

Bodemdalingsmonitor 2021 Kustfundament en getijdenbekkens



Bodemdalingsmonitor 2021 Kustfundament en getijdenbekkens

Auteur(s)
Marc Hijma

Bodemdalingsmonitor 2021 Kustfundament en getijdenbekkens

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Rena Hoogland
Referenties	
Trefwoorden	Bodemdaling, GNSS, zeespiegelstijging, monitoring

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	30-11-2021
Projectnummer	11206794-003
Document ID	11206794-003-ZKS-0006
Pagina's	26
Classificatie	
Status	definitief

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1	 Marc Hijma	 Ad van der Spek	 Bob Hoogendoorn	

Samenvatting

In het gehele kustfundament en in de getijdenbekkens vindt bodemdaling plaats en deze draagt bij aan relatieve zeespiegelstijging (de som van absolute zeespiegel- en bodembewegingen). Relatieve zeespiegelstijging leidt tot verhoogde overstromingsrisico's en het is daarom van nationaal belang om relatieve zeespiegelstijging te monitoren en de bijdrage van bodemdaling aan deze stijging te kwantificeren. Bodemdaling binnen het kustfundament en de getijdenbekkens wordt veroorzaakt door geologische bodembewegingen en door menselijk ingrepen, met name door het winnen gas. In eerdere rapporten zijn de verschillende componenten van beide typen bodemdaling benoemd en hun bijdrage, inclusief onzekerheden, gekwantificeerd (Hijma & Kooi, 2018a; 2018b; Hijma & Van Onselen, 2019; 2020). Het onderzoek wordt uitgevoerd binnen de *Bodemdalingsmonitor* van het KPP-project 'Beheer en onderhoud van de Nederlandse kust' (BenO Kust).

Het huidige rapport geeft een actualisatie van de verwachte bodemdaling (Hijma & Kooi, 2018b) voor de komende 30 jaar. Dit is nodig omdat winningsplannen voor sommige gasvelden (met name Groningen) recent sterk gewijzigd zijn en er de komende 30 jaar veel zout gewonnen zal worden ten westen van Harlingen (Ballastplaat). Ten opzichte van eerdere rapporten is de snelheid van geologische bodemdaling niet gewijzigd. De totale bodemdaling in de komende 30 jaar zal gemiddeld minder zijn dan in de afgelopen 30 jaar, omdat de productie van gas zal afnemen. Een grote uitzondering hierop betreft de omgeving van de Ballastplaat, waar de totale bodemdaling sterk zal toenemen.

Het huidige rapport geeft ook achtergronden bij het gebruik van satelliet data (GNSS) voor het meten van bodemdaling. Het afleiden van verticale bodembewegingen uit GNSS-data is erg complex. Afhankelijk van het gebruikte referentiesysteem en de statistische methodes kunnen de uitkomsten aanzienlijk verschillen. Aanbevolen wordt om de methode van het *Nevada Geodetic Laboratory* (USA) te gebruiken. De actualisatie van de GNSS-data in dit rapport laat zien dat de meeste stations een vergelijkbare trend hebben als eerder gerapporteerd (Hijma & Van Onselen, 2020).

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
2	Bodemdaling door winning: een actualisatie	8
2.1	Groningen en oostelijke Waddenzee: gaswinning	8
2.2	Westelijke Waddenzee: gaswinning en zoutwinning	9
2.3	Noord- en Zuid-Holland	11
3	Bodemdalingsvolumes: een actualisatie	12
4	GNSS-data: achtergrond en actualisatie	19
4.1	Welk referentiesysteem is het meest geschikt voor Nederland?	19
4.2	Actualisatie bodemdalingssnelheden volgens GNSS-data	20
5	Conclusies	23
6	Aanbevelingen	24

1 Inleiding

De zeespiegel langs de gehele Nederlandse kust stijgt en een deel van die stijging wordt veroorzaakt door bodemdaling. De bijdrage van bodemdaling wordt al decennia onderzocht (zie bijvoorbeeld Jelgersma, 1961; Lorenz et al., 1991; Barends et al., 2008), maar sinds 2017 ook binnen het KPP Programma B&O Kust van RWS-WVL¹ waarbij specifiek de bodemdaling van het kustfundament en de getijdenbekkens geanalyseerd wordt (Hijma & Kooi, 2018a; 2018b; Hijma & Van Onselen, 2019; 2020). Het achterliggende hoofddoel hierbij is om onderbouwde berekeningen van het volumeverlies door bodemdaling in deze gebieden te kunnen maken, zodat de hoeveelheden sediment in deze gebieden beter beheerd kunnen worden. Bij het onderzoek naar bodemdaling wordt onderscheid gemaakt tussen geologische bodemdaling (gemiddeld 25% van de totale zeespiegelstijging) en daling door delfstofwinning en wordt gewerkt op een regionale schaal.

In 2019 is voor het eerst gepubliceerd over bodemdaling van het kustfundament en de getijdenbekkens onder de noemer van de *Bodemdalingsmonitor*, in analogie met de reeds bestaande *Zeespiegelmonitor* (Baart et al., 2018) die zich richt op de actuele zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Tot de jaarlijkse werkzaamheden voor de *Bodemdalingsmonitor* behoren het actief op de hoogte blijven van nieuwe inzichten omtrent dit onderwerp en regelmatig overleg met experts van instituten en universiteiten. Daarnaast worden alle of - afhankelijk van prioriteiten - een aantal van de aanbevelingen uit het voorgaande rapport doorgevoerd. Hieronder wordt beschreven hoe de aanbevelingen uit het rapport van 2019 (Hijma & Van Onselen) zijn opgepakt:

- *Verder verbeteren werkwijze monitoren van bodemdaling bij de getijdenstations*
In het rapport van 2019 is een aanzet voor een monitoringsstrategie voor de getijdenstations opgenomen (als memo in de bijlage). Deze is in 2020 binnen KPP B&O Kust uitgewerkt door HKV-Lijn in Water en dit heeft geleid tot rapporten met gerichte aanbevelingen voor het verbeteren van de huidige monitoringsstrategie (Strijker et al., 2020; Honingh et al., 2021). In 2021 worden al veel van deze aanbevelingen doorgevoerd door RWS-CIV, waarbij een belangrijke stap voorwaarts genomen is met de voorbereiding voor plaatsen van GNSS-stations bij hoofdgetijdenstations die deze nog niet hadden. Er is door RWS een werkgroep opgericht die aanbevelingen prioriteert en de voortgang bewaakt. De werkgroep bestaat uit werknemers van RWS-WVL, RWS-CIV en Deltares. Binnen deze werkgroep zal ook verder gekeken worden naar funderingsgegevens van de nulpalen en de getijdenstationhuisjes, een van de aanbevelingen uit 2020.
- *De onzekerheid over de gemodelleerde geologische bodemdaling verkleinen*
Deze aanbeveling blijft staan voor 2022. Er is dit jaar veel vooruitgang geboekt in het verbeteren van de isostatische modellen (samen met mensen van TUDelft, Universiteit Utrecht, TNO-Geologische Dienst van Nederland en Sheffield University), op basis van geologische onderzoek naar zeespiegelstijging. Bij dit onderzoek worden begraven veenmonsters uit de Noordzee gedateerd, om op die manier de zeespiegelstijging van de laatste 10.000 jaar te reconstrueren. Deze data is nodig om de isostatische modellen te verbeteren. Volgend jaar wordt dit onderzoek afgerond, de resultaten gaan gebruikt worden in de *Bodemdalingsmonitor*.

¹ Kennis Primaire Processen Programma Beheer & Onderhoud Kust van Rijkswaterstaat-Water, verkeer en leefomgeving. Dit programma wordt in een samenwerking tussen RWS-WVL en Deltares uitgevoerd.

Het voorliggende rapport geeft in hoofdstuk 2 een actualisatie van de verwachte bodemdaling door winning. Er zijn de laatste jaren nieuwe winningsplannen gepresenteerd voor bijvoorbeeld het Groninger gasveld, maar ook is recent de zoutwinning ten westen van Harlingen gestart in de Waddenzee. In het navolgende hoofdstuk worden nieuw berekende bodemdalingsvolumes voor de verschillende deelgebieden van het kustfundament en de getijdenbekkens gegeven. Deze zijn berekend met de in 2020 ontwikkelde bodemdalingsscripts die dit jaar online beschikbaar gesteld worden: <https://gitlab.com/deltares/tgg-projects/subdates>.

Hoofdstuk 3 beschrijft een actualisatie van de bodemdalingsvolumes per kustdeelsysteem en uitgesplitst naar getijdenbekkens en het kustfundament. De volumes voor de laatste 30 jaar zijn niet veranderd, maar de volumes voor de komende 30 jaar zijn wel veranderd op basis van nieuwe prognoses voor bodemdaling voor delfstofwinning.

Hoofdstuk 4 gaat over GNSS-metingen. Eerst wordt ingegaan op de manier waarop uit GNSS-metingen bodembewegingen afgeleid kunnen worden, vervolgens worden de GNSS-stations uit Nederland gebruikt om een beeld te geven van de bodembeweging in Nederland. Deze bodembeweging heeft dus zowel een geologische als een menselijke component. Vanuit de *Bodemdalingsmonitor* bestaat de sterke wens om samen met andere partijen, een nieuwe, 'officiële' geologische bodemdalingskaart van Nederland te maken. Hiertoe zijn in 2021 de eerste gesprekken gevoerd, de kaart zal in 2022 kunnen verschijnen, mogelijk in samenhang met een symposium en een artikel over dit onderwerp.

De laatste twee hoofdstukken betreffen de conclusies en aanbevelingen.

