Deltares

Bodemdalingsmonitor 2026
Kustfundament en getijdenbekkens

Actualisatie van de totale bodemdaling



Bodemdalingsmonitor 2026 Kustfundament en getijdenbekkens
Actualisatie van de totale bodemdaling

Auteur(s)
Marc Hijma
Juliëtte Bleichrodt
Joost Roholl (TNO)
Erik van Onselen

Bodemdalingsmonitor 2026 Kustfundament en getijdenbekkens
Actualisatie van de totale bodemdaling

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Projectreferenties	
Trefwoorden	Bodemdaling, geologie, kustfundament, gaswinning, zoutwinning, sedimentbeheer

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	21-10-2026
Projectnummer	11212814-003
Document ID	11212814-003-AMO-0001
Pagina's	35
Classificatie	
Status	Definitief

Auteur(s)		
	Marc Hijma Juliëtte Bleichrodt Joost Roholl (TNO) Erik van Onselen	

Samenvatting

Dit rapport presenteert een actualisatie van de totale bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens van Nederland, uitgevoerd in het kader van de *Bodemdalingsmonitor* binnen het Programma Beheer & Onderhoud Kust van Rijkswaterstaat. De totale bodemdaling in dit gebied bestaat uit geologische bodemdaling en bodemdaling door delfstofwinning. Een actuele en reproduceerbare kwantificering hiervan is van belang voor het sedimentbeheer, het kustonderhoud en de interpretatie van relatieve zeespiegelmetingen bij de hoofdgetijdenstations.

De actualisatie volgt drie aanbevelingen uit eerdere rapportages op: het actualiseren van de bodemdalingskaart door delfstofwinning, het combineren van deze kaart met de geologische bodemdalingskaart tot een nieuwe totale bodemdalingskaart, en het automatiseren van de workflow voor het berekenen van bodemdalingsvolumes. Voor de geologische component is gebruik gemaakt van de recent geactualiseerde kaarten voor glacio-isostatische aanpassing en langetermijn bodembeweging. Voor de delfstofwinningscomponent is, in samenwerking met TNO-Geologische Dienst Nederland, een nieuwe modellering uitgevoerd op basis van openbare winningsplannen, meet- en regelrapportages en aanvullende openbare bronnen.

Een belangrijke verbetering ten opzichte van eerdere rapporten is dat de berekeningen niet langer handmatig in een GIS-omgeving zijn uitgevoerd, maar zijn ondergebracht in een geautomatiseerde Python-workflow. Hierdoor zijn de resultaten beter herleidbaar, eenvoudiger te actualiseren en minder gevoelig voor fouten in handmatige tussenstappen.

De nieuwe kaarten laten zien dat de ruimtelijke trend in geologische bodemdaling grotendeels overeenkomt met eerdere inzichten: de dalingssnelheid neemt toe vanaf Zeeland richting het noordelijke kustgebied. Daarnaast zijn regionale bodemdalingsschotels zichtbaar als gevolg van delfstofwinning, onder andere bij Hoek van Holland, Bergen, Zuidwal, Ameland, de Eems-Dollard en de zoutwinning bij Havenmond/Ballastplaat ten westen van Harlingen. Voor de afgelopen eeuw is het totale bodemdalingsvolume in het kustfundament en de getijdenbekkens berekend op bijna 400 miljoen m^3, oftewel bijna 4 miljoen m^3 per jaar. Dit volume komt overeen met ongeveer een derde van het gemiddelde jaarlijkse suppletievolume langs de Nederlandse kust.

Voor de komende 30 jaar verandert het beeld ten opzichte van de afgelopen 30 jaar. Doordat de gaswinning in meerdere gebieden is beëindigd of sterk afneemt, worden de meeste bodemdalingsvolumes kleiner. In de Waddenzee blijft bodemdaling door na-ijling van gaswinning echter relevant, met name rond Ameland en in de Eems-Dollard. Tegelijkertijd neemt het bodemdalingsvolume in deelgebied Vlie Binnen toe door de zoutwinning bij Havenmond/Ballastplaat. Deze winning veroorzaakt lokaal een diepe bodemdalingsschotel, met in het centrum meer dan een meter verwachte bodemdaling in de komende decennia.

De actualisatie heeft ook betekenis voor de *Zeespiegelmonitor*. Voor de zes hoofdgetijdenstations wordt bodemdaling gebruikt om relatieve zeespiegelmetingen te vertalen naar absolute zeespiegelverandering. De nieuwe totale bodemdalingskaart biedt hiervoor een actuelere basis. Vooral bij Harlingen is aandacht nodig, omdat de bodemdalingsschotel door zoutwinning naar verwachting het getijdenstation zal bereiken en daarmee de lokale relatieve waterstandsmetingen op termijn zal beïnvloeden.

Inhoud

	Samenvatting	**4**
	Inhoud	**5**
1	**Inleiding**	**6**
1.1	Achtergrond *Bodemdalingsmonitor*	6
2	**Gebruikte data en methoden**	**7**
2.1	Bodemdaling door delfstofwinning	7
2.1.1	Eerder gebruikte aanpak	7
2.1.2	Nieuwe aanpak	7
2.2	Geautomatiseerde workflow	10
2.2.1	Eerder gebruikte aanpak	10
2.2.2	Nieuwe aanpak	10
3	**Bodemdalingskaarten**	**12**
3.1	Totale bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens	12
3.2	Bodemdaling door winning bij Ameland en Harlingen	15
4	**Bodemdalingsvolumes**	**17**
4.1	Kaarten	17
4.2	Tabellen	21
4.3	Hoofdgetijdenstations	26
5	**Discussie**	**28**
5.1	Vergelijking met eerdere uitkomsten	28
5.2	Validatie met geodetische metingen	30
6	**Conclusies en aanbevelingen**	**31**
6.1	Conclusies	31
6.2	Aanbevelingen	31
	Referenties	**33**

1 Inleiding

1.1 Achtergrond *Bodemdalingsmonitor*

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 Programma B&O Kust van RWS-WVL[1] waarbij specifiek de bodemdaling van het kustfundament en de getijdenbekkens geanalyseerd wordt. 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* die zich richt op de actuele zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust (Baart et al., 2018; Stolte et al., 2023). Het achterliggende hoofddoel van de *Bodemdalingsmonitor* is om onderbouwde berekeningen van het volumeverlies door bodemdaling in deze gebieden te kunnen maken, zodat de hoeveelheden sediment beter beheerd kunnen worden. Daarnaast wordt voor de zes hoofdgetijdenstations de bijdrage van bodemdaling aan de relatieve zeespiegelstijging berekend voor de *Zeespiegelmonitor*. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen geologische bodemdaling en daling door delfstofwinning. Geologische bodemdalingssnelheden nemen in Nederland toe van zuid naar noord, met snelheden rond 2.5 cm/eeuw bij Vlissingen tot 5.5 cm/eeuw op Terschelling (Hijma, 2025a). Dit betekent dat geologische bodemdaling momenteel voor ongeveer 10-20% bijdraagt aan de gemiddelde relatieve zeespiegelstijging van circa 30 cm/eeuw (Stolte et al., 2023). Daling door delfstofwinning heeft een meer regionaal karakter dan geologische bodemdaling, maar dalingssnelheden zijn wel veel hoger en kunnen lokaal oplopen tot meer dan 1 m/eeuw (Hijma, 2025b). De optelsom van geologische bodemdaling en daling door winning geeft de totale bodemdaling.

Tot de werkzaamheden voor de *Bodemdalingsmonitor* behoren het integreren van nieuwe ontwikkelingen omtrent dit onderwerp en overleg met experts van instituten en universiteiten. Daarnaast worden alle of - afhankelijk van prioriteiten - een deel van de aanbevelingen uit het voorgaande rapport uitgevoerd. De meest recente rapporten bestaan uit een actualisatie van de geologische bodemdaling (Hijma, 2025a), een analyse omtrent het beter inzetten van GNSS-satellietmetingen van bodemdaling binnen de *Bodemdalingsmonitor* (Nougues, 2022) en de invloed van zoutwinning op de waterstandsmetingen bij Harlingen (Hijma, 2025b). De meest recente totale bodemdalingskaart dateert echter uit 2018. Sindsdien is een nieuwe geologische bodemdalingskaart gemaakt en zijn veel winningsplannen gewijzigd, vandaar dat in 2026 de focus lag op het maken van een nieuwe totale bodemdalingskaart.

Het voorliggende rapport volgt de aanbevelingen op om 1) de bodemdalingskaart door delfstofwinning te actualiseren, 2) deze kaart te combineren met de geologische bodemdalingskaart tot een nieuwe totale bodemdalingskaart en 3) de workflow voor het berekenen van bodemdalingsvolumes te automatiseren.

Hoofdstuk 2 beschrijft de gebruikte data en methoden en in hoofdstuk 3 worden de nieuwe bodemdalingskaarten gepresenteerd. Hoofdstuk 4 geeft de nieuw berekende bodemdalingsvolumes, gevolgd door een discussie in Hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 sluit af met enkele conclusies en aanbevelingen.

[1] Programma Beheer & Onderhoud Kust van Rijkswaterstaat-Water, Verkeer en Leefomgeving. Dit programma wordt in een samenwerking tussen RWS-WVL en Deltares uitgevoerd.

2 Gebruikte data en methoden

2.1 Bodemdaling door delfstofwinning

2.1.1 Eerder gebruikte aanpak

In eerdere rapporten van de *Bodemdalingsmonitor* (Hijma & Kooi, 2018; Hijma, 2022) werd de daling door winning op verschillende manieren bepaald. In de meeste gevallen werd gebruik gemaakt van contourplots van opgetreden en toekomstige bodemdaling die getoond werden in winningsplannen of in overzichtsrapporten (zie bijv. NAM, 2020). Deze contourplots werden vervolgens in een GIS-omgeving gebruikt om bodemdalingsvolumes te berekenen. In andere gevallen werden de achterliggende data voor de contourplots door winbedrijven beschikbaar gesteld voor een bepaald gebied en konden de bodemdalingsvolumes met meer detail berekend worden. Aan opgetreden bodemdaling werd een onzekerheid van 25% toegekend, aan toekomstige bodemdaling een onzekerheid van 50%. De laatste keer dat dit gebeurde voor het gehele kustfundament en de getijdenbekkens was in 2018 (Hijma & Kooi, 2018). In 2021 is voor enkele gebieden een update gegeven (Hijma, 2021) en in 2025 is specifiek gekeken naar de te verwachten bodemdaling door de zoutwinning ten westen van Harlingen (Hijma, 2025b).

2.1.2 Nieuwe aanpak

De nieuwe aanpak is tot stand gekomen in samenwerking met TNO-Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN), en dan specifiek met de *Advisory Group for Economic Affairs.* Deze groep houdt zich veel bezig met het modelleren van bodemdaling door mijnbouw en heeft specifiek voor de *Bodemdalingsmonitor* de opgetreden en toekomstige bodemdaling gemodelleerd voor het kustfundament en de getijdenbekkens. Hieronder wordt de gevolgde methodiek in detail beschreven en worden per wingebied specifieke keuzen benoemd.

Algemene uitgangspunten

Voor de bodemdalingsmodellering is uitgegaan van openbare bronnen, zoals winningsplannen, rapporten en meet- en regelprotocollen voor gebieden in de Waddenzee. Er zijn alleen gasvelden en andere mijnbouwactiviteiten meegenomen in de modellering waarvoor openbare bronnen bekend zijn. Hiermee zijn olie- en gasvelden die al uit productie waren voor de invoer van de winningsplannen in 1993 niet meegenomen in deze analyse. De invloed van deze velden is echter beperkt. Daarnaast wordt voor de toekomstige bodemdaling enkel rekening gehouden met bodemdaling door mijnbouwactiviteiten met een winningsplan. Ontwikkeling van gasvelden die nog prospectief is en niet concreet wordt dus niet meegenomen[2]. Er is daarnaast voor de modellering verder enkel rekening gehouden met mijnbouwactiviteiten die invloed hebben op het kustgebied, dus verder landinwaarts gelegen wingebieden zijn niet meegenomen.

Gebruikte software

De bodemdalingsprognose is berekend met het door TNO ontwikkelde opensource-Pythonpakket PySub[3] (TNO, 2023). PySub werkt met een breed scala aan modellen om compactie van gas- en olievelden te berekenen en heeft een aantal functies om de berekende bodemdaling te vertalen naar bodemdaling aan het maaiveld. Daarnaast is het mogelijk om een 1^{e}-orde berekening van bodemdaling door zoutproductie te modelleren op basis van het convergentievolume van de zoutcavernes. Bekende modellen om bodemdaling

[2] Bijvoorbeeld de mogelijk winning in mijnbouwblok M11, die voor de kustgebieden relevant zal zijn, mocht er daadwerkelijk gas gewonnen gaan worden. Zie Gasexploratie en winning in mijnbouwblok M11 - Kistos Nederland.
[3] GitHub - TNO/PySub: Model framework to determine subsidence caused by mining effects. · GitHub

te berekenen zijn het lineair-elastische model (Jaeger et al., 2007; Fjaer et al., 2008), het bilineaire model (Hettema et al., 2002), het time-decay model (Mossop, 2012) en het Rate Type isotach Compaction Model (RTiCM; De Waal, 1986; Pruiksma et al., 2015).

Compactiemodellering
Voor de modellering van de compactie van gasvelden is over het algemeen het RTiCM het meest veelzijdige compactiemodel. Het RTiCM is een compactiemodel dat de tijds- en snelheidsafhankelijke compactie van gesteentes beschrijft (De Waal, 1986; Pruiksma et al., 2015). In tegenstelling tot andere compactiemodellen, kan met RTiCM zowel de snelheid waarmee de druk daalt in het reservoir en het tijdsafhankelijke kruipgedrag van het reservoirgesteente rekening gehouden worden. Dit model laat een betere fit zien tussen model en observaties voor velden met een Rotliegend reservoir, in het bijzonder het Groninger gasveld (van Thienen-Visser et al., 2015). Een ander model dat veel gebruikt wordt, met name voor niet-Rotliegend reservoirs in Nederland, is het time-decay compactiemodel. Dit model maakt gebruik van een exponentiële vervalfunctie τ. Deze parameter is een functie van de tijd en bepaalt de vertraging in de compactie. Deze tijdsconstante wordt afgeleid uit waarnemingen, waarbij de vertraging van de gemeten bodemdaling wordt vergeleken met de relatieve drukdaling in het reservoir. Met een tijdsconstante van nul is het time-decay compactiemodel gelijk aan het lineaire elastische compactiemodel.

