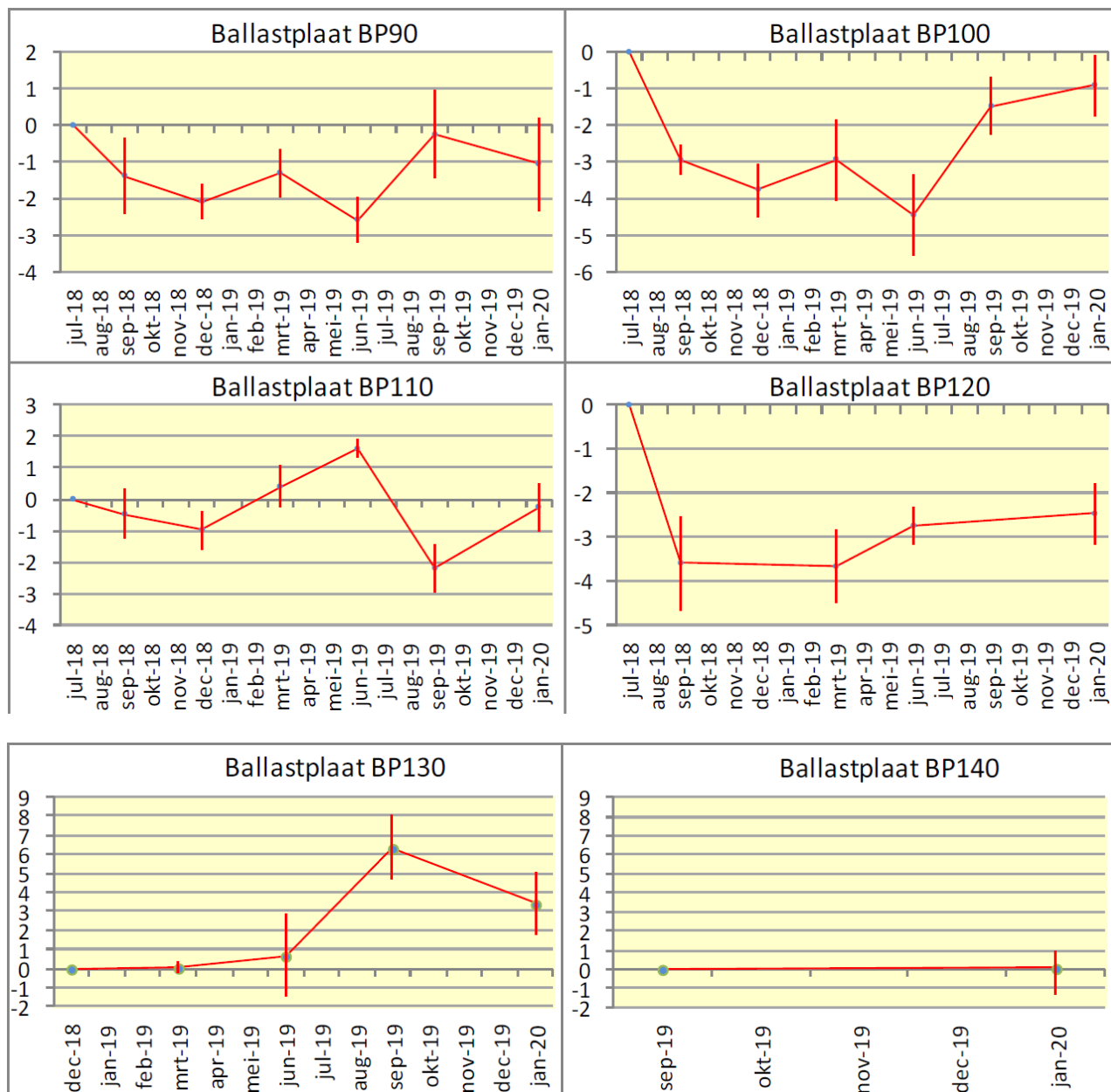


Figuur 10-3 Meetstations van de spijkermetingen en de twee vaste GPS stations op de Ballastplaat (uit van der Zee et al., 2020).

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



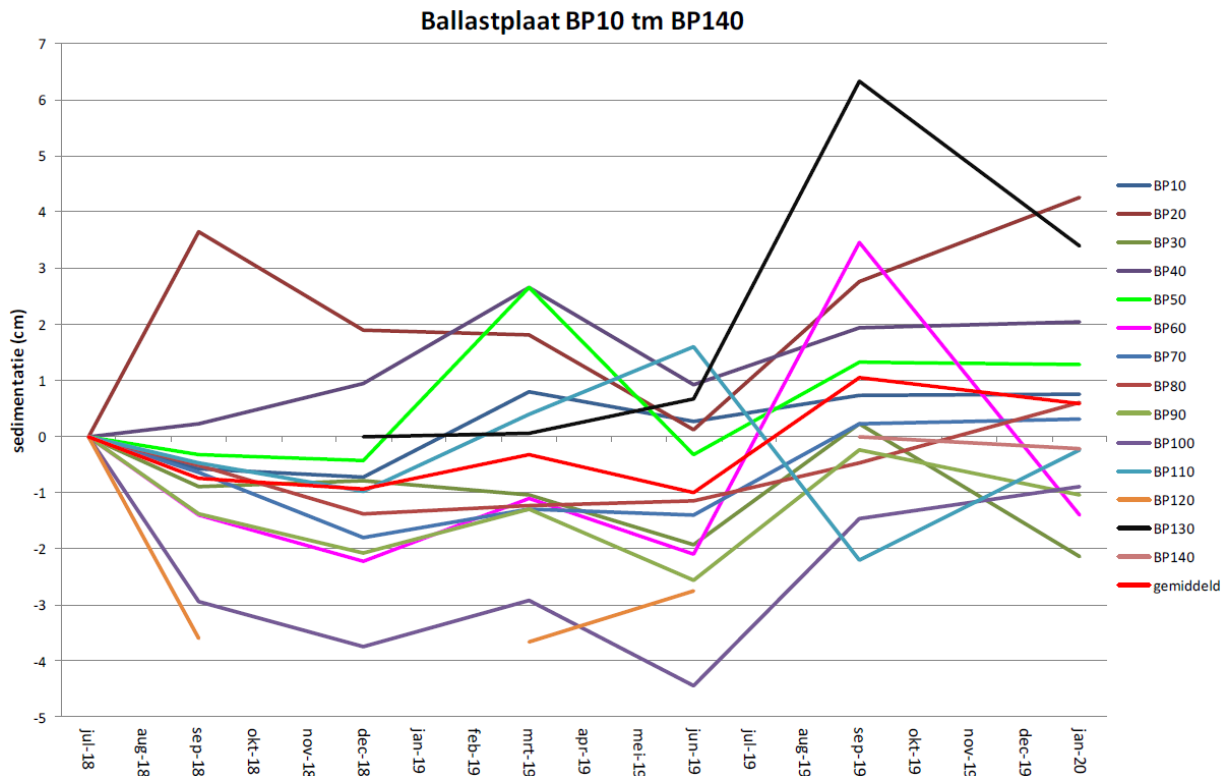
Figuur 10-4 Grafieken met de gemiddelde sedimentatie en standaarddeviatie (balken) van de meetstations BP10-BP60 op Ballastplaat bijgewerkt t/m januari 2020. Op Y-as sedimentatie in cm (uit van der Zee, 2020a).



Figuur 10-5 Grafieken met de gemiddelde sedimentatie en standaarddeviatie (balken) van de meetstations BP70-BP140 op Ballastplaat bijgewerkt t/m januari 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 standaardvariatie 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 -4 cm (BP100) tot een sedimentatie van +6 cm (BP130). Het gemiddelde komt in januari 2020 uit op + 0,5 cm, nadat het in juni 2019 nog -1 cm was. Duidelijk is dat deze sedimentatie in de periode juni-januari 2020 door alle stations gedragen wordt, uitgezonderd BP30. Het algemene beeld van deze nog korte meetreeks is enige erosie over de winter en in maart en in de periode juni-september weer sedimentatie.



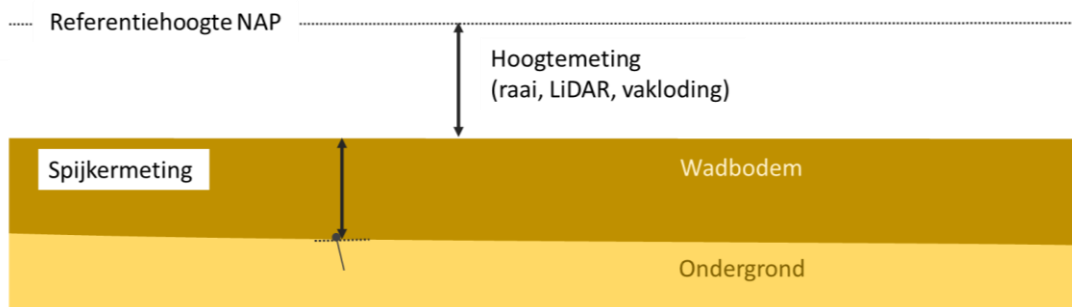
Figuur 10-6 Grafiek met de gemiddelde sedimentatie BP10 tm BP140 en gemiddelde van alle stations op Ballastplaat bijgewerkt t/m januari 2020 (uit van der Zee, 2020a).

10.4 Buikbaarheid en samenhang met andere metingen

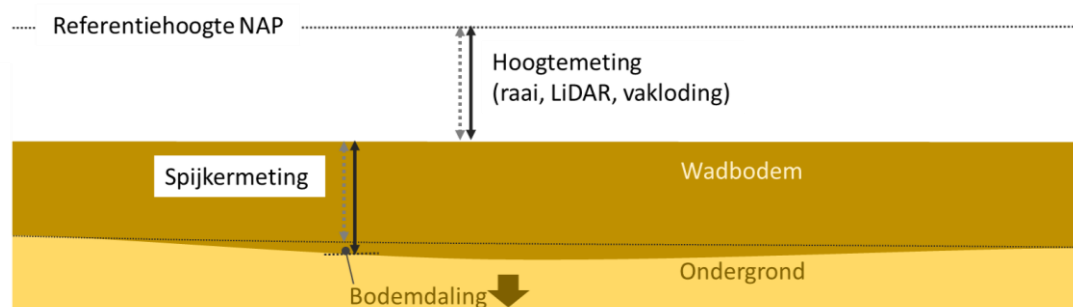
De bruikbaarheid van de spijkermetingen voor het verkrijgen van inzicht in de sedimentatie en erosie op wadplaten is bij de bodemdaling door de gaswinning Ameland en MLV al aangetoond (). Op de Ballastplaat blijken de spijkermetingen ook uitvoerbaar, ondanks de lastiger werkomstandigheden. De inhoudelijke bruikbaarheid van de gegevens zal duidelijk worden naarmate de meetreeks langer wordt.

Bij de raaimetingen is al ingegaan op de drie verschillen tussen de spijkermetingen en de raaimetingen. De spijkermetingen geven aanvullend inzicht in de variatie in de sedimentatie en erosie in de tijd, op een beperkt aantal puntlocaties. Met die informatie ontstaat meer kennis van de tijdelijke variaties die optreden in de bodemligging en dat is zinvol voor het interpreteren van de raaimetingen en de andere morfologische metingen. Daarnaast worden spijkermetingen uitgevoerd ten opzichte van hun eigen lokale referentieniveau, dat wordt gevormd door de in de ondergrond verankerde spijker. In Figuur 10-7 is schematisch aangegeven wat de gevolgen hiervan zijn voor de het meten van hoogte en sedimentatie en erosie. In de figuur is de wadbodem niet verandert, 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 beschouwd zullen worden, om zo inzicht te krijgen in de sedimentatie en erosie onder invloed van de Pleistocene bodemdaling.

10.5 Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning

Bij elk hoofdstuk met resultaten van de metingen en de monitoring is een hoofdstuk opgenomen dat de uitkomsten beschouwd alsof al sprake zou zijn van zoutwinning. Bij de spijkermetingen wordt wanneer Pleistocene bodemdaling optreedt de waargenomen sedimentatiesnelheid 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.

Een hypothetische beschouwing van alleen de gemeten sedimentatiesnelheden, zonder de lokale snelheid van de bodemdaling doet geen recht aan de methode en wordt daarom niet uitgewerkt. In de toekomst kunnen de spijkermetingen, in combinatie met de metingen van de Pleistocene bodemdaling en vergelijking met de raaimetingen, signaleringsmetingen opleveren die te omschrijven vallen als: "Achterblijvende sedimentatie ter plaatse van de bodemdalingsschotel, waardoor een hoogteverandering optreedt in de wadplaten ter plaatse van de bodemdalingsschotel."

11 BENTHOS BEMONSTERING

In het monitoringrapport “Monitoring ecologie studiegebied zoutwinning Waddenzee; Tnul-situatie 2019” (Kater et al, 2020) zijn de resultaten van de analyse van de benthos bemonstering opgenomen.

Op dit moment worden de gegevens van het benthos geanalyseerd met Trendspotter in plaats van met de ARIMA methode die in dit hoofdstuk is beschreven. In de definitieve versie van dit rapport zullen de resultaten van Trendspotter worden opgenomen. De tekst zal hierop worden aangepast. Omdat nog geen Pleistocene bodemdaling door zoutwinning onder de Waddenzee heeft plaatsgevonden, zullen de bevindingen door deze aanpassingen niet veranderen.

11.1 Introductie meetmethode

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 asvrijdrooggewicht 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 (Figuur 11-1). 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.

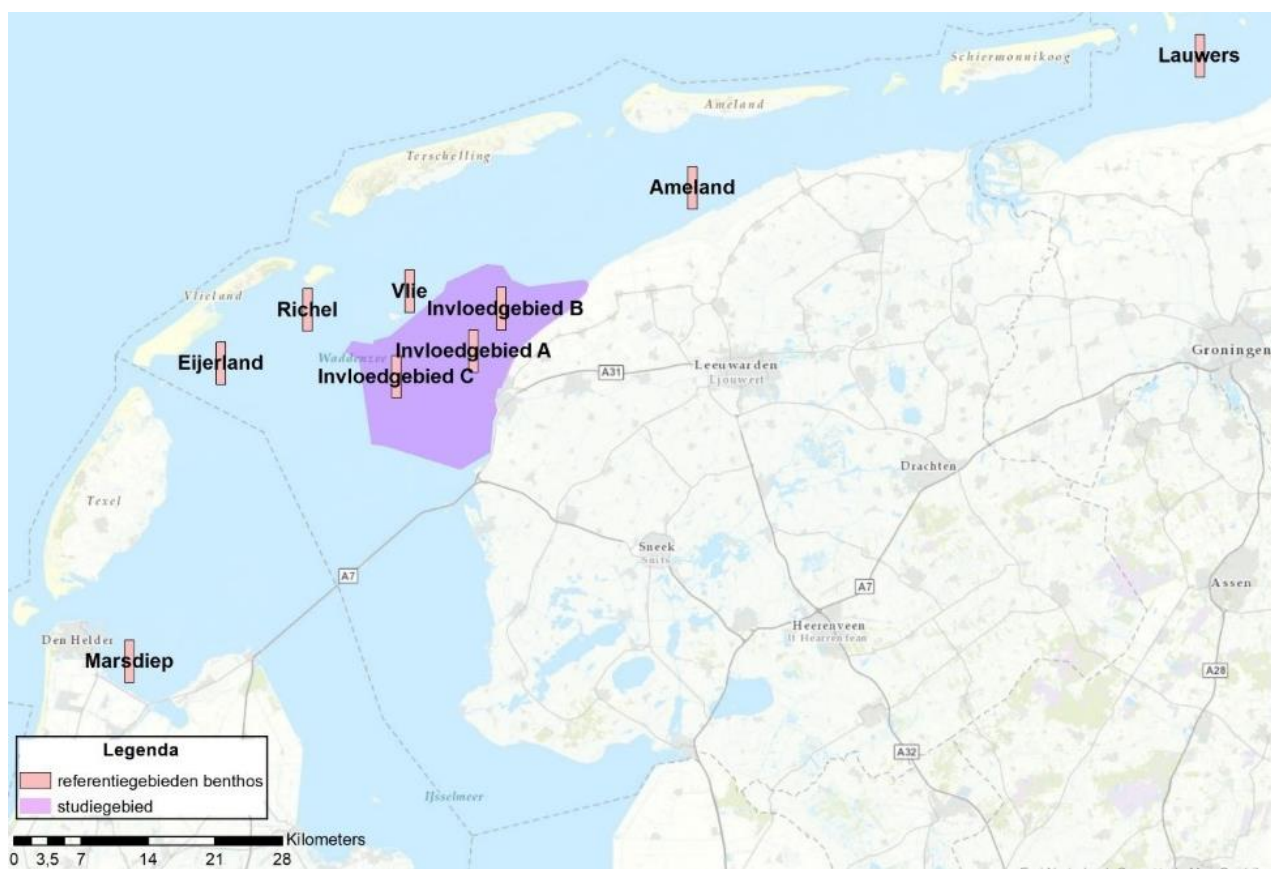
11.2 Gegevens

Wageningen Marine Research monitort sinds 1990 de schelpdierbestanden in de Waddenzee. Hierbij wordt de dichtheid vastgesteld, en het natgewicht inclusief schelp bepaald. De survey richt zich primair op kokkels, maar ook andere schelpdieren worden in kaart gebracht. De bemonstering wordt uitgevoerd in raaien, zoals aangegeven in Figuur 11-2. Naast biomassa en dichtheid wordt de leeftijdsopbouw van de populatie vastgesteld (broed, eenjarig, tweejarig, meerjarig). Bij de raaimetingen wordt gemonitord vanaf een vaartuig of te voet met een stempelkor (0,4 m²; 7 cm diep), een kokkelschepje (0,1 m²; 7 cm diep) of een steekbuis (0,1 m²; 7 cm diep). De monsters worden gezeefd over een vijf mm zeef.

Daarnaast worden de contouren van mosselbanken sinds 1995 in kaart gebracht, en recentelijk ook oesterbanken. Daarbij wordt bepaald: leeftijd/grootte, dichtheid, bedekkingspercentage, hoogte en dikte slib en dichtheid en biomassa (natgewicht incl. schelp) voor mosselen en oesters in de banken, incl. leeftijdsopbouw (zaad, middelgroot, groot). Mossel- en oesterbanken worden bij laag water te voet ingemeten met behulp van een GPS, waarna de contouren in GIS worden vastgelegd en arealen kunnen worden berekend. De bemonstering van de punten in de banken vinden plaats vanaf een vaartuig of te voet met stempelkor (0.4 m²; 10cm diep), hydraulische happer (1.06 m²), kokkelschepje (0.1 m²; 7cm diep) of steekbuis (0.1 m²; 10 cm diep), en gezeefd over een vijf mm zeef.

De monitoring vindt jaarlijks plaats in het voorjaar (april, mei, juni). Het werk valt onder de wettelijke onderzoekstaken op het gebied van visserij, in opdracht van het ministerie van LNV. Er is vooralsnog geen einddatum.

Frisia Zout B.V. koopt de gegevens van de schelpdierssurveys aan bij Wageningen Marine Research.

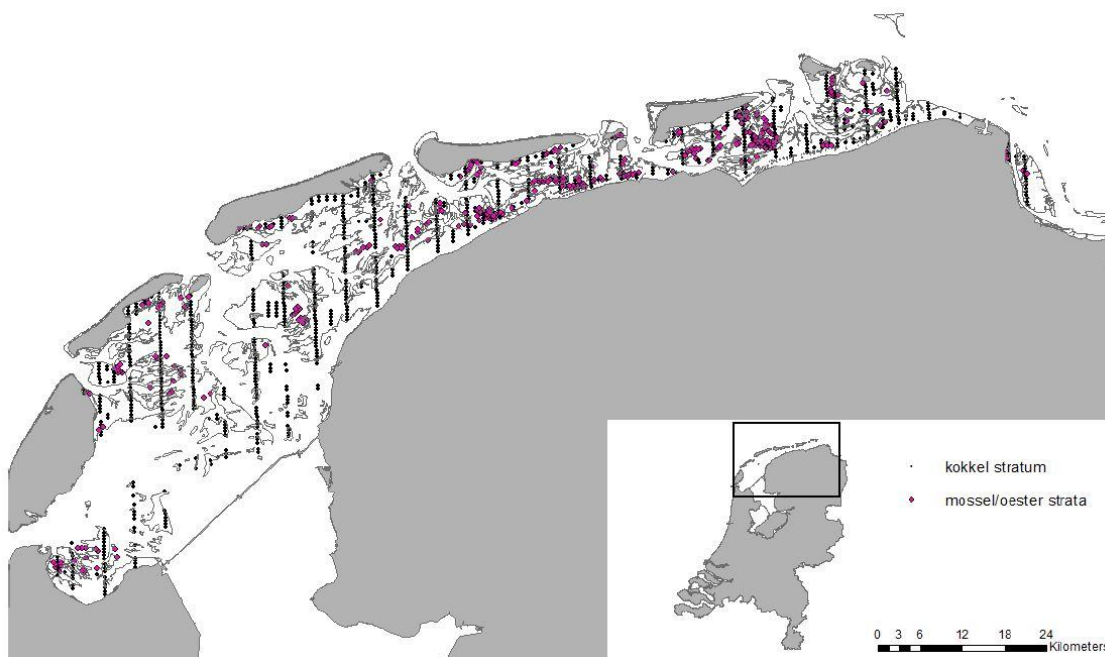


Figuur 11-1 Locaties analysegebieden voor kokkels, mosselen en nonnetjes: 3 binnen het potentiële invloedsgebied en 6 referentie gebieden buiten het potentiële invloedsgebied. Het potentiële invloedsgebied is paars gemarkeerd.

11.3 Benthos en de habitatkwaliteit van de wadplaten

De bodemdaling kan via 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 deze studie is de benthosbemonstering 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. Kokkels, mosselen en nonnetjes zitten in het dieet van de drie de vogelsoorten (zie hoofdstuk 12) en zijn daarmee representatief als prooi-soorten van de drie vogelsoorten. Van deze drie benthossoorten is op dezelfde locaties en over langere tijd betrouwbare data beschikbaar.

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 11-2 Kaart van de schelpdiersurvey door Wageningen Marine Research.

In deze studie zijn de benthosdata van mei gebruikt, omdat deze maand representatief is voor de voorraad in de zomer. Die schelpenvoorraad is beschikbaar in de maand september en dat is de maand waarvan de vogelaantallen zijn geanalyseerd. Met schelpdierbemonstering is sprake van locatie in een bepaald jaar met uitschieters in positieve of negatieve zin, omdat schelpdierbanken zich in dan wel uit de meetraai verplaatsen.