2 Bodemdaling door winning: een actualisatie

In de *Bodemdalingsmonitor*-rapporten van 2018 zijn overzichten gegeven van de bodemdaling als gevolg van de winning van gas, olie, zout en water (Hijma & Kooi, 2018a; 2018b). De bodemdaling door het winnen van water bleek niet relevant voor het kustfundament en zal hier verder niet meer behandeld worden. De bodemdaling door winning werd gegeven voor drie periodes (1917-2017, 1987-2017 en 2018-2050) en bijbehorende bodemdalingsvolumes werden gepresenteerd. Inmiddels is het drie jaar later en zijn er ontwikkelingen geweest die een actualisatie van de berekende bodemdaling door winning nodig maken. De historische bodemdaling voor winning blijft hierbij ongewijzigd, de actualisatie betreft de periode tot 2050. De ontwikkelingen zijn:

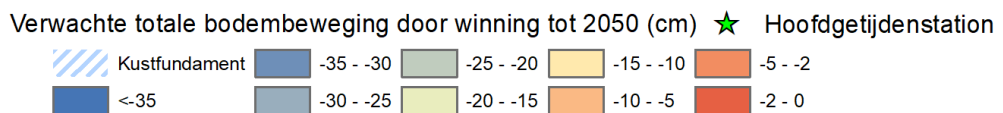
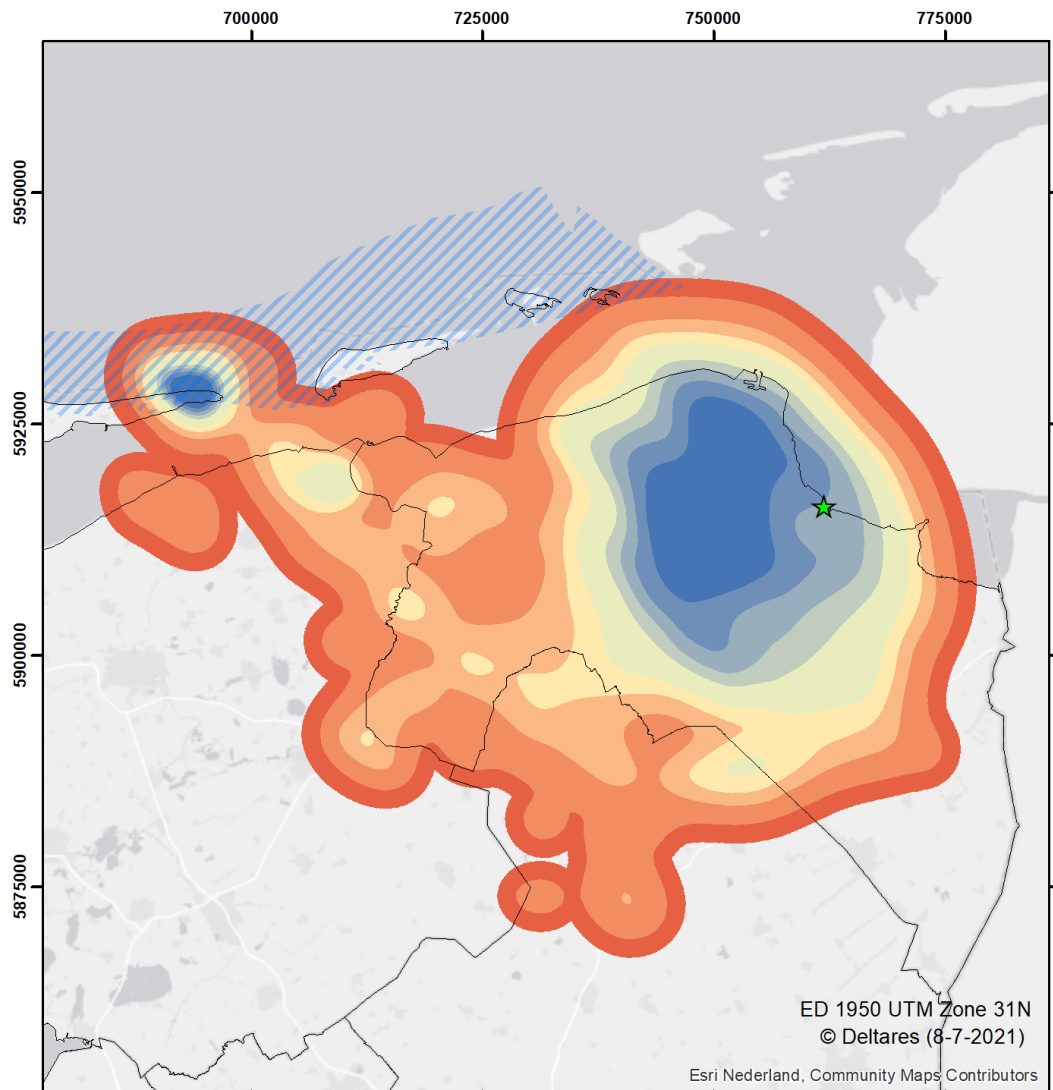
- De start van de zoutwinning ten westen van Harlingen. In 2018 al benoemd en opgenomen in de *Bodemdalingsmonitor*, maar in de herfst van 2020 is men daadwerkelijk gestart en er zijn nieuwe modelberekeningen beschikbaar gekomen.
- Het verminderen van de gasproductie in Groningen en nieuwe modelberekeningen van de NAM met betrekking tot de bijbehorende bodemdaling.
- Nieuwe NAM modellen voor de bodemdaling rondom Ameland.
- Nieuw verkregen data van de bodemdaling door gaswinning in de westelijke Waddenzee (Zuidwal).
- Nieuwe data voor de verwachte bodemdaling nabij Bergen.

Hieronder wordt voor drie gebieden ingegaan op de actuele verwachting voor bodemdaling door winning tot 2050. In de laatste paragraaf worden kaarten getoond voor het gehele kustfundament. In Hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de bijbehorende bodemdalingsvolumes.

2.1 Groningen en oostelijke Waddenzee: gaswinning

De bodemdaling door winning wordt in dit gebied gedomineerd door de winning in het Groninger-gasveld en de winning bij Ameland. In 2022 zal de winning in het Groninger-gasveld naar verwachting stoppen en dit heeft uiteraard tot gevolg dat er iets minder bodemdaling zal optreden de komende 30 jaar dan eerder aangenomen werd. De verschillen zijn echter klein en bedragen hooguit enkele centimeters (NAM, 2020). Maar aangezien de bodemdalingsschotel een groot oppervlak heeft, heeft dit wel lagere bodemdalingsvolumes tot gevolg (zie ook Hoofdstuk). De modellen die door de NAM gebruikt worden, zijn gekalibreerd aan metingen (InSAR, waterpas, GNSS) en een vergelijking van de berekende bodemdaling met de metingen laat een goede overeenkomst zien (NAM, 2020; 2021). Dit maakt het waarschijnlijk dat ook de gemodelleerde toekomstige bodemdaling behoorlijk goed overeen zal gaan komen met de werkelijkheid (in Hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op de gebruikte onzekerheden).

Figuur 2-1 toont de totale bodemdaling tot 2050 door de gaswinning in Groningen en de oostelijke Waddenzee. De kaart is gemaakt aan de hand van de contourlijnen van bodemdaling in NAM (2020; data verkregen via Onno van der Wal, Shell). De directe invloed op het kustfundament is er vooral bij Ameland, maar de bodemdalingsschotel strekt zich wel uit over grote delen van de getijdenbekkens. De contourlijnen van de NAM houden altijd op bij -2 cm, voor de *Bodemdalingsmonitor* is een aanvullende 0 cm contourlijn toegevoegd. De afstand tussen de 0 en -2 cm contourlijn is zo gekozen dat deze ruwweg overeen komt met de afstand tussen de -2 en -4 cm contourlijn.

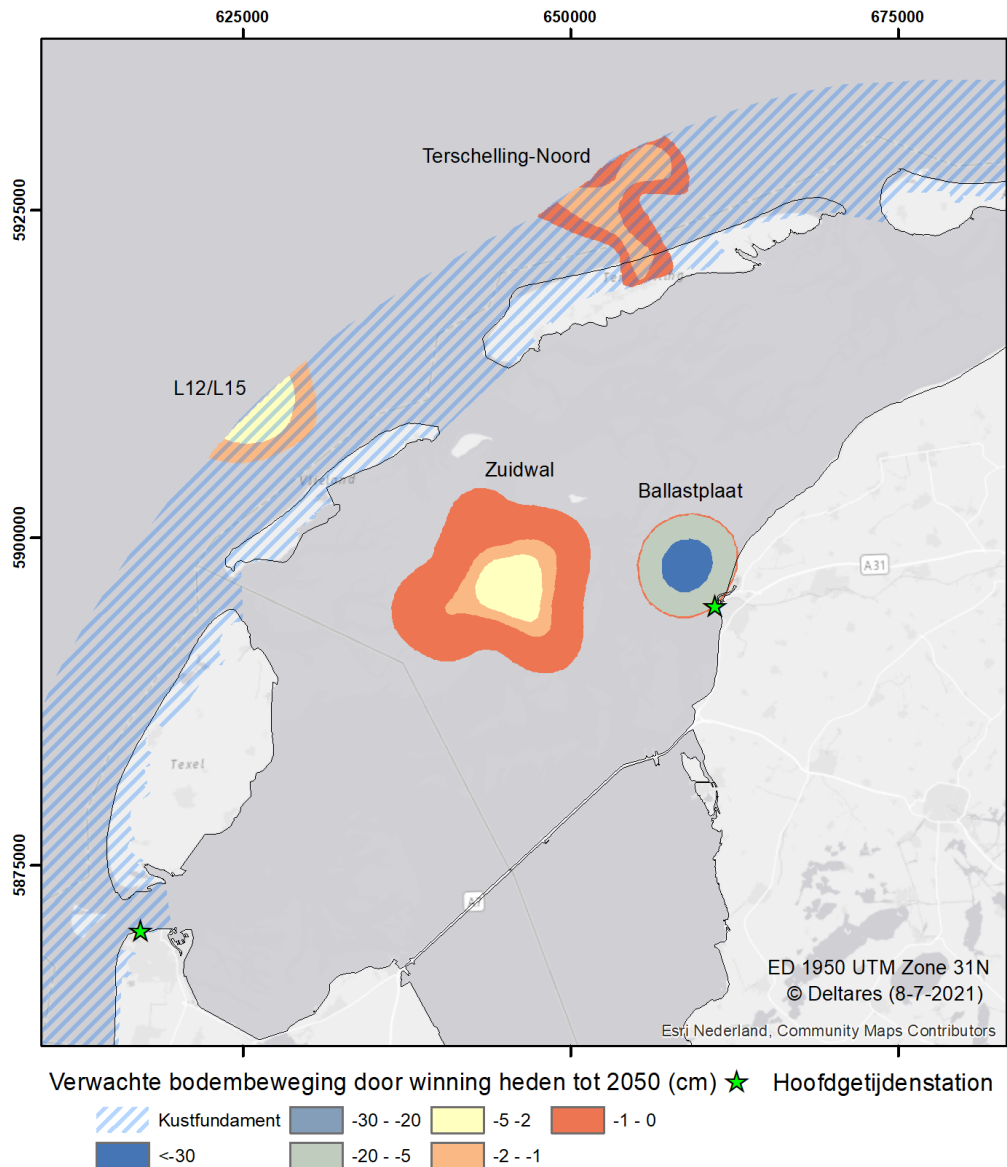


Figuur 2-1 Totale bodemdaling tot 2050 (dus inclusief de bodemdaling tot op heden) in de oostelijke Waddenzee.