Onzekerheid/nauwkeurigheid van de modellering
Over het algemeen geldt dat voor de modellering van reeds opgetreden bodemdaling een kleinere onzekerheid bestaat dan voor de modellering van bodemdaling in de toekomst. De meetonzekerheid van de peilmerken waarop de bodemdaling wordt gemeten ligt in de orde van 1 cm per meetpunt (NAM, 2017). De afgeleide onzekerheid van het bodemdalingsmodel ligt op minimaal 2 centimeter. Uit de praktijk blijkt dat een inschatting van 25% onzekerheid goed past bij bodemdalingsprognoses in gebieden met afdoende beschikbare observaties van goede kwaliteit, dit is in overeenstemming met eerdere *Bodemdalingsmonitor*-rapporten.

Voor de bodemdaling in de toekomst en zeker voor velden in het begin van productie geldt dat de modelonzekerheid hoger is. De grootte van de onzekerheid is afhankelijk van de nog te verwachte winning en of er een sterkere na-ijling van de bodemdaling (doorgaande bodemdaling nadat de productie al gestopt of minimaal is) wordt verwacht. De onzekerheid in de prognose van de nog verwachte bodemdaling ligt dan over het algemeen tussen de 25 en 50% (M&R 2025). Als er bovendien beleidsmatige of productiegerelateerde onzekerheden zijn, of onvoldoende metingen beschikbaar zijn om het model te kalibreren, wordt de onzekerheid groter. In dit rapport wordt, net als bij eerdere rapporten van de *Bodemdalingsmonitor*, voor de toekomstige bodemdaling door delfstofwinning een algemene onzekerheid van 50% gehanteerd. Deze waarde moet worden geïnterpreteerd als een pragmatische, uniforme bandbreedte voor vergelijking tussen gebieden en perioden, en niet als een gebiedsspecifieke probabilistische onzekerheidsanalyse.

Specifieke punten per gebied

<u>Zuid-Holland</u>
Bodemdaling in het kustfundament wordt grotendeels bepaald door de buitengaatse velden, maar metingen van deze bodemdaling zijn enkel beschikbaar voor de Maasvlakte (One Dyas, 2024). Deze metingen geven een zekere mate van kalibratie aan de modelprognose, maar het grootste en diepste deel van de bodemdalingskom wordt niet gemeten. De totale onzekerheid over de modelprognose is daarmee relatief hoog, in de orde van 50%.

Omgeving Bergen

De gasproductie in dit gebied is eind 2024 gestopt. De nog verwachte bodemdaling na het stoppen door na-ijling is relatief beperkt. Voor dit gebied is gebruik gemaakt van het time decay model, niet het RTiCM. Deze keuze is gemaakt omdat ook in het winningsplan dit model gebruikt is en de kalibratie van het RTiCM met de beschikbare bodemdalingsmetingen buiten de scope van deze studie valt. Hiermee is het mogelijk dat de nog verwachte bodemdaling licht wordt onderschat, maar deze zal waarschijnlijk binnen de minimale modelonzekerheid van twee centimeter liggen.

Zuidwal (Waddenzee)

De productie in Zuidwal is gestopt in 2021 en de resterende bodemdaling wordt veroorzaakt door na-ijlende bodemdaling. Het Zuidwalveld ligt in de Waddenzee, maar er zijn bodemdalingsmetingen uitgevoerd op het productieplatform boven het veld (Vermillion Energy, 2025). Deze metingen zijn afdoende om een goede inschatting te maken van de diepte van bodemdalingskom, maar minder geschikt voor de vorm van de kom, omdat er maar op één locatie wordt gemeten. Er is dus enige onzekerheid over de vorm van de bodemdalingskom, maar dit heeft een beperkt effect op het totale bodemdalingsvolume.

L-blok velden ten noordwesten van Vlieland

De bodemdaling in dit gebied is volledig buiten de kust en wordt niet gemeten. De bodemdalingsvoorspelling is gedaan op basis van eigenschappen van vergelijkbare velden op land. De onzekerheid van deze voorspelling is daarmee ook groter dan normaal en in de orde van minimaal 50% in het diepste punt, dat buiten het kustfundament ligt.

Zoutwinning bij Havenmond/Ballastplaat, ten westen van Harlingen

De modellering met PySub (TNO, 2023) voor de zoutwinning is gebaseerd op het verwachte convergentievolume door productie in wingebied Havenmond/Ballastplaat. Dit model geeft een 1^{e}-orde inschatting van de bodemdalingsprognose tijdens zoutwinning. Het is een versimpeld model dat het over het algemeen complexe gesteentegedrag van zout(kruip) niet meeneemt. Het is daarom enkel als eerste inschatting te gebruiken tijdens de productiefase en ook niet geschikt voor de modellering van de afsluitingsfase van de cavernes en eventuele bodemdaling die dan optreedt. De totale ruimtelijke spreiding van de bodemdalingskom moet dan ook als indicatie worden gezien.

De zoutwinning van Havenmond vindt plaats in de Waddenzee, maar wordt wel uitgebreid bemeten door zowel continue GPS, periodieke GPS op zee en waterpasmetingen op land (Frisia Zout B.V., 2024). De bodemdalingsmodellering voor de bodemdaling die nu al is opgetreden is niet heel onzeker, aangezien er afdoende gemonitord is, en is in de orde van 2-5 centimeter (Antea Group, 2024). Er is een veel grotere onzekerheid over de verwachte bodemdaling in de toekomst. Deze is afhankelijk van de verwachte productie van nieuwe putten, de eventuele begrenzing door het hand- aan-de-kraanbeleid (Ministerie KGG, 2026), het precieze gesteentegedrag van het zout en wijze van afsluiting van de cavernes. De onzekerheid in totale bodemdalingsvolume is daarmee zeer groot en lastig te kwantificeren.

Lauwersmeergebied & Ameland

Het bodemdalingsmodel voor het Lauwersmeergebied en Ameland is gebaseerd op meerdere langdurige studies (bijv. NAM, 2015; NAM, 2017) en wordt elk jaar geactualiseerd in het M&R protocol (NAM, 2026). In dit gebied wordt veel na-ijling van de bodemdaling geobserveerd en gemodelleerd. Het overgrote deel van de productie is al geweest en het grootste deel van de bodemdaling dat nog verwacht wordt komt door na-ijling en in de grootte van de na-ijling zit dan ook de onzekerheid. Deze is afhankelijk van het drukgedrag van de omliggende aquifers, het reservoirgesteente zelf en mogelijk kruipgedrag van het boven het

reservoir liggend zoutgesteente. De verwachte modelonzekerheid is in het diepste punt ongeveer 6-8 centimeter (NAM, 2026).

Groningen
De winning in het Groningenveld is in 2024 beëindigd. De nog verwachte bodemdaling komt van na-ijling door drukdaling in aquifers in contact met het Groningenveld (TNO, 2025), het gesteentegedrag van het reservoir (Pijnenburg et al., 2019; Hangx & Pijnenburg, 2023) en drukvereffening in het veld. De verwachte modelonzekerheid ligt rond de vier centimeter.

2.2 Geautomatiseerde workflow

2.2.1 Eerder gebruikte aanpak

Voorheen werden alle berekeningen uitgevoerd in een GIS-omgeving. De langetermijn bodemdalingskaart en de GIA-kaart werden gesommeerd tot een geologische bodemdalingskaart (Hijma, 2025a) en op basis van gepubliceerde data werden bodemdaling-door-winningskaarten gemaakt voor de afgelopen 100 en 30 jaar en de komende 30 jaar. De geologische bodemdaling en de daling door winning werden vervolgens gecombineerd tot een totale bodemdalingskaart voor de genoemde 3 periodes (Hijma, 2022).

In een volgende stap werd, ook in een GIS-omgeving, per deelgebied de gemiddelde bodemdaling berekend en vermenigvuldigd met het oppervlak van het deelgebied om het bodemdalingsvolume uit te rekenen. Aanvullende berekeningen, zoals onzekerheden, werden uitgevoerd in Excel en de data uit Excel werden vervolgens gebruikt voor de tabellen in de rapportages.

De workflow was door de vele handmatige stappen tijdrovend, foutgevoelig, moeilijk overdraagbaar en niet goed herleidbaar. In 2026 is de hele workflow daarom geautomatiseerd binnen Python. De nieuwe workflow wordt hieronder beschreven.

2.2.2 Nieuwe aanpak

Voor de analyse is de Python-workflow Submon (Subsidence Monitor) ontwikkeld[4]. De workflow combineert verschillende bodemdalingsdatabronnen en berekent reproduceerbare bodemdalingskaarten, gebiedsstatistieken en bodemdalingsvolumes. Een configuratie-bestand bevat de invoer- en uitvoerlocaties, studiegebieden, ruimtelijke resolutie en eenheden. Hierdoor kan de analyse eenvoudig worden herhaald met andere gebieden of datasets.

Submon verwerkt drie bodemdalingscomponenten: glacio-isostatische aanpassing (GIA), langetermijn bodembeweging en bodemdaling door delfstofwinning. De Rijkswaterstaat-deelgebieden vormen de ruimtelijke afbakening en de basis voor de gebiedsstatistieken. Alle invoerrasters worden gekoppeld aan een uniform raster van 100 x 100 meter.

Voor GIA zijn vier modeluitkomsten gebruikt uit het werk van Hijma et al. (2025), deze zijn nader toegelicht in Hijma (2025a). Voor elke rastercel wordt de gemiddelde GIA-waarde bepaald en de minimale en maximale waarde in de vier modeluitkomsten. De spreiding tussen de minimale en maximale waarde wordt gebruikt als maat voor de onzekerheid van deze component. De onzekerheid wordt uitgedrukt als de halve bandbreedte tussen de minimum- en maximumschatting.

[4]https://github.com/Deltares-research/submon

Voor de langetermijn bodembeweging is ook geput uit Hijma et al. (2025). In dat artikel zijn reeds gemiddelde waarden en minimale en maximale waarden gepubliceerd en die zijn overgenomen, met dezelfde aanpak met betrekking tot de onzekerheid als bij GIA.
De GIA en langetermijn bodembewegingskaarten worden samengevoegd tot een geologische bodemdalingskaart, waar de onzekerheden worden gecombineerd met de root-sum-squares methode. De snelheid van geologische bodemdaling wordt als constant beschouwd op een tijdschaal van een eeuw.

Voor daling door mijnbouw zijn drie databestanden gemaakt (zie §2.1.2), namelijk voor de afgelopen eeuw, de afgelopen 30 en de komende 30 jaar. Voor de recente mijnbouwperiode bedraagt de bandbreedte 75-125% van de invoerwaarde; voor de toekomstige periode 50-150%. De ruimere toekomstige bandbreedte weerspiegelt de grotere onzekerheid. Ontbrekende waarden worden op nul gezet.

De totale bodemdaling is de som van geologische en mijnbouwbodemdaling voor een gekozen periode. De lengte van deze perioden wordt ingesteld in het configuratiebestand en voor de periode worden gemiddelde, minimale en maximale waarden berekend.

De resultaten worden als GeoTIFF-bestanden geëxporteerd voor GIA, langetermijn bodemdaling, geologische bodemdaling, mijnbouwbodemdaling en totale bodemdaling. De workflow bevat functionaliteit om bodemdalingswaarden automatisch om te rekenen tussen verschillende lengte- en tijdseenheden. Hierdoor kunnen resultaten zowel als snelheid (bijvoorbeeld mm/jaar) als cumulatieve bodemdaling over een gekozen periode (bijvoorbeeld cm/50 jaar) worden weergegeven.