11.4 Aanpak van de ecologische analyses

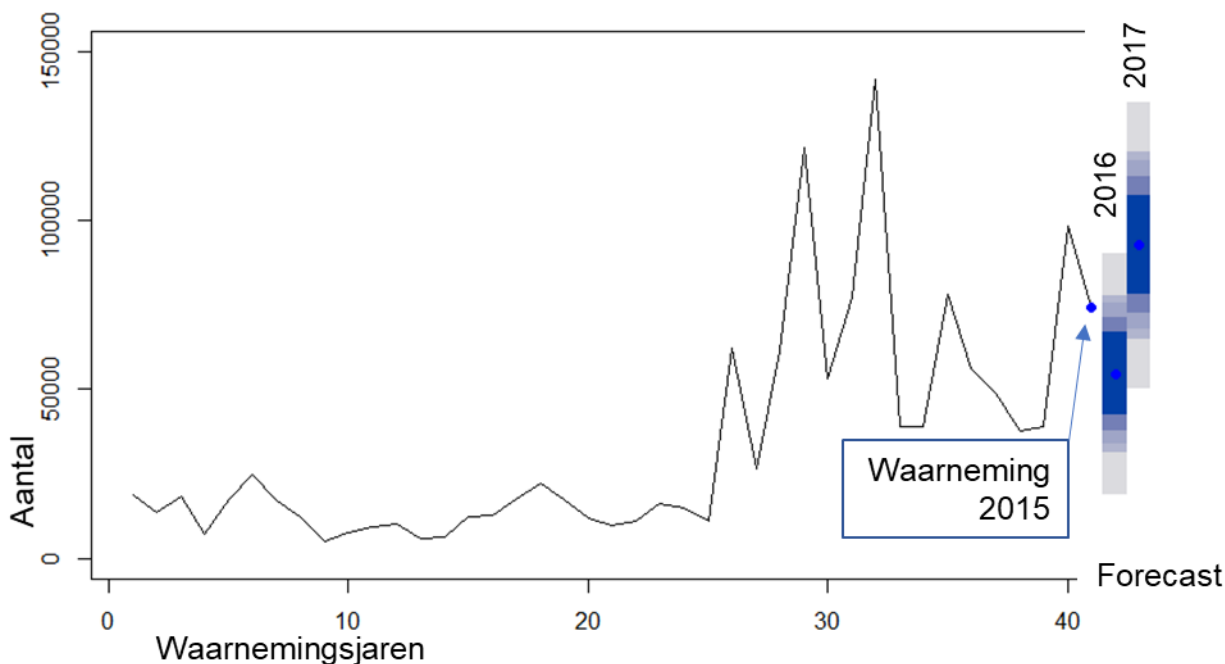
Bij de ecologische analyse worden een aantal stappen doorlopen, die hieronder in meer detail worden toegelicht. De eerste stap is het bepalen van de trends en de signaleringswaarden per gebied, op basis van de waarnemingsreeksen voorafgaand aan het jaar waar de analyse betrekking op heeft. De data van 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 signaleringswaarden. De tweede stap in de analyse is 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 zal een nadere analyse plaatsvinden.

Bepalen signaleringswaarden

De basis voor de ecologische analyse is een bepaling van de trends per analysegebied. Vanwege de grote variaties in de aantallen en de biomassa van de schelpdiersoorten en de aantallen vogels is geen eenvoudige lineaire trend bepaald, maar is een uitgebreide statistische analyse uitgevoerd. De waarnemingsreeksen van de afgelopen 29 jaar (benthos) en 44 jaar (hoogwatervluchtplaatsen) laten patronen over de afgelopen jaren zien. Uit deze patronen worden de trends bepaald. Deze trends hebben een bepaalde betrouwbaarheid en dit geeft ondergrenzen en bovengrenzen, waarvoor de term 'signaleringswaarde' gehanteerd. De signaleringswaarden worden gebruikt om vast te stellen of een verstoring in het systeem een verandering in het patroon teweegbrengt. Dit wordt ook wel een trendbreuk genoemd. Om vast te stellen of sprake is van een trendbreuk worden gekeken of de signaleringswaarde worden onderschreden (eronder) of overschreden (erboven) door de gemeten waarden.

De hoge en lage signaleringswaarde vormen een bandbreedte, die hoort bij een bepaald 'betrouwbaarheidsinterval'. Het betrouwbaarheidsinterval, of de kans van optreden, geeft weer hoe waarschijnlijk het is een toekomstige, te meten waarde, binnen de bandbreedte (tussen de signaleringswaarden) ligt. Hoe groter het betrouwbaarheidsinterval, des te groter de bandbreedte is. Bekend is de 95% betrouwbaarheidsinterval. Deze geeft aan dat indien deze meting 100 maal wordt herhaald de gemeten waarde 95 maal binnen het interval zal liggen. De grote variatie die optreedt in de aantallen en biomassa van de schelpen en ook in de aantallen vogels betekent een grote betrouwbaarheidsinterval en een grote bandbreedte. Figuur 11-3 laat zien hoe de bandbreedtes bij de verschillende betrouwbaarheidsintervallen er uit zien voor de aantallen van één vogelsoort (voor de vogelaantallen wordt dezelfde analysemethode gehanteerd), op één locatie en één periode.

Figuur 11-3 toont de signaleringswaarden voor 2016 en 2017 op basis van de september telgegevens van de 1975 tot 2015. De telgegevens van 2016 en 2017 zijn gebruikt om te vergelijken met de signaleringswaarden. De trend wordt steeds onnauwkeuriger, met een grotere spreiding van de bandbreedte, naarmate er meer jaren worden beschouwd. Dit is inherent aan het voorspellend vermogen van elke trendanalyse. Voor de jaren 2016 en 2017 is de spreiding realistisch, als wordt gekeken naar de pieken en de dalen in de voorgaande periode. De signaleringswaarden bij het 95% betrouwbaarheidsinterval voor het jaar 2016 zijn 18.985 en 90.107 individuen. In 2016 zijn er in de septembermaand 34.800 individuen geteld en dat valt binnen de signaleringswaarden bij het 95% betrouwbaarheidsinterval. De getelde aantallen in 2016 passen ook nog binnen de signaleringswaarden die horen bij het 80% betrouwbaarheidsinterval, maar vallen buiten de signaleringswaarden die horen bij het 65% betrouwbaarheidsinterval. Gekeken naar de historische waarden zouden 26 jaren (bijna alle jaren voor 1999) buiten de spreiding van het 95% betrouwbaarheidsinterval vallen en dat zou aanleiding zijn voor een nadere analyse, waarover verder op meer.



Figuur 11-3 Voorbeeld van de signaleringswaarden of bandbreedte vastgesteld met een statistische analyse (ARIMA), op basis van de waarnemingen aan de aantallen Bonte Strandlopers van 1975 tot en met 2015 (septembertellingen, gebied WG 12). De blauwe-grijze vlakken geven de trendmatig bepaalde aantallen weer in 2016 en 2017, waarbij de donkerblauwe tot en met lichtgrijze vlakken de verschillende betrouwbaarheidsintervallen weergeven (95%, 80%, 75%, 65%, 50%).

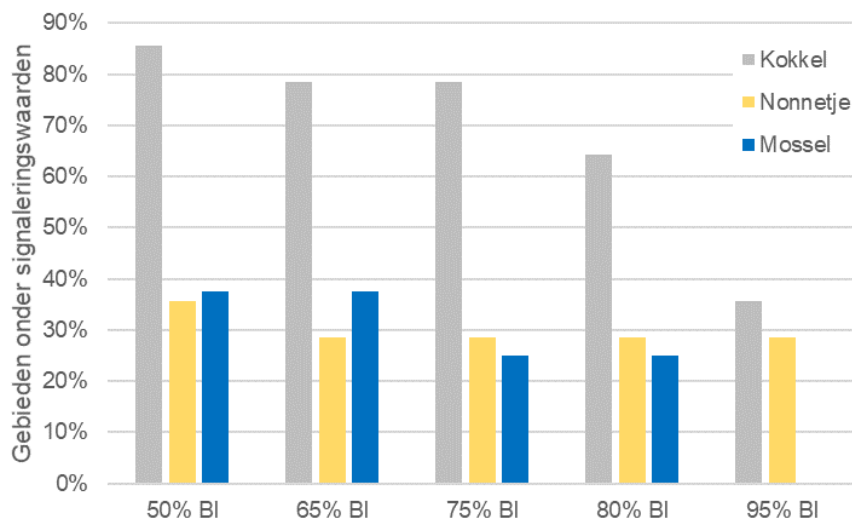
Betrouwbaarheidsinterval van de signaleringswaarden

De signaleringswaarden dienen als eerste stap om waar te nemen of er een mogelijk ecologisch effect van de zoutwinning is. Voor een werkbare methode is het van belang om een balans te vinden waarbij de signaleringswaarden aan de ene kant scherp genoeg staan afgesteld, zodat ook kleine trendbreuken worden gesignaleerd, maar aan de andere kant ook zo scherp dat niet elke natuurlijke variatie als mogelijke trendbreuk wordt gezien.

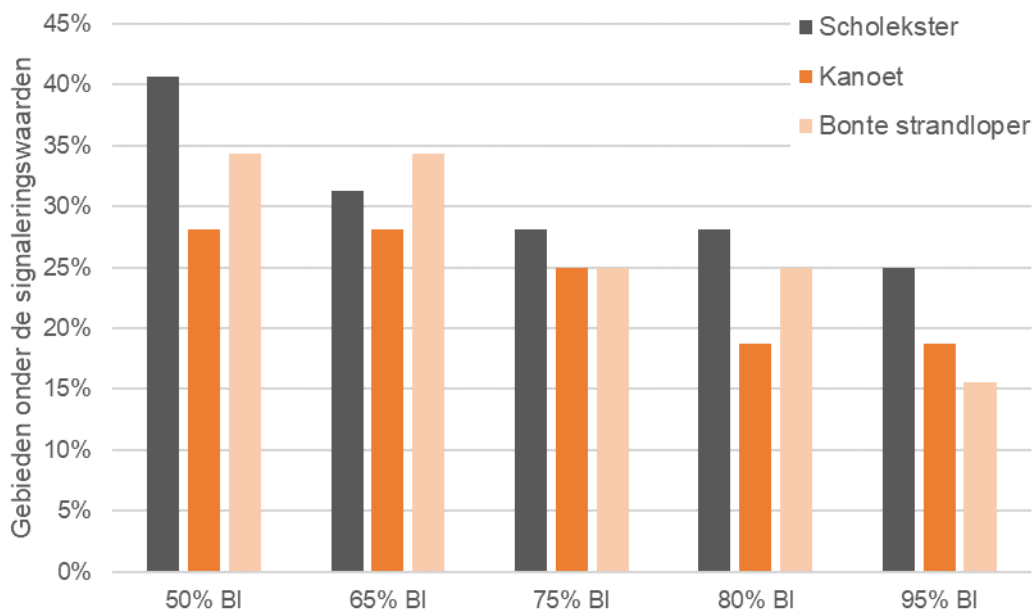
Voor de signalering is, na analyse van verschillende betrouwbaarheidsintervallen (zie onderstaande figuren), gekozen voor een betrouwbaarheidsinterval van 80%. In figuur 1-4 is voor de benthos dichtheden (n/m^2) weergegeven welk percentage van de gebieden de signaleringswaarden onderschrijdt voor verschillende betrouwbaarheidsintervallen (50%, 65%, 75%, 80% en 90%) in de jaren 2017 & 2018. Deze onderschrijdingen betekenen dat de waargenomen aantallen schelpdieren van de betreffende soort lager zijn dan wat op grond van de trend in het betreffende gebied mag worden verwacht. De betrouwbaarheidsintervallen zijn berekend met de trendanalyses van de historische datareeks per gebied. In figuur 1-4 is zichtbaar dat bij het 95 % betrouwbaarheidsinterval er geen gebieden meer zijn die qua aantallen mosselen onder de signaleringswaarden vallen. Dit betekent dat het betrouwbaarheidsinterval zo breed is dat mogelijke effecten ten gevolge van Pleistocene bodemdaling worden gemist. Bij de kokkel is te zien dat de aantallen in veel van de gebieden onder de signaleringswaarden van de verschillende betrouwbaarheidsintervallen vallen. Het 80% betrouwbaarheidsinterval detecteert voor de mossel wel gebieden onder de signaleringswaarde en is tegelijkertijd voor de kokkel niet te overgevoelig.

Ditzelfde principe is toegepast op de september vogeltellingen van de scholekster, kanoet en bonte strandloper (figuur 1-5). Hier zijn de tellingen van de jaren 2016 & 2017 gebruikt om te kijken wat voor percentage van de gebieden onder de signaleringswaarden vallen voor verschillende betrouwbaarheidsintervallen. Hieruit blijkt dat de 50 & 65% betrouwbaarheidsintervallen waarschijnlijk te overgevoelig zijn en dat er daardoor te veel gebieden binnen de signaleringswaarde vallen. De 75% en 80% betrouwbaarheidsintervallen verschillen alleen voor de kanoet. In het geval van de vogels zou in plaats van het 80% ook het 75% betrouwbaarheidsinterval gekozen kunnen worden. Vooralsnog is gekozen voor het hanteren van hetzelfde 80% betrouwbaarheidsinterval voor het benthos en de vogels. Het

betrouwbaarheidsinterval van 80%, met de daarbij horende signaleringswaarden geeft voldoende inzicht in de trend die er het volgende jaar verwacht wordt, maar laat ook ruimte voor onderzoek en trendbreuk.



Figuur 1-4. Het percentage van gebieden dat de signaleringswaarde onderschrijft voor de aantallen (n/m^2) van kokkel, nonnetje en mossel in 2017 en 2018 bij het gebruik van betrouwbaarheidsintervallen (BI) van 50%, 65%, 75%, 85% en 95%.

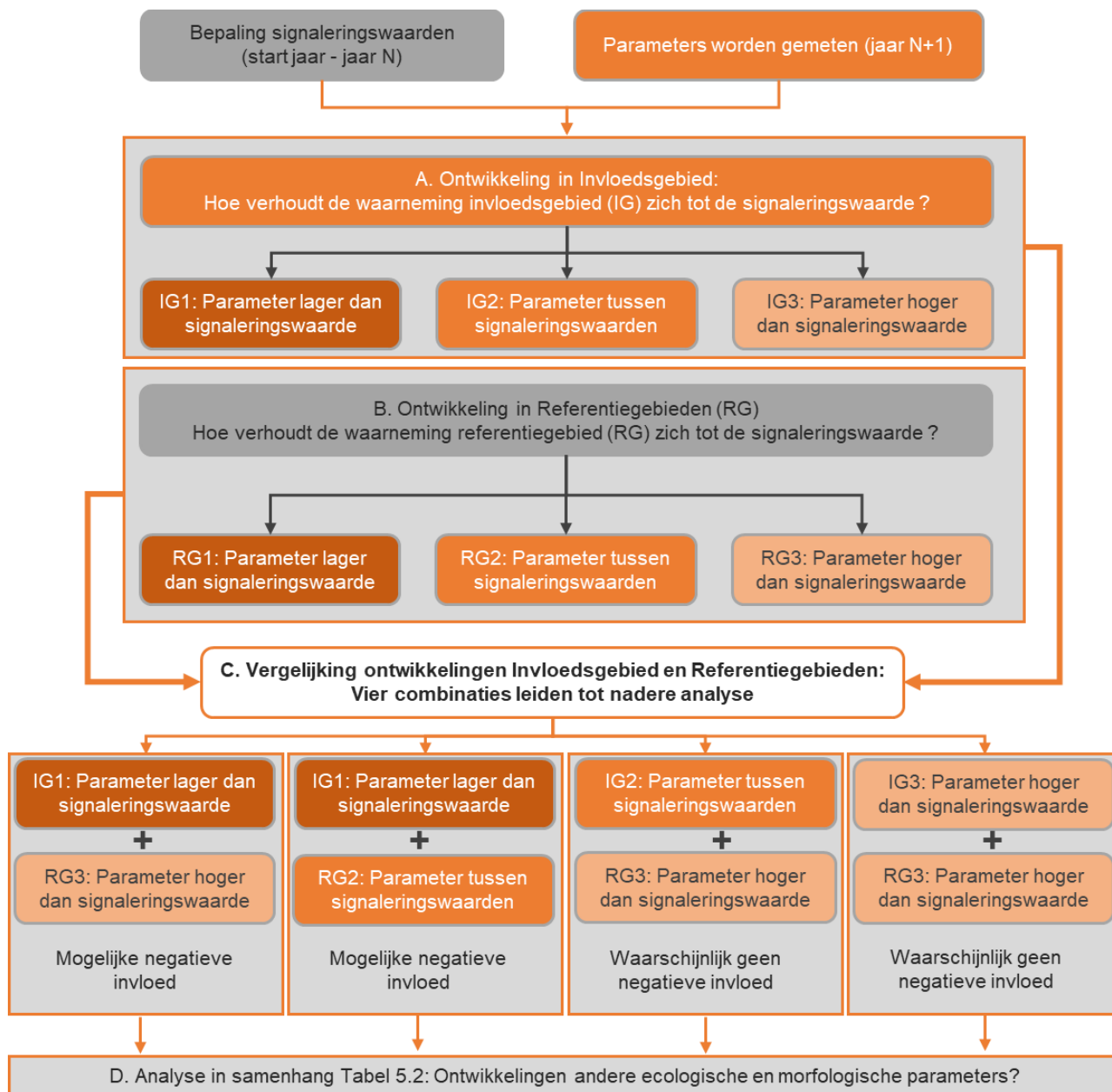


Figuur 1-5: Het percentage van gebieden ($n=16$) dat de signaleringswaarde onderschrijft voor de septeembertellingen van scholekster, kanoet en bonte strandloper in 2016 en 2017, bij het gebruik van betrouwbaarheidsintervallen (BI) van 50%, 65%, 75%, 85% en 95%.

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 11-4). 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 signaleringswaarden (valt de gemeten waarde binnen of buiten de bandbreedte). Dit wordt gedaan voor het invloedsgebied (A in Figuur 11-4) en voor de referentiegebieden (B in Figuur 11-4). Daarna wordt de vergelijking uitgevoerd van de ontwikkelingen in het invloedsgebied en in de referentiegebieden (C in Figuur 11-4). De mogelijke combinaties van de ontwikkelingen in het invloedsgebied en de referentiegebieden zijn opgenomen in Tabel 11.1, waarbij ook is aangegeven wat de interpretatie van de ontwikkelingen is.



Figuur 11-4 Algemeen beslisschema voor de analyse van de ecologische parameters.

Wanneer in het invloedsgebied de parameters boven de signaleringswaarde uitkomen, dan zal waarschijnlijk geen sprake zijn van gevolgen van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning. Alleen wanneer in de referentiegebieden de ontwikkelingen ook boven de signaleringswaarden uitkomen, dan wordt een controlerende analyse uitgevoerd. Die analyse is erop gericht om vast te stellen of de ontwikkelingen in de referentiegebieden misschien nog gunstiger zijn dan die in het invloedsgebied.

Wanneer in het invloedsgebied de parameters binnen de bandbreedte vallen (tussen de signaleringswaarde uitkomen), dan zal waarschijnlijk ook geen sprake zijn van gevolgen van de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning. Ook hier wordt een nadere analyse uitgevoerd wanneer in de referentiegebieden de

ontwikkelingen boven de signaleringswaarden uitkomen. Die analyse is erop gericht om vast te stellen of de ontwikkelingen in de referentiegebieden misschien gunstiger zijn dan die in het invloedsgebied.

Wanneer in het invloedsgebied de parameters onder de signaleringswaarde 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, dan vindt een nadere analyse plaats.

In de analyse in het voorgaande Tnul-rapport zijn alleen de parameters beschouwd die onder de signaleringswaarde vallen. In de voorliggende analyses is dit uitgebreid met het beschouwen van de parameters boven de bandbreedte.

Tabel 11.1: Mogelijke combinaties van de verschillen tussen gemeten parameter en de signaleringswaardes in het invloedsgebied en de referentiegebieden. In het voorliggende rapport zijn de situaties 'Lager dan de signaleringswaarde' en 'Hoger dan de signaleringswaarde' beschouwd.

Invloedsgebied	Referentiegebieden	Interpretatie	Relatie met zoutwinning
Hoger dan signaleringswaarde			
Hoger dan signaleringswaarde	Hoger dan signaleringswaarde	Waddenzee brede toename, groter dan trend	Waarschijnlijk geen negatieve invloed, <u>controlerende analyse</u>
Hoger dan signaleringswaarde	Binnen interval signaleringswaarden	Toename in invloedsgebied, groter dan trend	Geen negatieve invloed
Hoger dan signaleringswaarde	Lager dan signaleringswaarde	Toename in invloedsgebied, groter dan trend; In referentiegebieden afname groter dan trend	Geen negatieve invloed
Binnen interval signaleringswaarden			
Binnen interval signaleringswaarden	Hoger dan signaleringswaarde	Verwachte ontwikkeling in invloedsgebied; Toename in referentiegebieden	Waarschijnlijk geen negatieve invloed, <u>controlerende analyse</u>
Binnen interval signaleringswaarden	Binnen interval signaleringswaarden	Verwachte ontwikkeling in invloedsgebied en in referentiegebieden	Geen negatieve invloed
Binnen interval signaleringswaarden	Lager dan signaleringswaarde	Verwachte ontwikkeling in invloedsgebied; afname in referentiegebieden	Geen negatieve invloed
Lager dan signaleringswaarde			
Lager dan signaleringswaarde	Hoger dan signaleringswaarde	Afname in invloedsgebied, groter dan trend, Toename in referentiegebieden, groter dan trend	Mogelijk negatieve invloed: <u>nadere analyse</u>
Lager dan signaleringswaarde	Binnen interval signaleringswaarden	Afname in invloedsgebied, groter dan trend; Verwachte ontwikkeling in referentiegebieden	Mogelijk negatieve invloed: <u>nadere analyse</u>
Lager dan signaleringswaarde	Lager dan signaleringswaarde	Afname in invloedsgebied en in referentiegebieden, groter dan trend: Waddenzee brede verandering	Geen negatieve invloed

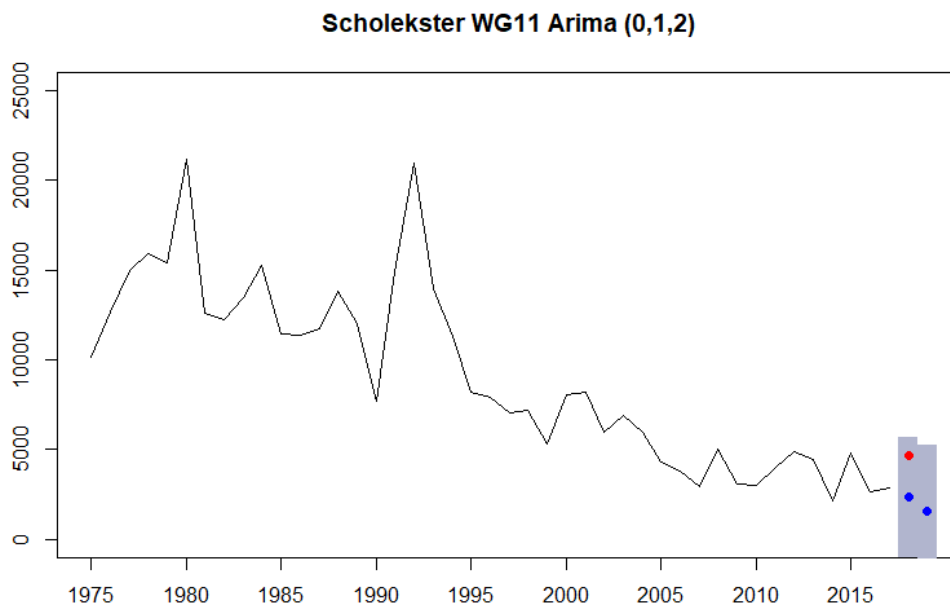
Trendspotter

Signaleringswaarden zijn af te leiden met verschillende statistische methoden. In de huidige aanpak zijn ARIMA-modellen gebruikt. Een alternatief is het softwarepakket Trendspotter. Trendspotter maakt gebruik van structurele tijdreeksmodellen (STMs) in tegenstelling tot de ARIMA-modellen die geclassificeerd worden als niet-structurele tijdsreeksmodellen. Beide modelklassen worden gebruikt om tijdmeetreeksen beter te begrijpen en om toekomstige datapunten te kunnen extrapoleren op basis van trends. Zowel bij de Trendspotter-modellen als bij de ARIMA-modellen wordt er gebruik gemaakt van een zogenaamde Kallman filter (algoritme) om de data te filteren, “smoothen” en te extrapoleren. Hierbij geldt dat bij de “smoothing” techniek de betrouwbaarheidsintervallen aan het begin en eind van de reeks groter zijn dan in het midden. Trendspotter heeft vergelijkbare restricties als de ARIMA's ten aanzien van de data. Zo mogen er niet te veel 0 waarden in een dataset zitten of waarden dichtbij 0 en tijdseries mogen niet te kort zijn. Bovendien kan er geen rekening worden gehouden in het model met onzekerheden die verkregen zijn met imputatie van ruwe data. Het gebruik van vogeltellingen van de maand september, waarbij er nauwelijks data wordt bij geschat, is hierdoor te prefereren.