2.2 Westelijke Waddenzee: gaswinning en zoutwinning

In het gebied van de westelijke Waddenzee spelen drie gasvelden een rol en daarnaast de zoutwinning onder de Ballastplaat ten westen van Harlingen. De verwachte bodemdaling voor de velden ten noorden van Vlieland en Terschelling is ongewijzigd t.o.v. eerdere rapporten van de *Bodemdalingsmonitor* en is vrij beperkt. Ook de verwachting voor de bodemdaling bij Zuidwal is niet veel veranderd, maar de databron is wel sterk verbeterd. In eerdere rapporten werden contourlijnen uit rapporten overgenomen, nu is rechtstreeks via de beheerder van het veld (Vermillion Energy, data verkregen via Hans Martens) de ruwe data verkregen en voor de *Bodemdalingsmonitor* vergrid tot een raster. De totale bodemdaling bij de Zuidwal (over de gehele levensduur van het veld) is maximaal 14 cm in het midden. De komende 30 jaar wordt nog maximaal 4 cm bodemdaling verwacht. De bodemdalingsschotel

is echter relatief groot, waardoor het totale volume met $1,29 \pm 0,65$ mln.m³ nog behoorlijk is (zie ook Hoofdstuk 3).



Figuur 2-2 Verwachte bodemdaling tussen heden en 2050 door winning in de westelijke Waddenzee.

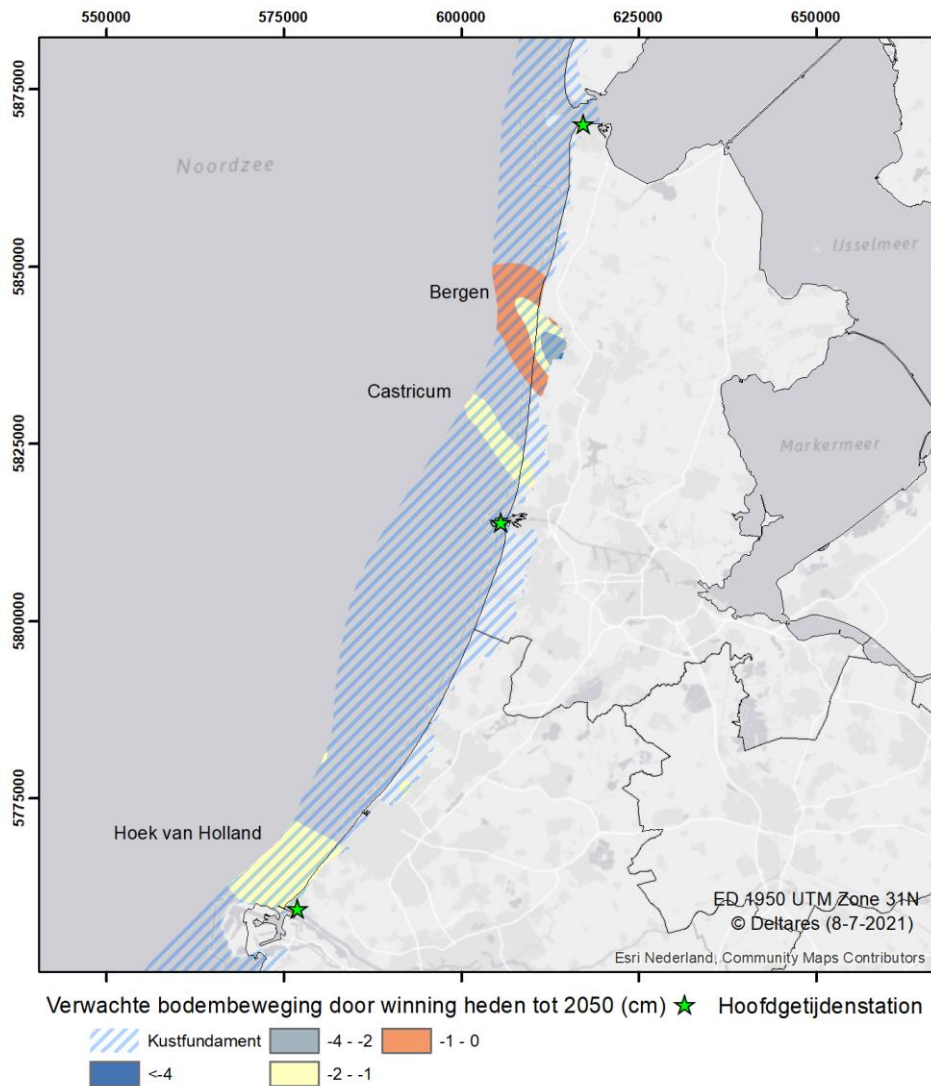
De verwachte bodemdaling door de zoutwinning bij de Ballastplaat is aanzienlijk veranderd t.o.v. eerdere berekeningen. Eerder werd uitgegaan van een maximale bodemdaling van meer dan 130 cm (Hijma & Kooi, 2018a), terwijl momenteel wordt uitgegaan van maximaal 92 cm (data verkregen via Jeroen Jansen van Esco-Salt, het winbedrijf). Uiteraard is dit nog steeds fors en dit leidt tot een verwacht bodemdalingsvolume van $12,81 \pm 6,41$ mln.m³ in de komende decennia (zie ook Hoofdstuk 3). De bodemdaling wordt ieder jaar (dit jaar Antea Group, 2021) gemonitord middels continue GNSS-metingen en ook de eventuele impact hiervan op de bodemmorfologie zal in de gaten gehouden worden (Arcadis, 2020). Bovenstaande rapporten geven feitelijk de T0-situatie weer voor het gebied. In september 2020 is de zoutwinning namelijk pas gestart, dus in de rapportage over 2021 zullen de eerste effecten van de zoutwinning merkbaar moeten worden. Hoofdgetijdenstation Harlingen ligt pal, slechts enkele honderden meters, naast de gemodelleerde bodemdalingsschotel van de zoutwinning. Een kleine verschuiving in de schotel zal daarom al invloed hebben op dit station. Het is daarom belangrijk dit goed te blijven monitoren, bijvoorbeeld door het vaker

inmeten van de NAP-hoogtes van de P- en M-bouten van station Harlingen of door structureel InSAR-beelden van deze locatie te analyseren. Eventuele correcties van de gemeten waterstanden op basis van bodemdaling moeten goed gedocumenteerd worden.

Ten oosten van Harlingen vindt ook gaswinning plaats op land. In overeenstemming met een bodemdalingsrapport (Hijma & Kooi, 2018a) laten ook de meeste recent modelberekeningen zien dat de bodemdalingsschotel rondom de gaswinning niet tot de Waddenzee en getijdenstation Harlingen reikt (Vermillion Energy, 2019).

2.3 Noord- en Zuid-Holland

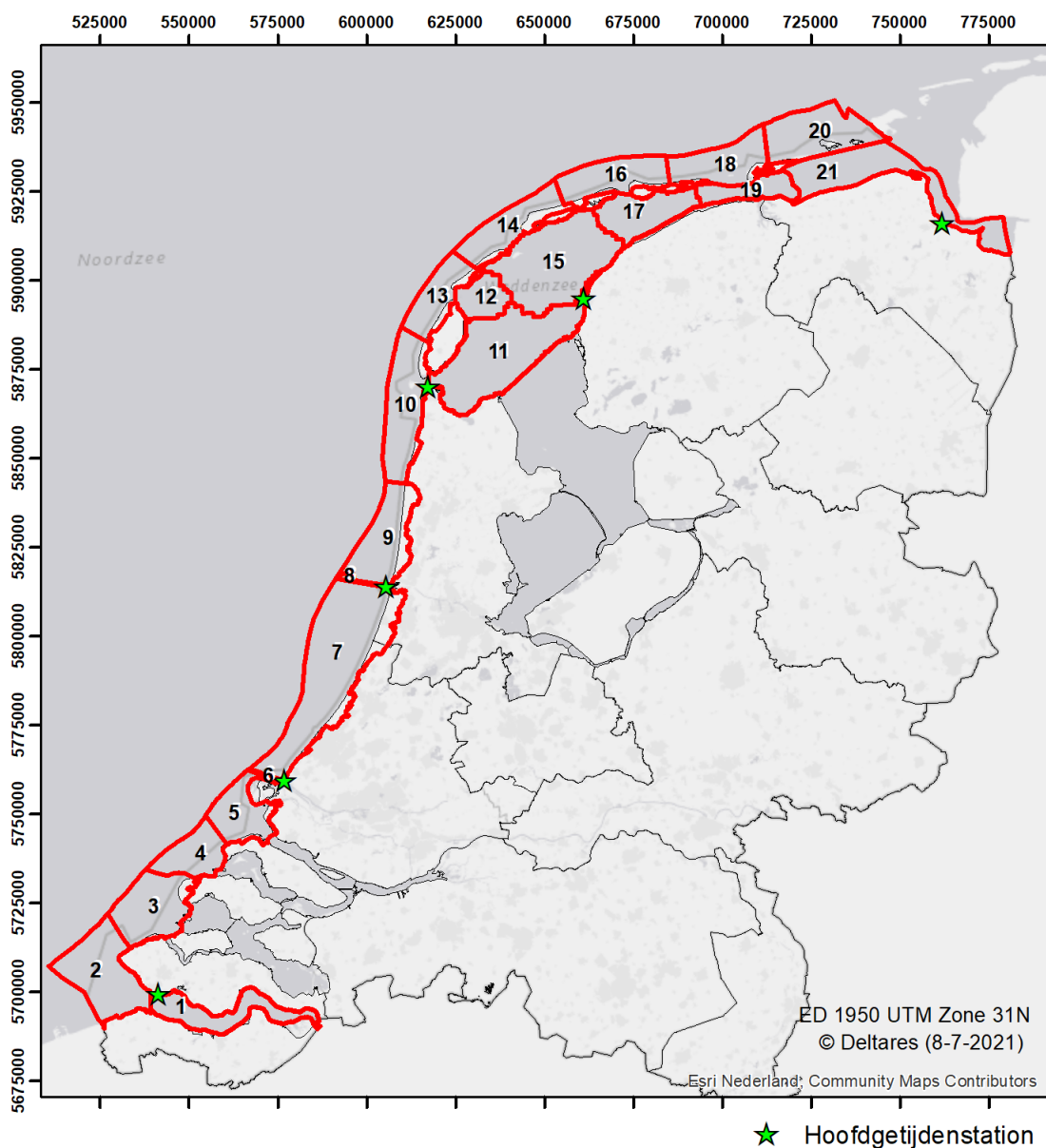
De verschillende velden in Noord- en Zuid-Holland zijn relatief klein en leiden in het algemeen niet tot forse bodemdaling. De uitzondering zijn de velden nabij Bergen die de komende tijd nog tot maximaal 5 cm bodemdaling zullen leiden en een bodemdalingsschotel hebben van $1,08 \pm 0,54$ mln.m³. Als een deel van de velden gebruikt zal worden voor gasopslag, zal de bodemdaling overigens naar verwachting geringer worden (TAQA Energy B.V., 2017). Ten opzichte van de *Bodemdalingsmonitor* uit 2018 is de vorm van de bodemdalingsschotel nabij Bergen enigszins veranderd door het gebruik van nieuwe data. Voor de overige velden is niks veranderd.