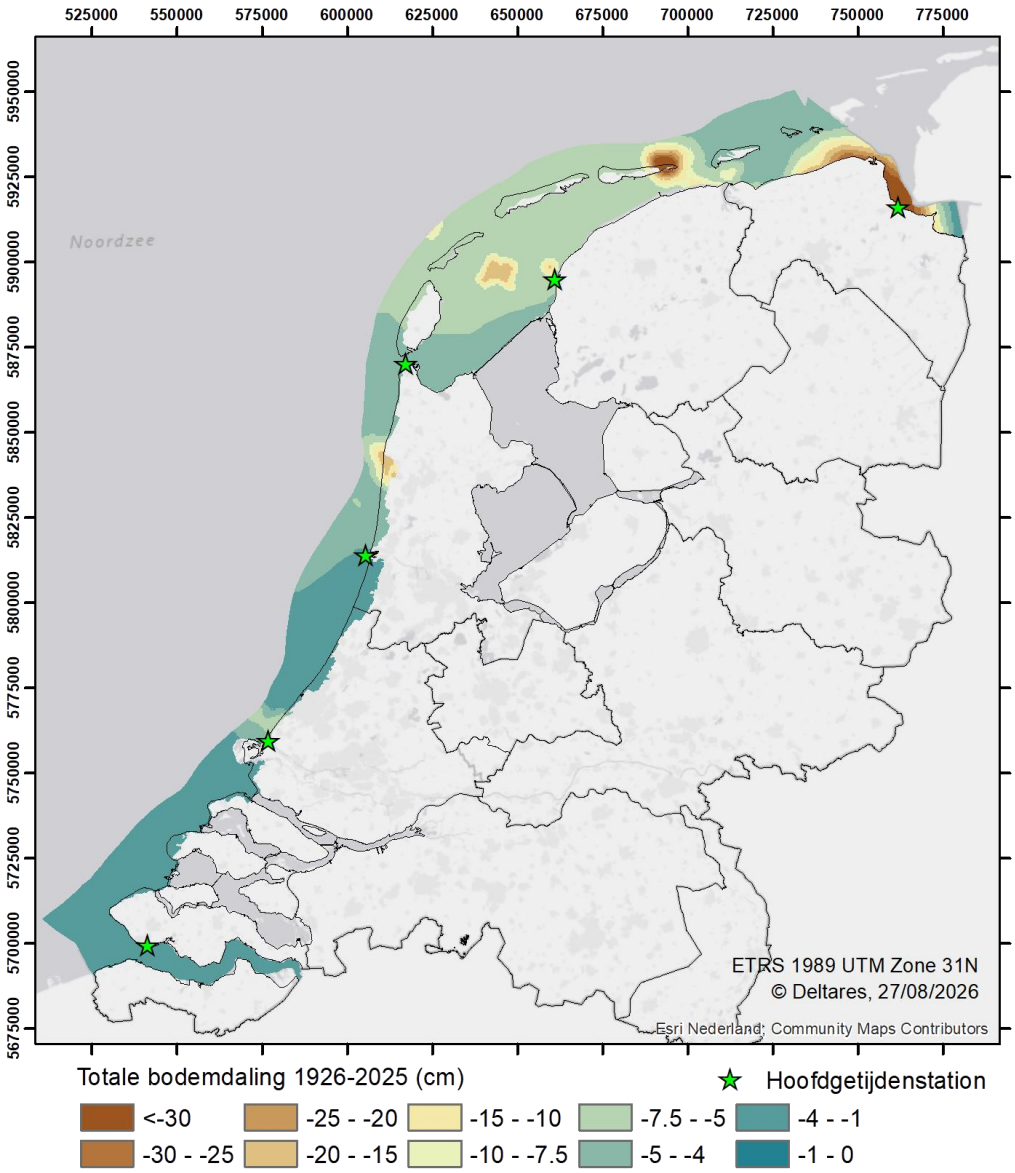
De bodemdalingsvolumes worden berekend uit de bodemdaling en de oppervlakte van elk deelgebied. De gebiedsstatistieken, onzekerheden en volumes worden opgeslagen in Excel. Een GeoPackage koppelt de ruimtelijke begrenzing van de studiegebieden aan de berekende volumes.

3 Bodemdalingskaarten

Hieronder worden eerst drie kaarten getoond met de totale bodemdaling voor de afgelopen 100 en 30 jaar en de komende 30 jaar. Deze kaarten zijn gemaakt door de geologische bodemdalingskaarten te sommeren met de bodemdalingskaarten door winning. Aansluitend wordt ingezoomd op de bodemdaling in de komende 30 jaar rondom Harlingen en Ameland.

3.1 Totale bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens

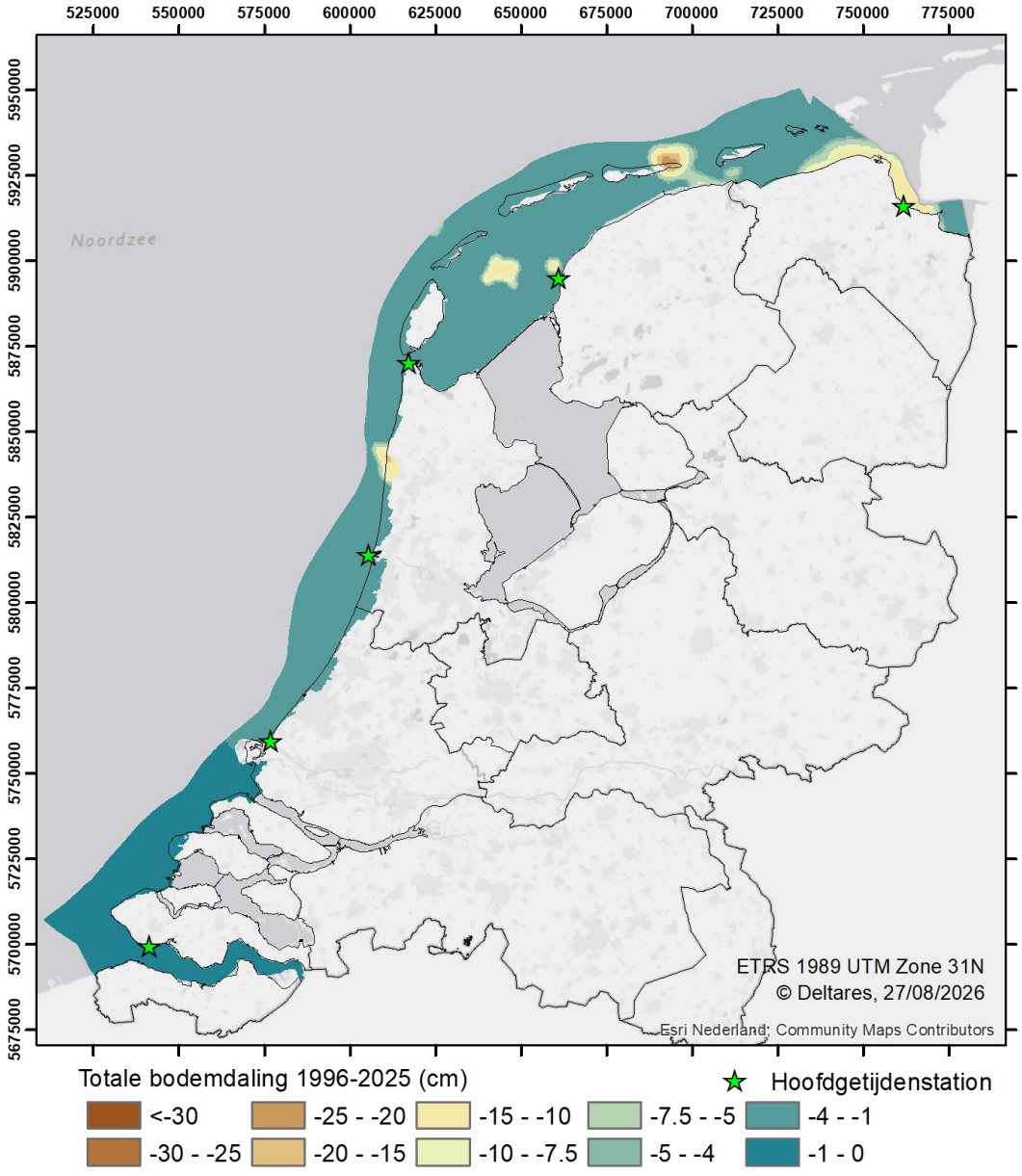
In Nederland neemt de snelheid van geologische bodemdaling toe vanaf Zeeland tot Terschelling en daarna neemt deze richting Rottumeroog langzaam weer af (Hijma, 2025a). Deze grootschalige trend is goed zichtbaar in Figuur 3-1, met 2-3 cm bodemdaling per eeuw rondom Zeeland tot 5.5 cm per eeuw bij Terschelling.



Figuur 3-1 Totale bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens voor de afgelopen 100 jaar als gevolg van geologische bodemdaling en daling door het winnen van delfstoffen.

Verder zijn de bodemdalingsschotels rondom Hoek van Holland, Bergen, de Zuidwal in de Waddenzee, de Ballastplaat ten westen van Harlingen, Ameland, de Eems-Dollard en het Groninger Wad goed zichtbaar. Bij Ameland bedraagt de bodemdaling meer dan 40 cm in het centrum van de schotel, in de Eems-Dollard ligt het maximum rond de 35 cm.

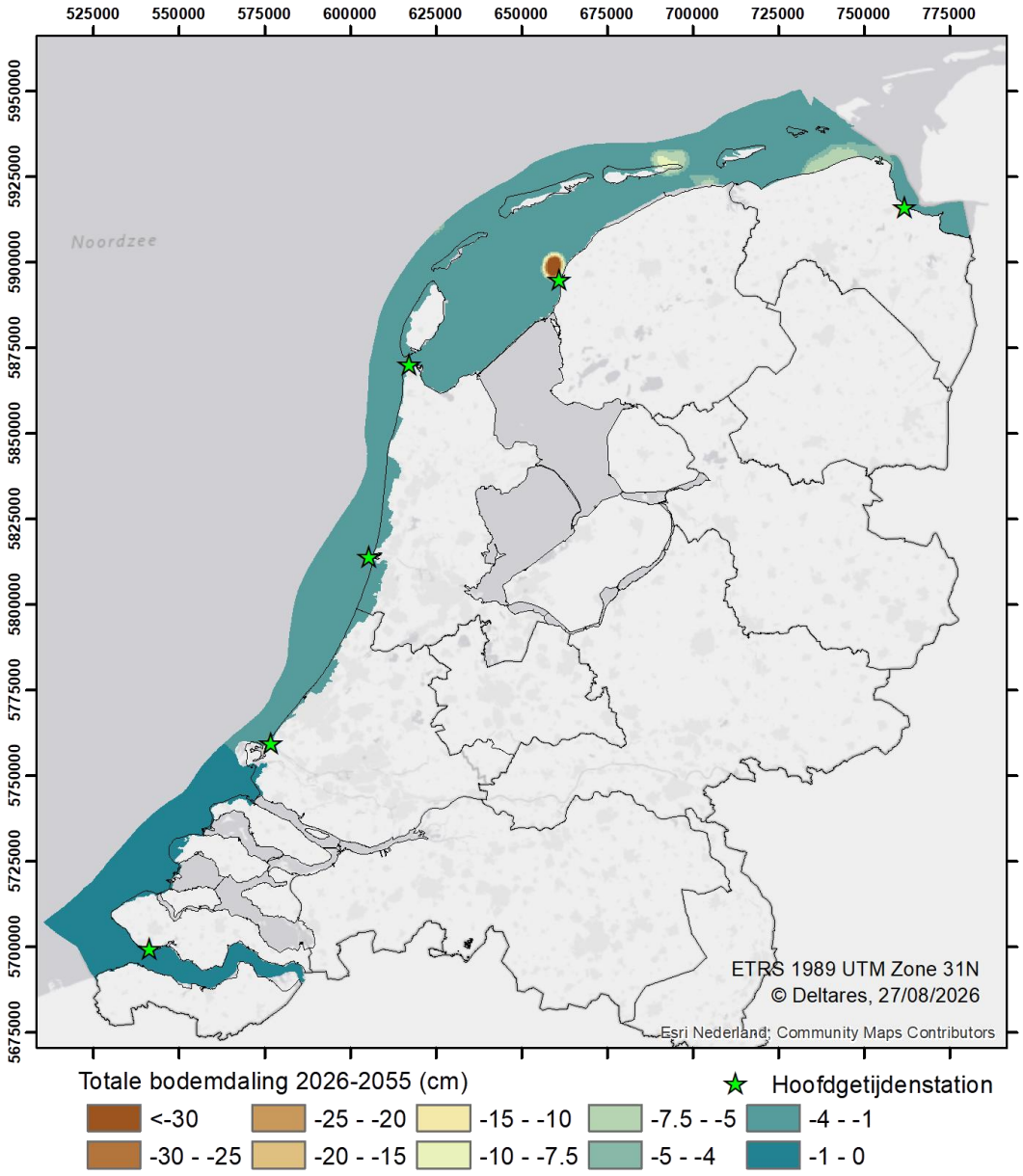
Figuur 3-2 laat de totale bodemdaling zien voor de laatste 30 jaar. Het aantal centimeters daling is kleiner, omdat de geologische bodemdaling natuurlijk kleiner is voor een kortere periode en omdat veel winningen meer dan 30 jaar geleden gestart zijn. De bodemdaling bij Ameland bedraagt ongeveer 24 cm.



Figuur 3-2 Totale bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens voor de afgelopen 30 jaar als gevolg van geologische bodemdaling en daling door het winnen van delfstoffen.

Het bodemdalingsbeeld voor de komende 30 jaar is behoorlijk anders dan voor de laatste 30 jaar (Figuur 3-3). Naar verwachting zal er veel minder gas gewonnen gaan worden, met als gevolg dat alle bodemdalingsschotels veel kleiner zijn geworden. Bij Ameland wordt nog ongeveer 5-10 centimeter bodemdaling verwacht (Figuur 3-4). Het meest opvallende is de