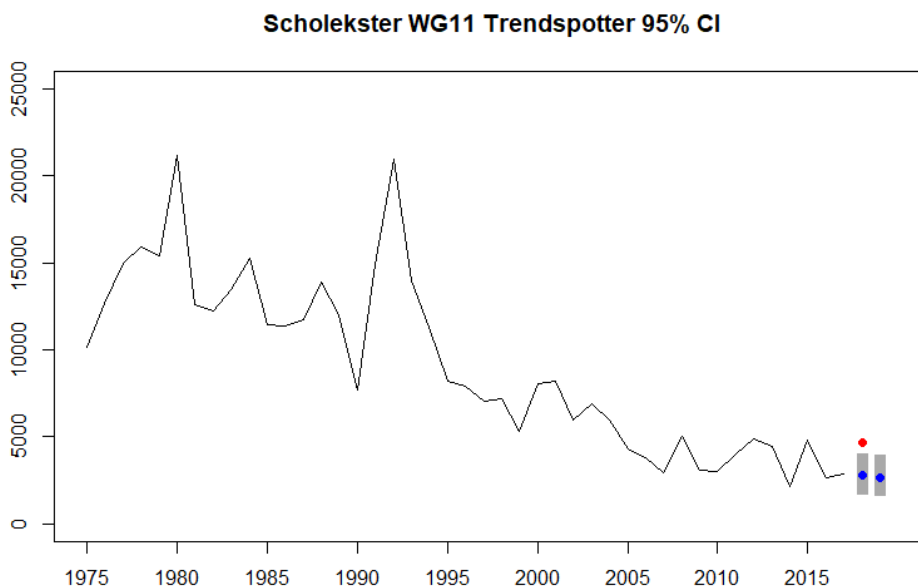
Het verschil tussen de twee klassen is dat in structurele tijdreeksmodellen elk component van de dataset (trend, seizoenspatroon, mogelijke verklarende variabelen en ruis) expliciet gemodelleerd kunnen worden. Hierdoor wordt inzichtelijk hoe een meetreeks is opgebouwd en kunnen de verschillende componenten apart worden geïnterpreteerd. Bij een ARIMA is de decompositie van de verschillende componenten in principe niet mogelijk of in ieder geval erg lastig (Visser, 2002). De mogelijkheid om afzonderlijk de seizoenspatronen of de weging van mogelijke verklarende variabelen te kunnen interpreteren kan helpen in de analyses. Een notie blijft hierbij wel dat data van de verklarende factoren meetbaar en beschikbaar moet zijn en in een dynamisch gebied als de Waddenzee kan dit lastig zijn. De invloeden van verschillende verklarende factoren zijn namelijk moeilijk van elkaar te onderscheiden.

Voor het vaststellen van de signaleringswaarden is het van belang dat er een goede trendextrapolatie van de toekomstige aantallen aan benthos en vogels gemaakt kan worden. Het vermogen om trends te extrapoleren van een ARIMA doet niet onder voor dat van de structurele tijdreeksmodellen in Trendspotter, zeker als er geen gegevens van verklarende variabelen bekend zijn. Als de onderliggende structuur van tijdseriesdata niet al te ingewikkeld is, dan zijn de ARIMA's en structurele modellen gelijk aan elkaar. In veel gevallen van de huidige analyses op de vogel en benthos data betreft het relatief simpele ARIMA-modellen en zal het gebruik van Trendspotter voor de trends hier weinig verschil maken.

Figuur 11-5 laat zowel de waargenomen aantallen scholeksters zien, als de toekomstige aantallen, zoals bepaald aan de hand van de trend. Bij de toekomstige aantallen is ook de bandbreedte aangegeven, die past bij het 80% betrouwbaarheidsinterval. **Figuur 11-6** laat dezelfde waargenomen aantallen zien, maar dan met de toekomstige aantallen, zoals bepaald met Trendspotter, inclusief de het 95% betrouwbaarheidsinterval van de trend. De aantallen verschillen iets, net als de bandbreedtes. Trendspotter legt iets meer nadruk op de trends en ARIMA meer op de kortdurende fluctuaties. Het verschil in de omvang van de bandbreedte tussen in de beide grafieken is enerzijds een gevolg van het verschil in definities (standaarddeviatie van de voorspelling tegenover de standaarddeviatie van de trend) en anderzijds van de keuze voor het interval. In beide grafieken zijn de waargenomen aantallen in 2018 weergegeven met een rode stip. De waargenomen aantallen liggen boven de beide trends.



Figuur 11-5 Grafiek met de waarnemingen en de ARIMA-trends van de aantallen scholeksters op de HVP WG11 (Texel). De 80% zekerheidsmare is in lichtgrijs weergegeven. De rode punt staat voor de gemeten waarden in 2018 en de blauwe punten voor de trendwaarden in 2018 en 2019.



Figuur 11-6 Grafiek met de waarnemingen en de Trendspotter-trend van de aantallen scholeksters op de HVP WG11 (Texel). De 95% zekerheidsmare is in lichtgrijs weergegeven. De rode punt staat voor de gemeten waarden in 2018 en de blauwe punten voor de trendwaarden in 2018 en 2019.

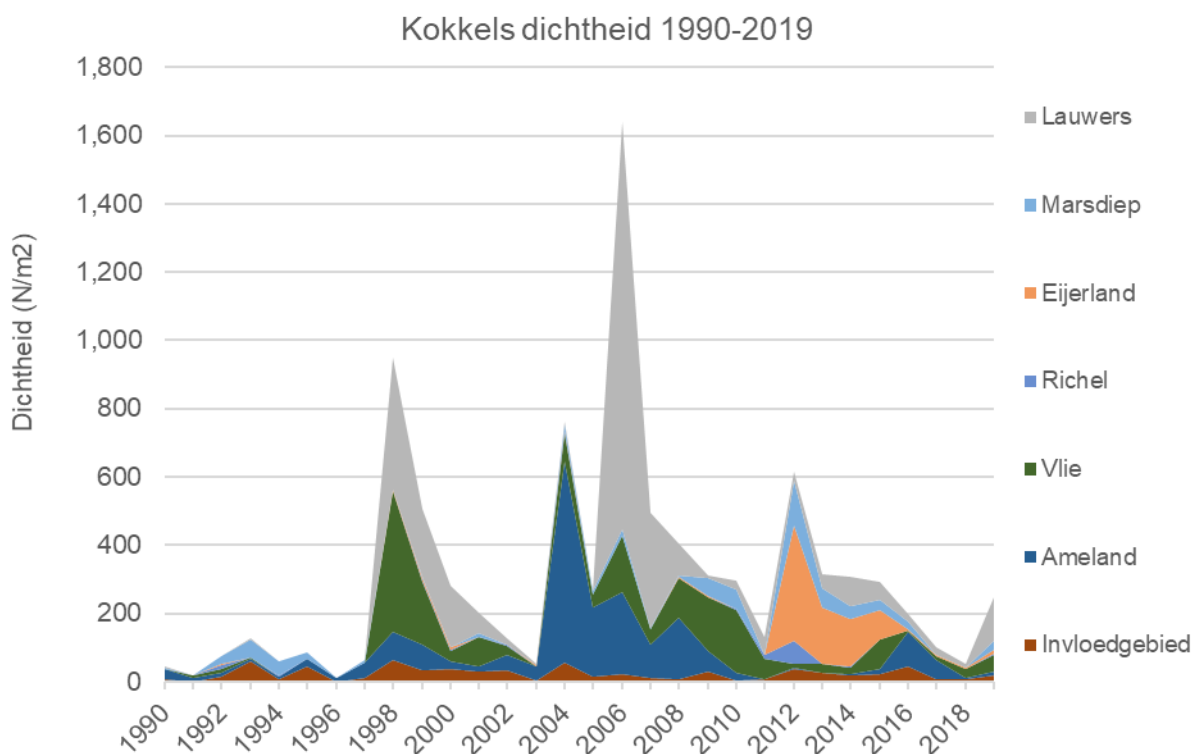
Op basis van de vergelijking kan geen voorkeur worden uitgesproken voor de ene of de ander methode. Vanwege de bewerkelijkheid van de gegevensbewerking en -verwerking voor de Trendspotter-analyse, is in deze rapportage gewerkt met de ARIMA-analyses.

11.5 Analyse en interpretatie

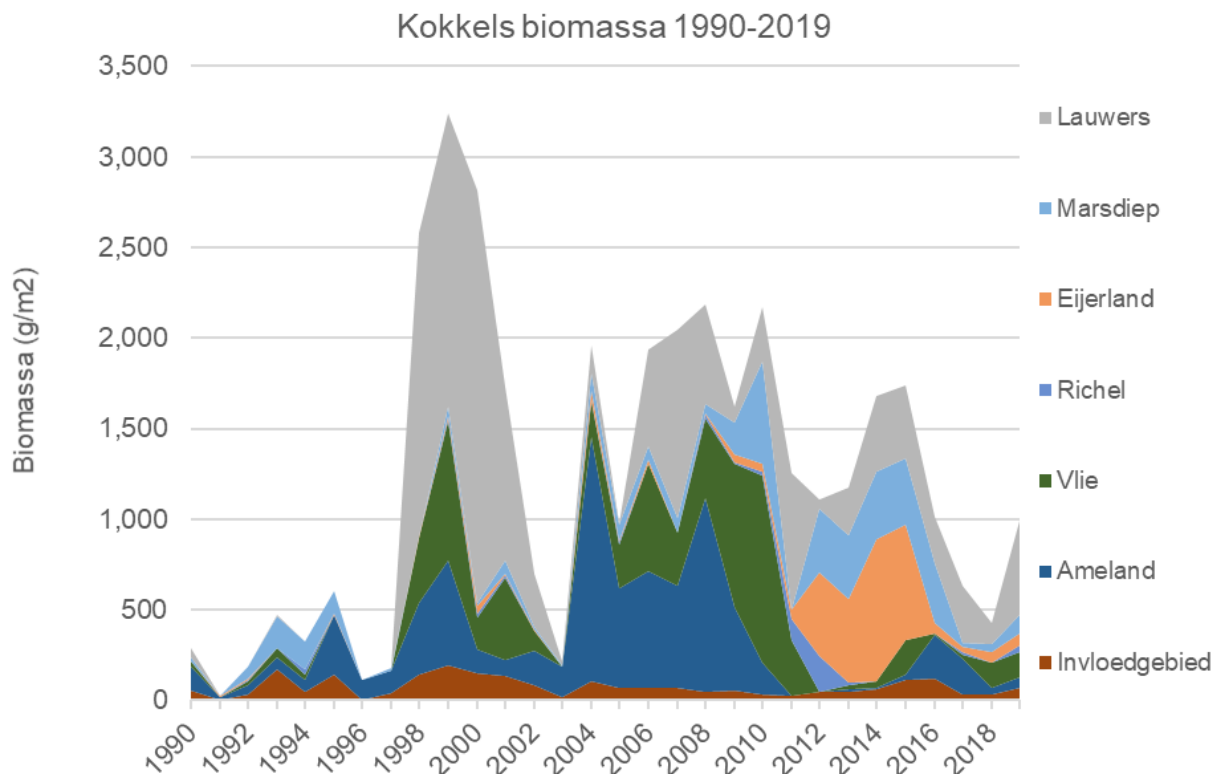
In de achtergrondrapportage (Kater et al., 2020) zijn de gemeten dichtheden en biomassa in 2018 en 2019 opgenomen, met de op basis van de ARIMA's vastgestelde onder- en bovengrens. In de voorliggende rapportage is opgenomen of sprake is van een onder- of overschrijding in het gebied in 2018 en 2019. Dit is een fictieve oefening omdat er nog niet met zoutwinning is begonnen.

Kokkels (Figuur 11-7, Figuur 11-8 en Tabel 11.2)

Dat de waarnemingen aan de aantallen en dichtheden van kokkels zeer grote variaties zien, zowel in de tijd als tussen de gebieden is ook duidelijk aan de onderschrijdingen die in verschillende referentiegebieden optreden in 2017 en 2018. 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 van de kokkels in verschillende referentiegebieden (Figuur 11-8). 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. Omdat nog geen zoutwinning heeft plaatsgevonden, heeft deze onderschrijding van de ondergrens gedurende twee opeenvolgende jaren geen relatie met de zoutwinning.



Figuur 11-7 Grafiek met de dichtheid van kokkels in de verschillende referentiegebieden en het invloedsgebied van 1990 tot en met 2016.



Figuur 11-8 Grafiek met de biomassa van kokkels in de verschillende referentiegebieden en het invloedsgebied van 1990 tot en met 2016.

In het invloedsgebied wordt in 2018 zowel de biomassa als de dichtheid beneden de signaleringwaarde gescoord en in 2019 ligt de dichtheid nogmaals onder de signaleringswaarde. De biomassa onder de signaleringswaarde in 2018 zou, in het geval Pleistocene bodemdaling door zoutwinning zou optreden, aanleiding zijn voor een nadere analyse, omdat in de referentiegebieden op één na de waarden binnen de trend blijven of deze overschrijden. De onderschrijding van de dichtheid in 2018 zou geen aanleiding zijn voor nadere analyse, omdat in de meerderheid van de referentiegebieden onderschrijdingen optreden. De onderscheiding van de dichtheid in het invloedsgebied in 2019 daarentegen zou wel aanleiding zijn voor een nadere analyse, omdat slechts in één referentiegebied een onderschrijding optreedt. De grafieken met de dichtheden (Figuur 11-7) en de biomassa's (Figuur 11-8) laten zien dat in het invloedsgebied beide laag zijn in vergelijking met de andere gebieden. In de referentiegebieden worden frequent veel hogere dichtheden en biomassa's aan kokkels aangetroffen. De onderschrijdingen die in het invloedsgebied zijn opgetreden in 2018 en 2019 zijn in het verleden vaker opgetreden in het gebied en vormen in die zin geen afwijking van de trend.

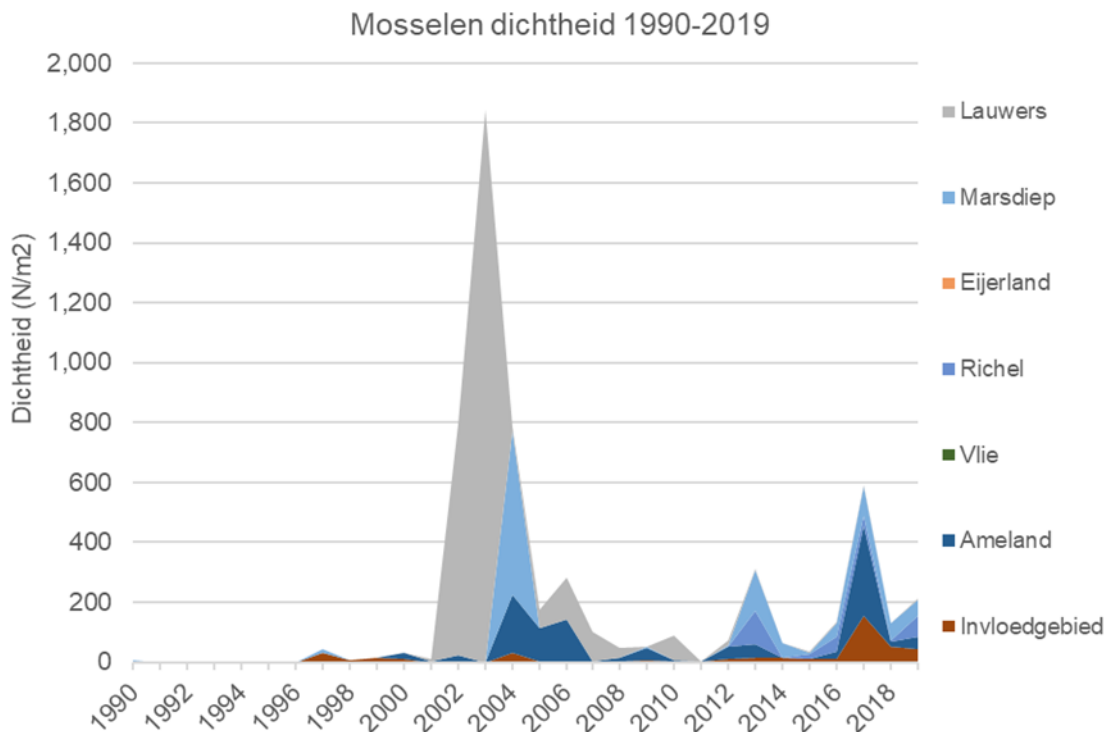
Tabel 11.2 Onderschrijdingen (oranje vakken) en overschrijdingen (groene vakken) van de signaleringswaarden voor de biomassa en dichtheid van kokkels in het invloedsgebied (invloed) en de referentiegebieden (referentie) voor 2018 en 2019.

		Biomassa 2018	Dichtheid 2018	Biomassa 2019	Dichtheid 2019
Invloed	invloed				
Referentie	Ameland				
	Vlie				
	Richel				

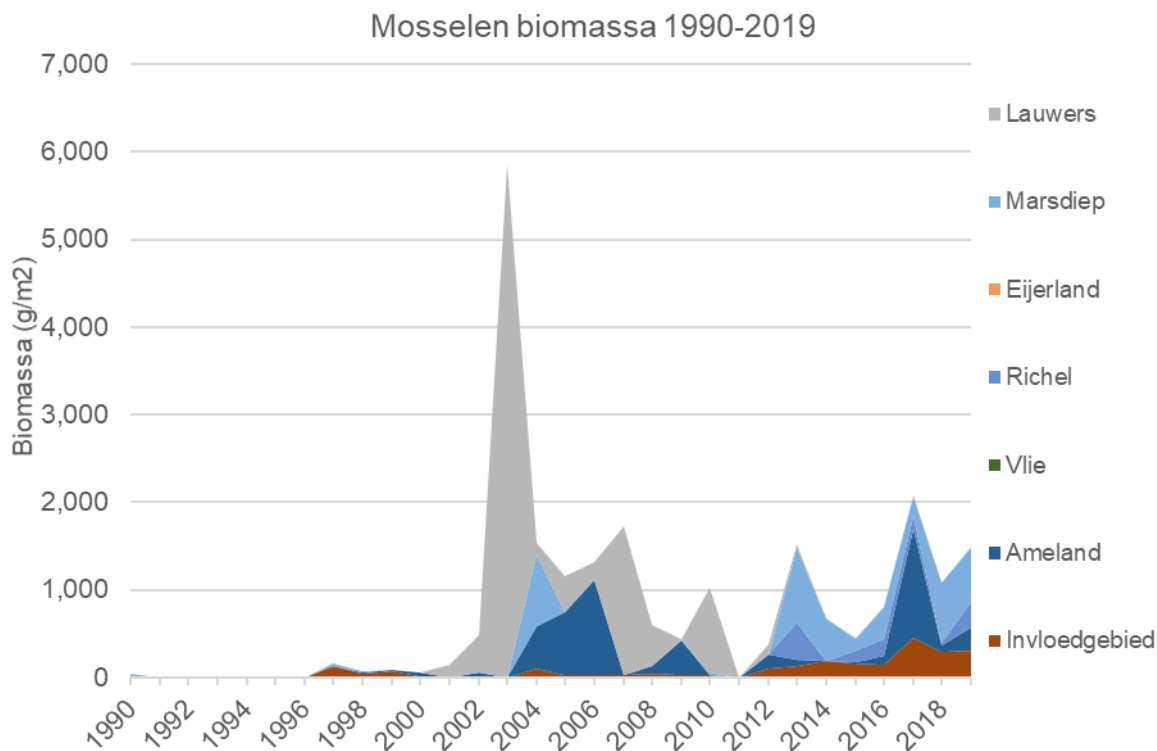
		Biomassa 2018	Dichtheid 2018	Biomassa 2019	Dichtheid 2019
	Eierland				
	Marsdiep				
	Lauwers				

Mosselen (Tabel 11.3, Figuur 11-9 en Figuur 11-10)

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 (Figuur 11-9). 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 11-9 Grafiek van dichtheid van mosselen in de verschillende referentiegebieden en het invloedsgebied.



Figuur 11-10 Grafiek met de biomassa van mosselen in de verschillende referentiegebieden en het invloedsgebied.