Figuur 2-3 Verwachte bodemdaling tussen heden en 2050 door winning langs de Hollandse kust.

3 Bodemdalingsvolumes: een actualisatie

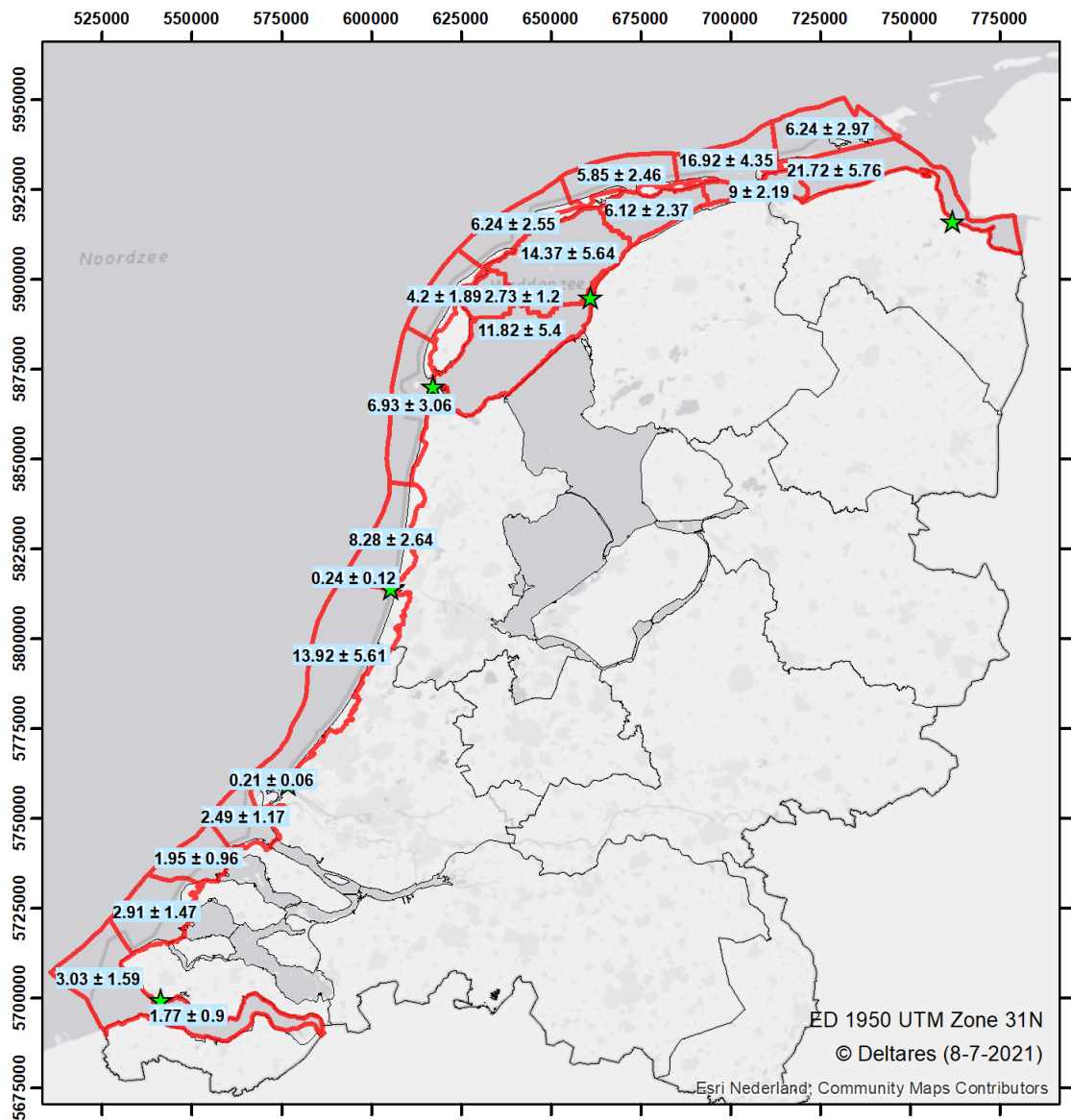
In Hijma & Kooi (2018b) zijn per kustdeelsysteem de bodemdalingsvolumes gegeven, zowel in tabellen als in kaartvorm. De volumes zijn hierbij opgesplitst naar volumes als gevolg van geologische bodemdaling en als gevolg van delfstofwinning. Dit hoofdstuk geeft een actualisatie van deze tabellen en kaarten, gebaseerd op nieuwe data omtrent (verwachte) bodemdaling. *Figuur 3-1* toont de ligging van de verschillende deelsystemen.



Figuur 3-1 Kaart met de deelgebieden voor kustonderhoud, zoals aangeleverd door Rijkswaterstaat. Deze nummering wordt gebruikt in onderstaande tabellen, waar ook de naam van elk deelgebied getoond wordt.

Figuur 3-2 toont de totale bodemdalingsvolumes voor de afgelopen 30 jaar, dit omvat dus zowel geologische bodemdaling als bodemdaling door winning. De deelsystemen verschillen sterk in grootte, waardoor een onderlinge vergelijking van de volumes geen direct relevante

informatie geeft over de snelheid van bodemdaling in de gebieden. De bodemdalingsvolumes nemen in het algemeen toe richting het noorden, dit komt doordat de geologische bodemdaling in het noorden sterker is. De grotere volumes in het noorden worden verder veroorzaakt door de gasvelden Zuidwal, Ameland en Groningen.

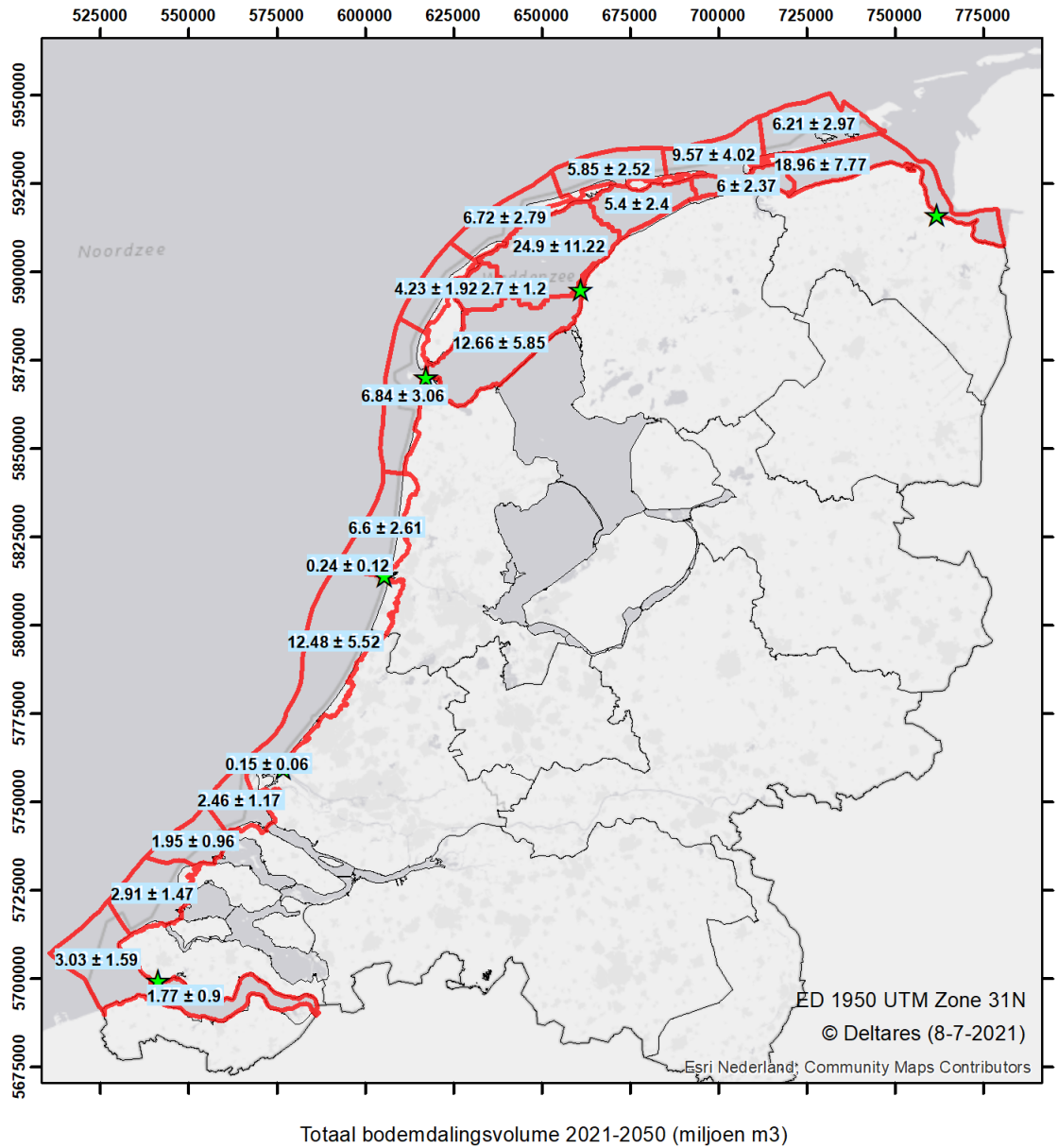


Totaal bodemdalingsvolume 1991-2020 (miljoen m3)

Figuur 3-2 Het totale opgetreden bodemdalingsvolume per deelgebied over de laatste 30 jaar

Figuur 3-3 laat de totale bodemdalingsvolumes zien voor de komende 30 jaar. Het geologische bodemdalingsvolume is voor deze periode identiek aan die van 1991-2020 en verschillen tussen beide kaarten komen door verschillen in bodemdaling door winning. In het algemeen is er een behoorlijke afname waarneembaar in het totale volume ten opzichte van de afgelopen 30 jaar, doordat de grootste daling door gaswinning in veel gebieden achter de rug is. Nabij Terschelling wordt een kleine toename verwacht, maar de grootste toename vindt plaats in deelgebied 15 (Vlie binnen) waar vorig jaar gestart is met zoutwinning en veel bodemdaling verwacht wordt. De onzekerheden zijn wel fors groter dan voor de laatste 30 jaar, omdat de reeds opgetreden daling door winning redelijk goed bekend is (onzekerheid

van $\pm 25\%$), terwijl de nog komende bodemdaling door winning uiteraard minder goed bekend is (onzekerheid van $\pm 50\%$).