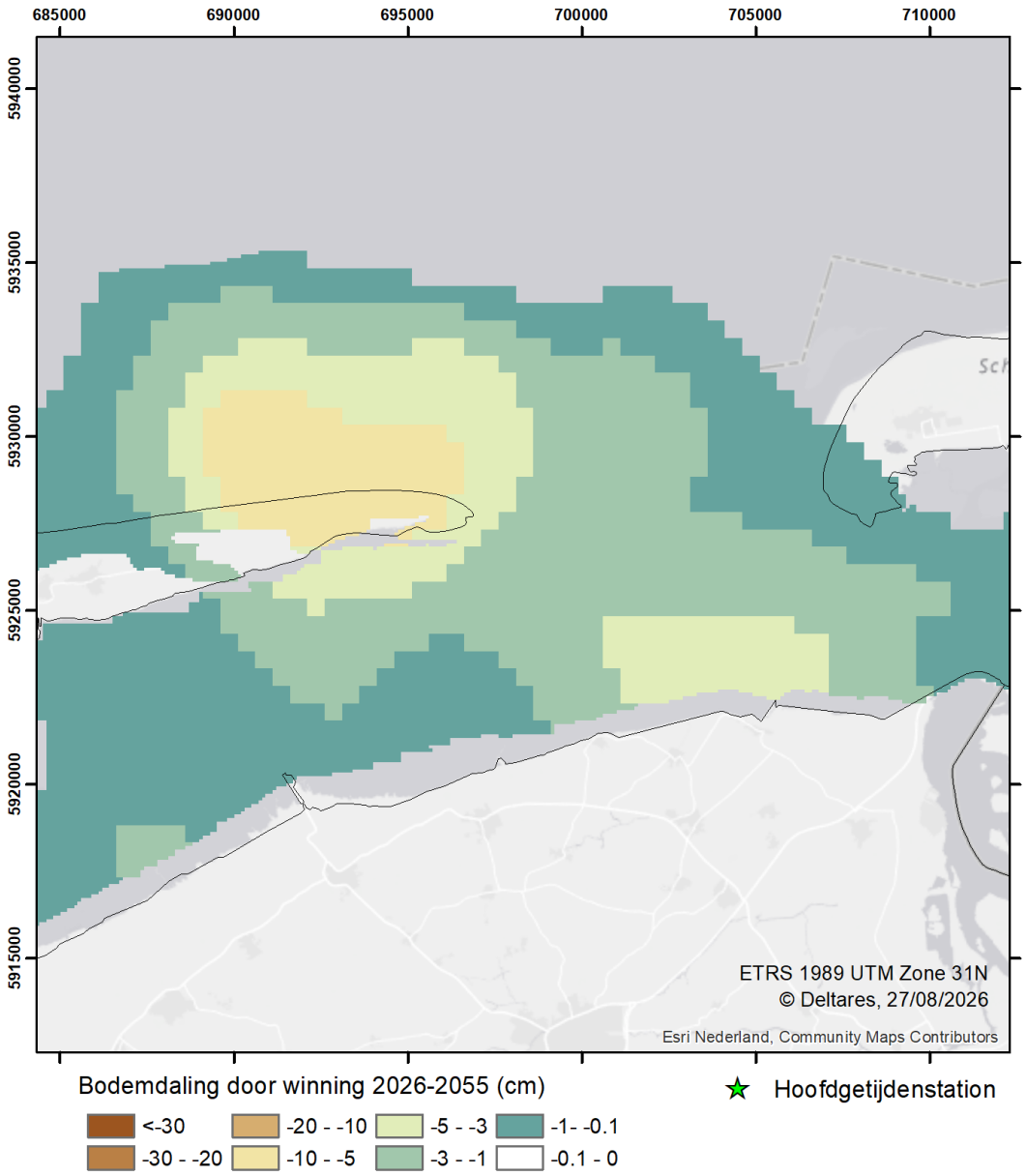
diepe bodemdalingsschotel ten westen van Harlingen, daar wordt in het centrum ruim 130 cm bodemdaling verwacht (zie ook Figuur 3-5).



Figuur 3-3 Totale bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens voor de komende 30 jaar als gevolg van geologische bodemdaling en daling door het winnen van delfstoffen.

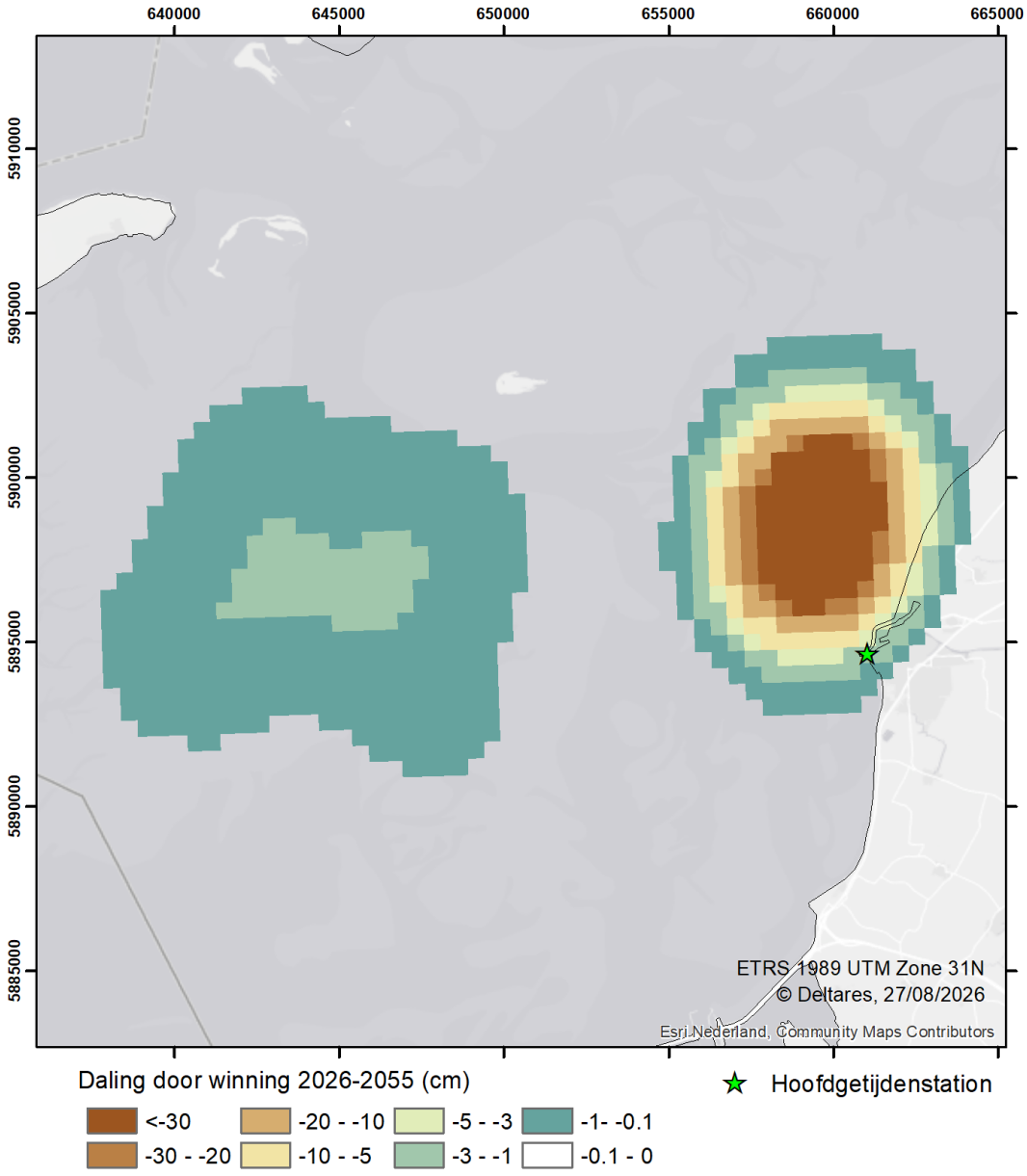
3.2 Bodemdaling door winning bij Ameland en Harlingen

De kaarten hieronder tonen de verwachte bodemdaling door winning bij Ameland en Harlingen, zonder de bijdrage van geologische bodemdaling. Bij Ameland wordt in een zone in het oosten nog 5-10 cm bodemdaling verwacht, daaromheen neemt de mate van bodemdaling snel af.



Figuur 3-4 Daling door winning in de Waddenzee bij Ameland.

Ten westen van Harlingen zijn twee bodemdalingsschotels zichtbaar. De meest westelijke hoort bij gasveld Zuidwal, een locatie waar sinds 2021 geen gas meer gewonnen wordt. Na-ijleffecten zorgen nog voor enkele centimeters bodemdaling. De oostelijke schotel wordt veroorzaakt door zoutwinning bij de Ballastplaat en strekt zich uit tot het hoofdgetijdenstation Harlingen. Bij dat station zal dus de komende 30 jaar extra bodemdaling gaan optreden die de zeespiegelmetingen zal beïnvloeden (zie ook Hijma, 2025b).

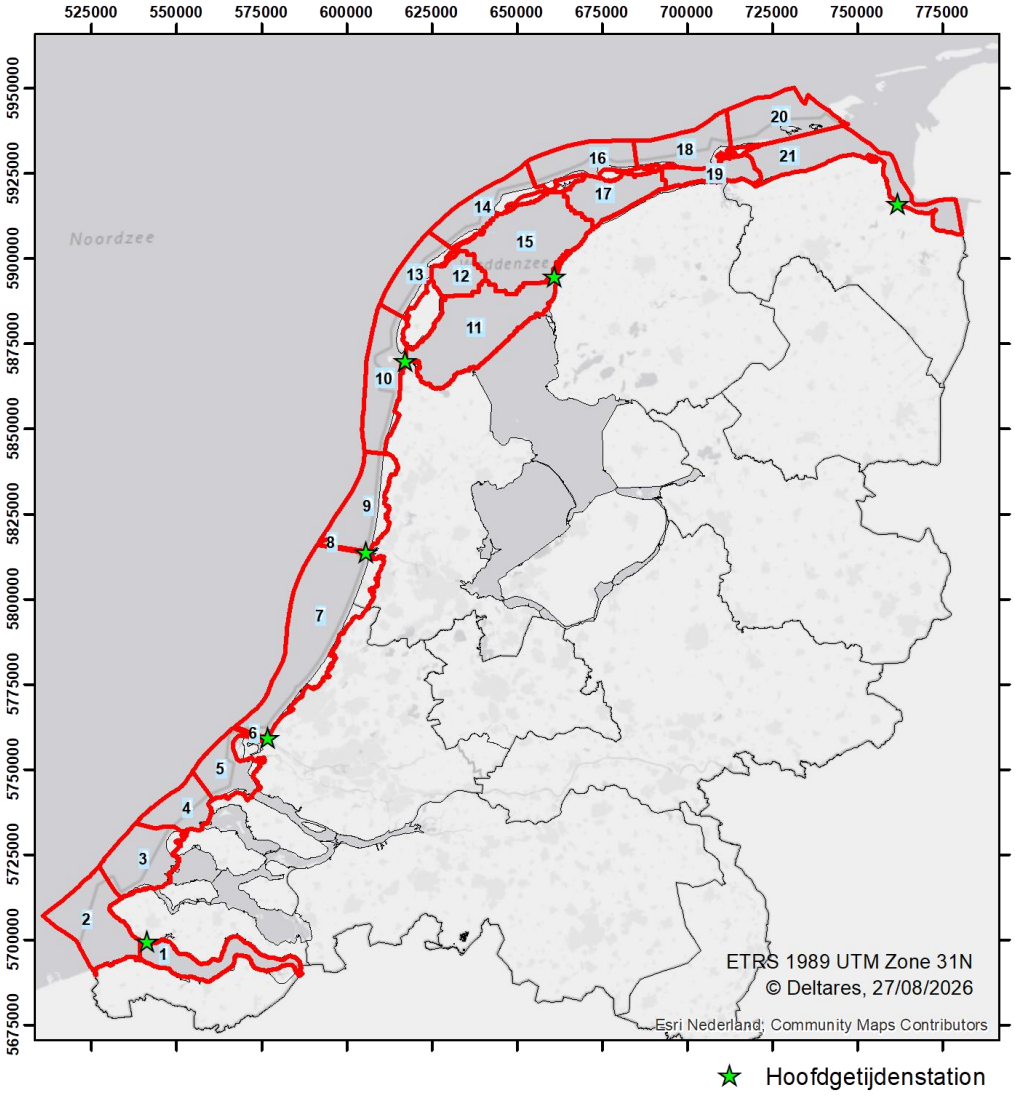


Figuur 3-5 Daling door winning in de Waddenzee ten westen van Harlingen. De linker bodemdalingsschotel hoort bij gasveld Zuidwal, de rechterschotel bij de zoutwinning Havenmond/Ballastplaat.

4 Bodemdalingsvolumes

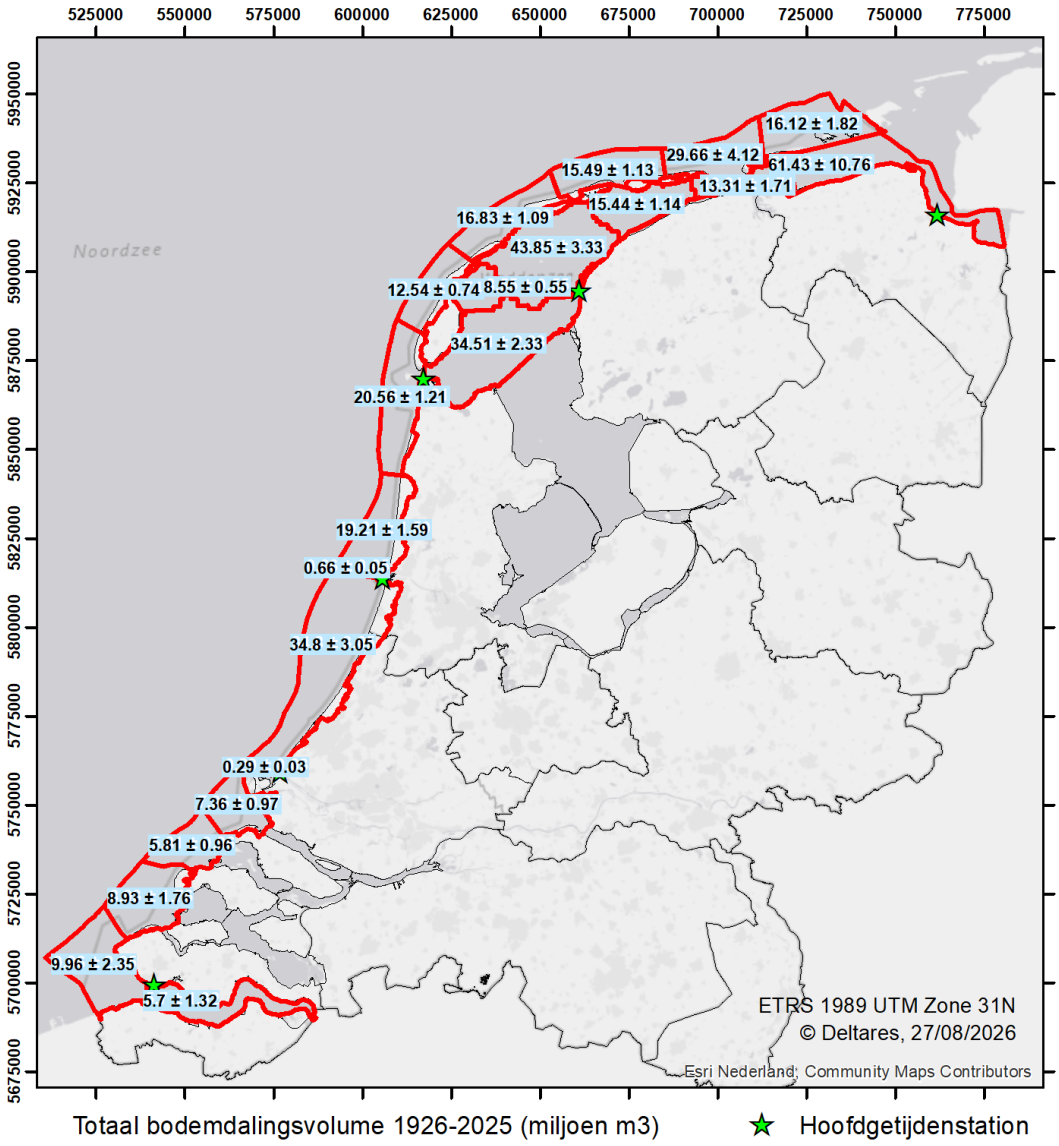
4.1 Kaarten

Het kustfundament en de getijdenbekkens zijn door Rijkswaterstaat opgedeeld in 21 deelgebieden. De nummering in Figuur 4-1 wordt steeds gebruikt in onderstaande tabellen, waar ook de naam van elk deelgebied getoond wordt.