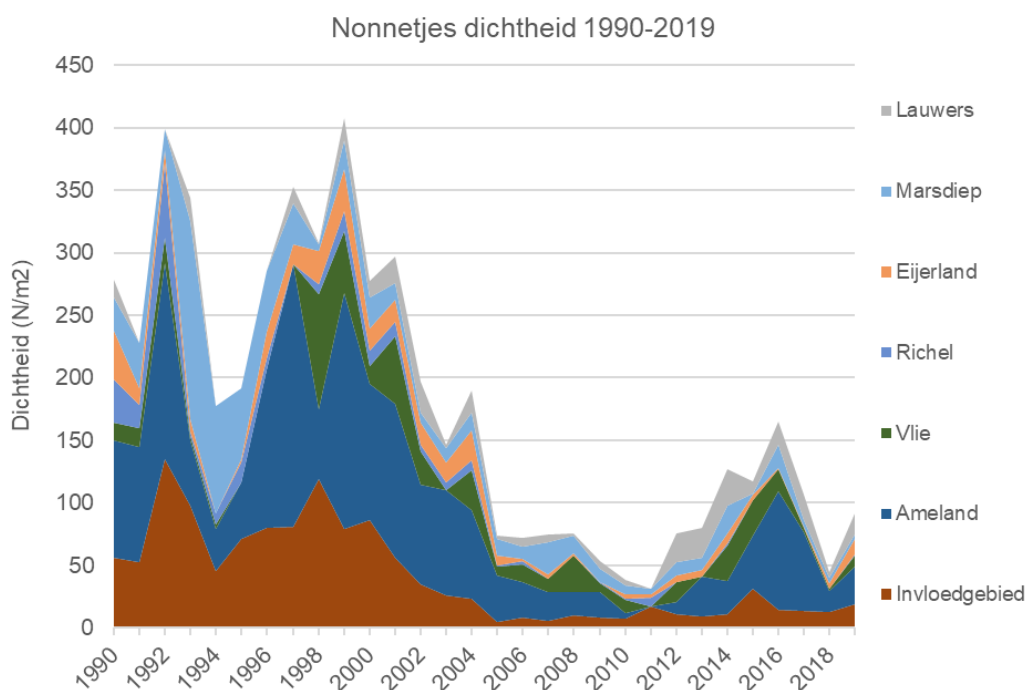
De gemeten dichtheden en biomassa's voor mosselen laten zien dat in 2019 een onderschrijding is opgetreden. Omdat in het merendeel van de referentiegebieden een overschrijding heeft plaatsgevonden in 2019, zou dit aanleiding zijn om nadere analyse uit te voeren, indien bodemdaling door zoutwinning zou hebben plaatsgevonden. Opvallend bij de biomassa van mosselen is dat alleen voor het invloedsgebied in 2018 sprake is van een waarde die past bij de trend. Voor alle andere gebieden en jaren is sprake van waarden die buiten de trends liggen. Daarbij is net iets vaker sprake van waarden die boven de trend liggen, dan van een waarde die daar onder ligt. Deze afwijkingen van de trend zijn niet het gevolg van een beperkte bandbreedte van de biomassa van de mosselen, deze bandbreedte is ruim. De biomassa van de mosselen is blijkbaar extreem variabel, waardoor het bepalen van een trend lastig is. De ondergrens voor het invloedsgebied gaat uit van een waarde in de buurt van de waargenomen waarde in 2017 en een toename in het tweede jaar. De gemeten waarde voor de biomassa van mosselen in 2017 betreft de hoogste waarde uit de hele waarnemingsperiode. De waargenomen biomassa's in 2018 en 2019 zijn nog steeds hoog in vergelijking met alle eerdere waarnemingen. Vanwege de relatief hoge biomassa aan mosselen in 2019 wordt beperkte waarde gehecht aan de onderschrijding van de ondergrens.

Tabel 11.3 Onderschrijdingen (oranje vakken) en overschrijdingen (groene vakken) van de signaleringswaarden voor de biomassa en dichtheid van mosselen in het invloedsgebied (invloed) en de referentiegebieden (referentie) voor 2018 en 2019.

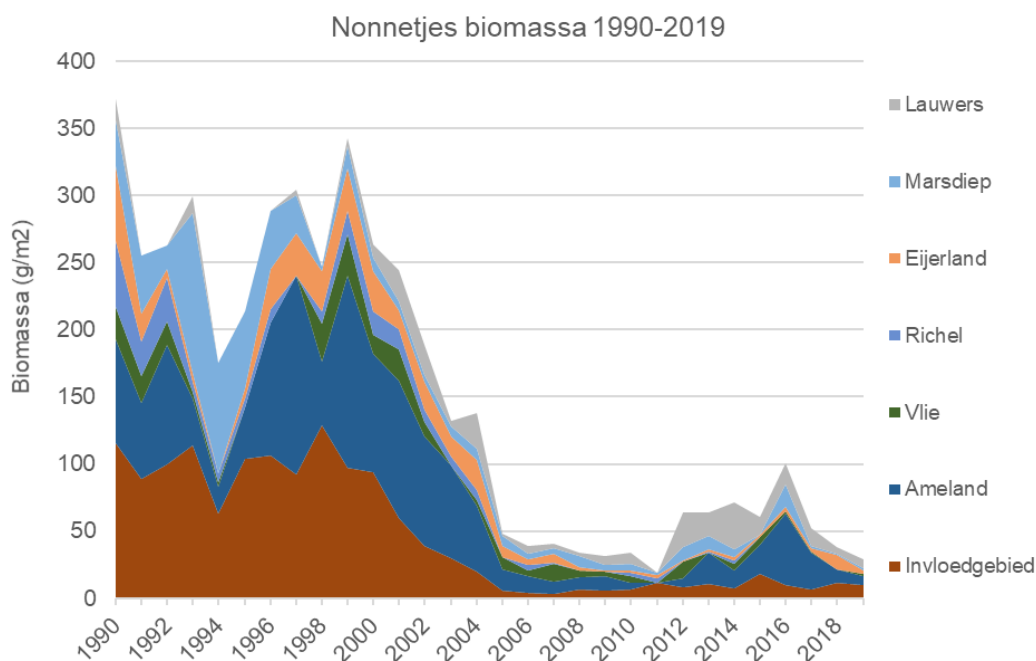
		Biomassa 2018	Dichtheid 2018	Biomassa 2019	Dichtheid 2019
Invloed	Invloed				
Referentie	Ameland				
	Richel				
	Marsdiep				
	Lauwers				

Nonnetje (Tabel 11.4, Figuur 11-11 en Figuur 11-12)

Vanaf 2000 tot 2006 was sprake van een sterke afname van de dichtheden (Figuur 11-11) en biomassa (Figuur 11-12) 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 11-11 en Figuur 11-12 is zichtbaar dat de hogere dichtheden bij Nonnetjes in vergelijking met de andere schelpdieren over meerdere jaren voorkomen, in plaats van één jaar.



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



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

De gemeten waarden voor nonnetjes geven zijn geen aanwijzingen dat de biomassa en dichtheid nonnetjes in het invloedsgebied achteruit gaat. Een nadere analyse hoeft dan ook niet plaats te vinden. De waargenomen dichtheden passen bij de waarden die in de 21^{ste} eeuw in het gebied zijn aangetroffen en dit geldt ook voor de meeste referentiegebieden.

Tabel 11.4 Onderschrijdingen (oranje vakken) en overschrijdingen (groene vakken) van de signaleringswaarden voor de biomassa en dichtheid van nonnetjes in het invloedsgebied (invloed) en de referentiegebieden (referentie) voor 2017 en 2018.

		Biomassa 2018	Dichtheid 2018	Biomassa 2019	Dichtheid 2019
Invloed	invloed				
Referentie	Ameland				
	Vlie				
	Richel				
	Eierland				
	Marsdiep				
	Lauwers				

11.6 Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen

De benthosbemonstering is uitstekend bruikbaar om inzicht te geven in de aantallen en de biomassa van de drie geselecteerde soorten op de verschillende locaties. Duidelijk is dat voor de drie benthos-soorten die zijn beschouwd, de keuze voor het 80% betrouwbaarheidsinterval betekent dat frequent onderschrijdingen en overschrijdingen van de signaleringswaarden optreden. Voor de kokkels en de mossels had een nadere analyse plaatsgevonden van de ecologische en morfologische variabelen in het studiegebied, indien al sprake was geweest van Pleistocene bodemdaling ten tijde van de metingen. Vanwege de grote fluctuaties die optreden in de aantallen en de biomassa van de schelpdieren in de Waddenzee, zal het altijd uitdagend blijven om eenduidige verbanden te leggen tussen de resultaten van de benthosbemonstering, de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en andere plausibele oorzaken voor variaties.

De resultaten van de benthosbemonstering zullen worden beschouwd in samenhang met de waarnemingen aan de bodemligging (primair: de raaimetingen, aanvullend de spijkermetingen en de LiDAR-hoogtemetingen) en de sedimentsamenstelling. Door de veranderingen in het benthos in samenhang te beschouwen met de veranderingen in de bodemhoogte en de sedimentsamenstelling kan worden vastgesteld of waargenomen veranderingen samenhang met de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, of dat andere oorzaken meer voor de hand liggen.

11.7 Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning

Bij elk hoofdstuk met resultaten van de metingen en de monitoring is een hoofdstuk opgenomen dat de uitkomsten beschouwd alsof al sprake zou zijn van zoutwinning. De monitoring is door het gebruik van referentiegebieden zo ingericht dat bij ontwikkelingen die afwijken van de trends duidelijk wordt of deze afwijkende ontwikkeling is voorbehouden aan het invloedsgebied, of dat deze in meerdere gebieden

optreedt. Als de situatie zich zou voordoen dat de afwijkende ontwikkeling zich alleen voordoet in het invloedsgebied, dan is een nadere analyse aan de orde.

De nadere analyse begint met het beschouwen van de andere monitoringsresultaten: doet deze afwijkende ontwikkeling zich ook voor in de sedimentsamenstelling, in de raaimetingen en/of bij de vogeltellingen? Dat levert een combinatie van signaleringsmetingen, die elk om een specifieke analyse vragen, zoals aangegeven in Tabel 5.4. De monitoringsresultaten tot nu toe geven geen aanleiding geven tot een nadere analyse. Om toch toe te kunnen lichten hoe deze integrale analyse zal plaatsvinden wordt dit uitgelegd aan de hand van een hypothetisch voorbeeld.

In het hypothetische voorbeeld zijn de dichtheden en de biomassa van een van de schelpdiersoorten alleen in het invloedsgebied zo laag zijn dat deze onder de signaleringswaarde liggen, zoals weergegeven in Tabel 11.5. In dat geval is sprake van een signaleringsmeting die vraagt om een meer diepgaande analyse. De eerste stap die dan wordt uitgevoerd is om te kijken of bij de sedimentsamenstelling, de bodemligging en de HVP-tellingen ook sprake is van afwijkende ontwikkelingen.

Tabel 11.5 Hypothetische overschrijdingen (oranje vakken) van de signaleringswaarden voor de biomassa en dichtheid van een van de schelpdiersoorten in het invloedsgebied (invloed), terwijl in de referentiegebieden de trend wordt gevolgd voor 20XX en 20XX+1.

		Biomassa 20XX	Dichtheid 20XX	Biomassa 20XX+1	Dichtheid 20XX+1
Invloed	invloed				
Referentie	Ameland				
	Vlie				
	Richel				
	Eierland				
	Marsdiep				
	Lauwers				

Indien de afwijkende ontwikkelingen beperkt zijn tot de dichtheid en biomassa van het benthos in het invloedsgebied, zonder dat afwijkende ontwikkelingen zijn waargenomen in de bodemligging en de sedimentsamenstelling, dan zal met de 'ecologisch bril' (zie paragraaf 5.3) worden gekeken naar mogelijke verklaringen die deze locatie-specifieke ontwikkeling kunnen verklaren. De verklaringen hiervoor variëren van menselijke ingrepen die beperkt zijn tot het invloedsgebied, zoals garnalenvisserij of het oogsten van schelpdieren, of het spuien van grote hoeveelheden zoetwater uit het IJsselmeer en de Friese boezem. Indien een dergelijke verklaring wordt gevonden, dan is het zeer waarschijnlijk dat de afname van het benthos ter plaatse van het invloedsgebied geen relatie met de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning heeft. Hiervoor zullen aanvullende gegevens en informatie worden betrokken. Naast gegevens over de genoemde factoren kunnen bijvoorbeeld de SIBES gegevens over het benthos worden gebruikt. Het is overigens niet gezegd dat duidelijk wordt waarom het benthos alleen in het invloedsgebied achterblijft bij de rest van de Waddenzee. Ook in dat geval is het niet waarschijnlijk dat sprake is van een relatie tussen de ontwikkeling van het benthos en de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, omdat dan een schakel in de effectketen ontbreekt.

Wanneer samen met de afwijkende ontwikkelingen van het benthos in het invloedsgebied ook afwijkende ontwikkelingen optreden in de bodemligging en/of de sedimentsamenstelling, dan is zal worden gekeken naar mogelijke verklaringen hiervoor anders dan de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning. Omdat in deze situatie alle schakels in de effectketen een signaal vertonen, is het mogelijk dat de afwijkende ontwikkeling van het benthos een gevolg is van de Pleistocene bodemdaling als gevolg van zoutwinning.

12 SEDIMENTSAMENSTELLING

In het monitoringrapport "Sedimentsamenstelling Studiegebied Zoutwinning Waddenzee; Jaarrapport 2019" (Van der Zee, 2020b) zijn de resultaten van de metingen aan de sedimentsamenstelling opgenomen.

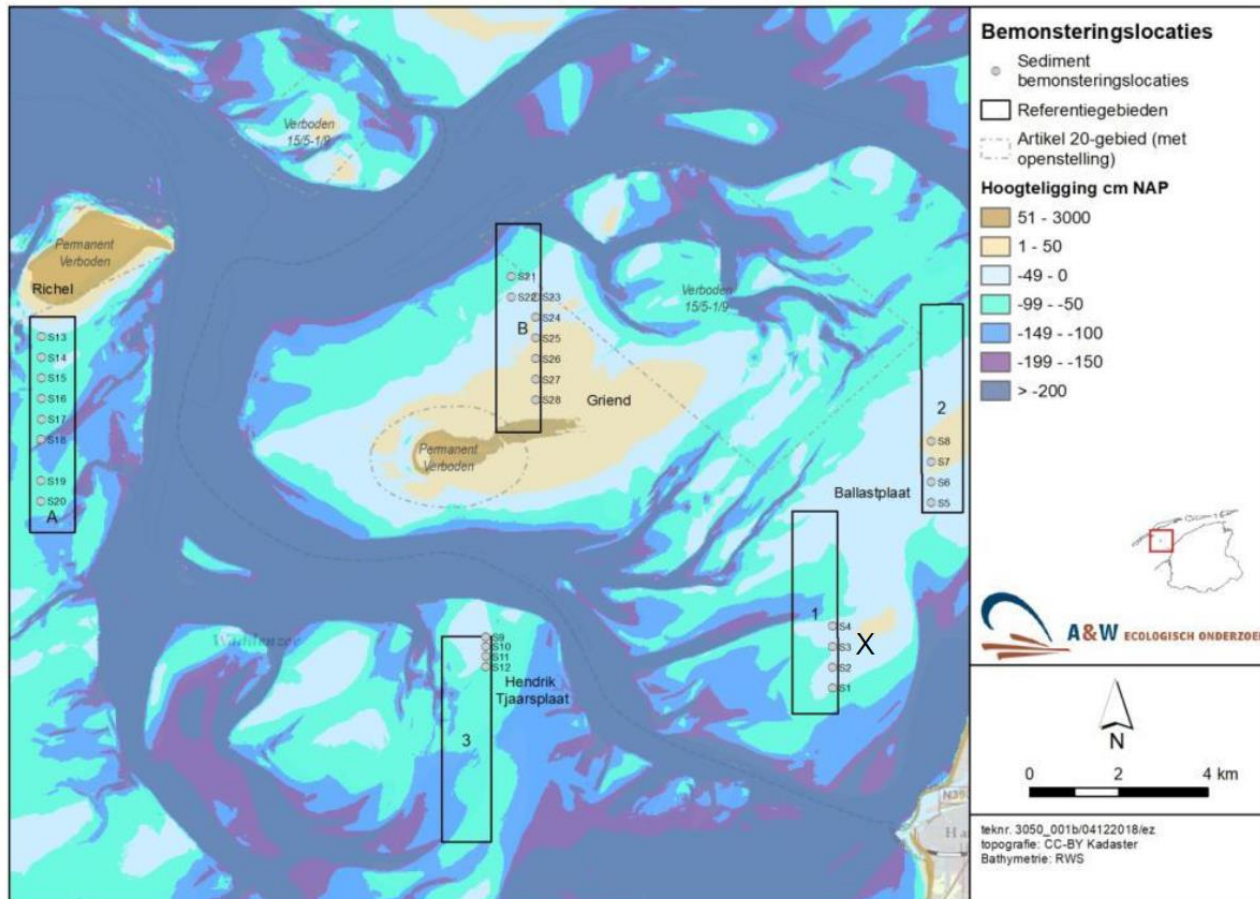
12.1 Introductie meetmethode

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 zijn, 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 12-1) en de frequentie komen overeen met die van de benthosbemonstering.



Figuur 12-1 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.

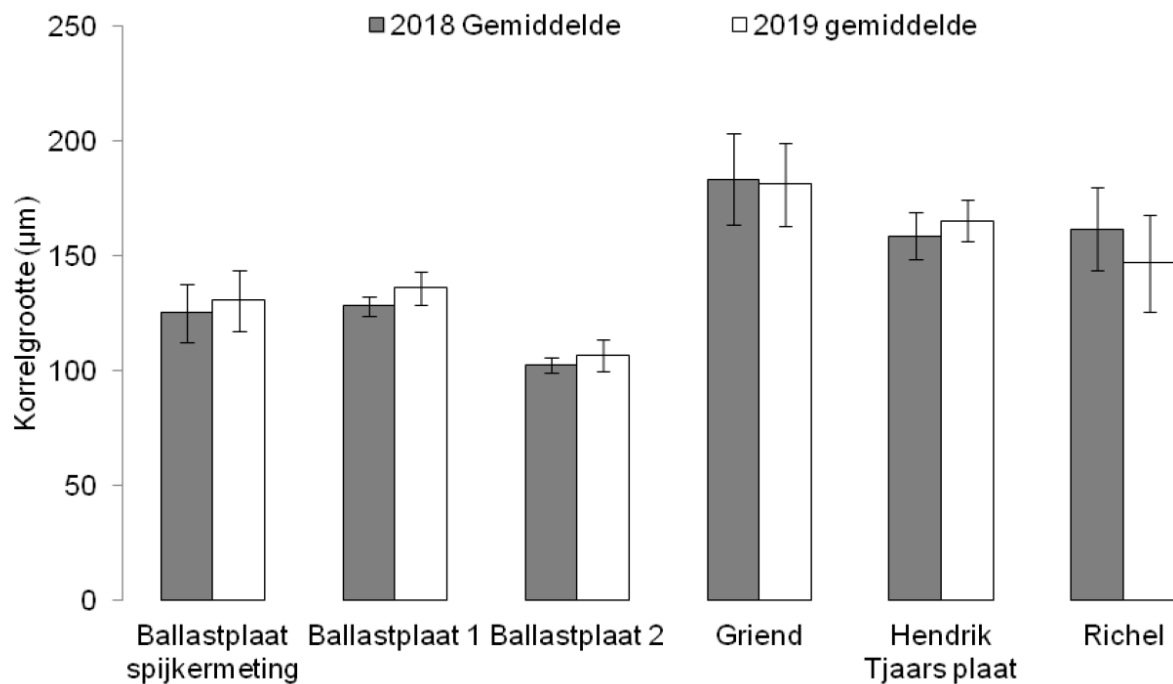
12.2 Gegevens

De belangrijkste resultaten uit van der Zee et al. (2020b) zijn in het voorliggende rapport overgenomen. De sedimentsamenstelling is bepaald in zes gebieden (Figuur 12-1), waarbij per gebied meerdere monsters zijn verzameld (Tabel 12.1). 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.

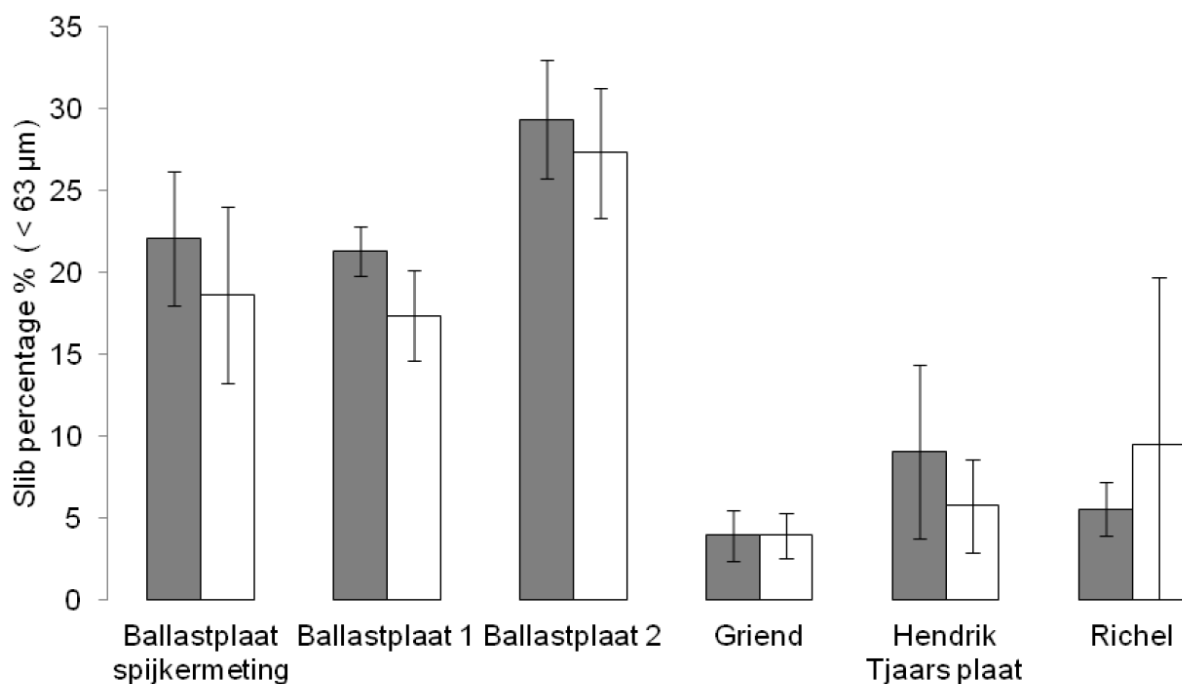
Tabel 12.1 Monstergebieden en -punten voor de sedimentbemonstering

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 12-1)	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 12-2 en Figuur 12-3.



Figuur 12-2 Gemiddelde korrelgrootte (µm) met standaarddeviaties (balken) voor 2018 en 2019.