Figuur 3-3 Het totale verwachte bodemdalingsvolume per deelgebied over de komende 30 jaar.

Onderstaande tabellen geven per deelgebied de uitgesplitste bodemdalingsgetallen. De eerste twee tabellen geven per deelgebied in cm de daling door tektoniek, isostasie en winning, maar de gemiddelde daling per jaar.

Tabel 3.1 Bodembewegingsgetallen voor de deelgebieden voor de periode 1991-2020

Deelgebied	Gemiddelde tektonische bodembeweging (cm)	Gemiddelde GIA-bodem-beweging (cm)	Gemiddelde bodembeweging door winning (cm)	Gemiddelde bodembewegings snelheid (cm/yr)
1991-2020				
Westerschelde (1)	0.02	-0.72	0.00	-0.02
Westerschelde delta (2)	0.03	-0.75	0.00	-0.02
Oosterschelde delta (3)	0.01	-0.84	0.00	-0.03
Grevelingen delta (4)	-0.01	-0.91	0.00	-0.03
Haringvliet delta (5)	-0.04	-0.98	-0.03	-0.03
Maasgeul (6)	0.00	-0.86	-1.72	-0.09
Zuid-Holland (7)	-0.10	-1.18	-0.27	-0.05
IJgeul (8)	-0.19	-1.30	0.00	-0.05
Noord-Holland (9)	-0.21	-1.34	-0.84	-0.08
Zeegat van Texel (10)	-0.14	-1.50	-0.10	-0.06
Marsdiep binnen (11)	-0.13	-1.56	-0.02	-0.06
Eierlandse Gat binnen (12)	-0.16	-1.63	-0.06	-0.06
Eierlandse Gat (13)	-0.13	-1.62	-0.06	-0.06
Vlietroom (14)	-0.21	-1.67	-0.26	-0.07
Vlie binnen (15)	-0.19	-1.64	-0.36	-0.07
Amelander Zeegat (16)	-0.19	-1.70	-0.16	-0.07
Amelander Zeegat binnen (17)	-0.12	-1.65	-0.46	-0.07
Friesche Zeegat (18)	-0.05	-1.65	-4.08	-0.19
Friesche Zeegat binnen (19)	-0.04	-1.62	-4.14	-0.19
Eems Dollard (20)	-0.04	-1.61	-0.04	-0.06
Eems Dollard binnen (21)	-0.01	-1.52	-2.95	-0.15

Tabel 3.2 Bodembewegingsgetallen voor de deelgebieden voor de periode 2021-2050.

Deelgebied	Gemiddelde tektonische bodembeweging (cm)	Gemiddelde GIA-bodem-beweging (cm)	Gemiddelde bodembeweging door winning (cm)	Gemiddelde bodembewegings -snelheid (cm/yr)
2021-2050				
Westerschelde (1)	0.02	-0.72	0.00	-0.02
Westerschelde delta (2)	0.03	-0.75	0.00	-0.02
Oosterschelde delta (3)	0.01	-0.84	0.00	-0.03
Grevelingen delta (4)	-0.01	-0.91	0.00	-0.03
Haringvliet delta (5)	-0.04	-0.98	-0.01	-0.03
Maasgeul (6)	0.00	-0.86	-0.86	-0.06
Zuid-Holland (7)	-0.10	-1.18	-0.11	-0.05
IJgeul (8)	-0.19	-1.30	0.00	-0.05
Noord-Holland (9)	-0.21	-1.34	-0.36	-0.06
Zeegat van Texel (10)	-0.14	-1.50	-0.08	-0.06
Marsdiep binnen (11)	-0.13	-1.56	-0.14	-0.06
Eierlandse Gat binnen (12)	-0.16	-1.63	-0.04	-0.06
Eierlandse Gat (13)	-0.13	-1.62	-0.06	-0.06
Vlietroom (14)	-0.21	-1.67	-0.42	-0.08
Vlie binnen (15)	-0.19	-1.64	-1.96	-0.13
Amelander Zeegat (16)	-0.19	-1.70	-0.15	-0.07
Amelander Zeegat binnen (17)	-0.12	-1.65	-0.21	-0.07
Friesche Zeegat (18)	-0.05	-1.65	-1.57	-0.11
Friesche Zeegat binnen (19)	-0.04	-1.62	-2.26	-0.13
Eems Dollard (20)	-0.04	-1.61	-0.03	-0.06
Eems Dollard binnen (21)	-0.01	-1.52	-2.38	-0.13

Tabel 3.3 Bodemdalingsvolumes voor de deelgebieden voor de periode 1991-2020

Deelgebied	Geologisch bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m ³)	Bodemdalingsvolume door winning ± onzekerheid (mln.m ³)	Totaal bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m ³)
1991-2020			
Westerschelde (1)	1.77 ± 0.93	0 ± 0	1.77 ± 0.93
Westerschelde delta (2)	3.06 ± 1.59	0 ± 0	3.06 ± 1.59
Oosterschelde delta (3)	2.91 ± 1.47	0 ± 0	2.91 ± 1.47
Grevelingen delta (4)	1.95 ± 0.96	0 ± 0	1.95 ± 0.96
Haringvliet delta (5)	2.43 ± 1.17	0.06 ± 0.02	2.49 ± 1.17
Maasgeul (6)	0.06 ± 0.03	0.12 ± 0.03	0.18 ± 0.03
Zuid-Holland (7)	11.52 ± 5.34	2.43 ± 0.61	13.92 ± 5.37
IJgeul (8)	0.24 ± 0.12	0 ± 0	0.24 ± 0.12
Noord-Holland (9)	5.37 ± 2.34	2.91 ± 0.73	8.28 ± 2.46
Zeegat van Texel (10)	6.54 ± 3.00	0.39 ± 0.1	6.93 ± 3
Marsdiep binnen (11)	11.67 ± 5.4	0.12 ± 0.03	11.79 ± 5.4
Eierlandse Gat binnen (12)	2.64 ± 1.20	0.09 ± 0.02	2.73 ± 1.2
Eierlandse Gat (13)	4.08 ± 1.89	0.15 ± 0.04	4.20 ± 1.89
Vlietroom (14)	5.49 ± 2.46	0.75 ± 0.19	6.24 ± 2.46
Vlie binnen (15)	12.03 ± 5.43	2.34 ± 0.59	14.37 ± 5.46
Amelander Zeegat (16)	5.43 ± 2.46	0.45 ± 0.11	5.85 ± 2.46
Amelander Zeegat binnen (17)	4.83 ± 2.25	1.26 ± 0.32	6.09 ± 2.28
Friesche Zeegat (18)	4.98 ± 2.43	11.94 ± 2.99	16.92 ± 3.84
Friesche Zeegat binnen (19)	2.58 ± 1.26	6.42 ± 1.61	9.00 ± 2.04
Eems Dollard (20)	6.09 ± 2.97	0.15 ± 0.04	6.24 ± 2.97
Eems Dollard binnen (21)	7.41 ± 3.69	14.31 ± 3.58	21.72 ± 5.13
Totaal	103.08 ± 12.71	43.89 ± 5.07	146.97 ± 13.68

Tabel 3.4 Bodemdalingsvolumes voor de deelgebieden voor de periode 2021-2050.

Deelgebied	Geologisch bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m ³)	Bodemdalingsvolume door winning ± onzekerheid (mln.m ³)	Totaal bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m ³)
2021-2050			
Westerschelde (1)	1.77 ± 0.93	0 ± 0	1.77 ± 0.93
Westerschelde delta (2)	3.06 ± 1.59	0 ± 0	3.03 ± 1.59
Oosterschelde delta (3)	2.91 ± 1.47	0 ± 0	2.91 ± 1.47
Grevelingen delta (4)	1.95 ± 0.96	0 ± 0	1.95 ± 0.96
Haringvliet delta (5)	2.43 ± 1.17	0.03 ± 0.03	2.46 ± 1.17
Maasgeul (6)	0.06 ± 0.03	0.06 ± 0.03	0.12 ± 0.03
Zuid-Holland (7)	11.52 ± 5.34	0.99 ± 0.51	12.51 ± 5.34
IJgeul (8)	0.24 ± 0.12	0 ± 0	0.24 ± 0.12
Noord-Holland (9)	5.37 ± 2.34	1.23 ± 0.63	6.60 ± 2.43
Zeegat van Texel (10)	6.54 ± 3.00	0.3 ± 0.15	6.84 ± 3.03
Marsdiep binnen (11)	11.67 ± 5.40	0.99 ± 0.51	12.66 ± 5.43
Eierlandse Gat binnen (12)	2.64 ± 1.20	0.06 ± 0.03	2.70 ± 1.20
Eierlandse Gat (13)	4.08 ± 1.89	0.15 ± 0.09	4.23 ± 1.89
Vlietroom (14)	5.49 ± 2.46	1.23 ± 0.63	6.72 ± 2.55
Vlie binnen (15)	12.03 ± 5.43	12.87 ± 6.45	24.9 ± 8.40
Amelander Zeegat (16)	5.43 ± 2.46	0.42 ± 0.21	5.85 ± 2.46
Amelander Zeegat binnen (17)	4.83 ± 2.25	0.57 ± 0.30	5.40 ± 2.28
Friesche Zeegat (18)	4.98 ± 2.43	4.59 ± 2.31	9.57 ± 3.33
Friesche Zeegat binnen (19)	2.58 ± 1.26	3.51 ± 1.77	6.09 ± 2.16
Eems Dollard (20)	6.09 ± 2.97	0.12 ± 0.06	6.21 ± 2.97
Eems Dollard binnen (21)	7.41 ± 3.69	11.55 ± 5.79	18.96 ± 6.84
Totaal	103.08 ± 12.71	38.67 ± 9.22	141.75 ± 15.67

De volgende twee tabellen geven per deelgebied het bodemdalingsvolume per jaar, uitgesplitst naar geologische bodemdaling, daling door winning en de totale bodemdaling. Ook maken de tabellen onderscheid in de volumes voor de getijdenbekkens en het kustfundament.