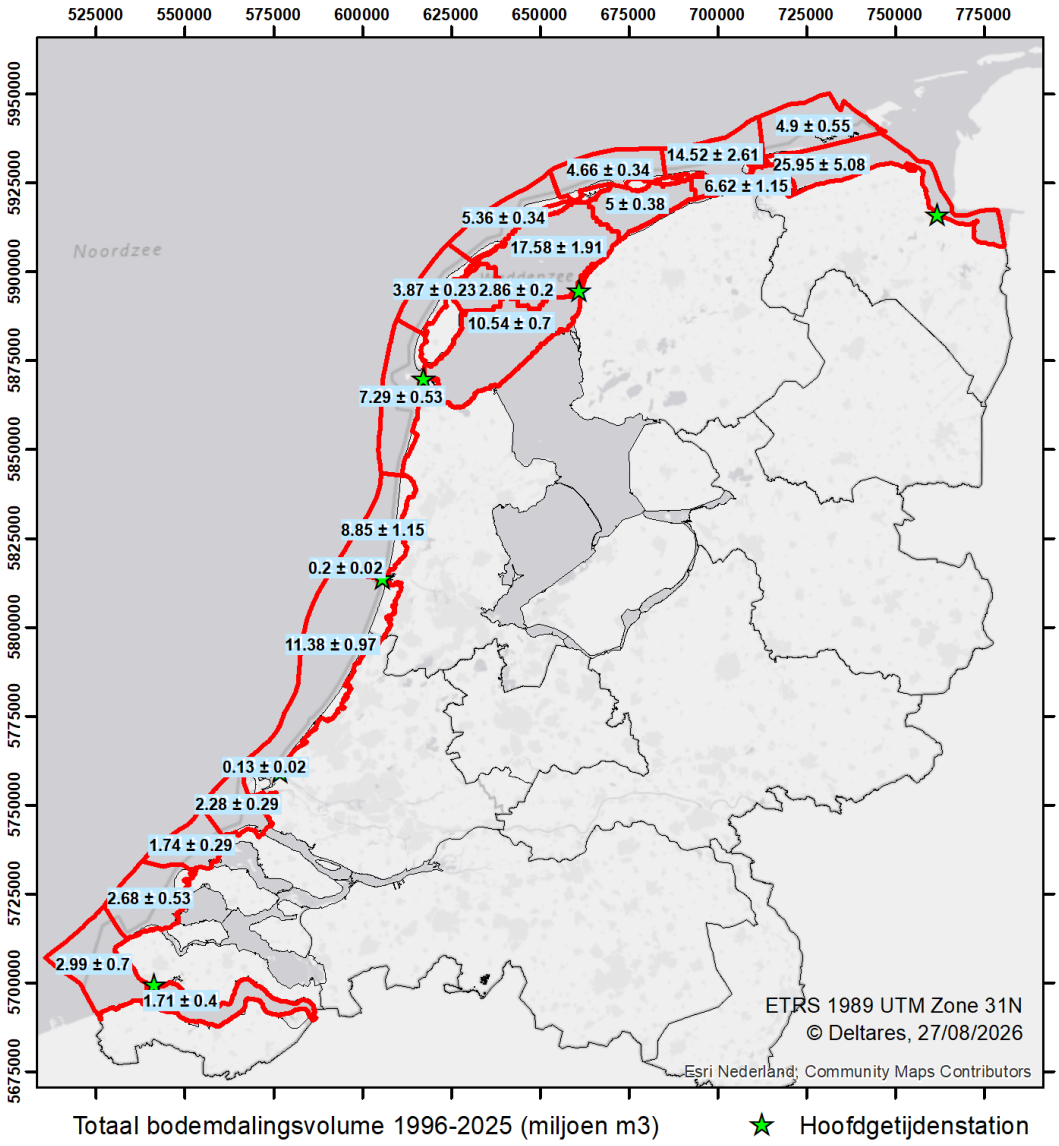
Figuur 4-1 Kaart met de deelgebieden voor kustonderhoud, zoals aangeleverd door Rijkswaterstaat.

Figuur 4-2 laat het totale bodemdalingsvolume per deelgebied zien voor de afgelopen eeuw, inclusief de berekende onzekerheid. De deelgebieden hebben allemaal een ander oppervlak, daarom zijn de getallen niet direct met elkaar te vergelijken. Duidelijk is wel dat in het noorden, waar de snelheid van geologische bodemdaling hoog is en veel gaswinning plaatsvindt, de bodemdalingsvolumes aanzienlijk groter zijn dan langs de Hollandse en Zeeuwse kusten.

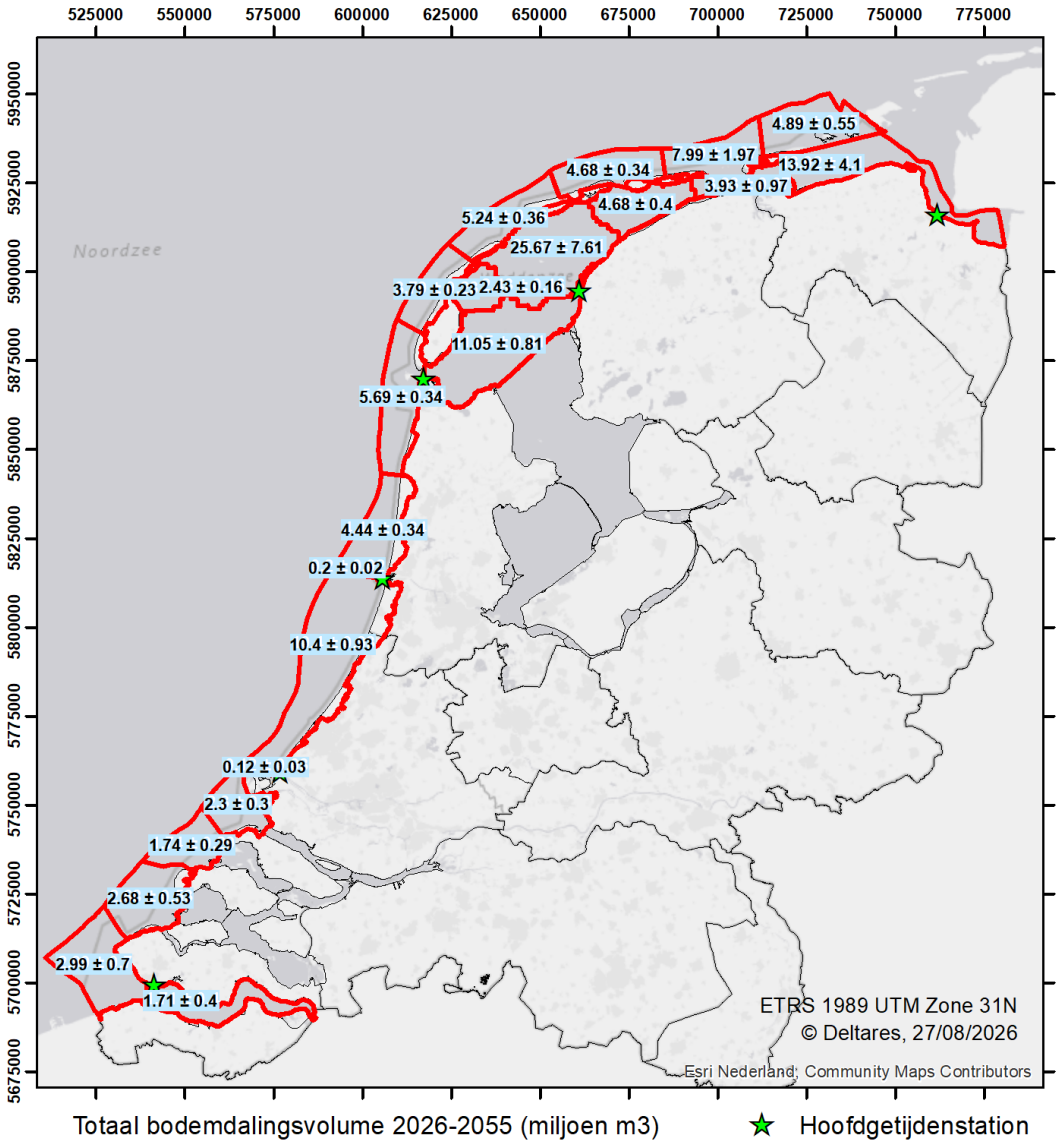


Figuur 4-2 Het totale opgetreden bodemdalingsvolume per deelgebied in de laatste 100 jaar.

Onderstaande figuren laten de bodemdalingsvolumes zien voor de laatste (Figuur 4-3) en komende (Figuur 4-4) 30 jaar. Voor gebieden zonder winning (Zeeuwse Delta) zijn de getallen identiek voor beide perioden, maar richting het noorden zijn grote verschillen waarneembaar. In het algemeen zijn de bodemdalingsvolumes een stuk kleiner, omdat er de komende 30 jaar naar verwachting veel minder gas gewonnen zal worden. Voor de deelgebieden Friesche Zeegat (deelgebied 18) en Eems-Dollard binnen (21) betekent dit bijvoorbeeld bijna een halvering van het bodemdalingsvolume. In deelgebied Vlie binnen (15) neemt het bodemdalingsvolume door de gestarte zoutwinning juist flink toe, al wordt de toename enigszins gedempt door de verminderde bodemdaling bij locatie Zuidwal.



Figuur 4-3 Het totale opgetreden bodemdalingsvolume per deelgebied in de laatste 30 jaar.



Figuur 4-4 Het totale verwachte bodemdalingsvolume per deelgebied in de komende 30 jaar.

4.2 Tabellen

Gedetailleerde informatie per deelgebied wordt weergegeven in onderstaande tabellen. De eerste drie tabellen tonen de bodemdaling per deelgebied, uitgesplitst naar de verschillende bodemdalingscomponenten, voor de afgelopen 100 (Tabel 4-1) en 30 jaar (Tabel 4-2) en voor de komende 30 jaar (Tabel 4-3). Deelgebied 21 is bijvoorbeeld gemiddeld 12.6 cm gezakt, terwijl deelgebied 1 slechts 2.25 cm is gezakt.

Tabel 4-1 Bodembewegingsgetallen voor de deelgebieden voor de periode 1926-2025. De eerste drie kolommen geven de beweging per component in deze periode, de laatste kolom de totale beweging.

Deelgebied	Gemiddelde langetermijn-bodembeweging (cm)	Gemiddelde GIA-bodem-beweging (cm)	Gemiddelde bodembeweging door winning (cm)	Gemiddelde totale bodembeweging (cm)
1926-2025				
Westerschelde (1)	-0.05 ± 0.01	-2.21 ± 0.52	0.00 ± 0.00	-2.25 ± 0.52
Westerschelde delta (2)	-0.06 ± 0.01	-2.30 ± 0.56	0.00 ± 0.00	-2.36 ± 0.56
Oosterschelde delta (3)	-0.14 ± 0.02	-2.41 ± 0.50	0.00 ± 0.00	-2.55 ± 0.50
Grevelingen delta (4)	-0.27 ± 0.05	-2.50 ± 0.45	-0.00 ± 0.00	-2.77 ± 0.46
Haringvliet delta (5)	-0.44 ± 0.07	-2.59 ± 0.40	-0.05 ± 0.01	-3.08 ± 0.41
Maasgeul (6)	-0.55 ± 0.09	-2.67 ± 0.37	-0.91 ± 0.23	-4.13 ± 0.44
Zuid-Holland (7)	-0.80 ± 0.13	-2.91 ± 0.31	-0.16 ± 0.04	-3.87 ± 0.34
IJgeul (8)	-1.01 ± 0.17	-3.10 ± 0.29	-0.00 ± 0.00	-4.11 ± 0.33
Noord-Holland (9)	-1.07 ± 0.18	-3.22 ± 0.28	-1.28 ± 0.32	-5.56 ± 0.46
Zeegat van Texel (10)	-1.16 ± 0.19	-3.59 ± 0.21	-0.40 ± 0.10	-5.16 ± 0.30
Marsdiep binnen (11)	-1.27 ± 0.21	-3.68 ± 0.26	-0.05 ± 0.01	-5.00 ± 0.34
Eierlandse Gat binnen (12)	-1.52 ± 0.25	-3.85 ± 0.25	-0.42 ± 0.11	-5.79 ± 0.37
Eierlandse Gat (13)	-1.41 ± 0.23	-3.90 ± 0.22	-0.07 ± 0.02	-5.37 ± 0.32
Vliestroom (14)	-1.55 ± 0.26	-4.05 ± 0.27	-0.16 ± 0.04	-5.76 ± 0.37
Vlie binnen (15)	-1.45 ± 0.24	-3.91 ± 0.30	-1.31 ± 0.33	-6.68 ± 0.51
Amelander Zeegat (16)	-1.27 ± 0.21	-4.09 ± 0.33	-0.01 ± 0.00	-5.37 ± 0.39
Amelander Zeegat binnen (17)	-1.16 ± 0.19	-4.00 ± 0.35	-0.50 ± 0.12	-5.66 ± 0.42
Friesche Zeegat (18)	-0.73 ± 0.12	-4.04 ± 0.41	-5.37 ± 1.34	-10.14 ± 1.41
Friesche Zeegat binnen (19)	-0.60 ± 0.10	-3.92 ± 0.41	-4.06 ± 1.02	-8.58 ± 1.10
Eems-Dollard (20)	-0.38 ± 0.06	-3.94 ± 0.49	-0.05 ± 0.01	-4.36 ± 0.49
Eems-Dollard binnen (21)	-0.30 ± 0.05	-3.71 ± 0.50	-8.62 ± 2.16	-12.64 ± 2.21

Tabel 4-2 Bodembewegingsgetallen voor de deelgebieden voor de periode 1996-2025. De eerste drie kolommen geven de beweging per component in deze periode, de laatste kolom de totale beweging.

Deelgebied	Gemiddelde langetermijn-bodembeweging (cm)	Gemiddelde GIA-bodem-beweging (cm)	Gemiddelde bodembeweging door winning (cm)	Gemiddelde totale bodembeweging (cm)
1996-2025				
Westerschelde (1)	-0.01 ± 0.00	-0.66 ± 0.16	0.00 ± 0.00	-0.68 ± 0.16
Westerschelde delta (2)	-0.02 ± 0.00	-0.69 ± 0.17	0.00 ± 0.00	-0.71 ± 0.17
Oosterschelde delta (3)	-0.04 ± 0.01	-0.72 ± 0.15	0.00 ± 0.00	-0.77 ± 0.15
Grevelingen delta (4)	-0.08 ± 0.01	-0.75 ± 0.14	-0.00 ± 0.00	-0.83 ± 0.14
Haringvliet delta (5)	-0.13 ± 0.02	-0.78 ± 0.12	-0.05 ± 0.01	-0.95 ± 0.12
Maasgeul (6)	-0.16 ± 0.03	-0.80 ± 0.11	-0.91 ± 0.23	-1.87 ± 0.25
Zuid-Holland (7)	-0.24 ± 0.04	-0.87 ± 0.09	-0.15 ± 0.04	-1.27 ± 0.11
IJgeul (8)	-0.30 ± 0.05	-0.93 ± 0.09	-0.00 ± 0.00	-1.23 ± 0.10
Noord-Holland (9)	-0.32 ± 0.05	-0.97 ± 0.08	-1.28 ± 0.32	-2.56 ± 0.33
Zeegat van Texel (10)	-0.35 ± 0.06	-1.08 ± 0.06	-0.40 ± 0.10	-1.83 ± 0.13
Marsdiep binnen (11)	-0.38 ± 0.06	-1.11 ± 0.08	-0.04 ± 0.01	-1.53 ± 0.10
Eierlandse Gat binnen (12)	-0.46 ± 0.08	-1.16 ± 0.08	-0.33 ± 0.08	-1.94 ± 0.13
Eierlandse Gat (13)	-0.42 ± 0.07	-1.17 ± 0.06	-0.06 ± 0.02	-1.66 ± 0.10
Vliestroom (14)	-0.47 ± 0.08	-1.22 ± 0.08	-0.15 ± 0.04	-1.84 ± 0.12
Vlie binnen (15)	-0.44 ± 0.07	-1.17 ± 0.09	-1.07 ± 0.27	-2.68 ± 0.29
Amelander Zeegat (16)	-0.38 ± 0.06	-1.23 ± 0.10	-0.01 ± 0.00	-1.62 ± 0.12
Amelander Zeegat binnen (17)	-0.35 ± 0.06	-1.20 ± 0.10	-0.28 ± 0.07	-1.83 ± 0.14
Friesche Zeegat (18)	-0.22 ± 0.04	-1.21 ± 0.12	-3.53 ± 0.88	-4.96 ± 0.89
Friesche Zeegat binnen (19)	-0.18 ± 0.03	-1.18 ± 0.12	-2.91 ± 0.73	-4.26 ± 0.74
Eems-Dollard (20)	-0.11 ± 0.02	-1.18 ± 0.15	-0.03 ± 0.01	-1.33 ± 0.15
Eems-Dollard binnen (21)	-0.09 ± 0.02	-1.11 ± 0.15	-4.13 ± 1.03	-5.34 ± 1.04

Tabel 4-3 Bodembewegingsgetallen voor de deelgebieden voor de periode 2026-2055. De eerste drie kolommen geven de beweging per component in deze periode, de laatste kolom de totale beweging.

Deelgebied	Gemiddelde langetermijn-bodembeweging (cm)	Gemiddelde GIA-bodem-beweging (cm)	Gemiddelde bodembeweging door winning (cm)	Gemiddelde totale bodembeweging (cm)
2026-2055				
Westerschelde (1)	-0.01 ± 0.00	-0.66 ± 0.16	0.00 ± 0.00	-0.68 ± 0.16
Westerschelde delta (2)	-0.02 ± 0.00	-0.69 ± 0.17	0.00 ± 0.00	-0.71 ± 0.17
Oosterschelde delta (3)	-0.04 ± 0.01	-0.72 ± 0.15	0.00 ± 0.00	-0.77 ± 0.15
Grevelingen delta (4)	-0.08 ± 0.01	-0.75 ± 0.14	0.00 ± 0.00	-0.83 ± 0.14
Haringvliet delta (5)	-0.13 ± 0.02	-0.78 ± 0.12	-0.05 ± 0.03	-0.96 ± 0.12
Maasgeul (6)	-0.16 ± 0.03	-0.80 ± 0.11	-0.81 ± 0.40	-1.77 ± 0.42
Zuid-Holland (7)	-0.24 ± 0.04	-0.87 ± 0.09	-0.05 ± 0.02	-1.16 ± 0.10
IJgeul (8)	-0.30 ± 0.05	-0.93 ± 0.09	0.00 ± 0.00	-1.23 ± 0.10
Noord-Holland (9)	-0.32 ± 0.05	-0.97 ± 0.08	-0.00 ± 0.00	-1.28 ± 0.10
Zeegat van Texel (10)	-0.35 ± 0.06	-1.08 ± 0.06	-0.00 ± 0.00	-1.43 ± 0.09
Marsdiep binnen (11)	-0.38 ± 0.06	-1.11 ± 0.08	-0.12 ± 0.06	-1.60 ± 0.12
Eierlandse Gat binnen (12)	-0.46 ± 0.08	-1.16 ± 0.08	-0.04 ± 0.02	-1.65 ± 0.11
Eierlandse Gat (13)	-0.42 ± 0.07	-1.17 ± 0.06	-0.03 ± 0.02	-1.62 ± 0.10
Vliestroom (14)	-0.47 ± 0.08	-1.22 ± 0.08	-0.11 ± 0.06	-1.79 ± 0.12
Vlie binnen (15)	-0.44 ± 0.07	-1.17 ± 0.09	-2.30 ± 1.15	-3.91 ± 1.16
Amelander Zeegat (16)	-0.38 ± 0.06	-1.23 ± 0.10	-0.01 ± 0.01	-1.62 ± 0.12
Amelander Zeegat binnen (17)	-0.35 ± 0.06	-1.20 ± 0.10	-0.17 ± 0.08	-1.72 ± 0.15
Friesche Zeegat (18)	-0.22 ± 0.04	-1.21 ± 0.12	-1.30 ± 0.66	-2.73 ± 0.67
Friesche Zeegat binnen (19)	-0.18 ± 0.03	-1.18 ± 0.12	-1.18 ± 0.61	-2.54 ± 0.62
Eems-Dollard (20)	-0.11 ± 0.02	-1.18 ± 0.15	-0.03 ± 0.01	-1.32 ± 0.15
Eems-Dollard binnen (21)	-0.09 ± 0.02	-1.11 ± 0.15	-1.66 ± 0.83	-2.86 ± 0.84

In onderstaande drie tabellen is de bodemdaling omgerekend naar volumes voor de afgelopen 100 (Tabel 4-4) en 30 jaar (Tabel 4-5), en voor de komende 30 jaar (Tabel 4-6), uitgesplitst naar het volume door geologische bodemdaling en door winning. Het totale bodemdalingsvolume is gelijk aan de volumes in de eerder getoonde kaarten. De tabellen geven ook de gesommeerde volumes voor het kustfundament en de beide getijdenbekkens. Voor de afgelopen eeuw bedraagt het totale bodemdalingsvolume bijna 400 miljoen m^3, oftewel bijna 4 miljoen m^3 per jaar. Dit komt overeen met ongeveer een derde van het jaarlijkse suppletievolume (Lodder et al., 2023).

Tabel 4-4 Bodemdalingsvolumes voor de deelgebieden voor de periode 1926-2025

Deelgebied	Geologisch bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m^3)	Bodemdalingsvolume door winning ± onzekerheid (mln.m^3)	Totaal bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m^3)
1926-2025			
Westerschelde (1)	5.697 ± 1.323	0.000 ± 0.000	5.697 ± 1.323
Westerschelde delta (2)	9.959 ± 2.349	0.000 ± 0.000	9.959 ± 2.349
Oosterschelde delta (3)	8.931 ± 1.757	0.000 ± 0.000	8.931 ± 1.757
Grevelingen delta (4)	5.811 ± 0.955	0.000 ± 0.000	5.811 ± 0.955
Haringvliet delta (5)	7.246 ± 0.973	0.109 ± 0.027	7.355 ± 0.973
Maasgeul (6)	0.224 ± 0.026	0.064 ± 0.016	0.288 ± 0.031
Zuid-Holland (7)	33.323 ± 3.031	1.481 ± 0.370	34.804 ± 3.054
IJgeul (8)	0.662 ± 0.054	0.000 ± 0.000	0.662 ± 0.054
Noord-Holland (9)	14.802 ± 1.139	4.408 ± 1.103	19.210 ± 1.586
Zeegat van Texel (10)	18.958 ± 1.139	1.601 ± 0.400	20.559 ± 1.207
Marsdiep binnen (11)	34.186 ± 2.331	0.322 ± 0.081	34.508 ± 2.332
Eierlandse Gat binnen (12)	7.923 ± 0.525	0.623 ± 0.156	8.546 ± 0.547
Eierlandse Gat (13)	12.385 ± 0.742	0.154 ± 0.039	12.539 ± 0.743
Vliestroom (14)	16.372 ± 1.082	0.455 ± 0.114	16.827 ± 1.088
Vlie binnen (15)	35.242 ± 2.535	8.611 ± 2.153	43.852 ± 3.326
Amelander Zeegat (16)	15.448 ± 1.128	0.039 ± 0.010	15.487 ± 1.129
Amelander Zeegat binnen (17)	14.079 ± 1.088	1.360 ± 0.340	15.439 ± 1.140
Friesche Zeegat (18)	13.948 ± 1.253	15.710 ± 3.928	29.658 ± 4.123
Friesche Zeegat binnen (19)	7.009 ± 0.657	6.303 ± 1.576	13.312 ± 1.707
Eems-Dollard (20)	15.950 ± 1.822	0.168 ± 0.043	16.118 ± 1.823
Eems-Dollard binnen (21)	19.515 ± 2.461	41.913 ± 10.479	61.427 ± 10.764
Totaal	**297.670 ± 7.190**	**83.321 ± 4.945**	**380.989 ± 8.393**
Kustfundament	*174.019 ± 5.489*	*24.189 ± 4.118*	*198.208 ± 6.863*
Waddenzee	*117.954 ± 4.451*	*59.132 ± 2.738*	*177.084 ± 4.647*
Westerschelde	*5.697 ± 1.323*	*0.000 ± 0.000*	*5.697 ± 1.323*

Tabel 4-5 Bodemdalingsvolumes voor de deelgebieden voor de periode 1996-2025

Deelgebied	Geologisch bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m^3)	Bodemdalingsvolume door winning ± onzekerheid (mln.m^3)	Totaal bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m^3)
1996-2025			
Westerschelde (1)	1.709 ± 0.397	0.000 ± 0.000	1.709 ± 0.397
Westerschelde delta (2)	2.988 ± 0.705	0.000 ± 0.000	2.988 ± 0.705
Oosterschelde delta (3)	2.679 ± 0.527	0.000 ± 0.000	2.679 ± 0.527
Grevelingen delta (4)	1.743 ± 0.287	0.000 ± 0.000	1.743 ± 0.287
Haringvliet delta (5)	2.174 ± 0.292	0.109 ± 0.027	2.283 ± 0.293
Maasgeul (6)	0.067 ± 0.008	0.063 ± 0.016	0.131 ± 0.018
Zuid-Holland (7)	9.997 ± 0.909	1.384 ± 0.346	11.381 ± 0.973
IJgeul (8)	0.199 ± 0.016	0.000 ± 0.000	0.199 ± 0.016
Noord-Holland (9)	4.441 ± 0.342	4.408 ± 1.103	8.849 ± 1.155
Zeegat van Texel (10)	5.687 ± 0.342	1.601 ± 0.400	7.288 ± 0.526
Marsdiep binnen (11)	10.256 ± 0.699	0.286 ± 0.071	10.541 ± 0.703
Eierlandse Gat binnen (12)	2.377 ± 0.157	0.484 ± 0.121	2.861 ± 0.199
Eierlandse Gat (13)	3.715 ± 0.222	0.150 ± 0.038	3.866 ± 0.226
Vliestroom (14)	4.911 ± 0.325	0.450 ± 0.113	5.361 ± 0.344
Vlie binnen (15)	10.573 ± 0.761	7.003 ± 1.751	17.575 ± 1.909
Amelander Zeegat (16)	4.634 ± 0.339	0.025 ± 0.006	4.659 ± 0.339
Amelander Zeegat binnen (17)	4.224 ± 0.326	0.776 ± 0.194	5.000 ± 0.380
Friesche Zeegat (18)	4.184 ± 0.376	10.331 ± 2.584	14.516 ± 2.611
Friesche Zeegat binnen (19)	2.103 ± 0.197	4.515 ± 1.129	6.618 ± 1.146
Eems-Dollard (20)	4.785 ± 0.547	0.113 ± 0.029	4.898 ± 0.548
Eems-Dollard binnen (21)	5.854 ± 0.738	20.096 ± 5.025	25.951 ± 5.079
Totaal	**89.300 ± 2.157**	**51.794 ± 6.151**	**141.096 ± 6.519**
Kustfundament	*52.204 ± 1.647*	*18.634 ± 2.862*	*70.841 ± 3.302*
Waddenzee	*35.387 ± 1.335*	*33.160 ± 5.445*	*68.546 ± 5.606*
Westerschelde	*1.709 ± 0.397*	*0.000 ± 0.000*	*1.709 ± 0.397*