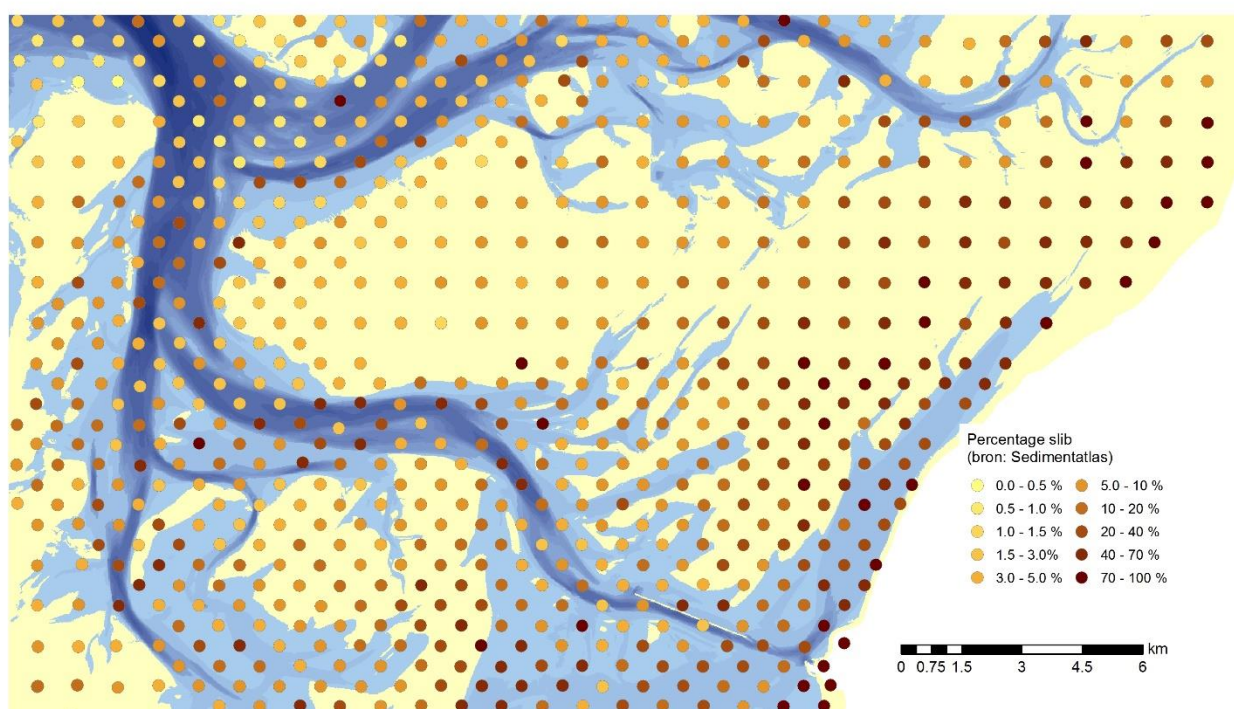
Figuur 12-3 Slib percentage (% < 63 µm) met standaarddeviaties (balken) voor de metingen van 2018 en 2019.

De gemiddelde korrelgroottes in 2018 en in 2019 zijn vrijwel hetzelfde en ook de waargenomen variatie komt overeen. De onderzochte gebieden op de Ballastplaat hebben een kleinere korrelgrootte dan de gebieden op Griend, Hendrik Tjaarsplaat en Richel. Ook de slibgehalten komen op hoofdlijnen overeen, de slibgehalten op de Ballastplaat zijn hoger dan die in de andere gebieden. De variaties in de slibgehalten zijn in 2018 het hoogst op de Hendrik Tjaarsplaat en in 2019 op Richel. De toegenomen variatie in het

slibgehalte bij Richel komt waarschijnlijk door de aanwezigheid van een mossel- en oesterbank die voor veel variatie in slibgehalte kan zorgen op en rond de bank.

12.3 Analyse

De gemeten waarden voor de korrelgroottes komen overeen met SIBES metingen (Compton et al., 2013; Christianen et al., 2015). Ter vergelijking is het slibgehalte, zoals het is bepaald medio jaren '90 weergegeven (gegevens uit de SedimentAtlas, Rijkswaterstaat, 1998). De kaart in Figuur 12-4 laat ook zien dat Richel en Griend en de Hendrik Tjaarsplaat relatief weinig slib bevatten in vergelijking met de Ballastplaat. Vanwege het verschil in bemonstering en analyse tussen de Sedimentatlas en de analyses voor Frisia en SIBES mogen alleen de patronen worden vergeleken en niet de absolute slibgehaltenes. Het ruimtelijke patroon in de slibgehaltenes is over de jaren heen standvastig, zoals ook opgemerkt door Herman et al., 2018.



Figuur 12-4 Kaart met de slibpercentages op de monsterpunten uit de Sedimentatlas.

12.4 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 slibgehalte. 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 slibgehalte van de wadplaten is medebepalend voor de aan- en afwezigheid van bepaalde bodemdieren, hoewel de meeste wadbodembewoners een grote range kennen van slibgehaltenes waarbij deze aanwezig kunnen zijn. Het slibgehalte 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.

12.5 Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning

Bij elk hoofdstuk met resultaten van de metingen en de monitoring is een hoofdstuk opgenomen dat de uitkomsten beschouwd alsof al sprake zou zijn van zoutwinning. De metingen aan de sedimentsamenstelling laten ter plaatse van de Ballastplaat een beperkte vergroving en afname van het slibgehalte zien in de twee opeenvolgende metingen. In de hypothetische situatie met bodemdaling is dit nog geen aanleiding om een relatie met de bodemdaling te veronderstellen, omdat jaar-op-jaar variatie in de korrelgrootte en het slibgehalte een normaal onderdeel van het waddenmilieu is. De oorzaken voor die variaties zijn op hoofdlijnen wel bekend en verschillen van lokale ruimtelijke variaties ter plaatse van de meetlocaties tot de invloed van organismen op het slibgehalte, maar 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. 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.

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. Een trendmatig verandering betekent in dit geval het steeds grover of fijner worden in tenminste drie opeenvolgende jaren. De hypothetische signaleringsmeting bij de sedimentsamenstelling is: "De sedimentsamenstelling ter plaatse van de bodemdaling verandert en dat gebeurt niet in de andere gebieden."

13 HOOGWATERVLUCHTPLAATS (HVP) TELLINGEN

In het monitoringrapport “Monitoring ecologie studiegebied zoutwinning Waddenzee; Tnul-situatie 2019” (Kater et al, 2020) zijn de resultaten van de HVP-tellingen opgenomen.

Op dit moment worden de gegevens van de HVP tellingen geanalyseerd met Trendspotter in plaats van met de ARIMA methode die in dit hoofdstuk is beschreven. In de definitieve versie van dit rapport zullen de resultaten van Trendspotter worden opgenomen. De tekst zal hierop worden aangepast. Omdat nog geen Pleistocene bodemdaling door zoutwinning onder de Waddenzee heeft plaatsgevonden, zullen de bevindingen door deze aanpassingen niet veranderen.

13.1 Introductie meetmethode

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. 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). Voor de monitoring van de zoutwinning wordt gerapporteerd over de drie sleutelsoorten (scholekster *Haematopus ostralegus*, bonte strandloper *Calidris alpina* en de kanoet *Calidris canutus*) op negen hoogwatervluchtplaatsen. In paragraaf 5.3 is een beschouwing opgenomen van de ander wadvogelsoorten op de HVP's die in de toekomst beschouwd worden in aanvulling op deze drie sleutelsoorten.

De HVP-tellingen metingen geven geen aanvullende informatie over het gebruik van het habitat droogvallende wadplaten. De sleutelsoorten voor de foeragerende steltlopers zijn de scholekster *Haematopus ostralegus*, bonte strandloper *Calidris alpina* en de kanoet *Calidris canutus*. De gekozen soorten leveren een representatieve doorsnede voor dit habitat. Tezamen met de gegevens over de bodemdieren geeft het gebruik van de wadplaten door steltlopers inzicht in de kwaliteit van de habitats droogvallende platen.

De frequentie en ruimtelijke indeling van de HVP-tellingen is vastgelegd in de methodieken watervogeltellingen zoals uitgevoerd in het nationale Netwerk Ecologische Monitoring (van Strien 2007). De tellingen worden vijf keer per jaar uitgevoerd, integraal voor de gehele Waddenzee.

Uit de HVP's rond en in de westelijke Waddenzee (Figuur 13-1) zijn tien geselecteerd (Tabel 13.1). De HVP 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 13-1 en Tabel 13.1 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 Lorzsluizen) 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 liggen droogvallende wadplaten dichtbij en tegen de dijk. 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 13-1: Indeling HVP telgebieden rond de westelijke Waddenzee, waaruit tien HVP's zijn geselecteerd voor de monitoring.

Tabel 13.1 Hoogwatervluchtplaatsen gebruikt in de analyse.

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

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.

De gerapporteerde waarnemingsjaren voor de vogels op de HVP reiken tot aan 2018. De gegevens over september 2019 zijn nog niet beschikbaar op het moment dat de analyses moeten worden opgestart om de monitoringsrapportage gereed te hebben op 1 mei. De periode die beschikbaar is voor analyse en rapportage kan niet verder worden verkort. Bij het indienen van de rapporten op 1 mei, conform de vergunning, kan derhalve worden gerapporteerd over de vogelaantallen twee jaar voorafgaand aan het jaar waarin de rapportage wordt ingediend.

13.2 Gegevens

Bij de monitoring wordt het aantal vogels op soortniveau binnen HVP begrenzingsen zowel binnendijks als buitendijks bepaald. De integrale telling vindt plaats op internationaal afgesproken data (soms iets afwijkend van rest van het land). De telling start uiterlijk 1 uur voor hoog water. De tellingen zijn gestart in 1975. Voor goede analyse van een tijdserie is een tijdreeks nodig met evenwijdige tijdstappen én zo min mogelijk ontbrekende data.

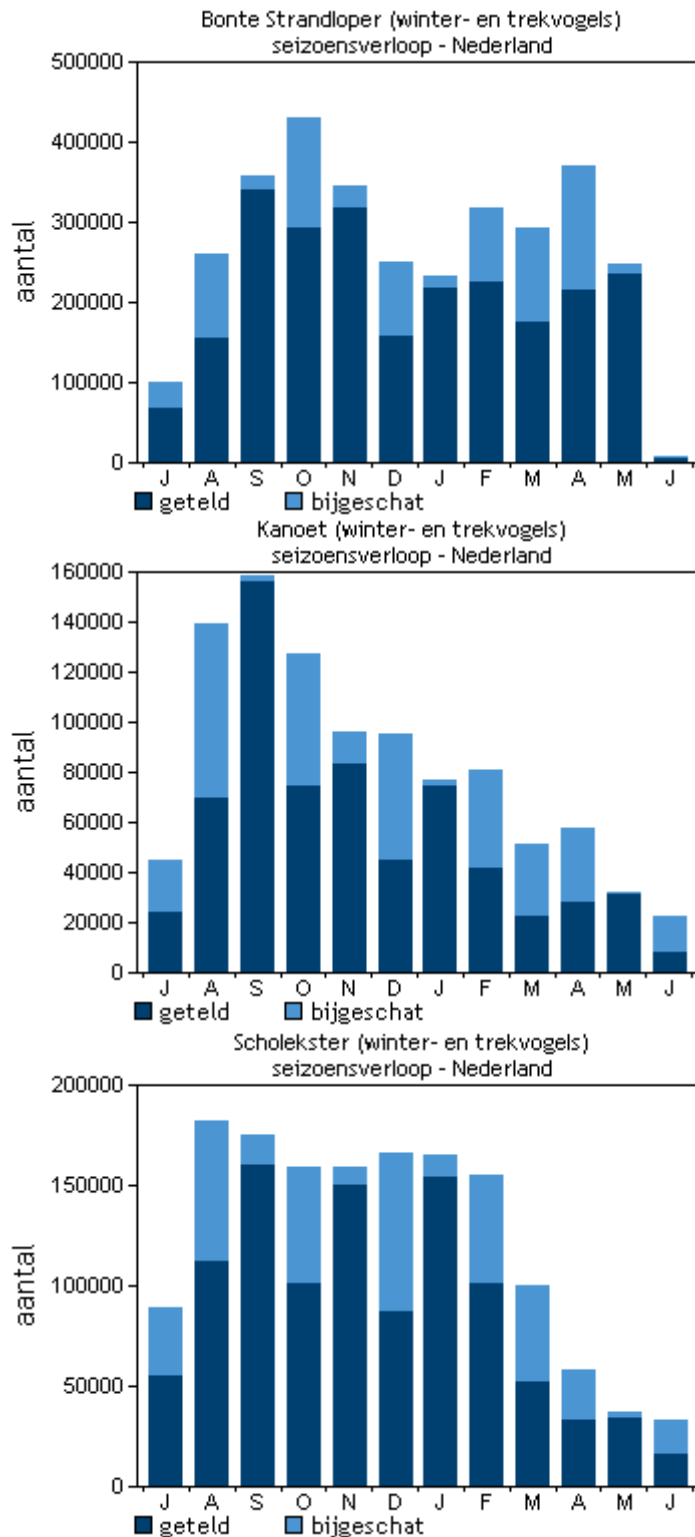
De trendanalyses voor de drie soorten zijn gemaakt op basis van meetdata uit de maand september, omdat in deze maand alle soorten in grote aantallen in de Waddenzee aanwezig zijn en omdat de gegevenskwaliteit in deze maand het beste is. Beide aspecten worden hieronder toegelicht.

Tabel 13.2 geeft een overzicht van in welke maanden van het jaar de drie soorten in de Waddenzee te vinden zijn en in welke maand ze in de hoogste aantallen voorkomen. Hieruit blijkt dat er voor elke soort in de maand september oftewel hoge oftewel de hoogste aantallen worden waargenomen in de Waddenzee.

Tabel 13.2 Jaarlijks voorkomen van drie vogelsoorten in de Waddenzee. Rood: piek in aantallen; Roze: voorkomen; X: er is voldoende beschikbare data (Sovon).

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec
Kanoet <i>Calidris canutus canutus</i>	X				X				X		X	
Kanoet <i>Calidris canutus islandica</i>	X				X				X		X	
Scholekster	X				X				X		X	
Bonte strandloper	X				X				X		X	

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'. Het gevaar dat datasets waar veel bijschatting op is gedaan eerder bepaalde trends vertonen dan werkelijke tellingen. Om dit risico te minimaliseren is ervoor gekozen om gebruik te maken van tellingen van de maand waar de minste bijschatting wordt gedaan. De telling in september heeft het laagste percentage (2.04%) bijschatting (zie ook Figuur 13-2).



Figuur 13-2 seizoensvoorkomen (juli t/m juni) per maand in Nederland, totaal aantallen per maand uitgesplitst in geteld en bijgeschat (sovon.nl).

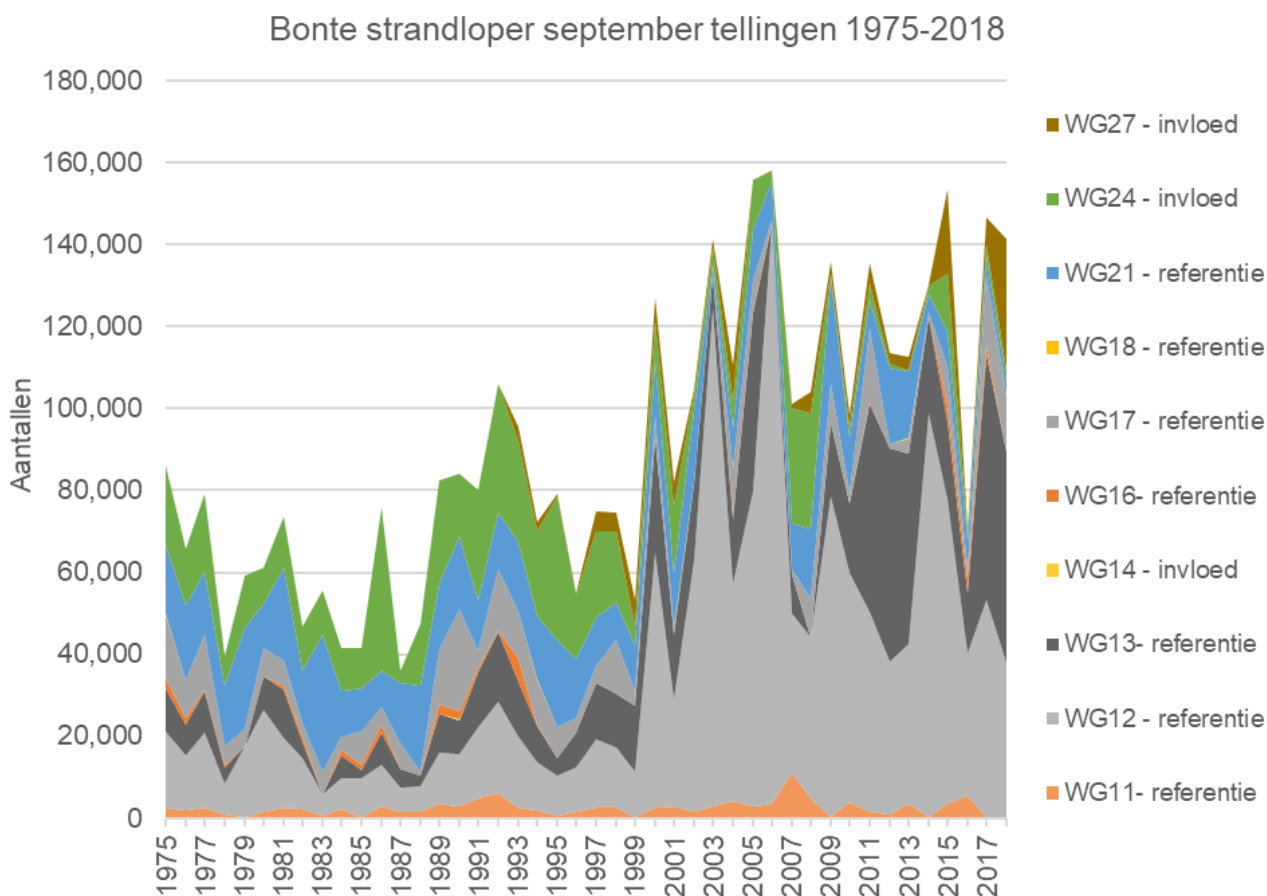
De gegevens van september vormen de meest complete set, waarbij de minste bijinschatting heeft plaatsgevonden en september is maand waarin de grootste aantallen vogels het waddengebied aanwezig zijn. In september zijn vogels aanwezig die de Waddenzee gebruiken als tussenstop tijdens de trek naar verder zuidelijk gelegen overwinteringsgebieden en zijn de vogels aanwezig die in de Waddenzee zelf overwinteren. De tellingen van andere maanden laten (nog) grotere fluctuaties zien dan die van september, die de analyse complexer maken. Indien er aanleiding is tot het uitvoeren van een nadere analyse, dan zijn de tellingen van de andere maanden beschikbaar voor het uitvoeren van een analyse.

13.3 Analyse en interpretatie

De paragraaf 11.4 'Aanpak van de ecologische analyses' in het hoofdstuk over benthos, geeft de beschrijving van de aanpak, zoals die ook voor de HVP-tellingen is toegepast. Eerst zijn signaleringswaarden bepaald voor de drie vogelsoorten, voor het HVP's nabij het invloedsgebied en voor de HVP's nabij de referentiegebieden. Vervolgens is vastgesteld of overschrijdingen dan wel overschrijdingen van de vogelaantallen hebben plaatsgevonden. Voor deze analyse zijn de metingen van 2018 gebruikt, waarbij voor iedere parameter is gekeken of de signaleringwaarde wordt overschreden. Omdat nog niet met de zoutwinning is begonnen en geen Pleistocene bodemdaling heeft plaatsgevonden, zijn eventuele overschrijdingen of overschrijdingen van de signaleringswaarden met zekerheid niet gerelateerd aan de zoutwinning.

Bonte strandloper (Tabel 13.3 en Figuur 13-3)

De bonte strandloper broedt in de toendra's van gematigde en arctische klimaatzones in Scandinavië, de Baltische Staten en West-Rusland, maar ook broedgebieden kent in de hoog Arctische delen van Centraal- en Oost- Azië. De vogels die door Nederland trekken overwinteren in de wadgebieden langs de kusten van Noordwest- en Zuidwest-Europa en in West-Afrika. Tijdens laagwater foerageert de soort op de droogvallende platen. Tijdens hoogwater gaat de soort soms door met voedsel zoeken op hooggelegen delen van de getijdenplaten, aan de kwelder- of dijkrand of op drassige plaatsen binnendijs. De bonte strandlopers gebruiken doorgaans kwelders, zand- en modderbanken, stranden en inlagen als gezamenlijke hoogwatervluchtplaatsen en deelt die plaatsen vaak met andere vogelsoorten (Ministerie van LNV, 2008a). Bonte strandlopers voeden zich op het wad vooral met borstelwormen, mollusken, kreeftachtigen, schelpdieren, soms kleine visjes en plantaardig materiaal en zijn daarmee generalisten.



Figuur 13-3 Grafiek van het aantal bonte strandlopers in de verschillende referentie HVP's en de HVP's bij het invloedsgebied.

De waarnemingen aan de HVP's, zoals getoond in Figuur 13-3, laten zeer 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 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). Ook in de tijd zijn grote variaties zichtbaar in de aantallen Bonte strandlopers. Dit past bij de wijze waarop de Bonte strandlopers in grote groepen aanwezig zijn in de herfst in het waddengebied.

Tabel 13.3 laat de onder- en overschrijdingen van de signaleringswaarden zien. In het achtergrondrapport (Kater et al., 2020) zijn de bijbehorende getelde aantallen en de onder- en overschrijdingswaarde per HVP opgenomen. De signaleringwaarden worden in verschillende HVP's zowel in 2017 als in 2018 onderschreden, waaronder de WG14 nabij het invloedsgebied. De onderschrijding op referentiegebied WG12 is in termen van aantallen van een veel grotere orde, omdat dit een van de hotspots is in de Westelijke Waddenzee. Naast de drie gebieden met onderschrijdingen is ook sprake van gebieden met overschrijdingen, dit betreft in 2017 drie gebieden en in 2018 vier gebieden.

De getelde aantallen bonte strandlopers in het invloedsgebied WG14 liggen in 2017 en 2018 onder de ondergrens, zoals bepaald met de ARIMA. De onderschrijding van de bandbreedte in 2017 is volgens het beslisschema (Figuur 11-4) aanleiding voor het uitvoeren van een nadere analyse, indien in de referentiegebieden de aantallen overeenkomen met de trends of er boven liggen. De getelde aantallen bonte strandlopers in het invloedsgebied WG27 liggen in 2018 boven de bovengrens, die is bepaald met de ARIMA. Dit is aanleiding voor het uitvoeren van een nadere analyse, indien in de referentiegebieden ook overschrijdingen van de trends plaatsvinden. De referentiegebieden vertonen deels aantallen die overeenkomen met de trend, deels overschrijdingen en deel onderschrijding. Vanwege het gemengde beeld bij de invloedsgebieden en de referentiegebieden is er een geen aanleiding tot het uitvoeren van een nadere analyse. Wel worden de aantallen Bonte strandlopers nader beschouwd, om een gevoel te krijgen voor de variaties die optreden.

Bij het beschouwen van de aantallen is het zinvol om de HVP's met hoge aantallen en die met lage aantallen apart te beschouwen. Een aantal HVP's, zoals Vlieland (WG12), Richel (WG13), het Balgzand (WG17) en Harlingen-Zwarte Haan (WG27) samen herbergden in 2017 93% van alle getelde Bonte strandlopers in deze tien gebieden en in 2018 zelf 95%. De andere gebieden herbergen enkele tot duizenden Bonte strandlopers, waaronder het gebied van Kornwerderzand tot Harlingen (WG14). De onderschrijding in WG14 betreft een relatief beperkt aantal bonte strandlopers, omdat deze HVP geen grote aantallen bonte strandlopers trekt. De onderschrijding op WG12 is in termen van aantallen van een veel grotere orde, omdat dit een van de hotspots is in de Westelijke Waddenzee. De lage aantallen bij WG12 worden deels gecompenseerd door overschrijdingen in andere gebieden, zoals bij WG 17 en WG27. Herverdeling binnen de Westelijke Waddenzee is een belangrijk aspect voor het optreden van onder- en overschrijdingen zoals blijkt uit de totale aantallen op deze HVP's, die elkaar met 144.487 in 2017 en 141.491 in 2018 elkaar weinig ontlopen.