Tabel 3.5 Jaarlijks gemiddelde bodemdalingsvolumes voor de periode 1991-2020

Gebied	Geologisch bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m ³ , gem. per jaar)	Bodemdalingsvolume door winning ± onzekerheid (mln.m ³ , gem. per jaar)	Totale bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m ³ , gem. per jaar)
1991-2020			
Westerschelde (1)	0.059 ± 0.031	0 ± 0	0.059 ± 0.031
Westerschelde delta (2)	0.102 ± 0.053	0 ± 0	0.101 ± 0.053
Oosterschelde delta (3)	0.097 ± 0.049	0 ± 0	0.097 ± 0.049
Grevelingen delta (4)	0.065 ± 0.032	0 ± 0	0.065 ± 0.032
Haringvliet delta (5)	0.081 ± 0.039	0.002 ± 0.001	0.083 ± 0.039
Maasgeul (6)	0.002 ± 0.001	0.004 ± 0.001	0.007 ± 0.002
Zuid-Holland (7)	0.384 ± 0.178	0.081 ± 0.02	0.464 ± 0.187
IJgeul (8)	0.008 ± 0.004	0 ± 0	0.008 ± 0.004
Noord-Holland (9)	0.179 ± 0.078	0.097 ± 0.024	0.276 ± 0.088
Zeegat van Texel (10)	0.218 ± 0.100	0.013 ± 0.003	0.231 ± 0.102
Marsdiep binnen (11)	0.389 ± 0.180	0.004 ± 0.001	0.394 ± 0.180
Eierlandse Gat binnen (12)	0.088 ± 0.040	0.003 ± 0.001	0.091 ± 0.040
Eierlandse Gat (13)	0.136 ± 0.063	0.005 ± 0.001	0.140 ± 0.063
Vlietstroom (14)	0.183 ± 0.082	0.025 ± 0.006	0.208 ± 0.085
Vlie binnen (15)	0.401 ± 0.181	0.078 ± 0.020	0.479 ± 0.188
Amelander Zeegat (16)	0.181 ± 0.082	0.015 ± 0.004	0.195 ± 0.082
Amelander Zeegat binnen (17)	0.161 ± 0.075	0.042 ± 0.011	0.204 ± 0.079
Friesche Zeegat (18)	0.166 ± 0.081	0.398 ± 0.100	0.564 ± 0.145
Friesche Zeegat binnen (19)	0.086 ± 0.042	0.214 ± 0.054	0.300 ± 0.073
Eems Dollard (20)	0.203 ± 0.099	0.005 ± 0.001	0.208 ± 0.099
Eems Dollard binnen (21)	0.247 ± 0.123	0.477 ± 0.119	0.724 ± 0.192
Getijdenbekkens	1.431 ± 0.716	0.818 ± 0.205	2.249 ± 0.745
- Waddenzee	- 1.372 ± 0.686	- 0.818 ± 0.205	- 2.190 ± 0.716
- Westerschelde	- 0.059 ± 0.031	- 0 ± 0	- 0.059 ± 0.031
Kustfundament	2.005 ± 1.003	0.645 ± 0.161	2.650 ± 1.016
Kustfundament en getijdenbekkens	3.436 ± 1.718	1.463 ± 0.366	4.899 ± 1.757

Tabel 3.6 Jaarlijks gemiddelde bodemdalingsvolumes voor de periode 2021-2050.

Gebied	Geologisch bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m ³ , gem. per jaar)	Bodemdalingsvolume door winning ± onzekerheid (mln.m ³ , gem. per jaar)	Totale bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m ³ , gem. per jaar)
2021-2050			
Westerschelde (1)	0.059 ± 0.031	0 ± 0	0.059 ± 0.031
Westerschelde delta (2)	0.102 ± 0.053	0 ± 0	0.101 ± 0.053
Oosterschelde delta (3)	0.097 ± 0.049	0 ± 0	0.097 ± 0.049
Grevelingen delta (4)	0.065 ± 0.032	0 ± 0	0.065 ± 0.032
Haringvliet delta (5)	0.081 ± 0.039	0.001 ± 0.001	0.082 ± 0.039
Maasgeul (6)	0.002 ± 0.001	0.002 ± 0.001	0.005 ± 0.002
Zuid-Holland (7)	0.384 ± 0.178	0.033 ± 0.017	0.416 ± 0.184
IJgeul (8)	0.008 ± 0.004	0 ± 0	0.008 ± 0.004
Noord-Holland (9)	0.179 ± 0.078	0.041 ± 0.021	0.22 ± 0.087
Zeegat van Texel (10)	0.218 ± 0.1	0.01 ± 0.005	0.228 ± 0.102
Marsdiep binnen (11)	0.389 ± 0.18	0.033 ± 0.017	0.422 ± 0.195
Eierlandse Gat binnen (12)	0.088 ± 0.04	0.002 ± 0.001	0.090 ± 0.04
Eierlandse Gat (13)	0.136 ± 0.063	0.005 ± 0.003	0.141 ± 0.064
Vlietstroom (14)	0.183 ± 0.082	0.041 ± 0.021	0.224 ± 0.093
Vlie binnen (15)	0.401 ± 0.181	0.429 ± 0.215	0.83 ± 0.374
Amelander Zeegat (16)	0.181 ± 0.082	0.014 ± 0.007	0.195 ± 0.084
Amelander Zeegat binnen (17)	0.161 ± 0.075	0.019 ± 0.01	0.180 ± 0.08
Friesche Zeegat (18)	0.166 ± 0.081	0.153 ± 0.077	0.319 ± 0.134
Friesche Zeegat binnen (19)	0.086 ± 0.042	0.117 ± 0.059	0.200 ± 0.079
Eems Dollard (20)	0.203 ± 0.099	0.004 ± 0.002	0.207 ± 0.099
Eems Dollard binnen (21)	0.247 ± 0.123	0.385 ± 0.193	0.632 ± 0.259
Getijdenbekkens	1.431 ± 0.716	0.985 ± 0.493	2.416 ± 0.869
- Waddenzee	- 1.372 ± 0.686	- 0.985 ± 0.493	- 2.357 ± 0.845
- Westerschelde	- 0.059 ± 0.031	- 0 ± 0	- 0.059 ± 0.031
Kustfundament	2.005 ± 1.003	0.304 ± 0.152	2.309 ± 1.014
Kustfundament en getijdenbekkens	3.436 ± 1.718	1.289 ± 0.645	4.725 ± 1.835

Tabel 3.7 ten slotte geeft de bodemdaling voor de verschillende getijdenstations, wederom uitgesplitst naar geologische bodemdaling en daling door winning. Er zijn twee stations die met zekerheid beïnvloed worden door daling door winning, dat zijn Delfzijl en Hoek van Holland. De daling bij Delfzijl is naar verwachting de komende 30 jaar veel kleiner dan in de afgelopen 30 jaar. De daling door winning bij Hoek van Holland is beperkt, maar maakt toch

zo'n 50% uit van de totale bodemdaling. Station Harlingen ligt slechts enkele tientallen meters buiten bodemdalingsschotel van de zoutwinning bij de Ballastplaat. Een kleine verschuiving van die schotel (niet ondenkbaar), zal leiden tot extra bodemdaling bij Harlingen. Uiteraard zal dit gemonitord worden.

Tabel 3.7 Bodemdaling bij de hoofdgetijdenstations, uitgesplitst naar geologische bodemdaling en de bodemdaling door winning, voor de periodes 1991-2020 en 2021-2050.

Station	Geologische bodemdaling 1991-2020 2021-2050 (cm)		Bodemdaling door Olie- en gaswinning 1991-2020 2021-2050 (cm)		Totale bodemdaling 1991-2020 2021-2050 (cm)	
Delfzijl	1.4 ± 0.7	1.4 ± 0.7	12.0 ± 3.0	4.0 ± 2.0	13.4 ± 3.1	5.4 ± 2.1
Harlingen	1.8 ± 0.9	1.8 ± 0.9	0	0	1.8 ± 0.8	1.8 ± 0.9
Den Helder	1.6 ± 0.8	1.6 ± 0.8	0	0	1.6 ± 0.8	1.6 ± 0.8
IJmuiden	1.5 ± 0.7	1.5 ± 0.7	0	0	1.5 ± 0.7	1.5 ± 0.7
Hoek van Holland	1.1 ± 0.5	1.1 ± 0.5	1.0 ± 0.3	1.0 ± 0.5	2.1 ± 0.6	2.1 ± 0.7
Vlissingen	0.7 ± 0.4	0.7 ± 0.4	0	0	0.7 ± 0.4	0.7 ± 0.4

4 GNSS-data: achtergrond en actualisatie

In Hijma & Van Onselen (2020) is een vergelijking gemaakt tussen de beschikbare GNSS-data voor Nederland en de bodemdalingskaarten van de *Bodemdalingsmonitor*. Het gemiddelde verschil in de bodemdalingssnelheid tussen de GNSS-data en genoemde kaarten lag rond de 2 cm/eeuw en dit wordt als een redelijk goede match beschouwd. In hetzelfde rapport kwam ook naar voren dat er aanzienlijke verschillen zijn in berekende bodemdalingssnelheden op basis van dezelfde GNSS-data, maar met een ander referentiesysteem. De verschillen kunnen hierbij oplopen tot een factor 2-3 in verticale snelheden. Het maakt dus veel uit welk systeem je gebruikt, maar welk systeem geeft de meest realistische waarden voor Nederland? Daar wordt hieronder mee gestart. De laatste paragraaf ten slotte geeft een actualisatie van de bodemdalingssnelheden voor Nederland op basis van GNSS-data.