Tabel 4-6 Bodemdalingsvolumes voor de deelgebieden voor de periode 2026-2055

Deelgebied	Geologisch bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m^3)	Bodemdalingsvolume door winning ± onzekerheid (mln.m^3)	Totaal bodemdalingsvolume ± onzekerheid (mln.m^3)
2026-2055			
Westerschelde (1)	1.709 ± 0.397	0.000 ± 0.000	1.709 ± 0.397
Westerschelde delta (2)	2.988 ± 0.705	0.000 ± 0.000	2.988 ± 0.705
Oosterschelde delta (3)	2.679 ± 0.527	0.000 ± 0.000	2.679 ± 0.527
Grevelingen delta (4)	1.743 ± 0.287	0.000 ± 0.000	1.743 ± 0.287
Haringvliet delta (5)	2.174 ± 0.292	0.124 ± 0.062	2.298 ± 0.298
Maasgeul (6)	0.067 ± 0.008	0.056 ± 0.028	0.124 ± 0.029
Zuid-Holland (7)	9.997 ± 0.909	0.405 ± 0.203	10.402 ± 0.932
IJgeul (8)	0.199 ± 0.016	0.000 ± 0.000	0.199 ± 0.016
Noord-Holland (9)	4.441 ± 0.342	0.000 ± 0.000	4.441 ± 0.342
Zeegat van Texel (10)	5.687 ± 0.342	0.001 ± 0.000	5.688 ± 0.342
Marsdiep binnen (11)	10.256 ± 0.699	0.799 ± 0.402	11.055 ± 0.807
Eierlandse Gat binnen (12)	2.377 ± 0.157	0.054 ± 0.027	2.431 ± 0.160
Eierlandse Gat (13)	3.715 ± 0.222	0.076 ± 0.038	3.791 ± 0.226
Vliestroom (14)	4.911 ± 0.325	0.326 ± 0.163	5.237 ± 0.363
Vlie binnen (15)	10.573 ± 0.761	15.102 ± 7.573	25.674 ± 7.611
Amelander Zeegat (16)	4.634 ± 0.339	0.042 ± 0.022	4.677 ± 0.339
Amelander Zeegat binnen (17)	4.224 ± 0.326	0.459 ± 0.230	4.683 ± 0.399
Friesche Zeegat (18)	4.184 ± 0.376	3.807 ± 1.932	7.991 ± 1.968
Friesche Zeegat binnen (19)	2.103 ± 0.197	1.831 ± 0.947	3.934 ± 0.967
Eems-Dollard (20)	4.785 ± 0.547	0.103 ± 0.052	4.888 ± 0.549
Eems-Dollard binnen (21)	5.854 ± 0.738	8.063 ± 4.034	13.917 ± 4.101
Totaal	**89.300 ± 2.157**	**31.246 ± 8.863**	**120.549 ± 9.121**
Kustfundament	*52.204 ± 1.647*	*4.940 ± 1.952*	*57.146 ± 2.554*
Waddenzee	*35.387 ± 1.335*	*26.306 ± 8.645*	*61.694 ± 8.747*
Westerschelde	*1.709 ± 0.397*	*0.000 ± 0.000*	*1.709 ± 0.397*

4.3 Hoofdgetijdenstations

De zes hoofdgetijdenstations worden gebruikt om de relatieve zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust te meten en leveren de data die gebruikt worden binnen de *Zeespiegelmonitor* (Stolte et al., 2023). Een deel van de relatieve zeespiegelstijging wordt veroorzaakt door de daling van het station. In Tabel 4-7 wordt per station voor de afgelopen en komende 30 jaar de bodemdaling getoond, zowel de geologische bodemdaling als de daling door winning.

Wat natuurlijk opvalt is de enorme afname in bodemdaling van station Delfzijl, van 13 cm in de afgelopen 30 jaar naar 2.5 cm in de komende 30 jaar. De waterstandsmetingen bij Delfzijl worden sinds 1973 gecorrigeerd voor deze extra bodemdaling, omdat de metingen anders niet bruikbaar zijn voor de *Zeespiegelmonitor* (Stolte et al., 2023). Daarnaast valt op dat bij station Harlingen de komende 30 jaar bijna 2 cm aan extra bodemdaling verwacht wordt, waardoor de snelheid van relatieve zeespiegelstijging zal toenemen.

Tabel 4-7 Bodemdaling bij de hoofdgetijdenstations, uitgesplitst naar geologische bodemdaling en de bodemdaling door winning (gas, olie, zout), voor de periode 1996-2025 en 2026-2055

Station	Geologische bodemdaling 1996-2025 | 2026-2055 cm (min-max)	Bodemdaling door winning 1996-2025 | 2026-2055 cm (min-max)	Totale bodemdaling 1996-2025 | 2026-2055 cm (min-max)
Vlissingen	0.7 (0.5-0.9) | 0.7 (0.5-0.9)	0 | 0	0.7 (0.5-0.9) | 0.7 (0.5-0.9)
Hoek van Holland	1.0 (0.9-1.2) | 1.0 (0.9-1.2)	0.6 (0.4-0.8) | 0.2 (0.1-0.3)	1.6 (1.4-1.8) | 1.2 (1.1-1.4)
IJmuiden	1.2 (1.1-1.3) | 1.2 (1.1-1.3)	0 | 0	1.2 (1.1-1.3) | 1.2 (1.1-1.3)
Den Helder	1.4 (1.3-1.6) | 1.4 (1.3-1.6)	0 | 0	1.4 (1.3-1.6) | 1.4 (1.3-1.6)
Harlingen	1.5 (1.4-1.7) | 1.5 (1.4-1.7)	0.6 (0.4-0.8) | 1.8 (0.9-2.8)	2.1 (1.9-2.3) | 3.4 (2.9-3.9)
Delfzijl	1.1 (1.0-1.4) | 1.1 (1.0-1.4)	11.9 (8.9-14.8) | 1.3 (0.7-.2.0)	13.0 (10.0-16.0) | 2.5 (2.1-2.9)

5 Discussie

5.1 Vergelijking met eerdere uitkomsten

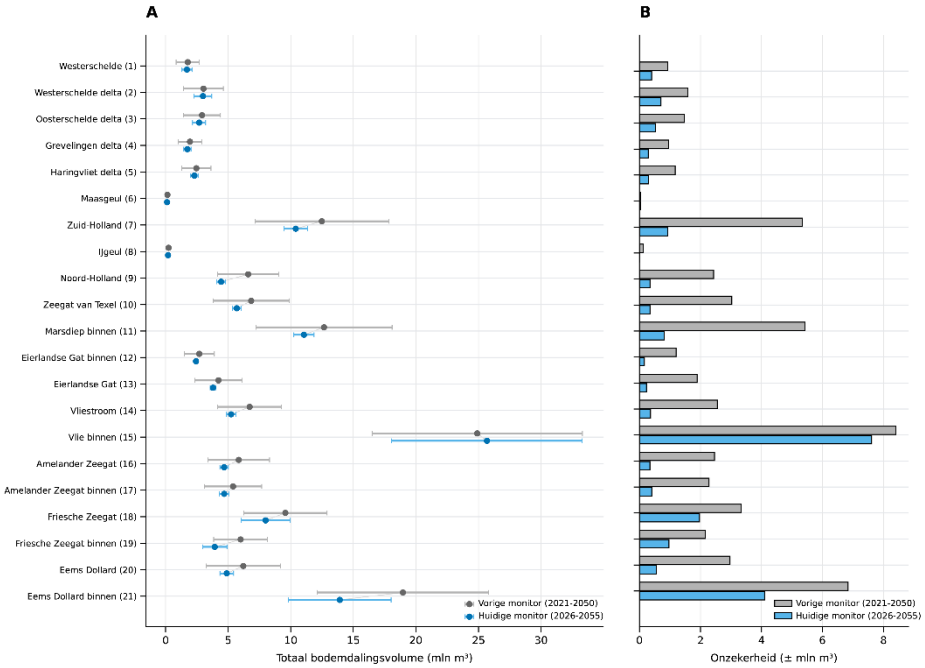
In 2018 zijn voor het laatst integrale bodemdalingskaarten opgesteld voor het gehele kustfundament en de getijdenbekkens (Hijma & Kooi, 2018). Sindsdien is een nieuwe geologische bodemdalingskaart gepubliceerd (Hijma, 2025a) en zijn de historische en toekomstige bodemdaling door delfstofwinning opnieuw gemodelleerd. Hierdoor kunnen zowel de reconstructie van de opgetreden bodemdaling als de prognose voor de komende dertig jaar worden vergeleken met de vorige *Bodemdalingsmonitor*.

Voor de afgelopen eeuw bedraagt het totale bodemdalingsvolume in de huidige monitor 381,0 miljoen m³, tegenover 410,3 miljoen m³ in de vorige monitor. Dit is een afname van ongeveer 7%. De deelgebieden laten daarbij niet allemaal dezelfde ontwikkeling zien. Voor de meeste deelgebieden is het berekende volume in de huidige monitor iets kleiner. De afname is relatief groot in Zuid-Holland en Marsdiep binnen. In Vlie Binnen en Eems-Dollard binnen is het berekende volume daarentegen groter dan in de vorige monitor. De verschuivingen hangen samen met zowel wijzigingen in de geologische bodemdalingskaart als de nieuwe modellering van de opgetreden bodemdaling door winning. Bij de interpretatie moet bovendien rekening worden gehouden met het verschil tussen de beschouwde perioden: 1917-2017 in de vorige monitor en 1926-2025 in de huidige monitor.

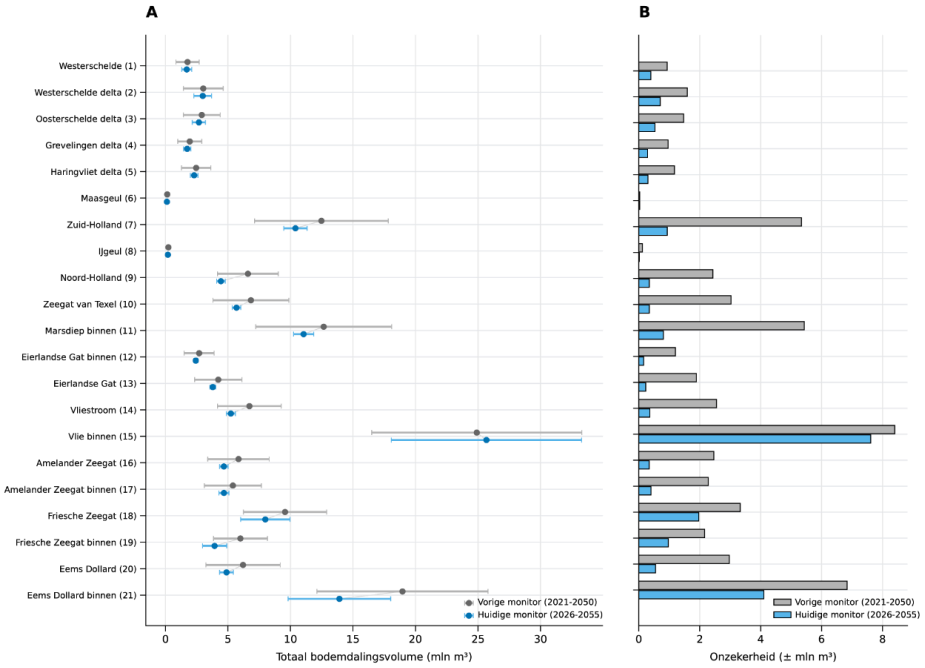
De verschillen in de centrale schattingen zijn kleiner dan de veranderingen in de onzekerheidsmarges. De onzekerheden zijn in alle deelgebieden afgenomen en de mediane afname bedraagt ongeveer 82%. In de vorige monitor waren de onzekerheden voor verschillende deelgebieden bijna even groot als de verschillen tussen de gebieden. In de huidige monitor zijn de ruimtelijke verschillen daardoor duidelijker te onderscheiden. De kleinere onzekerheden hangen vooral samen met de nieuwe geologische bodemdalingskaart, waarin de spreiding tussen verschillende modeluitkomsten expliciet wordt gebruikt.

Voor de komende dertig jaar neemt het berekende bodemdalingsvolume sterker af dan voor de historische eeuw. Het totale volume daalt van 141,6 miljoen m³ voor 2021-2050 in de vorige monitor naar 120,5 miljoen m³ voor 2026-2055 in de huidige monitor, een verschil van ongeveer 15%. Een deel hiervan wordt veroorzaakt door de iets lagere schatting van de geologische bodemdaling. Daarnaast is de verwachte bodemdaling door winning kleiner, voornamelijk doordat de gaswinning in veel velden sterk is teruggeschroefd of beëindigd. De nog verwachte bodemdaling wordt daardoor steeds meer bepaald door na-ijling na eerdere gaswinning. Vlie binnen vormt hierop een uitzondering: daar leidt de zoutwinning bij Havenmond/Ballastplaat tot een relatief groot toekomstig bodemdalingsvolume en een grote onzekerheid.

De twee vergelijkingen laten daarmee een verschillende ontwikkeling zien. Voor de afgelopen eeuw veranderen de berekende volumes over het algemeen beperkt, maar worden de onzekerheden aanzienlijk kleiner. Voor de toekomstige dertig jaar zijn naast de kleinere onzekerheden ook duidelijk lagere volumes zichtbaar, vooral als gevolg van de afgenomen gaswinning. Het algemene ruimtelijke patroon blijft echter herkenbaar, met de grootste bodemdalingsvolumes in de noordelijke kustgebieden en de Waddenzee.



Figuur 5-1 Vergelijking van het totale bodemdalingsvolume (A) en de bijbehorende onzekerheid (B) per deelgebied over een periode van ongeveer honderd jaar tussen de vorige Bodemdalingsmonitor (1917-2017) en de huidige Bodemdalingsmonitor (1926-2025). De verschillen zijn het gevolg van de geactualiseerde geologische bodemdalingskaart, de vernieuwde modellering van bodemdaling door delfstofwinning en wijzigingen in de methode voor het bepalen van de onzekerheden.



Figuur 5-2 Vergelijking van het totale bodemdalingsvolume (A) en de bijbehorende onzekerheid (B) per deelgebied tussen de vorige Bodemdalingsmonitor (periode 2021-2050) en de huidige Bodemdalingsmonitor (periode 2026-2055). De totale bodemdalingsvolumes vallen in de huidige monitor gemiddeld lager uit, voornamelijk door lagere geologische bodemdalingsvolumes en een afname van de verwachte bodemdaling door gaswinning. Tegelijkertijd zijn de onzekerheidsmarges voor vrijwel alle deelgebieden aanzienlijk kleiner geworden door verbeterde modellering.

5.2 Validatie met geodetische metingen

De bodemdalingskaarten in dit rapport zijn gebaseerd op modellen voor geologische en mijnbouwbodemdaling, waarbij de modellen voor historische bodemdaling door delfstofwinning gekalibreerd zijn aan de hand van metingen. Validatie met onafhankelijke metingen van de modeluitkomsten blijft echter essentieel. Hiervoor zijn verschillende meetbronnen beschikbaar. Waterpasmetingen van het NAP vormen al decennialang de basis voor het bepalen van verticale bodembeweging in Nederland. Daarnaast bieden continue GNSS-stations de mogelijkheid om bodemdalingssnelheden met een hoge temporele resolutie te bepalen. Ten slotte maken satellietmetingen met InSAR het mogelijk om ruimtelijke patronen van bodemdaling gedetailleerd in kaart te brengen. Eerste aanzetten voor dergelijke validatie, gefocust op GNSS, zijn uitgevoerd in 2020 en 2022 (Hijma & Van Onselen, 2020; Nougues, 2022). Daarnaast is de laatste jaren een belangrijke stap gezet door alle hoofdgetijdenstations uit te rusten met een GNSS-antenne, op basis van aanbevelingen uit rapporten binnen het *Zeespiegelmonitor*-programma (Honingh et al., 2021).

Een belangrijke vervolgstap voor de *Bodemdalingsmonitor* is daarom het systematisch vergelijken van modelresultaten met relevante geodetische waarnemingen. Een dergelijke validatie kan bijdragen aan een verdere verfijning van de modellen en een betere onderbouwing van de bijbehorende onzekerheden, met name ook rondom de gemeten relatieve zeespiegelstijging. In het volgende hoofdstuk worden hiervoor verschillende aanbevelingen gedaan.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Voor het eerst sinds 2018 zijn de totale bodemdalingskaarten voor het kustfundament en de getijdenbekkens geactualiseerd. Deze kaarten zijn gemaakt aan de hand van recente nieuwe modellen voor geologische bodemdaling (Hijma, 2025a), nieuwe prognoses voor bodemdaling door winning (dit rapport) en een volledig geautomatiseerde workflow. Hieruit kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- **Totale bodemdaling**: Het cumulatieve bodemdalingsvolume voor de periode 2026–2055 is vastgesteld op 120,5 ± 9,1 miljoen m³ voor het kustfundament en de getijdenbekkens. Voor de afgelopen 30 jaar was dit 141,1 ± 6,5 miljoen m³.
- **Antropogene versus geologische component**: De bodemdaling wordt primair gedreven door geologische processen met 89,3 miljoen m³, terwijl de antropogene component (delfstofwinning) 31,2 miljoen m³ bedraagt.
- **Meeste bodemdaling**: De hoogste absolute bodemdalingsvolumes zijn geconcentreerd in het Waddensysteem als gevolg van relatief hoge geologische bodemdalingssnelheden en het winnen van gas en zout.
- **Afnemende trend**: Ten opzichte van de eerdere prognose uit 2018 laat het totale dalingsvolume een reductie zien. Dit is hoofdzakelijk toe te schrijven aan de sterke afname van de verwachte bodemdaling door gaswinning en aan een verkleining van de geologische bodemdalingscomponent.
- **Modelnauwkeurigheid**: De relatieve bandbreedte van de onzekerheid is per deelgebied significant verkleind, omdat de onzekerheid in geologische bodemdaling flink verminderd is. De relatieve onzekerheid rondom de gaswinning is niet veranderd (25% voor het historische, 50% voor toekomstige daling).

6.2 Aanbevelingen

- Er wordt aanbevolen om in gelijke tred met de *Zeespiegelmonitor,* dus elke vier jaar, de totale bodemdalingskaarten te actualiseren.
- Daarnaast is het raadzaam om op korte termijn GNSS-data van de hoofdgetijdenstations beter te integreren in de *Bodemdalingsmonitor* en *Zeespiegelmonitor*. Sinds enkele jaren heeft elk hoofdgetijdenstation een GNSS-antenne en wordt bodemdalingsdata verzameld door het Kadaster en RWS-CIV. In een gezamenlijk project zou deze integratie verder vormgegeven kunnen worden. De gemeten daling met behulp van GNSS kan dan worden vergeleken met de berekende totale geologische bodemdaling, niet alleen voor de hoofdgetijdenstations, maar ook voor andere GNSS-stations in de nabijheid van de kust.
- Voor die laatste groep stations zal wel informatie verzameld moeten worden over de funderingsdiepte van de gebouwen waarop de antennes geplaatst staan. Gedetailleerde informatie over de funderingsdieptes is essentieel om de verschillen tussen de gemodelleerde en de gemeten bodemdalingsgegevens te kunnen begrijpen. Deze gegevens kunnen worden verzameld door contact op te nemen met de gebouwbeheerder van alle gebouwen waar stations aan bevestigd zijn, of door in archieven de bouwplannen op te zoeken. Een andere mogelijkheid om ontbrekende funderingsdieptes te achterhalen, is het uitvoeren van aanvullende metingen van de funderingsdiepte of gebruik te maken van boringen en sonderingen uit de omgeving.
- Het is aan te bevelen naast GNSS ook weer naar InSAR te kijken als mogelijke bron voor validatie.

- Met betrekking tot toekomstige bodemdaling is hoofdgetijdenstation Harlingen gevoelig voor bodemdaling door zoutwinning. De ontwikkeling van de bodemdalingsschotel zou tweejaarlijks gerapporteerd moeten worden binnen de *Bodemdalingsmonitor*.
- Onderzoek of de bodemdalingsresultaten direct gekoppeld kunnen worden aan analyses van sedimenttekorten en kustonderhoud, zodat de relatie tussen bodemdaling en suppletiebehoefte beter gekwantificeerd kan worden.

Referenties

Antea Group, 2024. Monitoring bodemdaling zoutwinning Waddenzee - Jaarrapportage 2023, Antea Group rapport 0482528.100.

Baart, F., Rongen, G., Hijma, M.P., Kooi, H., De Winter, R., Nicolai, R., 2018. Zeespiegelmonitor 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.

De Waal, J.A., 1986. On the rate type compaction behaviour of sandstone reservoir rock. Ph.D.-thesis, Technische Hogeschool Delft Dissertation.

Fjaer, E., Holt, R.M., Horsrud, P., Raaen, A.M., 2008. Petroleum related rock mechanics, 53. Elsevier.

Frisia Zout B.V., 2024. Meetplan Havenmond 2025, Frisia Zout B.V.

Hangx, S.J.T., Pijnenburg, R.P.J., 2023. Compaction in the Groningen gas field: an overview of our understanding of the compaction behaviour of the Slochteren sandstone and surroundings during and after production2169-9313, Technisch rapport voor de Nederlandse Aardolie Maatschappij.

Hettema, M., Papamichos, E., Schutjens, P.M.T.M., 2002. Subsidence delay: field observations and analysis. Oil & Gas Science and Technology, 57 (5), 443-458.

Hijma, M.P., Kooi, H., 2018. 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., 2020. Bodemdalingsmonitor 2020 - Kustfundament en de getijdenbekkens - Vergelijk met GNSS-data, Deltares report 11205236-002-ZKS-0004.

Hijma, M.P., 2021. Bodemdalingsmonitor 2021 - Kustfundament en de getijdenbekkens - Actualisatie bodemdalingsvolumes, Deltares report 11206794-003-ZKS-0002.

Hijma, M.P., 2022. Bodemdalingsmonitor 2022 Kustfundament en de getijdenbekkens - Overzicht onderzoek 2018-2021, Deltares report 11208035-003-ZKS-0003.

Hijma, M.P., 2025a. Bodemdalingsmonitor 2025 - Geologische bodemdaling in het kustfundament, Deltares report 11211567-003-ZKS-0001.

Hijma, M.P., 2025b. Bodemdalingsmonitor 2024 Kustfundament en getijdenbekkens - Bodemdaling bij Harlingen door zoutwinning op de Waddenzee, Deltares report 11210366-003-ZKS-0003.

Hijma, M.P., Bradley, S.L., Cohen, K.M., van der Wal, W., Barlow, N.L.M., Blank, B., Frechen, M., Hennekam, R., van Heteren, S., Kiden, P., Mavritsakis, A., Meijninger, B.M.L., Reichart, G.-J., Reinhardt, L., Rijsdijk, K.F., Vink, A., Busschers, F.S., 2025. Global sea-level rise in the early Holocene revealed from North Sea peats. Nature, 639 (8055), 652-657. 10.1038/s41586-025-08769-7.

Honingh, D., Leenders, J., Strijker, B., 2021. Werkwijze inmeten zeespiegelstand hoofdgetijdenstations - Huidige werkwijze en advies voor verbetering, HKV-Lijn in Water rapport PR2695.61.

Jaeger, J.C., Cook, N.G.W., Zimmerman, R.W., 2007. Fundamentals of Rock Mechanics 4th edition. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.

Jelgersma, S., 1961. Holocene sea-level changes in The Netherlands. Mededelingen Geologische Stichting, 7, 1-101.

Lodder, Q.J., Slinger, J.H., Wang, Z.B., van der Spek, A.J.F., Hijma, M.P., Taal, M., van Gelder-Maas, C., de Looff, H., Litjens, J., Schipper, C.A., Löffler, M., Nolte, A.J., van Oeveren, C., van der Werf, J.J., Grasmeijer, B.T., Elias, E.P.L., Holzhauer, H., Tonnon, P.K., 2023. The Coastal Genesis 2 research programme: Outputs, Outcomes and Impact. Ocean & Coastal Management, 237, 106499. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106499.

Lorenz, G.K., Groenewoud, W., Schokking, F., Van den Berg, M.W., Jelgersma, S., Brouwer, F., 1991. Heden en Verleden — Nederland naar Beneden??? - Interim rapport over het onderzoek naar bodembeweging in Nederland, Rijkswaterstaat, Delft/Rijswijk en Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
Ministerie KGG, 2026. Ontwerpbesluit actualisatie winningsplan Havenmond, Ministerie van Klimaat en Groene Groei.
Mossop, A., 2012. An explanation for anomalous time dependent subsidence, ARMA US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium. ARMA, pp. ARMA-2012-518.
NAM, 2015. Wadden Sea Long term Subsidence Studies – Overview report, NAM-rapport EP201506209625.
NAM, 2017. Ensemble Based Subsidence application to the Ameland gas field – long term subsidence study part two (LTS-II) continued study, NAM-rapport EP201710200509.
NAM, 2020. Bodemdaling door Aardgaswinning - NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe Statusrapport 2020 en Prognose tot het jaar 2080. NAM-rapport EP202011201629.
NAM, 2026. Meet & Regelprotocol Waddenzee - Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen - Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus over 2025, NAM-rapport EP202601221967.
Nougues, L., 2022. Bodemdalingsmonitor 2022 Kustfundament en getijdenbekkens - Bodemdaling en GNSS-stations, Deltares report 11208035-003-ZKS-0004.
One Dyas, 2024. Meetplan Maasgebied 2025.
Pijnenburg, R.P.J., Verberne, B.A., Hangx, S.J.T., Spiers, C.J., 2019. Inelastic Deformation of the Slochteren Sandstone: Stress-Strain Relations and Implications for Induced Seismicity in the Groningen Gas Field. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 124 (5), 5254-5282. https://doi.org/10.1029/2019JB017366.
Pruiksma, J.P., Breunese, J.N., van Thienen-Visser, K., De Waal, J.A., 2015. Isotach formulation of the rate type compaction model for sandstone. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 78, 127-132.
Stolte, W., Baart, F., Muis, S., Hijma, M.P., Taal, M., Le Bars, D., Drijfhout, S., 2023. Zeespiegelmonitor 2022, Deltares report 11209266-000-ZKS-0001.
TNO, 2023. The PySub Subsidence Model Framework: Technical Reference Manual, TNO - Geologische Dienst van Nederland, Utrecht, The Netherlands.
TNO, 2025. KEM19b - Evaluation of post-abandonment fluid migration and seismic hazard assessment in the southwest aquifer of Groningen - Part 1, TNO, Utrecht, The Netherlands.
van Thienen-Visser, K., Pruiksma, J., Breunese, J., 2015. Compaction and subsidence of the Groningen gas field in the Netherlands. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 372, 367-373.
Vermillion Energy, 2025. Meetplan 2025 - Zuidwal, 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