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 ene HVP scherp toenemen en op de andere locatie sterk 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. Vanwege de grote variatie die van jaar op jaar optreedt in de aantallen bonte strandlopers op de verschillende HVP's is het waarschijnlijk dat in de toekomst vaker onder- en overschrijdingen zullen gaan optreden. Dat betekent niet dat de Bonte strandloper geen bruikbare indicatorsoort is voor de monitoring. Door het vergelijken van de ontwikkelingen op de HVP's nabij het invloedsgebied met de referentie HVP's wordt inzichtelijk of veranderingen beperkt blijven tot het invloedsgebied. In het laatste geval kan sprake zijn van een relatie met bodemdaling en zal nadere analyse plaatsvinden.

Tabel 13.3 Onderschrijdingen (oranje vakken) en overschrijdingen (groene vakken) van de signaleringswaarden voor de aantallen Bonte strandlopers op de HVP's nabij het invloedsgebied (invloed) en nabij de referentiegebieden (referentie) voor 2018.

HVP	Hoofdgebied	2017	2018
WG24	Griend		
WG14	Harlingen - Afsluitdijk (Lorentzsluis)		
WG27	Friese Kust: Zwarte Haan – Harlingen		
WG11	Texel		
WG12	Vlieland		
WG13	Richel		
WG16	Wieringen		
WG17	Balgzand		
WG18	Kust Den Helder		
WG21	Terschelling		

Kanoetstrandloper (Tabel 13.4 en Figuur 13-4)

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 (Figuur 13-2). De grote aantallen Kanoetstrandlopers die in september in het waddengebied aanwezig zijn, bestaan uit de beide ondersoorten (canutus en islandica). Omdat de ondersoort canutus doortrekt naar het zuiden, is in de wintermaanden alleen de ondersoort islandica nog aanwezig in de Waddenzee. Beide ondersoorten zijn daarmee vertegenwoordigd in de gebruikte tellingen.

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 13-4 laten zeer grote variatie zien in de aantallen kanoetstrandlopers tussen de verschillende gebieden en in de tijd. Net als bij de bonte strandloper zijn er een aantal HVP's waar regelmatig tienduizenden kanoetstrandlopers aanwezig zijn, zoals Vlieland (WG12), Richel (WG13) en Griend (WG24). In september 2017 herbergen deze twee HVP's 80% van het totaal in deze HVP en in 2018 is dat 63%. Op Richel (WG13) en Balgzand (WG17) kunnen ook duizenden Kanoetstrandlopers aanwezig zijn, maar dat was in 2017 en 2018 niet het geval. Op andere HVP's zijn de aantallen kanoetstrandlopers aanmerkelijk lager, van enkele tot enkele duizenden exemplaren. Hierbij hoort steeds de kanttekeningen 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.

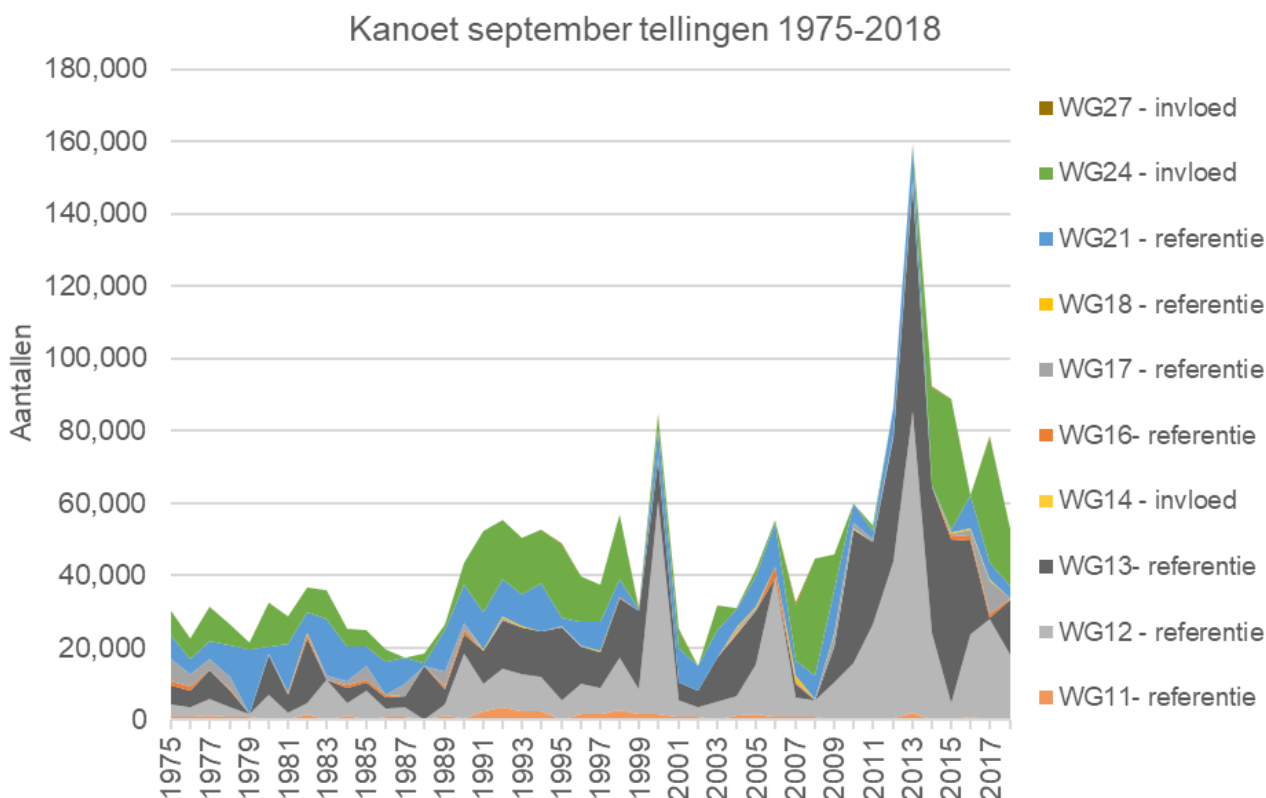
In 2017 is sprake van drie gebieden waar overschrijdingen en drie gebieden waar onderschrijdingen van de aantallen hebben plaatsgevonden. Getalsmatig is met name de onderschrijding bij Richel belangrijk. De lage aantallen bij Richel wordt meer dan gecompenseerd door de grote aantallen in andere gebieden. De totale aantallen in 2017 op deze telgebieden bedroegen namelijk 77.592. De aantallen in 2017 waren hiermee beduidend hoger dan in 2018, toen het totale aantal 52.743 bedroeg. De getelde aantallen Kanoetstrandlopers in de invloedsgebieden WG24 en WG27 liggen boven de bovengrens in 2017, zoals die is bepaald met de ARIMA. Deze eenmalige overschrijdingen zijn geen aanleiding voor het uitvoeren van een

nadere analyse, omdat deze overschrijding niet gelijk op gaat met grote overschrijdingen in de referentiegebieden. De overschrijding in WG27 (Harlingen-Zwarte Haan) betreft een relatief beperkt aantal Kanoetstrandlopers. De overschrijding in WG24 (Griend) heeft betrekking op enkele duizenden extra kanoetstrandlopers meer dan verwacht op basis van de trend. Het totale aantal Kanoetstrandloper in de westelijke Waddenzee was in 2017 hoog, het jaar heeft het op vijf na hoogste aantal van de 44 jaar aan waarneming. In het licht van de totale aantallen is de overschrijding op WG27 van beperkte orde en wordt deze niet nader beschouwd.

In 2018 komen de getelde aantallen in het merendeel van de HVP's overeen met de trends, dat wil zeggen dat de waarden tussen de onder- en de bovengrens vallen. In vier gebieden is sprake van onderschrijdingen. Overschrijdingen van de trends treden in 2018 niet op. Voor geen van de invloedsgebieden is sprake van een onderschrijding ten opzichte van de trends.

Net als bij de Bonte strandlopers geldt voor de Kanoetstrandlopers dat deze in grote groepen aanwezig in het waddengebied. De totale aantallen van de Kanoetstrandloper in de westelijke Waddenzee varieert van jaar op jaar sterker dan de aantallen van de Bonte strandloper. De variaties in de aantallen betekent dat over- en onderschrijdingen op alle HVP's zullen optreden. Daarbij verandert de voorkeur voor het gebruik van bepaalde HVP van de groepen Kanoetstrandlopers, waardoor de aantallen op ene HVP scherp toenemen en op de andere locatie sterk afnemen. Ook dit resulteert in over- en onderschrijdingen.

De optredende variaties betekenen niet dat de Kanoetstrandloper geen bruikbare indicatorsoort is voor de monitoring. Door het vergelijken van de ontwikkelingen op de HVP's nabij het invloedsgebied met de referentie HVP's wordt inzichtelijk of veranderingen beperkt blijven tot het invloedsgebied. In het laatste geval kan sprake zijn van een relatie met bodemdaling en zal nadere analyse plaatsvinden, waarbij de voedsel beschikbaarheid en de morfologische veranderingen worden beschouwd.



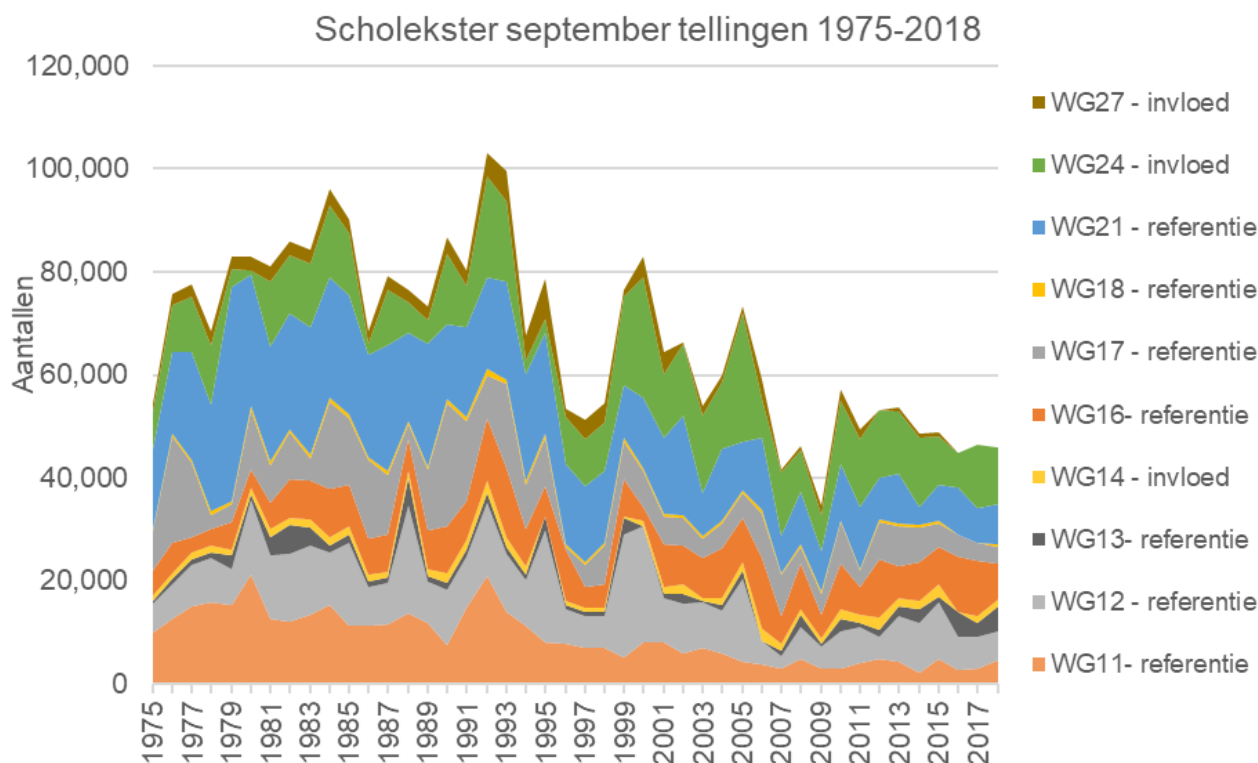
Figuur 13-4 Grafiek van het aantal kanoetstrandlopers in de verschillende referentie HVP's en de HVP's bij het invloedsgebied.

Tabel 13.4 Onderschrijdingen (oranje vakken) en overschrijdingen (groene vakken) van de signaleringswaarden voor de aantallen Kanoetstrandlopers in het invloedsgebied (invloed) en de referentiegebieden (referentie) voor 2018.

HVP	Hoofdgebied	2017	2018
WG24	Griend		
WG14	Harlingen - Afsluitdijk (Lorentzsluis)		
WG27	Friese Kust: Zwarte Haan – Harlingen		
WG11	Texel		
WG12	Vlieland		
WG13	Richel		
WG16	Wieringen		
WG17	Balgzand		
WG18	Kust Den Helder		
WG21	Terschelling		

Scholekster (Tabel 13.5 en Figuur 12.5)

Scholeksters zijn plaatstrouw ten aanzien van voedsel- en rustgebieden en individuele scholeksters leven in een relatief klein gebied. 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. 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. Hoogwatervluchtplaatsen en voedselgebieden van de scholeksters liggen doorgaans hooguit enkele kilometers van elkaar verwijderd. Ze foerageren vooral voor op meer zandige wadplaten en leven daar van een groot scala aan ongewervelden, maar het hoofdvoedsel zijn grotere schelpdieren en dan vooral kokkels en mossels, gevolgd door wadpieren en zeeduizendpoten. De hoogste dichtheden van scholeksters worden aangetroffen op mossel- en kokkelbanken. Andere prooi-soorten zijn krabben en verschillende andere soorten tweekleppige schelpdieren, zoals nonnetjes, strandgapers en mesheften.



Figuur 13-5 Grafiek van het aantal scholeksters in de verschillende referentie HVP's en de HVP's bij het invloedsgebied.

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 13-5 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 oenschouw 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 aan getroffen en Harlingen-Zwarte Haan (WG27), waar de bovengrens net onder de tweeduizend exemplaren ligt.

In referentiegebied Vlieland (WG12) is in 2017 en in 2018 sprake van een onderschrijding van de aantallen. De aantallen scholeksters bij WG12 in deze jaren passen bij de aantallen die sinds het begin van de 21^{ste} eeuw worden waargenomen. De ondergrens ligt hoger dan deze waarden, omdat hierin de hogere waarden van de jaren '80 en '90 van de vorige eeuw doorwerken. In 2017 is in twee referentiegebieden Richel (WG13) en Griend (WG24) sprake van een overschrijding. In 2018 is in één referentiegebied Griend (WG24) sprake van een overschrijding. Omdat naast de overschrijding bij Griend geen grootschalige overschrijdingen optreden in de referentiegebieden, is dit volgens het beslisschema in Figuur 11-4 geen aanleiding voor het uitvoeren van een nadere analyse. De waargenomen aantallen passen bij de waarden die in de 21^{ste} eeuw in het gebied zijn aangetroffen.

Tabel 13.5 Onderschrijdingen (oranje vakken) en overschrijdingen (groene vakken) van de signaleringswaarden voor de aantallen Scholeksters in het invloedsgebied (invloed) en de referentiegebieden (referentie) voor 2018.

HVP	Hoofdgebied	2017	2018
WG24	Griend		

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

13.4 Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen

De HVP-tellingen van de drie vogelsoorten geven goed inzicht in de aantallen in de verschillende delen van het waddengebied, waaronder het invloedsgebied voor de zoutwinning. Hierbij kan op voorhand worden vastgesteld dat, vanwege de verschillen in het gebruik van het waddengebied door de drie soorten, in combinatie met de wijze van tellen, de drie soorten zeer verschillende patronen vertonen. Duidelijk is dat voor de drie vogelsoorten die zijn beschouwd, de keuze voor het 80% betrouwbaarheidsinterval betekent dat frequent onder- en overschrijdingen van de signaleringswaarden optreden. Een dergelijke onderschrijding betekent niet noodzakelijkerwijs dat in het betreffende gebied iets aan de hand is. Een onder- of overschrijding is aanleiding om een nadere analyse uit te voeren wanneer een onderschrijding zich alleen voordoet in een HVP nabij het invloedsgebied, of wanneer een overschrijding in het invloedsgebied gelijk opgaat met nog grotere overschrijdingen in de referentiegebieden.

Vanwege de grote variatie in de aantallen die van jaar op jaar optreden bij de bonte strandloper en de kanoetstrandloper bestaat er een wezenlijke kans dat de situatie zich voordoet dat trends in de aantallen alleen op de HVP's nabij het invloedsgebied een negatieve ontwikkeling vertonen en dat niet op de andere HVP's gebeurt. Voor de scholekster zijn de aantallen in de loop van de tijd minder variabel. Ook de verdeling over de verschillende HVP's is bij de scholekster minder variabel in de loop van de tijd. De signaleringsfunctie van de scholekster is daarmee eenduidiger dan die van de kanoet- en de bonte strandloper. De urgentie van de signalering is hoog wanneer deze situatie zich voordoet bij meerdere vogelsoorten, zeker als daar de scholekster bij zit. Omdat de signalering is gekoppeld aan de trends per gebied is het niet mogelijk om aantallen te noemen waarbij deze signaleringsuitkomsten optreden.

Vanwege de fluctuaties die optreden in de aantallen van de vogelsoorten in de Waddenzee blijft het complex om eenduidige verbanden te leggen met de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning en andere plausibele oorzaken voor de fluctuaties. Verschillende (natuurlijke) factoren spelen een belangrijke rol in het bepalen van aantalsveranderingen en trends van watervogels en studies laten zien dat het lastig is om voor wadvogels tot (simpele) verklaringen voor waargenomen trends te komen (Meesters et al. 2006, Ens et al. 2009a, Ens et al. 2009b, van Roomen et al. 2012b). Bijvoorbeeld klimaatverandering (Maclean et al. 2008), vertroebeling, eutrofiëring (Philippart et al. 2007), verstoring door recreatie (Krijgsveld et al. 2008) en schelpdiervisserij kunnen een verklaring zijn voor verschillen in trends tussen jaren en gebieden (Ens et al. 2009a). Ook strenge winters kunnen een populatie negatief beïnvloeden. Door te werken met de trends in HVP's in referentiegebieden wordt rekening gehouden met de autonome fluctuaties in de aantallen.

Wanneer sprake is van een nadere analyse, vanwege onder- of overschrijding, wordt de analyse van de HVP-tellingen beschouwd in het licht van de analyses van de benthosbemonstering, indien het doorlopen van het beslisschema aanleiding geeft tot het uitvoeren van een nadere analyse. Ook de waarnemingen aan de bodemligging (primair: de raaimetingen, aanvullend de spijkermetingen en de LiDAR-hoogtemetingen) en de sedimentsamenstelling zullen worden beschouwd in samenhang met de resultaten van de HVP-tellingen. Door de veranderingen in de vogelaantallen in samenhang te beschouwen met de veranderingen in het

benthos zal vastgesteld of waargenomen veranderingen samenhang met de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning, of dat andere oorzaken meer voor de hand liggen. In de volgende paragraaf zal dit nader worden uitgelegd.

13.5 Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning

Bij elk hoofdstuk met resultaten van de metingen en de monitoring is een hoofdstuk opgenomen dat de uitkomsten beschouwd alsof al sprake zou zijn van zoutwinning. De monitoring is door het gebruik van referentiegebieden zo ingericht dat bij ontwikkelingen die afwijken van de trends duidelijk wordt of deze afwijkende ontwikkeling is voorbehouden aan het invloedsgebied, of dat deze in meerdere gebieden optreedt. Als de situatie zich zou voordoen dat de afwijkende ontwikkeling zich alleen voordoet in één of meerdere HVP's nabij het invloedsgebied, dan is een nadere analyse aan de orde. Die analyse begint met het beschouwen van de andere monitoringsresultaten: Doet deze afwijkende ontwikkeling zich ook voor bij het benthos, in de sedimentsamenstelling en/of in de raaimetingen? Dat levert combinaties van signaleringsmetingen die elk om een specifieke analyse vragen, zoals aangegeven in tabel 5.1. Omdat de monitoringsresultaten tot nu toe geen aanleiding geven tot een nadere analyse, is dit het beste uit te leggen met een hypothetisch voorbeeld.

Stel dat de aantallen van de scholeksters alleen op WG27 (Friese kust van Harlingen tot Zwarte Haan) zo laag zijn dat deze onder de signaleringswaarde liggen, zoals is aangegeven in Tabel 13.6. Dan is sprake van een signaleringsmeting die vraagt om een meer diepgaande analyse. De eerste stap die dan wordt uitgevoerd is om te kijken of bij het benthos, de sedimentsamenstelling en de morfologie ook sprake is van afwijkende ontwikkelingen. Indien de afwijkende ontwikkelingen beperkt zijn tot de aantallen scholeksters bij WG27, dan zal worden gekeken naar mogelijke verklaringen, die deze locatiespecifieke ontwikkeling kunnen verklaren, zoals werkzaamheden aan de dijk. Omdat de scholeksters gebruik maken van de dijk als rustplaats tijdens hoogwater en versterking van dit dijktraject aan de orde is, zou dit een plausibele verklaring kunnen zijn. Een relatie met de zoutwinning onder de Waddenzee ligt in dit geval niet voor de hand, omdat in de monitoring van de andere onderdelen van de effectketen geen gevolgen zijn gesignaleerd.

Tabel 13.6 Hypothetische overschrijdingen (oranje vakken) van de signaleringswaarden voor de aantallen Scholeksters in WG 27 nabij het invloedsgebied (invloed), terwijl in de referentiegebieden (referentie) geen overschrijdingen optreden voor 20XX en 20XX+1.

	HVP	Hoofdgebiet	20XX	20XX+1
Invloed	WG24	Griend		
	WG14	Harlingen - Afsluitdijk (Lorentzsluis)		
	WG27	Friese Kust: Zwarte Haan – Harlingen		
Referentie	WG11	Texel		
	WG12	Vlieland		
	WG13	Richel		
	WG16	Wieringen		
	WG17	Balgzand		
	WG18	Kust Den Helder		
	WG21	Terschelling		

Indien zich ook afwijkingen voordoen in het benthos die beperkt zijn tot het invloedsgebied, zal worden beschouwd of de omvang van de afwijking in het benthos dermate groot is dat deze gevolgen kan hebben voor de scholeksters. Tevens zal, met 'ecologische bril' worden verkend welke verklaringen mogelijk zijn voor het achterblijven van de aantallen en/of de biomassa van het benthos in het invloedsgebied, zoals in beschreven in paragraaf 11.7. De verklaringen hiervoor variëren van menselijke ingrepen die beperkt zijn tot het invloedsgebied, zoals garnalenvisserij of het oogsten van schelpdieren, of het spuien van grote hoeveelheden zoetwater uit het IJsselmeer en de Friese boezem. Het is overigens niet gezegd dat duidelijk wordt waarom het benthos alleen in het invloedsgebied achterblijft bij de rest van de Waddenzee. Ook voor de combinatie van de signalering van de scholekster en het benthos geldt dat het niet plausibel is dat deze verband houdt met de zoutwinning, als niet ook signalering van bodemsamenstelling en morfologie plaatsvindt.