4.1 Welk referentiesysteem is het meest geschikt voor Nederland?

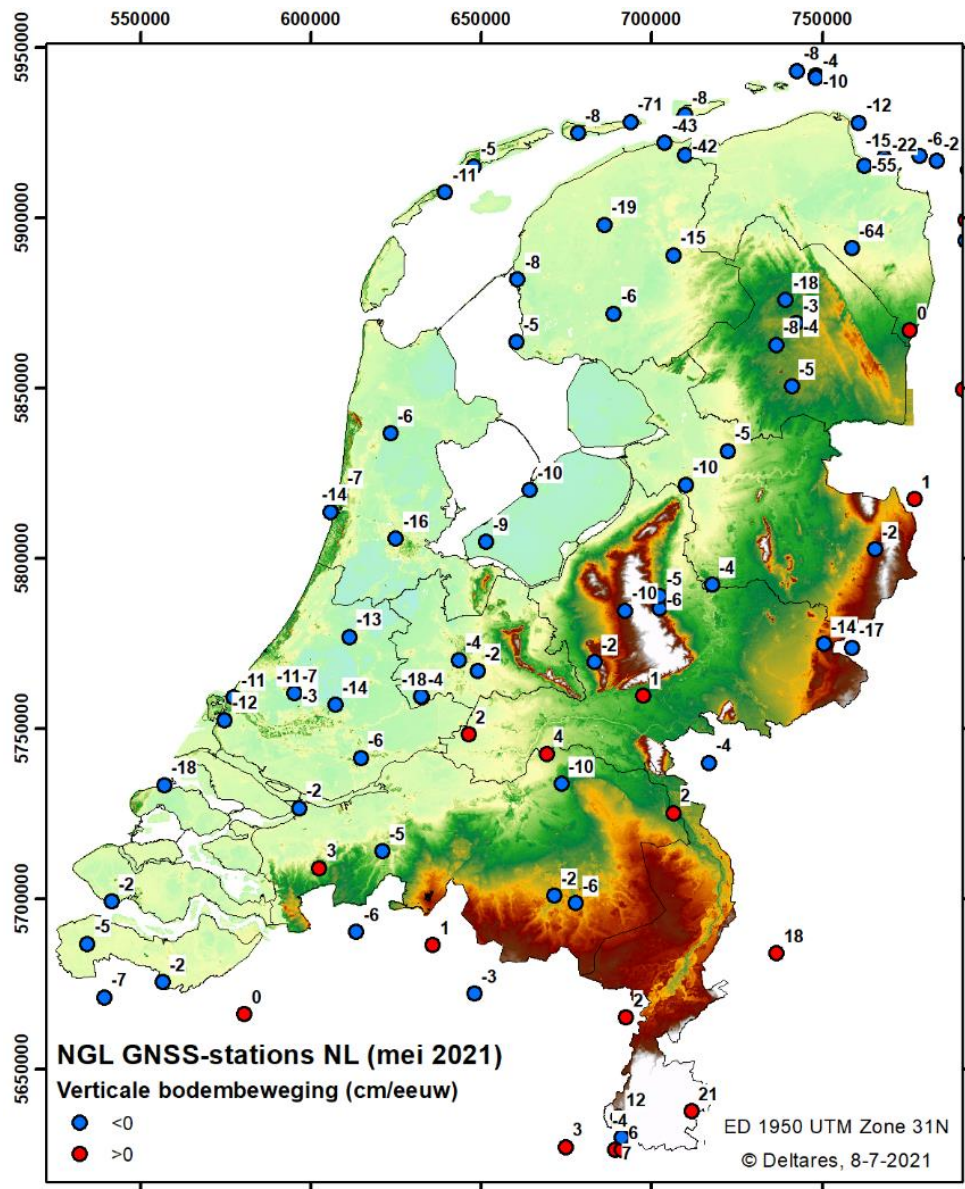
De aardkorst bestaat uit verschillende tektonische platen die onafhankelijk van elkaar bewegen. Hierbij bewegen de platen zowel in horizontale als in verticale richting. Een GNSS-antenne beweegt dus ook zowel in horizontale als in verticale richting. Dit betekent dat de afstand tussen de antenne en satellieten door al deze drie bewegingsrichtingen beïnvloed wordt (x,y,z). Bij het bepalen van bodemdaling middels GNSS-stations moet dus gecorrigeerd worden voor de horizontale beweging van de antenne (correctie voor satellietbewegingen worden hier buiten beschouwing gelaten). De x-y-z bewegingen worden bepaald ten opzichte van een referentiesysteem, hier bestaan er verschillende van in de wereld. Voor de bodemdalingsmonitor zijn het *International Terrestrial Reference System (ITRS)* en het *European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS1989)* relevant. De eerste wordt gebruikt door het Nevada Geodetic Laboratory (NGL), de tweede bij bijvoorbeeld het NETPOS-systeem in Nederland.

De GNSS-tijdseries vertonen in de praktijk regelmatig onregelmatigheden die worden veroorzaakt door bijvoorbeeld seizoensinvloeden en onderhoud of vervanging van de GNSS-apparatuur. Er zijn verschillende manieren om hier statistisch mee om te gaan. Bij de bodemdalingsmonitor wordt gebruik gemaakt van de dataset van het NGL en die gebruiken een geautomatiseerde aanpak om deze onregelmatigheden uit de data te halen. Deze aanpak heet MIDAS en dat staat voor *Median Interannual Difference Adjusted for Skewness* (Blewitt et al., 2016). Bij NETPOS wordt Bernese software gebruikt (Van der Marel, 2020).

Uit Hijma & Van Onselen (2020) volgde dat de berekende geologische bodemdaling een betere overeenkomst vertoont met de verticale bodembeweging volgens NGL (ITRF2008) dan volgens NETPOS (ETRF2000). De verschillen tussen GNSS-oplossing middels ITRF2008 en ETRF2000 zijn behoorlijk groot (tot bijna 1 mm/jaar) en de NETPOS-oplossingen geven waarden die niet goed overeenkomen met waarden volgend uit waterpassingen. Ook uit Van der Marel (2020) volgt dat het gebruik van ITRF2008 goede resultaten geeft. De exacte oorzaak voor deze verschillen is niet direct duidelijk, maar het heeft te maken met het gebruik van een ander referentiesysteem en andere software om de signalen te vertalen naar snelheden. GNSS-oplossingen volgens ITRF2008 hebben dan ook de voorkeur voor het bepalen van de verticale bodembeweging in Nederland.

4.2 Actualisatie bodemdalingssnelheden volgens GNSS-data

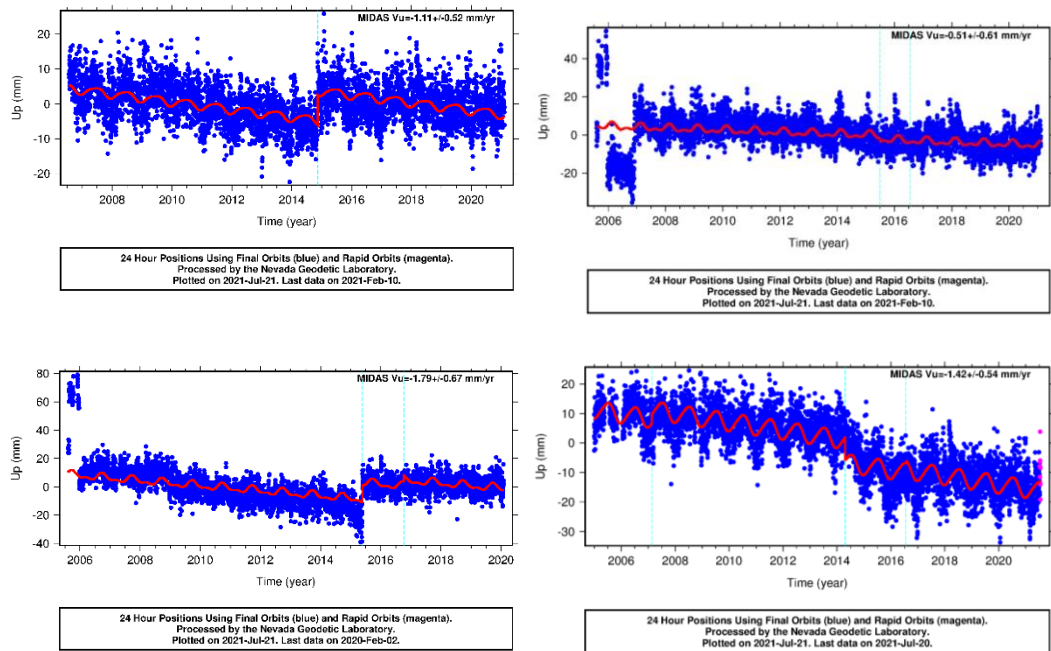
Vorig jaar zijn voor het eerst kaarten gepresenteerd met alle verticale bodembewegingen bij GNSS-stations die opgenomen zijn in de database van de NGL. Deze database wordt voortdurend geactualiseerd en uitgebreid en daarom is het nuttig om deze kaarten ook regelmatig te actualiseren. De meest relevante kaart is de kaart met de bodembewegingstrend van GNSS-stations die al langer dan 10 jaar meten (Fig. 4-1). Dit zijn circa 90 punten, terwijl er nog ongeveer 100 punten korter dan 10 jaar meten en dus de komende jaren toegevoegd kunnen worden aan de kaart.



Figuur 4-1 Overzichtkaart met de bodembeweging in cm/eeuw voor NGL-stations die al langer dan 10 jaar meten. De achtergrond is de AHN-hoogtekaart van Nederland. Let op: dit zijn de bewegingen van de antennes en daarmee in hoofdlijnen dus van de fundering van het gebouw/paal waar de antenne aan vast zit. Funderingsdiepte zal per antenne verschillen.

Ten opzichte van vorig jaar zijn er slechts enkele punten bijgekomen en in hoofdlijnen is er niet veel veranderd. Toch zijn sommige punten behoorlijk veranderd, tot soms wel een toe- of afname van 3 cm/eeuw. Dit geeft aan dat zelfs bij stations die al meer dan 10 jaar meten er snelle veranderingen kunnen optreden in de afgeleide trend. Dit gebeurt meestal onder

invloed van ongefilterde seizoensvariaties, maar soms ook door aanpassingen aan de antenne. Onderstaande voorbeelden (Fig. 4-2) geven een goed beeld van de variaties in meetdata. Dit toont aan dat het belangrijk is om bij de hoofdgetijdenstations de hoogste kwaliteit GNSS-stations te plaatsen en heel goed bij te houden welke aanpassingen en onderhoud aan de antennes uitgevoerd worden.



Figuur 4-2 Voorbeelden van GNSS-data uit de NGL-database. Linksboven: Hoek van Holland; linksonder: Brouwersdam; rechtsboven: Stavoren; rechtsonder: IJmuiden.

De meeste stations in de NGL-database laten snelle sprongen in de hoogte van de datapunten zien die alleen maar veroorzaakt kunnen zijn door aanpassingen aan de antenne. In Nederland vinden die veel plaats rond 2014-2016, wellicht dat er toen veel antennes vervangen zijn. Als er niet gecorrigeerd wordt voor dergelijke veranderingen, heeft de afgeleide trendlijn uiteraard geen betekenis. Ook de seizoensinvloeden zijn overal duidelijk zichtbaar, al wisselt de grootte van deze invloed sterk per station.

Onderstaande tabel 4-1 geeft een actualisatie van een vergelijking van de bodembewegingstrend van de *Bodemdalingsmonitor* met nabijgelegen GNSS-stations. Voor een aantal stations, zoals Delfzijl en Vlissingen, komen de getallen redelijk overeen. Bij de overige stations zijn dalingssnelheden volgend uit de waarnemingen op het GNSS-station hoger.