Wanneer samen met de afwijkende ontwikkelingen van scholekster op WG27 ook afwijkende ontwikkelingen optreden in de bodemligging en/of de sedimentsamenstelling, maar niet in het benthos, dan mist een schakel in de effectketen tussen de Pleistocene bodemdaling en de wadvogels. In dat geval zal met de 'ecologische bril' (zie paragraaf 5.3) worden gekeken naar andere verklaringen dan de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning voor de aantallen van de scholekster op de HVP. Weliswaar vertonen meerdere schakels in de effectketen een signaal, maar vanwege het ontbreken van de cruciale schakel benthos is het minder voor de hand liggend dat het achterblijven van de aantallen scholeksters op WG27 een gevolg is van de Pleistocene bodemdaling als gevolg van zoutwinning. Bij deze beschouwing zullen ook aanvullende gegevens worden betrokken, bijvoorbeeld over andere activiteiten die in potentie gevolgen kunnen hebben voor de scholeksters bij het invloedsgebied en aanvullende gegevens over de bodemdieren vanuit het SIBES-programma.

Wanneer samen met de afwijkende ontwikkelingen van scholekster op WG27 ook afwijkende ontwikkelingen optreden in het benthos, de bodemligging en/of de sedimentsamenstelling, dan is zal met de 'ecologische bril' worden gekeken naar mogelijke verklaringen hiervoor anders dan de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning. Ook hierbij zal een beroep worden gedaan op aanvullende informatie en gegevens. Omdat in deze situatie alle schakels in de effectketen een signaal vertonen, is het mogelijk dat de afwijkende ontwikkeling van het benthos een gevolg is van de Pleistocene bodemdaling als gevolg van zoutwinning.

14 RUIENDE BERGEENDEN

In het monitoringrapport “Monitoring ecologie studiegebied zoutwinning Waddenzee; Tnul-situatie 2019” (Kater et al, 2020) zijn de resultaten van de tellingen van de aantallen bergeenden opgenomen.

14.1 Introductie meetmethode

Tijdens de ruiperiode worden grote aantallen bergeenden in het gebied ten oosten van de Ballastplaat aangetroffen, terwijl zij hier buiten de ruiperiode niet verblijven. 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. Omdat bergeenden het gebied gebruiken als ruigebied is de monitoring gericht op de ruiperiode. De afstand van de dijk tot het rui- en foerageergebied is dermate groot dat het doen van bruikbare waarnemingen vanaf land in principe onmogelijk is. De aantallen bergeenden in het gebied zijn vastgesteld vanuit het vliegtuig en vanaf schepen. In 2010-2012 zijn vanuit het vliegtuig tellingen uitgevoerd door IMARES (Tabel 14.1). In 2010-2014 zijn tellingen uitgevoerd vanaf schepen door de Wadden Unit van het Ministerie van EZ, in samenwerking met SOVON.

Tabel 14.1 Waargenomen aantallen bergeenden in de Nederlandse Waddenzee 2010-2012 (Kempf en Kleefstra, 2013).

Dutch Wadden Sea			
Boat	Aug. 9, 2010	Aug. 8, 2011	July 31, 2012
central Dutch Wadden Sea	49,660	49,120	66,103
Balgzand (western Dutch WS)	-	2,360	750
Dollard (eastern Dutch WS)	1,000-1,300	<100	<100
Plane	Aug. 14, 2010	Aug. 7/8, 2011	Aug. 2012
central Dutch Wadden Sea	53,980	31,537	-
Balgzand (western Dutch WS)	1,195	-	-
Dollard (eastern Dutch WS)	-	-	-
Total Dutch Wadden Sea	56,325	51,580	66,953

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 aantrekkelijk voor ruiende bergeenden en er worden grote aantallen van aangetroffen (tabel 2). Van jaar op jaar varieert het moment waarin de grootste concentratie bergeenden aanwezig is. Hier is de Ballastplaat een hoge plaat met zachte modder. De plaat is daardoor op veel plaatsen moeilijk te belopen. Verder is het aangrenzende Kimstergat geen doorgaande vaarroute. Er varen weinig pleziervaartuigen en maar weinig schepen gebruiken dit gebied als ankerplaats (men vaart dan liever door naar de haven van Harlingen). Daarbij ligt deze locatie in de luwte van Griend, wat beschutting tegen storm biedt (Kraan et al., 2006).

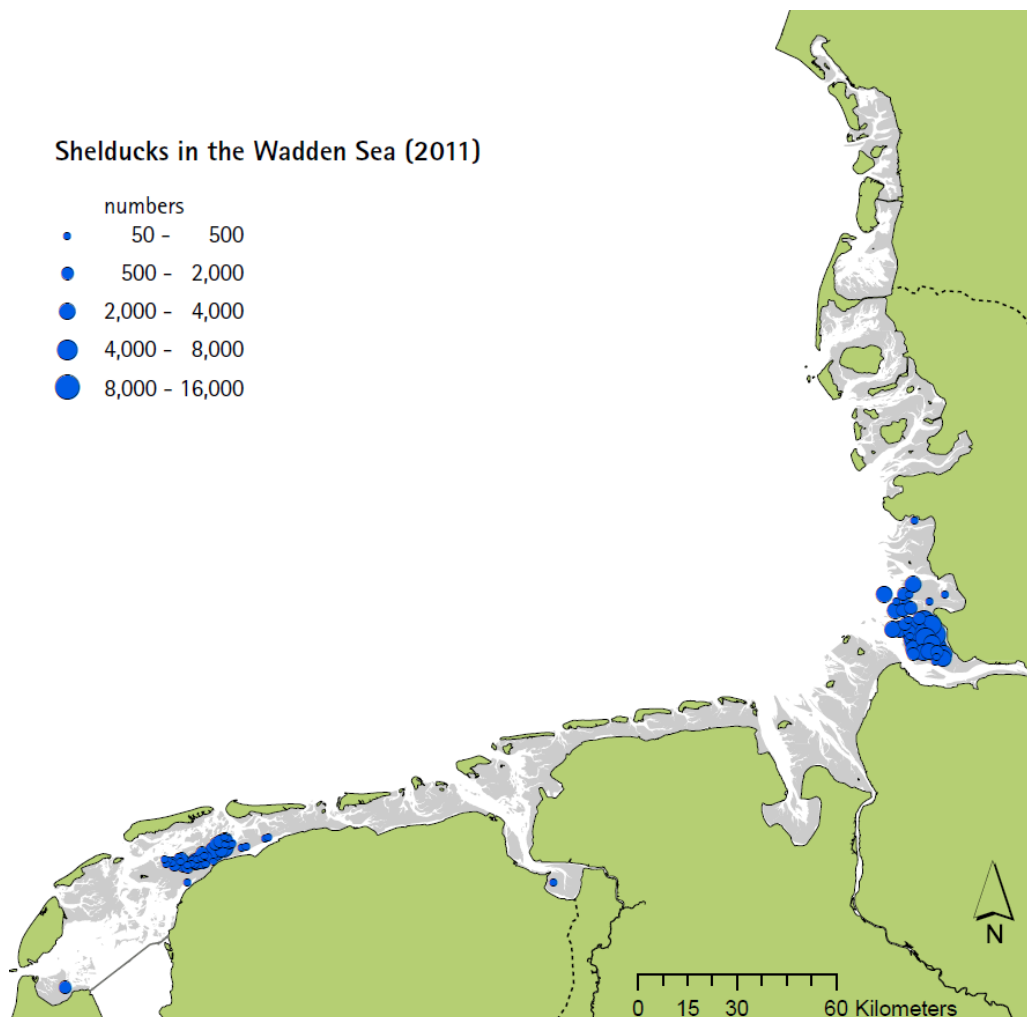
De Ballastplaat heeft voor bergeenden veel voedsel te bieden. De slijkgarnaal is één van de belangrijke prooien voor de bergeend (Swennen & Mulder 1995) en deze soort is hier volop aanwezig. In andere ruigebieden is de voedselkeuze anders. Op het Balgzand en de Breehorn wordt vooral het groenwier *Enteromorpha flexuosa* gegeten (Swennen & Mulder, 1995), terwijl in het Duitse waddengebied vooral kleine nonnetjes worden gegeten (Nehls et al, 1992). Kraan et al. (2006) lieten zien dat de slijkgarnaal nergens in de Waddenzee zo algemeen is als op de Ballastplaat. Het NIOZ-rapport (Duijns e.a., 2013) laat zien dat in het gebied relatief hoge biomassa's van slijkgarnalen, wadslakjes en nonnetjes in het gebied ten oosten van

de Ballastplaat aanwezig zijn. Bergeenden foerageren voornamelijk tijdens afgaand water op deze slijkgarnalen, terwijl ze bij hoogwater rusten langs de randen van de wadplaten.

Ieder jaar wordt eind juli/begin augustus eenmaal het aantal bergeenden geteld in het gebied ten oosten van de Ballastplaat. De uitvoerder van de tellingen van de ruiende bergeenden is de Wadden Unit van het Ministerie van EZ, in samenwerking met SOVON. Frisia vraagt de telgegevens op bij SOVON.

14.2 Gegevens

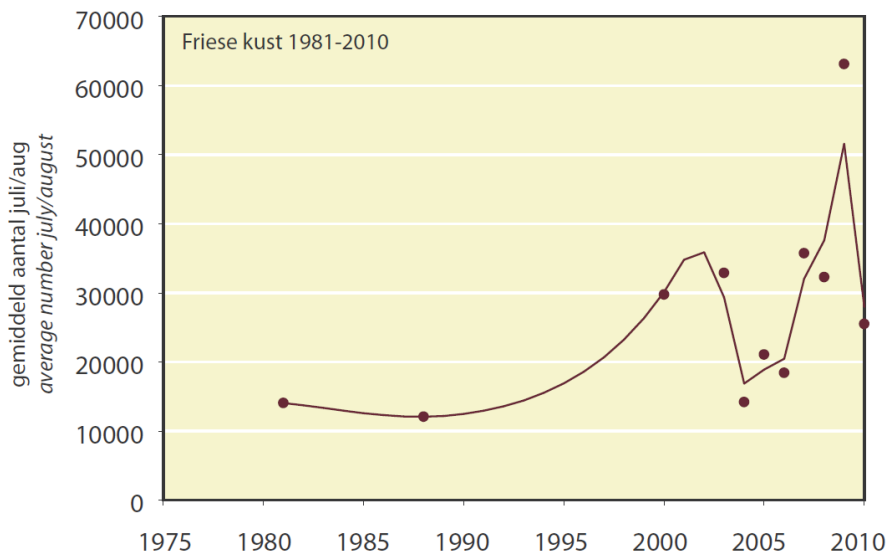
De gegevens van de bergeenden betreffen specifieke gegevens van één gebied, gedurende een vaste periode per jaar. Dit is één van de twee gebieden in de gehele Waddenzee waar tegenwoordig zulke grote concentraties ruiende bergeenden worden aangetroffen, zoals zichtbaar is in Figuur 14-1. Het andere gebied ligt ten noorden van de Elbemonding in de Duitse bocht. Sinds de eeuwwisseling is het aantal ruiende bergeenden bij de Elbemonding afgenomen en in de Nederlandse Waddenzee toegenomen (Kempf en Kleefstra, 2013).



Figuur 14-1 Verdeling en aantallen van ruiende Bergeenden in de Deens, Duitse en Nederlandse Waddenzee (uit Kempf en Kleefstra, 2013).

De tellingen van de aantallen ruiende Bergeenden in de Nederlandse Waddenzee zijn begonnen nadat de aantallen in dit gebied in de jaren '90 van de vorige eeuw sterk zijn toegenomen (Figuur 14-2). In vergelijking met de tellingen op de HVP's is van de ruiende bergeend geen langjarige datareeks beschikbaar. Daarbij kan geen gebruik worden gemaakt van de aantallen in een referentiegebied in een nabijgelegen kombergingsgebied, omdat dit gebied de enige grootschalige ruillocatie in de Nederlandse Waddenzee is. De

ruilocatie in de Duitse bocht is in dermate veel opzichten (onder andere veel grotere getijslag, ligging in monding van estuarium, blootstelling aan de wind) anders dan die bij de Vlakte van Oosterbierum, dat deze niet geschikt is als referentiegebied.

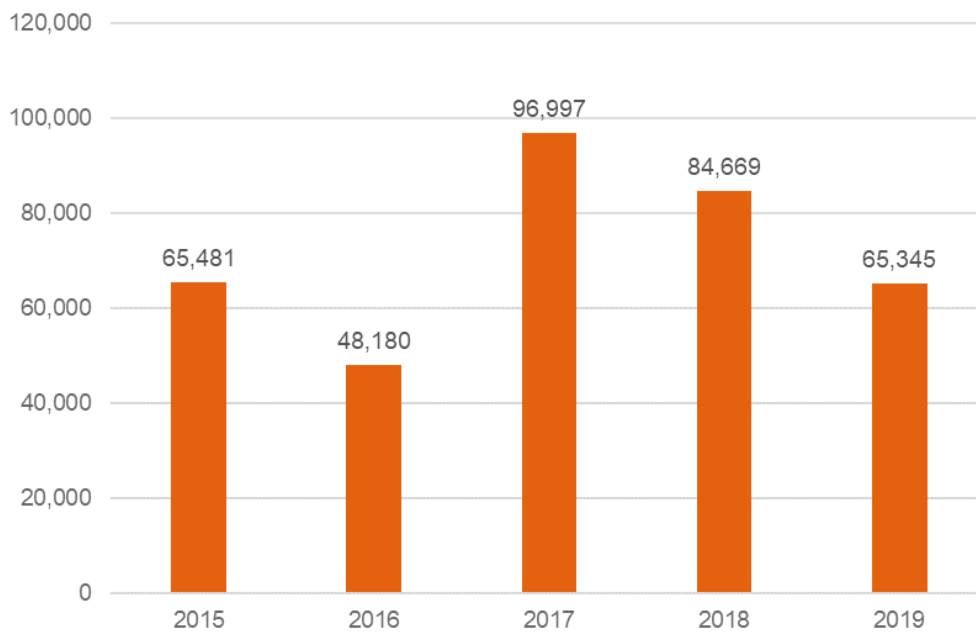


Figuur 14-2 Aantallen bergeenden bij de Friese kust in de periode 1980-2010 (uit Kleefstra et al., 2011).

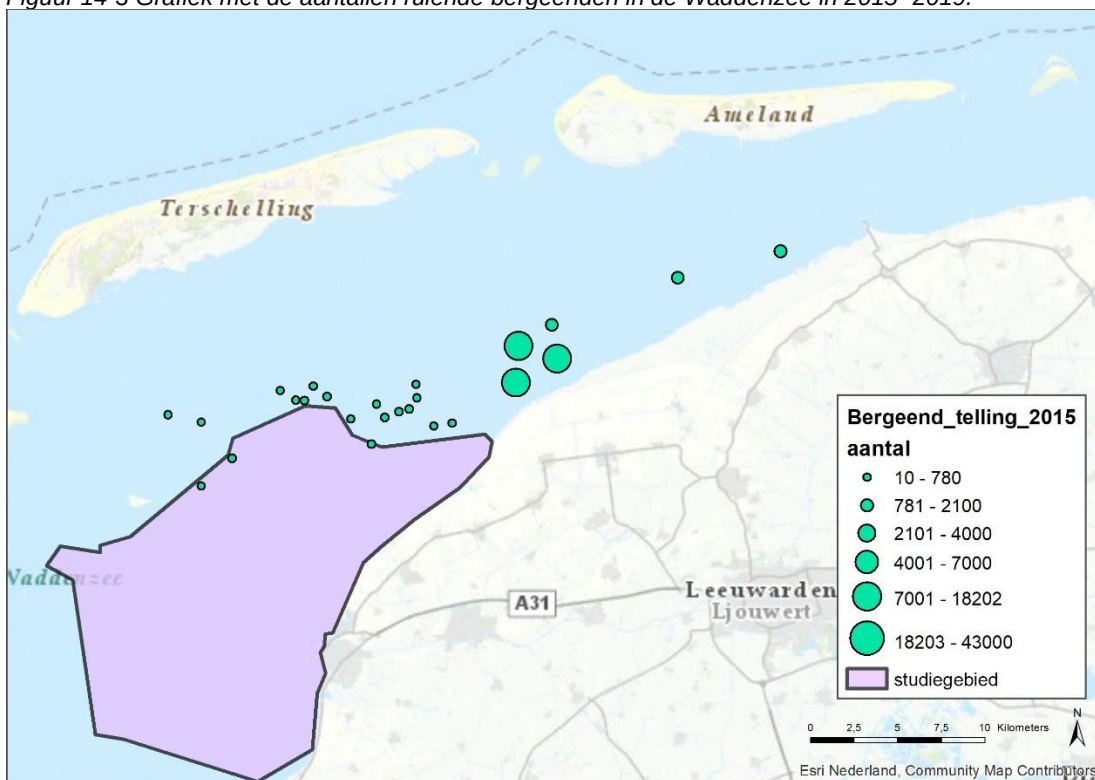
14.3 Analyse

De grafiek in Figuur 14-3 geeft de aantallen ruiende bergeenden die zijn geteld in de jaren van 2015 tot en met 2019. De aantallen fluctueren van minimaal 48.000 (2016) tot maximaal 98.000 (2017). In Figuur 14-4 tot Figuur 14-8 staan kaarten met de aantallen ruiende bergeenden. Duidelijk is dat niet alleen de aantallen fluctueren, maar ook dat per jaar de gebieden waar de concentraties bergeenden aanwezig zijn verschillen. In het invloedsgebied van de bodemdaling door zoutwinning zijn in enkele jaren grotere clusters bergeenden aanwezig. Het echte zwaartepunt van de concentraties bevindt zich oostelijker dan het invloedsgebied.

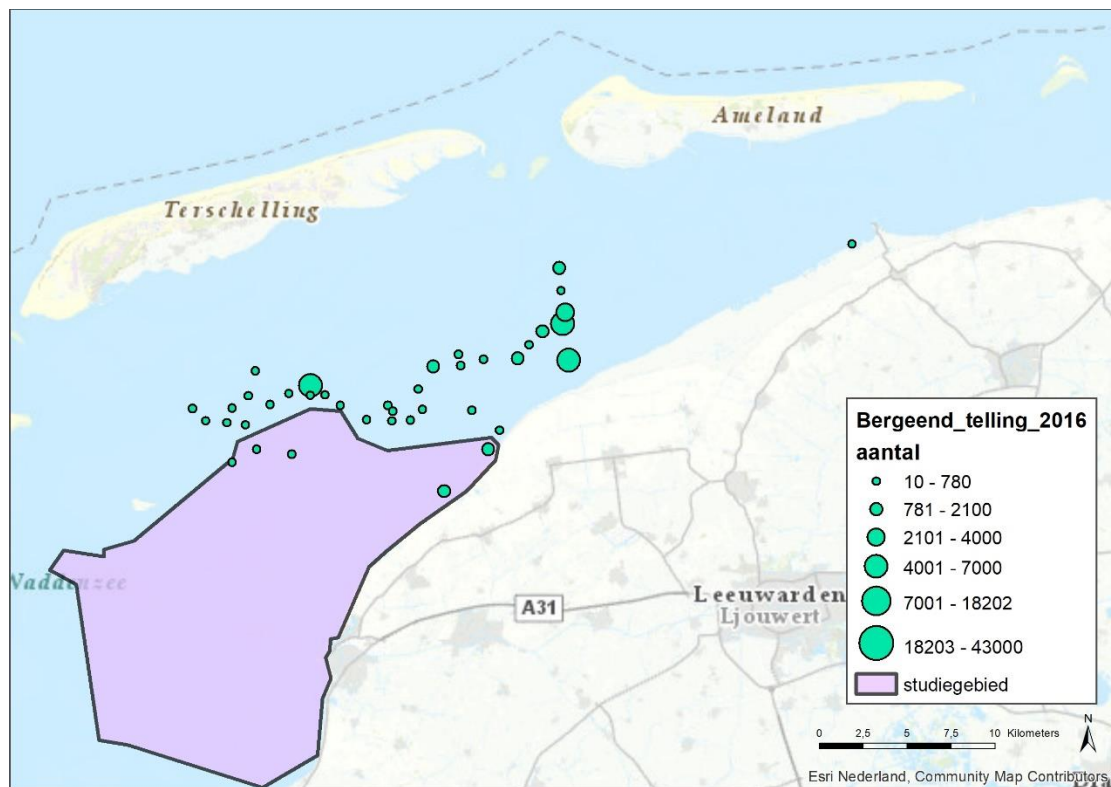
De gerapporteerde aantallen tot en met 2010 in de grafiek in Figuur 14-2 en de aantallen in de Tabel 14.1 laten zien dat vanaf 2009 grote aantallen bergeenden aanwezig waren. Vanwege het beperkte aantal jaren waarvoor de gegevens (digitaal) beschikbaar zijn, is het niet mogelijk om een trendanalyse uit te voeren. Na 2009 lijkt geen sprake te zijn van een structurele toe- of afname. Wel is sprake van grote fluctuaties in de aantallen ruiende bergeenden van jaar op jaar.



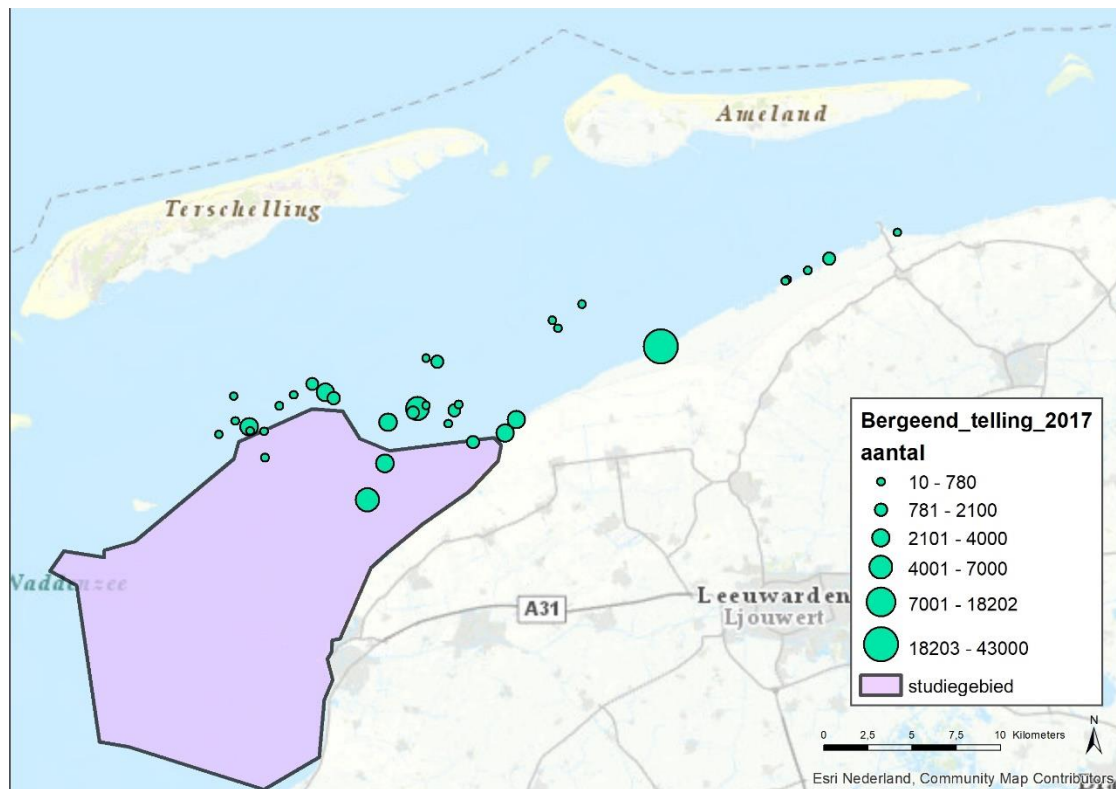
Figuur 14-3 Grafiek met de aantallen ruiende bergeenden in de Waddenzee in 2015- 2019.



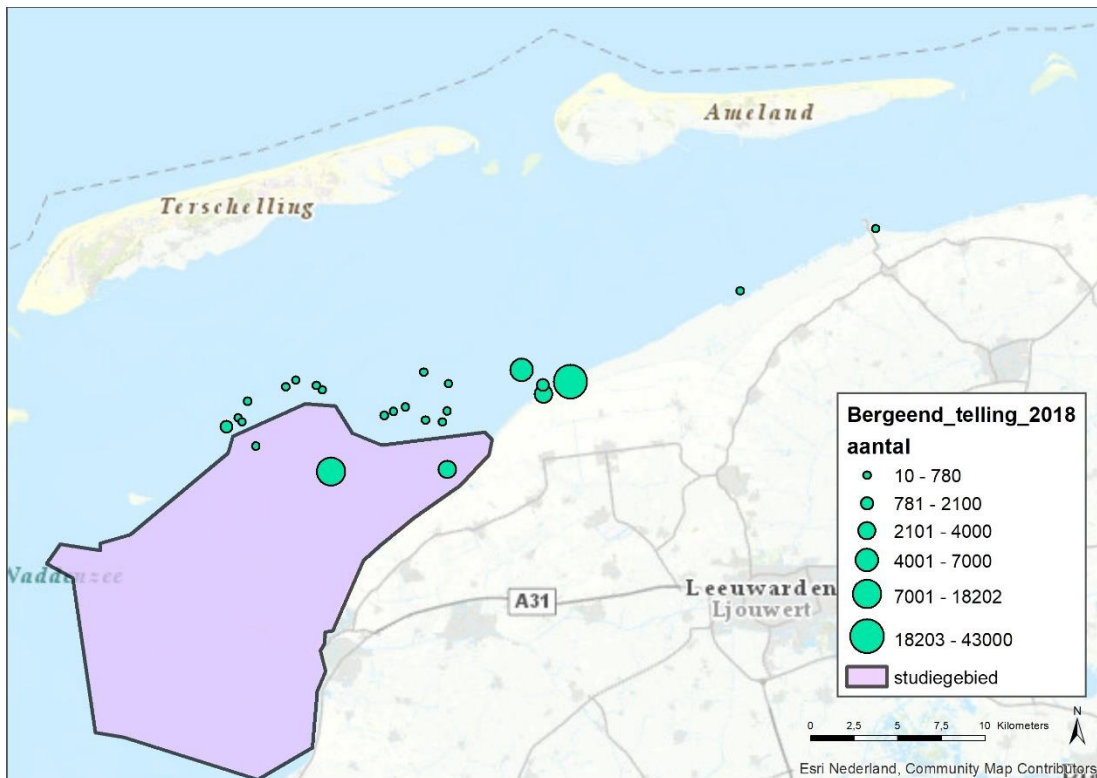
Figuur 14-4 Aantallen ruiende bergeenden in en rondom het studiegebied in 2015.



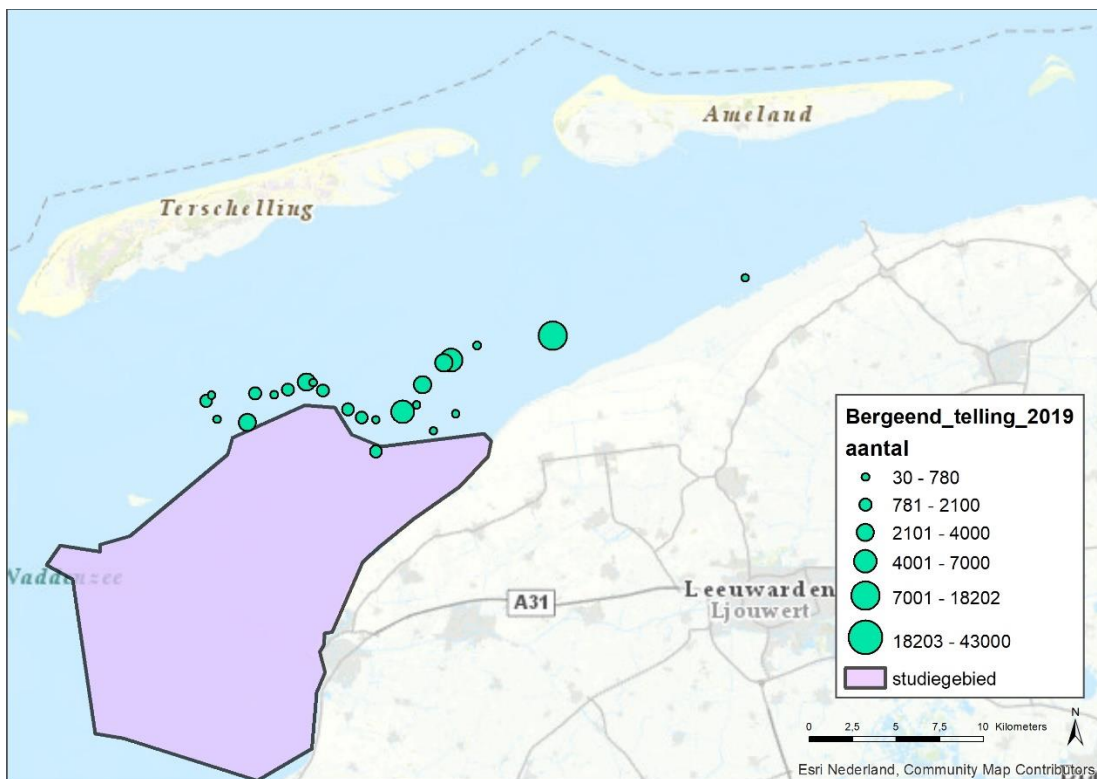
Figuur 14-5 Aantallen ruiende bergeenden in en rondom het studiegebied in 2016.



Figuur 14-6 Aantallen ruiende bergeenden in en rondom het studiegebied in 2017.



Figuur 14-7 Aantallen ruiende bergeenden in en rondom het studiegebied in 2018.



Figuur 14-8 Aantallen ruiende bergeenden in en rondom het studiegebied in 2019.

14.4 Bruikbaarheid en samenhang met andere metingen

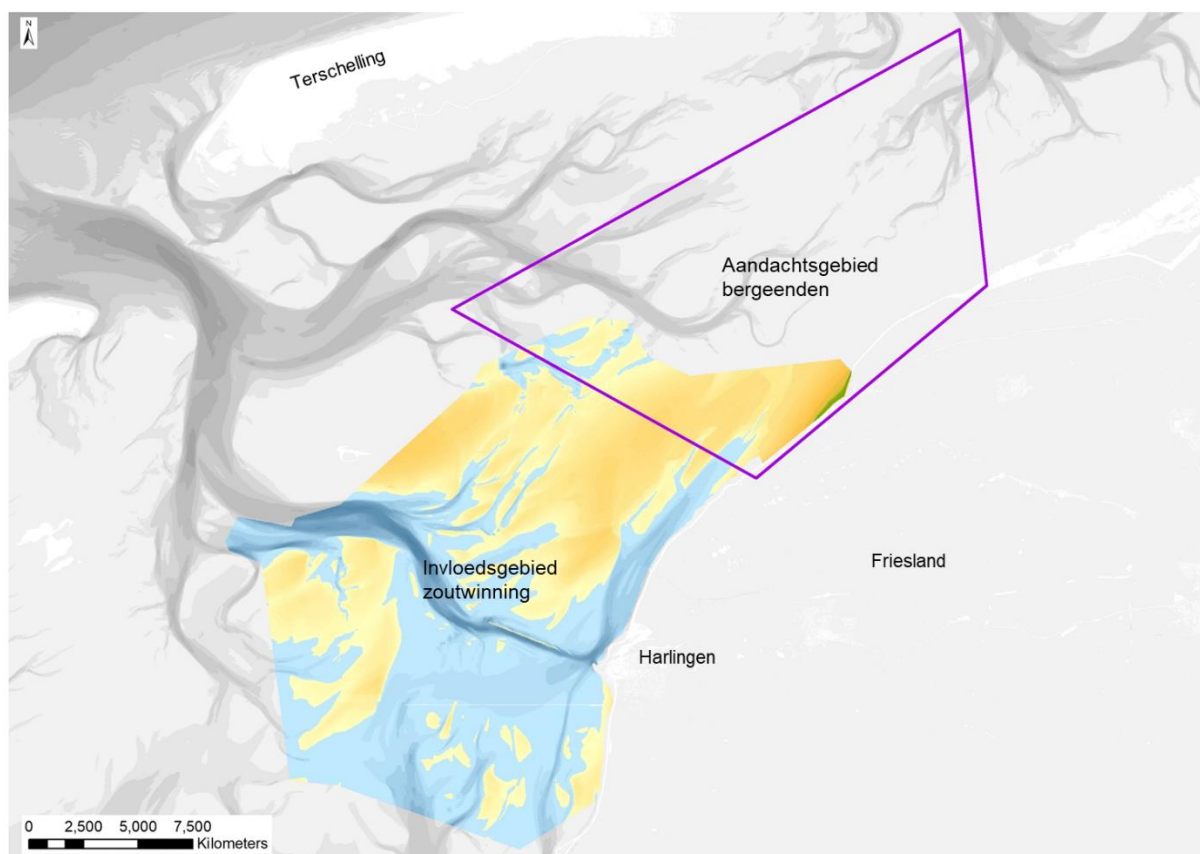
De monitoring van de ruiende bergeenden is een 'dedicated' monitoring, die specifiek is gericht op deze soort in dit gebied, tijdens het ruien. De gegevens zijn dan ook goed bruikbaar om vast te stellen welke aantalsontwikkelingen optreden in de aantallen ruiende bergeenden en de gebieden waar deze aanwezig zijn. De gebieden waar de bergeenden ruien liggen aan de oostzijde van de Vlake van Oosterbierum, aan de oostzijde van het invloedsgebied van de zoutwinning en ver van het gebied waar bodemdaling door zoutwinning zal plaatsvinden (Figuur 14-9). De bepalende factoren voor de aanwezigheid van de bergeenden liggen in de combinatie van voldoende rust en luwte en de beschikbaarheid van voedsel. Het voedsel voor de bergeenden in dit gebied lijkt voornamelijk te bestaan uit slijkgarnaaltjes die op het oppervlak van slijkkige wadplaten leven. De bergeenden foerageren tijdens afgaand water, als er nog een laag water op de wadplaten staat. Het is niet aannemelijk dat de Pleistocene bodemdaling door zoutwinning invloed heeft op het aanbod en de bereikbaarheid van slijkgarnaaltjes, als het aandeel ondiep water en het slibgehalte vergelijkbaar blijft.

Iedere drie jaar wordt de bodemligging in het invloedsgebied gemeten met de LiDAR hoogtemetingen. Van het gehele gebied zijn iedere zes jaar de vaklodingsgegevens beschikbaar. Indien zich onvoorziene ontwikkelingen voordoen in de aantalsontwikkelingen van de ruiende bergeenden, dan zullen naast deze hoogtegegevens ook gegevens uit andere monitoringsprogramma's, zoals het SIBES-programma, worden betrokken in de analyse.

14.5 Vooruitkijkend vanuit de Tnul: Beschouwing hypothetische situatie met zoutwinning

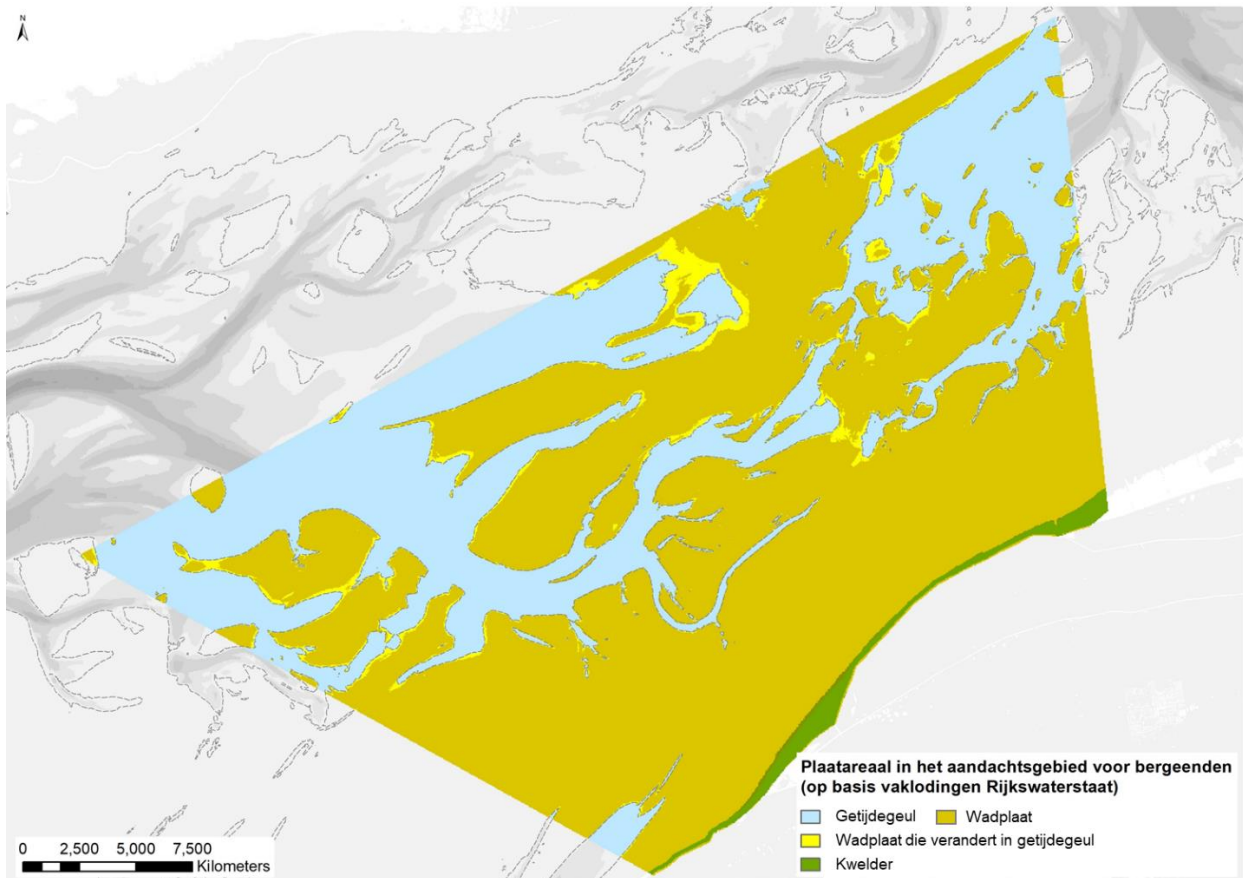
Bij elk hoofdstuk met resultaten van de metingen en de monitoring is een hoofdstuk opgenomen dat de uitkomsten beschouwd alsof al sprake zou zijn van zoutwinning. Bij de ruiende bergeenden is geen sprake van een duidelijke effectrelatie tussen de Pleistocene bodemdaling als gevolg van zoutwinning en onvoorziene morfologische en ecologische gevolgen. Een onvoorzien afname van de plaathoogte, zoals die als hypothetische signaleringsmeting is opgenomen bij de raaimetingen (paragraaf 8.5) en spijkermetingen (10.5) is gekoppeld aan de locatie waar de bodemdaling optreedt en zal zich niet voordoen aan de oostzijde van het Ballastplaat gebied.

Bij een interpretatie van de waargenomen aantallen bergeenden, zoals gerapporteerd in Figuur 14-3 en getoond in de op die figuur volgende kaarten, alsof in een deel van deze periode van bodemdaling zou zijn opgetreden, zal de conclusie altijd zijn dat de variatie in de aantallen dermate groot dat geen sprake is van trendmatige ontwikkelingen die gerelateerd kunnen zijn aan bodemdaling.



Figuur 14-9 Kaart van de Waddenzee, met het invloedsgebied van de zoutwinning en het aandachtsgebied waar de ruiende bergeenden zich ophouden.

Om enig gevoel te krijgen voor de gevoeligheid van het gebied waar bergeenden ruïen voor veranderingen in de bodemligging, is berekend wat de invloed is van een verlaging van de wadbodem met 5 cm. Deze verlaging is uniform opgelegd aan het gebied dat in Figuur 14-9 is aangeduid met “aandachtsgebied bergeenden”. Figuur 14-10 laat zien welke delen van het aandachtsgebied niet meer beschikbaar voor foeragerende bergeenden, die op droogvallende platen hun voedsel zoeken. Deze gebieden liggen voornamelijk aan de noordzijde van het aandachtsgebied. De totale oppervlakte van het gebied dat van wadplaat verandert in getijdegeul bedraagt 565 ha. Dat is een afname van 5.1% van het oorspronkelijke areaal tussen NAP -1 en +0,5 m NAP van 11.144 ha. In termen van sedimentvolume vertegenwoordigt deze afname van de plaatshoogte $5,6 \times 10^6 \text{ m}^3$. Een relatief forse afname van de sedimentinhoud in het gebied leidt tot een beperkte afname van het foerageergebied. Het sedimentvolume dat met de berekening is gemoeid heeft een omvang die in dezelfde orde van grootte ligt als het Pleistocene bodemdalingsvolume onder de droogvallende platen aan het einde van de zoutwinning van de volledige vergunde hoeveelheid zout. Met de notie dat deze bodemdaling ver van het aandachtsgebied voor de ruiende bergeenden plaatsvindt.



Figuur 14-10 Kaart met het aandachtsgebied voor ruiende bergeenden, waarbij in beeld is gebracht welke delen veranderen van droogvallende plaat in getijdegeul, bij een uniforme verlaging met 5 cm van de wadbodem.

15 AANVULLENDE GEGEVENS EN INFORMATIE

15.1 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).

Indien het voor de analyse nodig is, dan zullen de meetgegevens van de relevante parameters worden opgevraagd en betrokken in de analyse.

15.2 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);
- Handkokkelvisserij (informatie/gegevens via provincie Friesland);
- Baggeren en verspreiden baggerspecie (gegevens via Rijkswaterstaat en de haven van Harlingen);
- Zandwinning (wordt afgebouwd; gegevens via Rijkswaterstaat);
- Onderhoud kabels en leidingen (informatie/gegevens via Liander);
- Dijk-onderhoud en versterking (informatie via Wetterskip Fryslân);

Indien het voor de analyse nodig is, dan zullen (de gegevens over) de andere activiteiten in de analyse worden betrokken.

16 INTEGRATIE EN BEOORDELING

In deze T0-rapportage is nog geen sprake van integratie en beoordeling van de resultaten van de monitoring, omdat het de situatie voorafgaande aan het optreden van Pleistocene bodemdaling betreft.

De stappen die worden doorlopen bij de beoordeling staan in de beslisboom in paragraaf 4.2. In paragrafen 5.2 en 5.3 is toegelicht hoe de uitwerking van stap 2 uit de beslisboom zal plaatsvinden. De uitkomsten van de monitoring worden integraal beschouwd, waarbij de effectketen (Figuur 2-3) leidend is. Voor de beschouwing van de uitkomsten van de ecologische monitoring (benthos en HVP-tellingen) wordt gebruik gemaakt van het beslisschema in Figuur 11-4.

17 REFERENTIES

Rapporten Monitoring Frisia Havenmond over 2019

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.

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

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

- Beukema, J.J., R. Dekker & J.M. Jansen, 2009. Some like it cold: populations of the tellinid bivalve *Macoma balthica* (L.) suffer in various ways from a warming climate. *Marine Ecology Progress Series* 384: 135-145.
- Christianen, M.J.A., Holthuijsen, S., Van der Zee, E.M., Van der Eijk, A., Govers, L.L., Van der Heide, T., de Paoli, H., Olf, H., 2015. Ecotopen- en Kansrijkdomkaart van de Nederlandse Waddenzee. Rapportnummer 2015.04.01, Waddensleutels.
- Compton, T.J., Holthuijsen, S., Koolhaas, A., Dekinga, A., ten Horn, J., Smith, J., Galama, Y., Duijns, S., S. Holthuijsen, A. Koolhaas & T. Piersma, 2013. Het belang van de Ballastplaat voor wadvogels in de westelijke Waddenzee; Een literatuurstudie naar de effecten van bodemdaling door zoutwinning onder de Ballastplaat op de aanwezige vogelsoorten. NIOZ Rapport nr. 2013-8.
- 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., 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 Gemen and Dutch Wadden Sea. *Ecosystems* (17), pp 550-566.
- 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 (JMMB).

- 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.
- Philippart C.J.M., Beukema J.J., Cadée G.C., Dekker R., Goedhart P.W., van Iperen J.M., Leopold M.F. & Herman P.M.J. 2007. Impacts of nutrient reduction on coastal communities. *Ecosystems* 10: 96-119.
- Philippart, C. J.M., H.M. van Aken, J.J. Beukema, O.G. Bos, G.C. Cadée & R. Dekker, 2003. Climate related changes in recruitment of the bivalve *Macoma balthica*. *Limnology and Oceanography* 48: 2171-2185.
- Rappoldt C. & Ens B.J. 2013. Het effect van bodemdaling op overwinterende scholeksters in de Waddenzee. Een modelstudie met WEBTICS. EcoCurves rapport 17/ Sovon-rapport 2013/19.
- Rijkswaterstaat, 1998. Sedimentatlas Waddenzee. Rijkswaterstaat Rijksinstituut voor Kust en Zee, CD-ROM.
- 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 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.

COLOFON

MONITORING T0-SITUATIE STUDIEGEBIED ZOUTWINNING WADDENZEE
CONCEPT RAPPORTAGE OVER 2019

KLANT

Frisia Zout B.V.

AUTEUR

Jelmer Cleveringa

ONZE REFERENTIE

DATUM

15 juni 2020

Arcadis Nederland B.V.

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

www.arcadis.com