Tabel 4-1 Overzicht van bodembewegingstrends voor de hoofdgetijdenstations volgend uit de Bodemdalingsmonitor (combinatie van geologische bodemdaling en daling door winning) en uit GNSS-data. Kolom A laat de trend zien van het dichtstbijzijnde GNSS-station met een meetreeks van minimaal 10 jaar. Kolom B geeft het gemiddelde (met standaarddeviatie) van de 3 dichtstbijzijnde GNSS-stations met een meetreeks van minimaal 10 jaar. Kolommen C en D doen hetzelfde, maar dan voor stations met een meetreeksen van minimaal 5 jaar.

Station	Huidige Bodembewegingstrend Bodemdalingsmonitor (cm/eeuw)	Huidige Bodembewegingstrend GNSS-stations (cm/eeuw)			
		A	B	C	D
Delfzijl	-29.1 ± 12.4	-55.2	-31.0 ± 21.3	-44.1	-38.2 ± 20.6
Harlingen	-6.0 ± 2.7	-8.1	-8.1 ± 2.7	-8.1	-8.1 ± 2.7
Den Helder	-5.4 ± 2.6	-5.8	-7.2 ± 3.1	-10.0	-6.3 ± 8.7
Ijmuiden	-5.0 ± 2.2	-13.6	-12.2 ± 4.3	-13.6	-12.2 ± 4.3
Hoek van Holland	-6.7 ± 2.4	-11.1	-9.8 ± 2.8	-11.1	-10.2 ± 2.1
Vlissingen	-2.4 ± 1.2	-1.8	-3.0 ± 1.9	-1.8	-2.5 ± 2.4

5 Conclusies

Dit rapport over bodemdaling langs de Nederlandse kust en in de getijdenbekkens is een vervolg op eerdere rapporten (Hijma & Kooi, 2018a; 2018b; Hijma & Van Onselen, 2019; 2020) en het derde rapport binnen de *Bodemdalingsmonitor*. Binnen deze monitor worden kennis- en beheersvragen over bodemdaling langs de Nederlandse kust beantwoord.

Het huidige rapport bestaat uit drie delen. Het eerste deel geeft de actualisatie van de verwachte bodemdaling voor winning in de komende 30 jaar. Het tweede deel laat zien wat de gevolgen zijn van deze actualisatie voor de bodemdalingsvolumes. Het laatste deel geeft achtergrond bij de GNSS-metingen en een actualisatie van de gemeten bodembewegingen bij de GNSS-stations in Nederland.

- *Actualisatie van de verwachte bodemdaling in de komende 30 jaar*
De bodemdaling door het winnen van gas zal in de komende 30 jaar minder sterk zijn dan in de afgelopen 30 jaar. Met name uit de gasvelden op het land wordt steeds minder gas gewonnen en uiteraard heeft dit invloed op de mate van bodemdaling: in veel gevallen zal de daling enige tientallen procenten lager liggen de komende 30 jaar, met een gemiddelde afname van 37%. Toename van de bodemdaling wordt verwacht in deelgebieden Vliestroom (offshore gaswinning), Marsdiep binnen (zoutwinning Ballastplaat) en Vlie binnen (zoutwinning)
- *Actualisatie van de verwachte bodemdalingsvolumes*
Het totale bodemdalingsvolume per deelgebied wordt bepaald door de geologische bodemdaling en de daling door delfstofwinning. In gebieden waar delfstofwinning geen rol speelt, zullen de bodemdalingsvolumes de komende 30 jaar gelijk zijn aan de afgelopen 30 jaar onder invloed van een ongewijzigde snelheid van geologische bodemdaling. Afgezien van de hierboven genoemde 3 deelgebieden waar de bodemdaling door winning zal toenemen, zullen de bodemdalingsvolumes in de overige gebieden waar delfstofwinning een rol speelt afnemen. Deze afname wordt gedempt onder invloed van de geologische bodemdaling en bedraagt gemiddeld 11%.
- *GNSS-achtergrond en actualisatie GNSS-data*
Het afleiden van verticale bodembewegingen uit GNSS-data is erg complex. Afhankelijk van het gebruikte referentiesysteem en de statistische methodes kunnen de uitkomsten aanzienlijk verschillen. Een vergelijking van de uitkomsten van twee veel gebruikte methodes met waterpasmetingen laat zien dat voor een inschatting van de bodemdaling op basis van GNSS-data het beste de methode van het NGL (USA) gebruikt kan worden. De actualisatie van de GNSS-data laat zien dat de meeste stations een vergelijkbare trend laten zien als eerder.

6 Aanbevelingen

- *Verder verbeteren werkwijze monitoren van bodemdaling bij de getijdenstations*
De laatste 2 jaar zijn belangrijke stappen gezet door het opstellen van een monitoringsstrategie voor bodemdaling bij de getijdenstations (Strijker et al., 2020; Honingh et al., 2021). In 2021 zijn delen van deze strategie reeds uitgevoerd en worden GNSS-stations geplaatst bij de hoofdgetijdenstations die dat nog niet hadden. In 2022 zal in samenwerking met Rijkswaterstaat-WVL en -CIV verder gewerkt worden aan het implementeren van de strategie. De situatie bij Harlingen vraagt extra aandacht, omdat daar mogelijk versnelde bodemdaling door zoutwinning gaat optreden. De verwachting is dat deze daling relatief beperkt zal zijn, maar dit zou goed gemonitord moeten worden middels in ieder geval aanvullende waterpassingen en mogelijk ook op basis van InSAR-beelden. Hierbij moet ruim aandacht zijn, conform de nieuwe strategie, voor goede documentatie van de metingen en eventuele correcties van de gemeten waterstanden voor de bodemdaling.
- *De onzekerheid over de gemodelleerde geologische bodemdaling verkleinen*
Dit onderdeel blijft voorlopig belangrijk binnen de *Bodemdalingsmonitor*, met name omdat de onzekerheid nog steeds relatief groot is en er continu nieuwe inzichten beschikbaar komen. In de laatste jaren is (deels) vanuit de *Bodemdalingsmonitor* gewerkt aan opzetten van een database met zeespiegeldata van Nederland en de Noordzee. Een dergelijke database is onmisbaar bij het verbeteren van isostatische modellen en daarmee onmisbaar voor het verkleinen van de onzekerheid rondom de gemodelleerde geologische bodemdalingskaart. De database is vrijwel af en daarmee kunnen de isostatische modellen direct beter gekalibreerd en gevalideerd worden. Verwacht wordt dat in 2022 daarom nieuwe isostatische modellen gebruikt kunnen worden binnen de *Bodemdalingsmonitor*.
- *Het publiceren van een geologische bodemdalingskaart*
Het is belangrijk om het werk dat gedaan wordt binnen de bodemdalingsmonitor uit te dragen. Een goed middel hiervoor is een 'officiële' bodemdalingskaart, die als fysiek product getoond kan worden. Hierbij wordt aanbevolen samen te werken met Gilles Erkens (Deltares, bodemdalingsexpert) en de TUDelft. Aanbevolen wordt om rondom de publicatie van de kaart ook een symposium te organiseren, eventueel met een begeleidend boekje.

Referenties

- Antea Group, 2021. Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee - Jaarrapportage 2020, Antea Group rapport 0460023.101.
- Arcadis, 2020. Monitoring T0-situatie 2019 bodemligging studiegebied zoutwinning Waddenzee, Arcadis rapport C03081.000369 / D10007501:10.
- Baart, F. et al., 2018. Zeespiegemonitor 2018 - De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust, Deltares report 11202193-000-ZKS-0004.
- Barends, F.B.J., Dillingh, D., Hanssen, R., Van Onselen, K. (Eds.), 2008. Bodemdaling langs de Nederlandse kust: Case Hondsbossche en Pettemer zeewering. Delft University Press.
- Blewitt, G., Kreemer, C., Hammond, W.C., Gazeaux, J., 2016. MIDAS robust trend estimator for accurate GPS station velocities without step detection. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121 (3), 2054-2068. 10.1002/2015jb012552.
- Hijma, M.P., Kooi, H., 2018a. Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens, Deltares report 11200538-008-ZKS-0001.
- Hijma, M.P., Kooi, H., 2018b. Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens (deel 2) - Een update, case IJmuiden en kwantificering onzekerheden, Deltares report 11202190-001-ZKS-0001_v1.0.
- Hijma, M.P., Van Onselen, E., 2019. Bodemdalingsmonitor 2019 - Kustfundament en de getijdenbekkens, Deltares report 11203683-002-ZKS-0017.
- Hijma, M.P., Van Onselen, E., 2020. Bodemdalingsmonitor 2020 - Kustfundament en de getijdenbekkens - Vergelijk met GNSS-data, Deltares report 11205236-002-ZKS-0004.
- Honingh, D., Leenders, J., Strijker, B., 2021. Werkwijze inmeten zeespiegelstand hoofdgetijdenstations - Huidige werkwijze en advies voor verbetering, HKV-Lijn in Water rapport PR2695.61.
- Jelgersma, S., 1961. Holocene sea-level changes in The Netherlands. *Mededelingen Geologische Stichting*, 7, 1-101.
- Lorenz, G.K. et al., 1991. Heden??? en Verleden — Nederland naar Beneden??? - Interim rapport over het onderzoek naar bodembeweging in Nederland, Rijkswaterstaat, Delft/Rijswijk en Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- NAM, 2020. Bodemdaling door Aardgaswinning - NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe NAM-Statusrapport 2020 en Prognose tot het jaar 2080. EP202011201629.
- NAM, 2021. Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen - Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2020, NAM-rapport EP202104200793.
- Strijker, B., Wegman, C., Honingh, D., Rongen, G., Leenders, J., 2020. Strategie voor monitoring van bodembewegingen bij de Nederlandse kust - Bodemdaling en relatieve zeespiegelstijging, HKV-Lijn in Water rapport PR2695.60; .
- TAQA Energy B.V., 2017. Bodembewegingsanalyse, -modellering en -prognose - Winningsvergunning Bergen II, Opslagvergunningen Gasopslag Bergermeer en Alkmaar PGI, TAQA Energy rapport ECM # 187610.
- Van der Marel, H., 2020. Comparison of GNSS Processing Methodologies for Subsidence Monitoring - NAM GNSS APM Project Report, TUDelft.
- Vermillion Energy, 2019. Bodemdaling Statusrapport 2019 - Drenthe Overijssel Friesland, Vermillion Energy Netherlands B.V.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl