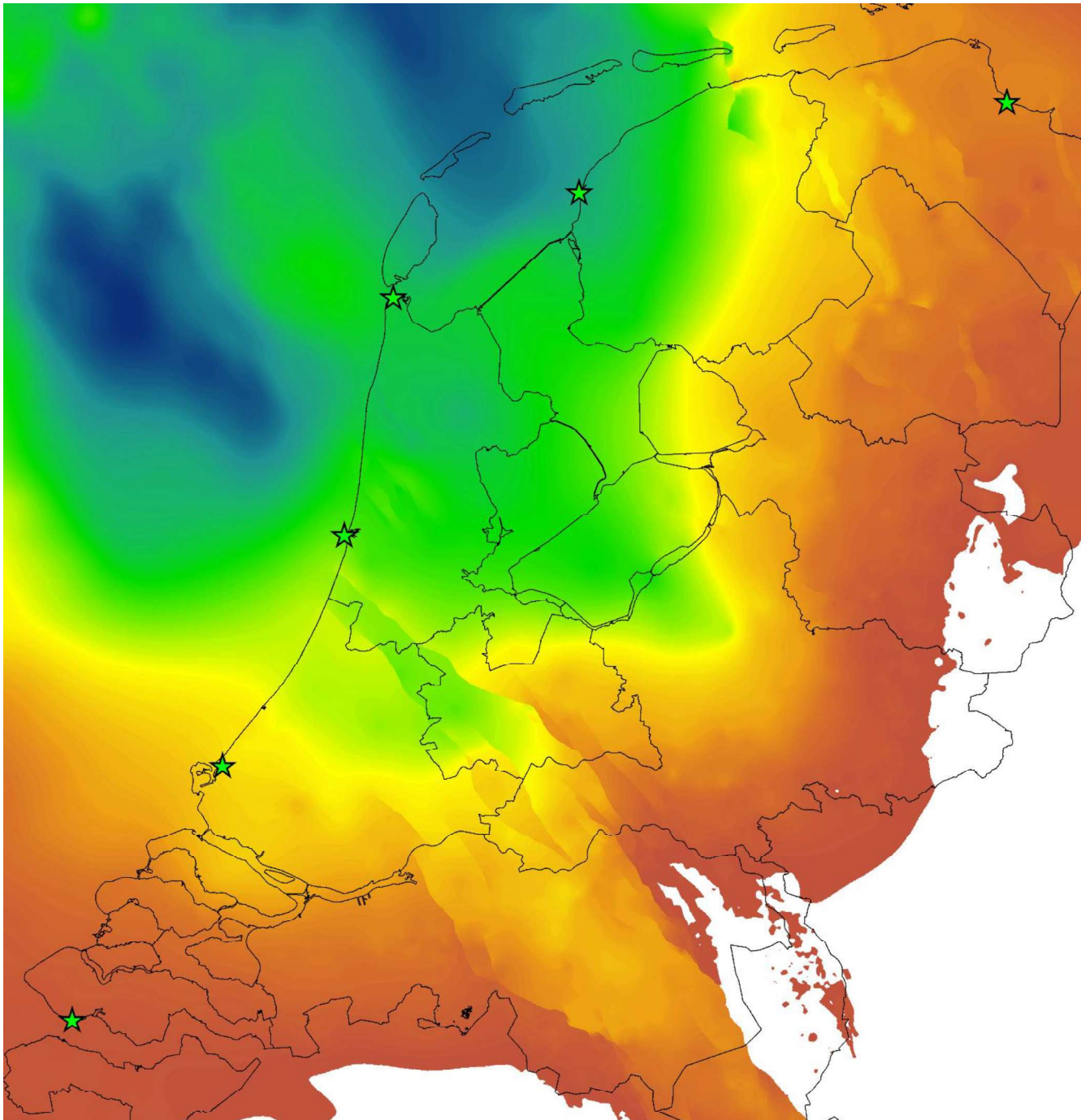


Bodemdalingsmonitor 2025 Geologische bodemdaling in het kustfundament

Een actualisatie



Bodemdalingsmonitor 2025 Geologische bodemdaling in het kustfundament
Een actualisatie

Auteur(s)
Marc Hijma

Bodemdalingsmonitor 2025 Geologische bodemdaling in het kustfundament

Een actualisatie

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Martijn Klein Obbink
Projectreferenties	
Trefwoorden	Bodemdaling, geologie, kustfundament, isostasie, tektoniek, sedimentbeheer

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	21-11-2025
Projectnummer	11211567-003
Document ID	11211567-003-ZKS-0001
Pagina's	21
Classificatie	
Status	Definitief

Auteur(s)

	Marc Hijma	

Samenvatting

Dit rapport presenteert een actualisatie van de geologische bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens van Nederland, uitgevoerd in het kader van de *Bodemdalingsmonitor* binnen het Programma B&O Kust van Rijkswaterstaat. De geologische bodemdaling draagt substantieel bij aan de relatieve zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust en kwantificering van deze daling is van belang voor het sedimentbeheer en kustonderhoud.

De actualisatie is gebaseerd op nieuwe gegevens en verbeterde modellen van glacio-isostatische en lange-termijn Noordzeebekken bodemdaling, de twee belangrijkste componenten van geologische bodemdaling. Door het combineren van deze componenten is een nieuwe geologische bodemdalingskaart opgesteld, die een verfijnd beeld geeft van de ruimtelijke variatie in bodemdaling. De algemene trend is hierbij niet veranderd ten opzichte van de eerdere kaart, namelijk toenemende bodemdaling richting het noorden, maar de gemiddelde snelheid is wel iets afgenomen. In Zeeland ligt de snelheid rond 2-3 cm per eeuw, in Friesland is dit ongeveer 5 cm/eeuw. De onzekerheid in de modellen is aanzienlijk verminderd ten opzichte van de eerdere kaart uit 2018, mede dankzij nieuwe zeespiegeldata uit verdronken veenlagen in de Noordzee.

De gemiddelde geologische bodemdaling bij de zes hoofdgetijdenstations is afgenomen van 4,5 naar 3,9 cm per eeuw. Dit heeft implicaties voor de berekening van de absolute zeespiegelstijging in de *Zeespiegelmonitor*. Daarnaast zijn de geologische bodemdalingsvolumes per kustdeelgebied berekend, wat bijdraagt aan een beter onderbouwd sedimentbeheer.

Inhoud

	Samenvatting	4
	Inhoud	5
1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond <i>Bodemdalingsmonitor</i>	6
2	Nieuwe geologische bodemdalingsgegevens	7
2.1	Glacio-isostatische bodemdalingskaart	8
2.2	Noordzeebekken bodemdalingskaart	9
3	Nieuwe geologische bodemdalingskaart	12
4	Geologische bodemdalingsvolumes	15
5	Conclusies en aanbevelingen	18
5.1	Conclusies	18
5.2	Aanbevelingen	18
	Literatuurlijst	20

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-WVL¹ 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. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen geologische bodemdaling en daling door delfstofwinning.

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 samenvattend overzicht van alle resultaten binnen de *Bodemdalingsmonitor* (Hijma, 2022), 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, 2024).

Het voorliggende rapport volgt de aanbeveling op om een nieuwe geologische bodemdalingskaart te maken op basis van nieuw verschenen gegevens (Hijma et al., 2025a). Hoofdstuk 2 geeft een samenvatting van de nieuwe gegevens en in hoofdstuk 3 worden deze verwerkt tot een nieuwe geologische bodemdalingskaart. Hoofdstuk 4 geeft de nieuw berekende bodemdalingsvolumes en hoofdstuk 5 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 Nieuwe geologische bodemdalingsgegevens

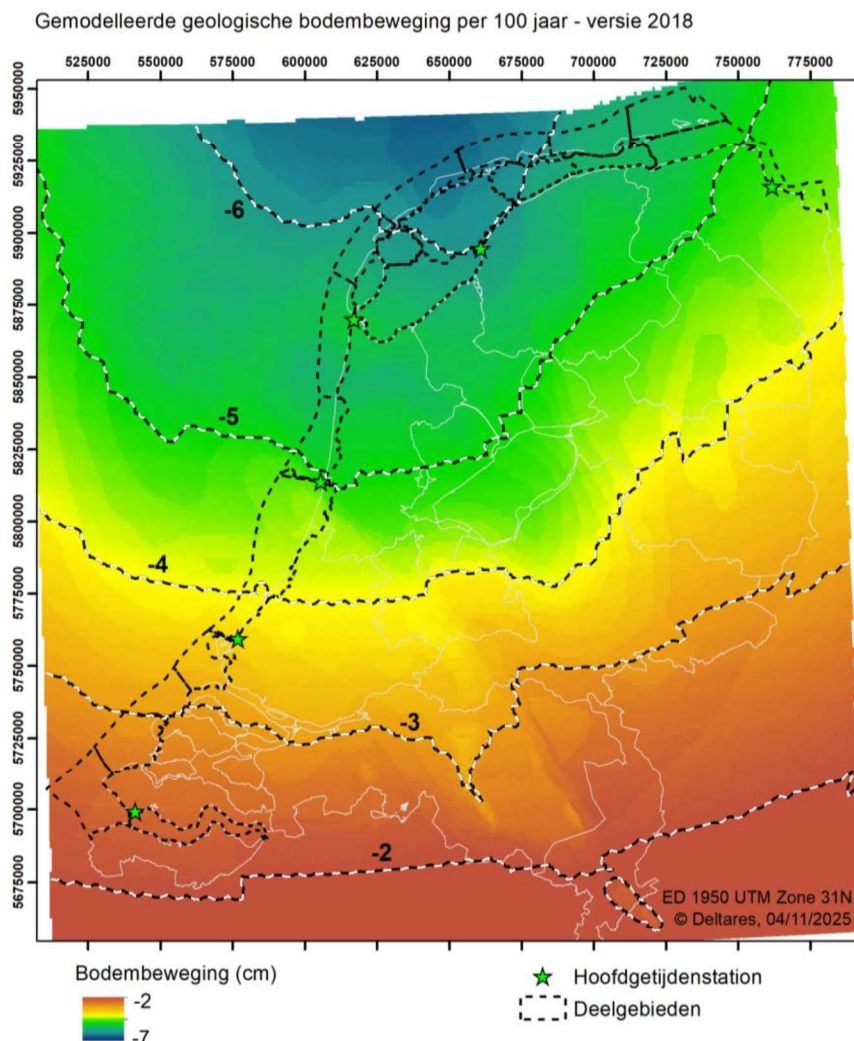
Geologische bodemdaling gaat langzaam en informatie over lange tijdschalen is daarom nodig om de snelheid van de daling vast te kunnen stellen. De daling bestaat uit verschillende componenten, maar de twee belangrijkste zijn glacio-isostatische (GIA) bodemdaling en lange-termijn bodemdaling van het Noordzeebekken onder invloed van tektoniek, (auto)compactie en het gewicht van sediment (*sediment loading*).

GIA bodemdaling is een gevolg van het verdwijnen van de grote ijskap in Scandinavië na de laatste ijstijd. Tijdens de ijstijd drukte het enorme gewicht van het ijs de aardkorst in de mantel en werd in een randzone daaromheen de aardkorst juist omhoog gedrukt. Nederland lag op zo'n randzone en werd dus omhoog gedrukt. Na het verdwijnen van het ijs trad het omgekeerde proces in werking en nog steeds zakt Nederland hierdoor nu juist weg (zie Hijma, 2022 voor meer achtergrond bij GIA bodemdaling). De snelheid van daling door GIA neemt in Nederland richting het noorden toe.

De eerste geologische bodemdalingskaart binnen de *Bodemdalingsmonitor* (Hijma & Kooi, 2018a; 2018b) werd gemaakt door een 1 GIA kaart te combineren met een bodemdalingskaart van het Noordzeebekken. De onzekerheden waren groot en werden geschat op $\pm 50\%$. De kaart liet daalsnelheden in de orde van 2-3 cm/eeuw zien in Zeeland en een geleidelijk toenemende snelheid richting de Wadden tot 6 cm/eeuw (Figuur 2-1).

De onzekerheid kan verkleind worden door het verbeteren van de modellen. Dit kan op verschillende manieren, bijvoorbeeld door implementatie van meer begrip van de processen, maar ook door middel van geologische data over bodembeweging te verzamelen wat essentieel is om de modellen te kunnen kalibreren en valideren. In 2017 is hiervoor gestart met het verzamelen van nieuwe data door op de Noordzee verdrongen veenlagen aan te boren die informatie verschaffen over vroegere zeespiegelstanden. Door differentiële bodembeweging liggen veenlagen van dezelfde ouderdom nu op zeer verschillende dieptes in de Noordzee. Bij aanwezigheid van voldoende data kan deze differentiële bodembeweging in kaart worden gebracht en gebruikt worden om de modellen te verbeteren. De data geeft daarnaast ook inzicht in de zeespiegelstijging door het afsmelten van ijskappen na de laatste ijstijd. Dit onderzoek heeft uiteindelijk in 2025 geleid tot een artikel in *Nature* (Hijma et al., 2025a) en maakt het mogelijk om de geologische bodemdalingskaart uit 2018 aanzienlijk te verbeteren. Een toegankelijke samenvatting van het artikel is recent verschenen in de Geo.brief van het KNGMG². In de eerste jaren van het verzamelen van data is het project ook gesteund vanuit het KPP B&O kust programma. Hieronder wordt verder ingegaan op de nieuwe glacio-isostatische en de Noordzeebekken bodemdalingskaart.

² Artikel verkrijgbaar via deze link: [geo2025-5-voor-web.pdf](#)



Figuur 2-1 Gemodelleerde geologische bodembeweging voor een periode van 100 jaar. Voor heel Nederland wordt bodemdaling gemodelleerd en deze neemt toe van zuid naar noord van 2 tot 6 cm/eeuw. De zwart-witte lijnen zijn contourlijnen van geologische bodemdaling, de zwart-gestreepte lijnen de beheer deelgebieden van Rijkswaterstaat die samen het kustfundament en getijdenbekkens omvatten. Dit is de verouderde versie uit 2018.

2.1 Glacio-isostatische bodemdalingskaart

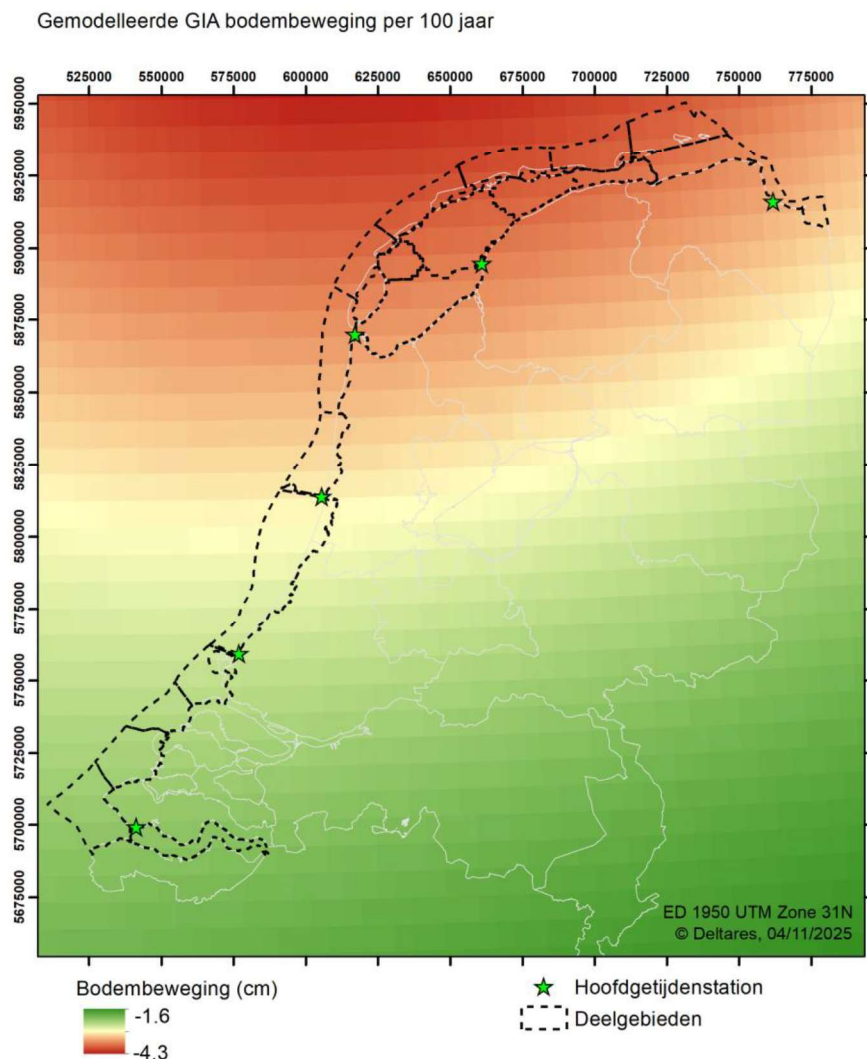
GIA modellen hebben verschillende parameters die afgesteld kunnen worden om de beste overeenkomst met de data te krijgen. Dit kan bijvoorbeeld de verbreiding of dikte van ijskappen zijn, maar ook de dikte van de aardkorst (meer specifiek de lithosfeer) en viscositeit van de aardmantel. In Hijma et al. (2025a) zijn 145 modellen vergeleken met geologische zeespiegeldata, waarvan de 4 beste (met meer dan 95% betrouwbaarheid) geselecteerd zijn om binnen de *Bodemdalingsmonitor* gebruikt te worden. Hun gemiddelde waarde is gebruikt als de GIA component van geologische bodemdaling, de minimale en maximale waarden in de 4 modellen zijn gebruikt om een inschatting te maken van de onzekerheid.

Figuur 2-2 laat de gemiddelde GIA-bodemdaling zien op basis van de 4 modellen. Bij Vlissingen ligt de snelheid rond 2 cm/eeuw, terwijl deze richting het noorden toeneemt tot circa 4 cm/eeuw. Figuur 2-3 laat zien dat de onzekerheid enorm is afgenomen ten opzichte van 2018. Destijds werd de onzekerheid voor alle gebieden geschat op $\pm 50\%$ op basis van de beschikbare informatie. Door de inzet van de 4 nieuwe modellen kan de onzekerheid nu ruimtelijk berekend worden, door voor elke locatie te bepalen hoeveel variatie er aanwezig is

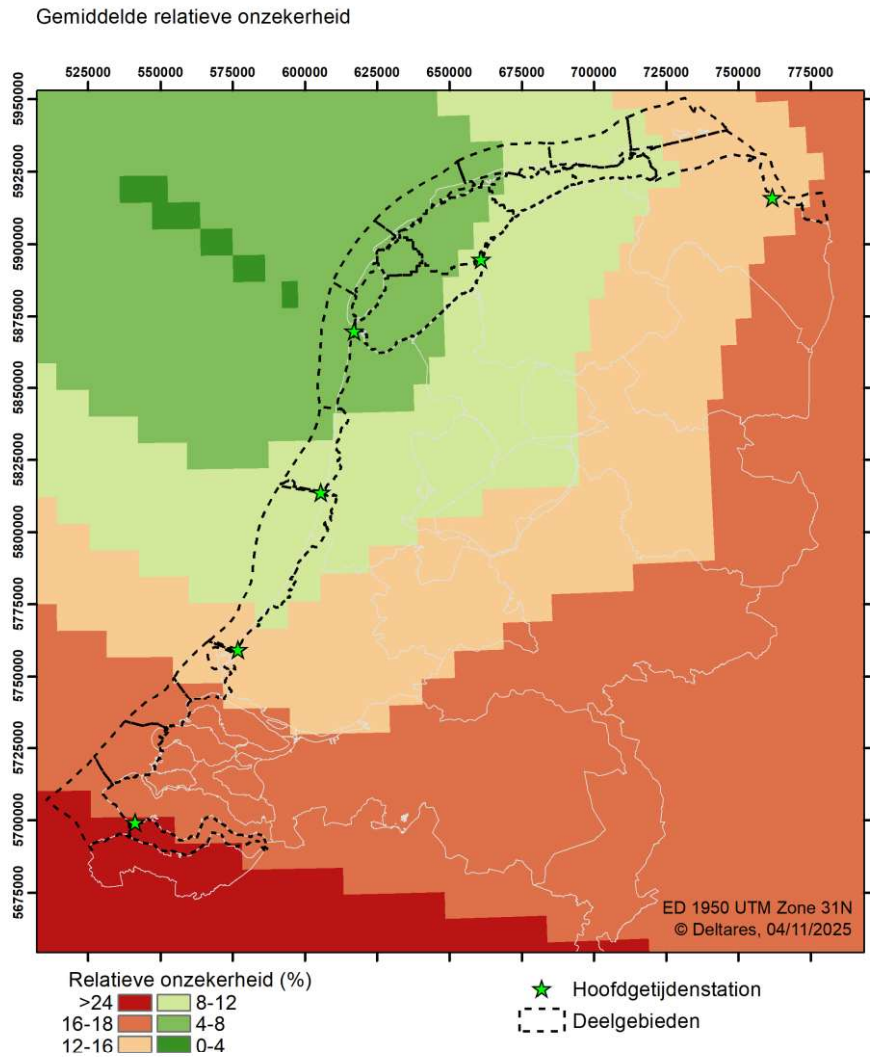
in de modellen. Relatief is de onzekerheid het grootst in gebieden met lagere daalsnelheden (tot 30%), terwijl in gebieden met hogere snelheden de relatieve onzekerheid afneemt tot waarden rond 5%.

2.2 Noordzeebekken bodemdalingskaart

Deze kaart is afgeleid van de diepteligging van de basis van het Kwartair, dat is de huidige geologische periode die ongeveer 2,6 miljoen jaar geleden begon. De basis van de Kwartaire afzettingen in het Noordzeebekken varieert sterk, van vrijwel direct aan maaiveld tot meer dan 1 kilometer diep. Deze variatie wordt veroorzaakt door lange-termijn bodemdaling van het Noordzeebekken, waardoor de variatie in diepteligging dus gebruikt kan worden om de variatie in bodemdaling te karteren. Voor de bodemdaling in het Noordzeebekken zijn 3 kaarten gemaakt: één met de meest waarschijnlijk dalingssnelheid, één met de minimale en één met de maximale dalingssnelheid (zie onderdeel 3 in Hijma et al., 2025b voor een gedetailleerde beschrijving van de werkwijze). Deze laatste twee kaarten zijn gebruikt om de onzekerheid te bepalen.



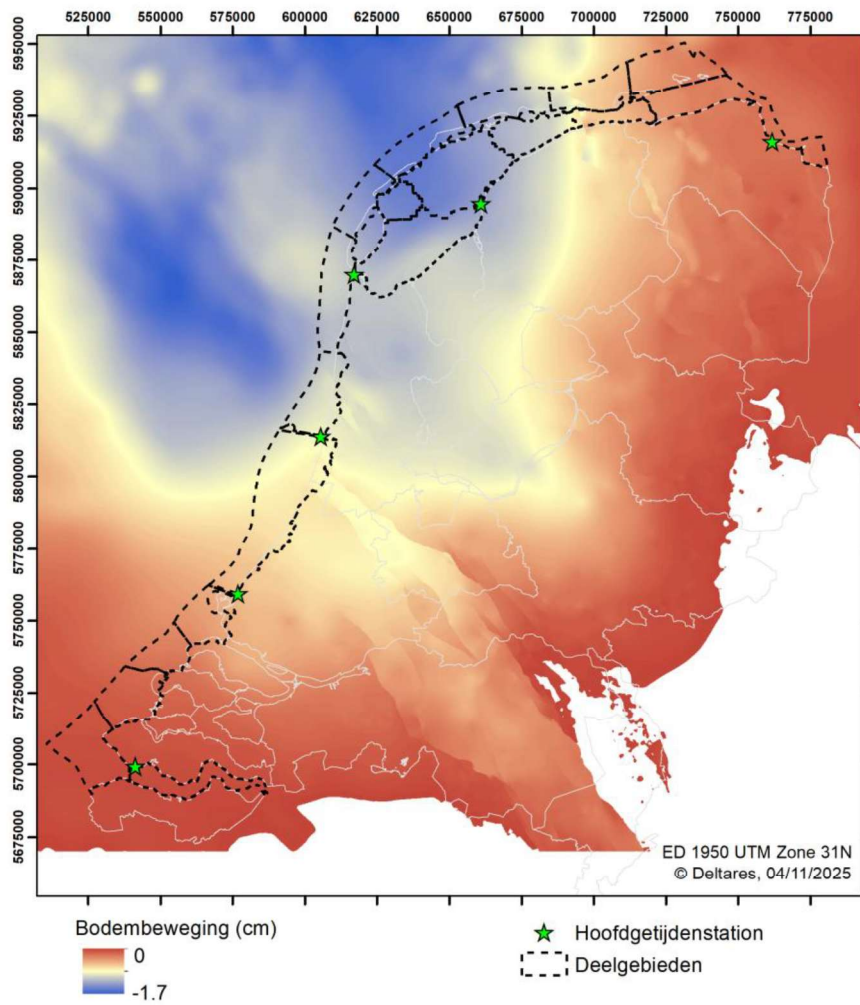
Figuur 2-2 Glacio-isostatische bodembeweging op basis van de 4 best presterende modellen uit Hijma et al. (2025a). De zwart-gestreepte lijnen zijn de beheer deelgebieden van Rijkswaterstaat die samen het kustfundament en getijdenbekkens omvatten.



Figuur 2-3 Gemiddelde relatieve onzekerheid tussen het gemiddelde van de 4 modellen en de minimale en maximale waarde in de 4 modellen.

Figuur 2-4 laat zien dat in een beperkt deel van het kustfundament en getijdenbekkens deze component van geologische bodemdaling een belangrijke rol speelt. Rondom Vlissingen en Delfzijl ligt de snelheid van daling slechts rond enkele millimeters per eeuw, terwijl deze bij Harlingen iets meer dan 1 cm per eeuw bedraagt. De opvallende structuur door het midden van Brabant en Utrecht is de Roerdalslenk, één van actiefste tektonische structuren van Europa.

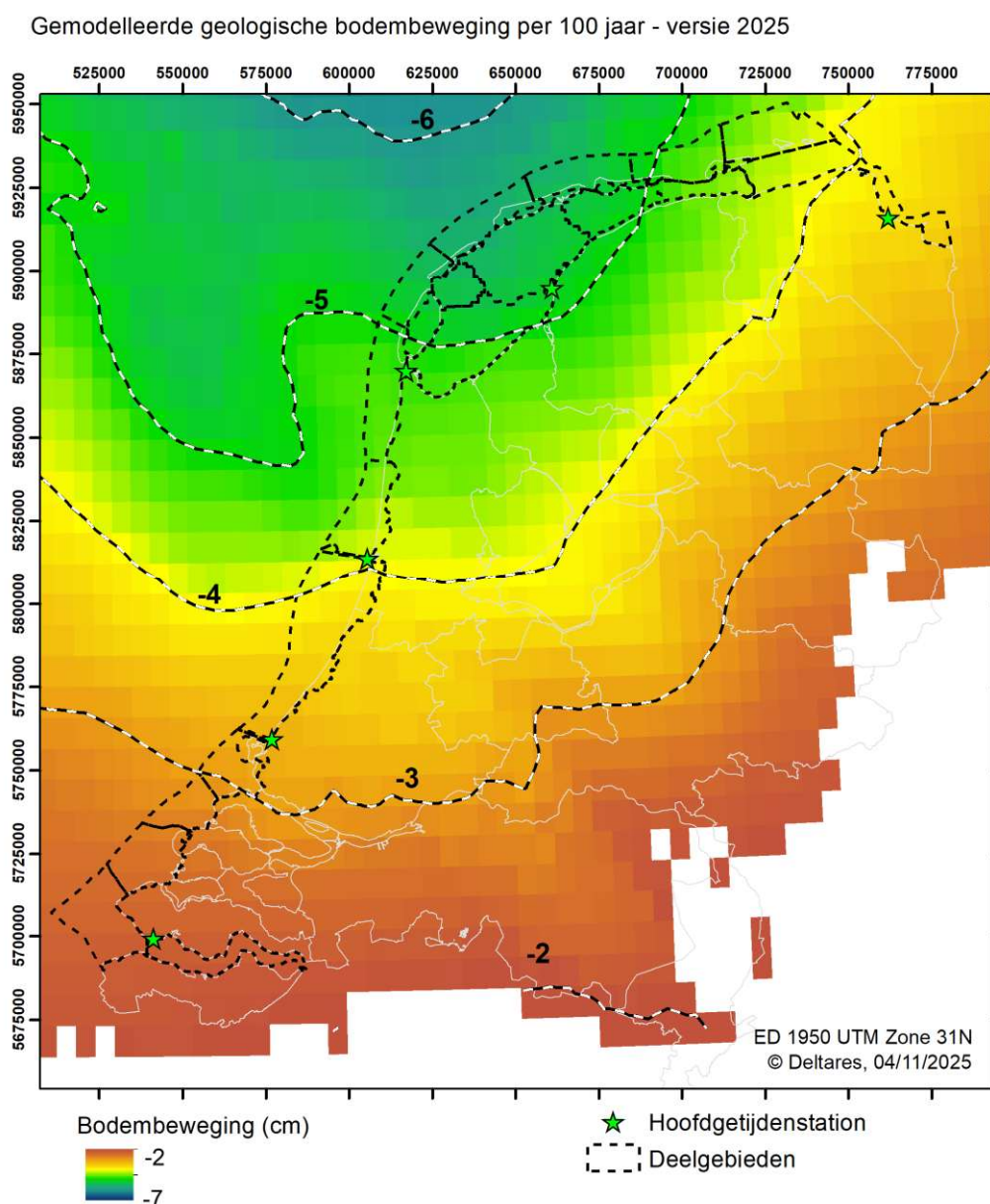
Gemiddelde Noordzeebekken bodembeweging per 100 jaar



Figuur 2-4 Noordzeebekken bodembewegingskaart op basis van Hijma et al. (2025a).

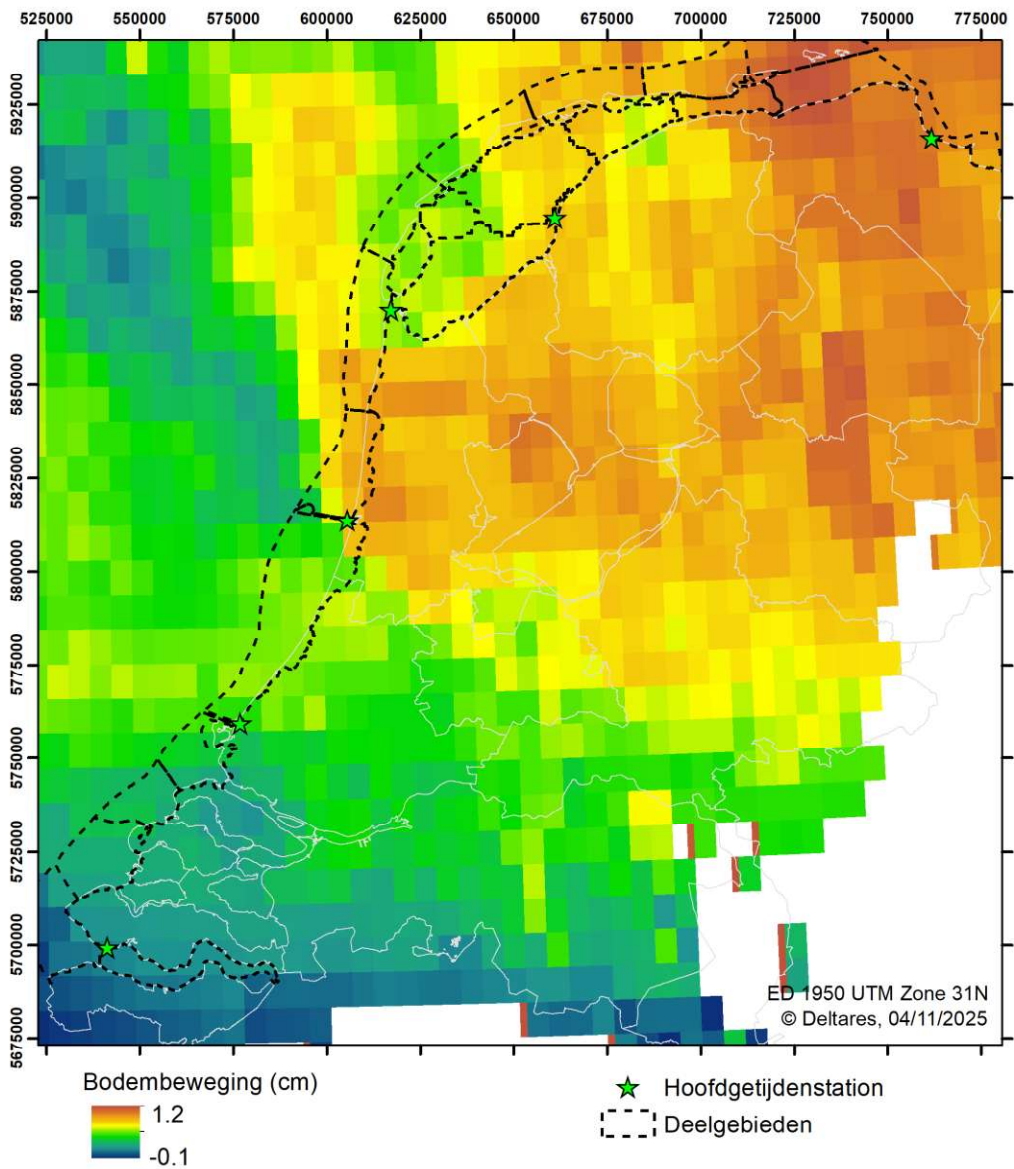
3 Nieuwe geologische bodemdalingskaart

De nieuwe geologische bodemdalingskaart is gemaakt door de GIA-kaart en de Noordzeebekken bodembewegingskaart te sommeren (Figuur 3-1). Om de onzekerheid te bepalen zijn ook minimale en maximale bodembewegingskaarten gemaakt door de minimale en maximale GIA- en Noordzeebekken bodembewegingskaarten te sommeren. In vergelijking met de kaart uit 2018 is de belangrijkste trend, een toenemende dalingsnelheid richting het noorden, niet veranderd, maar de positie van de contourlijnen is aanzienlijk veranderd. Figuur 3-2 laat zien dat de grootste verschillen zich voordoen in het noorden, waar de daalsnelheid lokaal met meer dan 1 cm is verkleind. Verder is de sterk verminderde onzekerheid en ruimtelijk berekening van de onzekerheid een belangrijke verbetering ten opzichte van de eerdere kaart (Figuur 3-3). Voor de zes hoofdgetijdenstations ligt deze nu gemiddeld rond 10%, terwijl dit eerst 50% was.



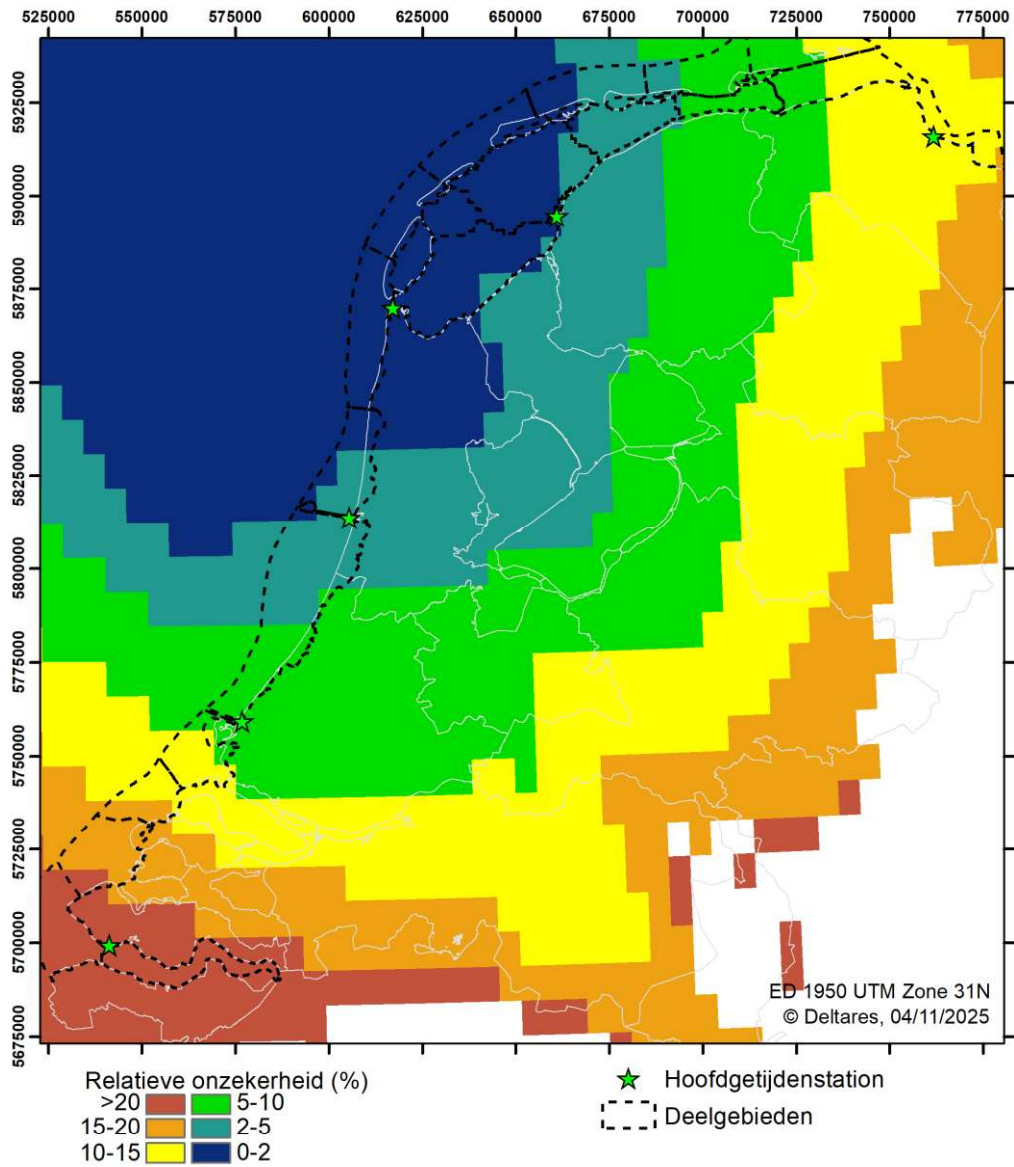
Figuur 3-1 Nieuwe geologische bodemdalingskaart op basis van nieuwe modellen en zeespiegeldata.

Vershil in gemodelleerde geologische bodembeweging per 100 jaar
tussen versie 2025 en 2018



Figuur 3-2 Vershil tussen de nieuwe geologische bodemdalingskaart en de eerdere versie uit 2018.

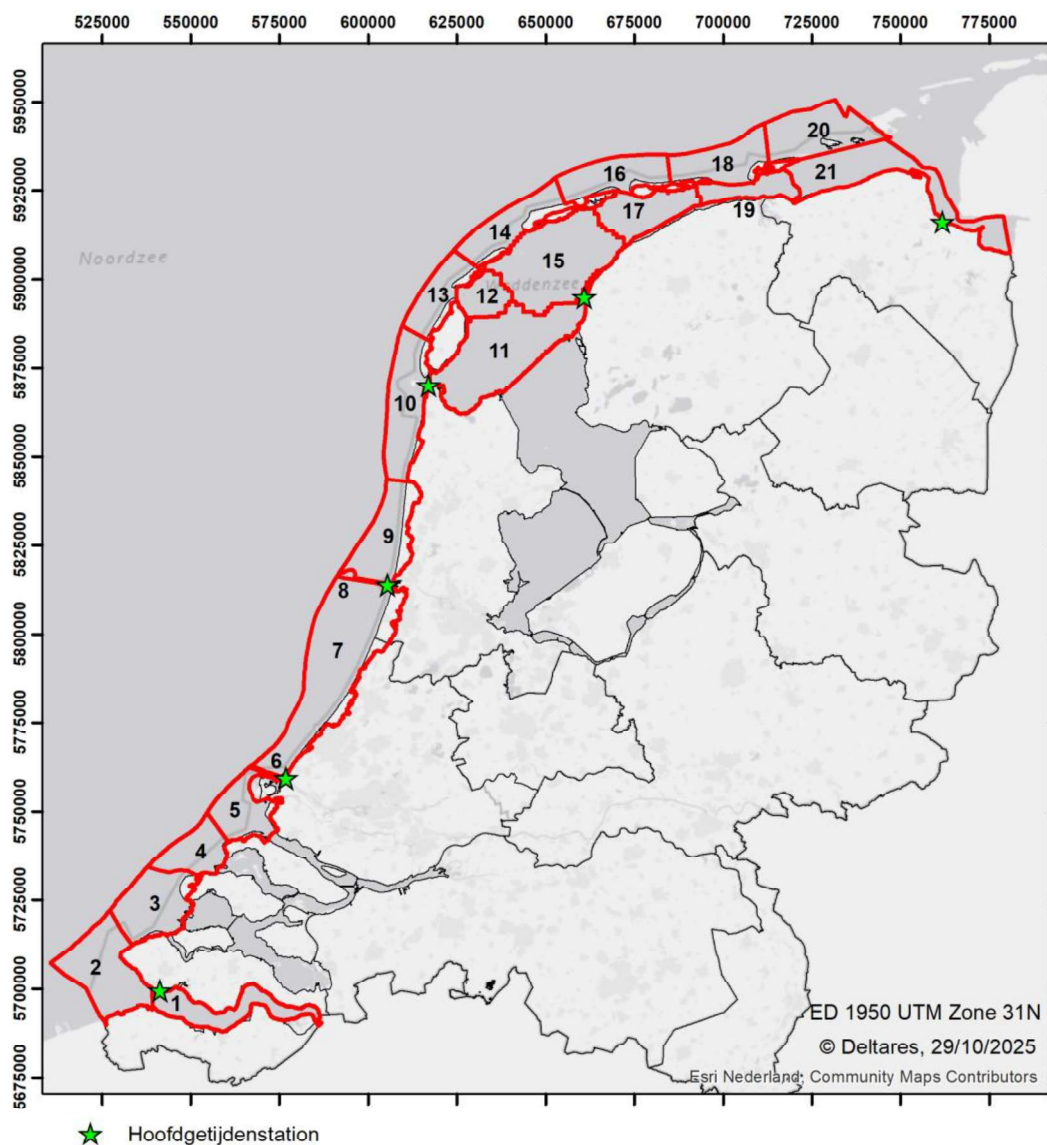
Gemiddelde relatieve onzekerheid voor de geologische bodemdalingkaart



Figuur 3-3 Gemiddelde relatieve onzekerheid tussen de gemiddelde geologische bodemdalingssnelheid en de minimale en maximale geologische bodemdalingssnelheid.

4 Geologische bodemdalingsvolumes

Onderstaande tabellen geven voor elk deelgebied (Figuur 4-1) de gemiddelde geologische bodemdalingssnelheden en de gemiddelde geologische bodemdalingsvolumes. De volumes zijn berekend door de gemiddelde snelheid te vermenigvuldigen met het oppervlak van het deelgebied. De volumes zijn structureel lager dan berekend in Hijma (2022).



Figuur 4-1 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.

Tabel 4-1 Gemiddelde geologische bodemdalingssnelheden voor de verschillende deelgebieden in mm/jaar, cm/30 jaar en cm/eeuw. Tussen haakjes staat de onzekerheidsmarge.

Categorie	mm/jaar	cm/30 jaar	cm/eeuw
Westerschelde (1)	0.23 (0.19-0.29)	0.7 (0.6-0.9)	2.3 (1.9-2.9)
Westerschelde delta (2)	0.24 (0.19-0.30)	0.7 (0.6-0.9)	2.4 (1.9-3.0)
Oosterschelde delta (3)	0.26 (0.22-0.31)	0.8 (0.6-0.9)	2.6 (2.2-3.1)
Grevelingen delta (4)	0.28 (0.25-0.33)	0.8 (0.7-1.0)	2.8 (2.5-3.3)
Haringvliet delta (5)	0.31 (0.28-0.35)	0.9 (0.8-1.1)	3.1 (2.8-3.5)
Maasgeul (6)	0.33 (0.29-0.37)	1.0 (0.9-1.1)	3.3 (2.9-3.7)
Zuid-Holland (7)	0.37 (0.33-0.41)	1.1 (1.0-1.2)	3.7 (3.3-4.1)
IJgeul (8)	0.44 (0.39-0.48)	1.3 (1.2-1.4)	4.4 (3.9-4.8)
Noord-Holland (9)	0.44 (0.39-0.48)	1.3 (1.2-1.4)	4.4 (3.9-4.8)
Zeegat van Texel (10)	0.48 (0.43-0.53)	1.4 (1.3-1.6)	4.8 (4.3-5.3)
Marsdiep binnen (11)	0.50 (0.45-0.55)	1.5 (1.3-1.6)	5.0 (4.5-5.5)
Eierlandse Gat binnen (12)	0.54 (0.49-0.59)	1.6 (1.5-1.8)	5.4 (4.9-5.9)
Eierlandse Gat (13)	0.54 (0.48-0.59)	1.6 (1.5-1.8)	5.4 (4.8-5.9)
Vliestroom (14)	0.57 (0.51-0.63)	1.7 (1.5-1.9)	5.7 (5.1-6.3)
Vlie binnen (15)	0.54 (0.49-0.59)	1.6 (1.5-1.8)	5.4 (4.9-5.9)
Amelander Zeegat (16)	0.55 (0.49-0.60)	1.6 (1.5-1.8)	5.5 (4.9-6.0)
Amelander Zeegat binnen (17)	0.51 (0.46-0.57)	1.5 (1.4-1.7)	5.1 (4.6-5.7)
Friesche Zeegat (18)	0.48 (0.44-0.53)	1.5 (1.3-1.6)	4.8 (4.4-5.3)
Friesche Zeegat binnen (19)	0.45 (0.41-0.50)	1.4 (1.2-1.5)	4.5 (4.1-5.0)
Eems Dollard (20)	0.44 (0.39-0.50)	1.3 (1.2-1.5)	4.4 (3.9-5.0)
Eems Dollard binnen (21)	0.40 (0.36-0.47)	1.2 (1.1-1.4)	4.0 (3.6-4.7)

Tabel 4-2 Gemiddelde geologische bodemdalingsvolumes voor de verschillende deelgebieden in miljoen m³ per jaar en miljoen m³ per 30 jaar. Tussen haakjes staat de onzekerheidsmarge.

Categorie	mln.m ³ /jaar	mln.m ³ /30 jaar
Westerschelde (1)	0.058 (0.047-0.073)	1.73 (1.41-2.18)
Westerschelde delta (2)	0.100 (0.079-0.125)	2.99 (2.38-3.75)
Oosterschelde delta (3)	0.089 (0.076-0.109)	2.68 (2.27-3.27)
Grevelingen delta (4)	0.059 (0.052-0.069)	1.76 (1.57-2.07)
Haringvliet delta (5)	0.073 (0.066-0.084)	2.20 (1.98-2.51)
Maasgeul (6)	0.002 (0.002-0.003)	0.07 (0.06-0.08)
Zuid-Holland (7)	0.333 (0.300-0.366)	9.98 (8.99-10.98)
IJgeul (8)	0.007 (0.006-0.008)	0.21 (0.19-0.23)
Noord-Holland (9)	0.151 (0.136-0.166)	4.54 (4.08-4.99)
Zeegat van Texel (10)	0.191 (0.172-0.210)	5.73 (5.16-6.30)
Marsdiep binnen (11)	0.345 (0.310-0.379)	10.34 (9.31-11.38)
Eierlandse Gat binnen (12)	0.080 (0.072-0.087)	2.39 (2.15-2.62)
Eierlandse Gat (13)	0.125 (0.113-0.138)	3.76 (3.39-4.14)
Vliestroom (14)	0.167 (0.150-0.184)	5.01 (4.51-5.51)
Vlie binnen (15)	0.355 (0.319-0.390)	10.65 (9.58-11.71)
Amelander Zeegat (16)	0.158 (0.142-0.174)	4.73 (4.26-5.21)
Amelander Zeegat binnen (17)	0.140 (0.126-0.154)	4.21 (3.79-4.63)
Friesche Zeegat (18)	0.141 (0.127-0.155)	4.24 (3.82-4.66)
Friesche Zeegat binnen (19)	0.070 (0.063-0.077)	2.10 (1.89-2.32)
Eems Dollard (20)	0.162 (0.146-0.184)	4.85 (4.37-5.51)
Eems Dollard binnen (21)	0.196 (0.177-0.227)	5.89 (5.30-6.81)

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Op basis van nieuwe gegevens en verbeterde modellen is de geologische bodemdalingskaart voor het kustfundament en de getijdenbekkens uit 2018 geactualiseerd. De onzekerheid in de berekende snelheid is hierbij sterk afgenomen, van een geschatte 50% in 2018 tot een berekende 10% in de nieuwe kaart. De belangrijkste trend, met lagere snelheden in het zuiden en hogere snelheden in het noorden, is ongewijzigd gebleven, maar gemiddeld zijn de dalingssnelheden afgenomen.

Een vergelijking van de gemodelleerde geologische bodemdalingssnelheden bij de zes hoofdgetijdenstations laat zien dat de gemiddelde snelheid is afgenomen van 4,5 naar 3,9 cm/eeuw (Tabel 5-1). Dit betekent dat de berekende 'absolute' zeespiegelstijging in de *Zeespiegelmonitor* iets zal toenemen. Wederom is goed zichtbaar dat de gemiddelde onzekerheid sterk is afgenomen. De minimale gemiddelde onzekerheid is gesteld op 10%.

Daarnaast zijn de geologische bodemdalingsvolumes per kustdeelgebied berekend. De berekende bodemdalingsvolumes zijn structureel lager dan in eerdere rapporten, wat gevolgen kan hebben voor het sedimentbeheer.

Tabel 5-1 Berekende geologische bodemdalingssnelheden voor de zes hoofdgetijdenstations met tussen haakjes de onzekerheidsmarge (1 standaarddeviatie).

Hoofdgetijdenstation	2018 (cm/eeuw)	2025 (cm/eeuw)
Vlissingen	2.4 (1.2-3.6)	2.3 (1.8-2.9)
Hoek van Holland	3.7 (1.8-5.5)	3.3 (3.0-3.7)
IJmuiden	4.9 (2.5-7.4)	4.2 (3.8-4.6)
Den Helder	5.3 (2.7-8)	4.8 (4.3-5.3)
Harlingen	6.0 (3.0-9.0)	5.2 (4.7-5.7)
Delfzijl	4.8 (2.4-7.2)	3.7 (3.3-4.4)
Gemiddeld	4.5 (2.3-6.8)	3.9 (3.5-4.3)

5.2 Aanbevelingen

- Nu de geologische bodemdalingskaart geactualiseerd is, wordt aanbevolen ook de bodemdalingskaart door delfstofwinning te actualiseren. De laatste versie daarvan dateert uit 2021 (Hijma, 2021) en na 5 jaar is een actualisatie relevant. Wanneer deze actualisatie is uitgevoerd, kan ook de totale bodemdalingskaart worden geactualiseerd en kunnen nieuwe bodemdalingsvolumes worden berekend.
- De nieuwe inzichten, met name de verandering in gemiddelde bodemdalingssnelheid voor de hoofdgetijdenstations, kunnen worden verwerkt in de *Zeespiegelmonitor*.
- Er wordt aanbevolen om data van de GNSS-stations bij 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. Eerder is voorgesteld een GNSS-werkgroep (bijvoorbeeld bestaande

uit RWS-CIV, Kadaster, TU Delft, Deltares) op te richten die 1-2 keer per jaar samenkomt om te bespreken hoe data van GNSS-stations zodanig ontsloten of verzameld kunnen worden dat de waarde van deze data voor alle werkgroepleden zo groot mogelijk is.

- Uit het eerdere GNSS-rapport (Nougues, 2022) zijn onderstaande aanbevelingen nog steeds relevant:
 - Gedetailleerde informatie verzamelen over funderingsdieptes van GNSS-stations in de buurt van het kustfundament en getijdenbekkens.
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 ander mogelijkheid om ontbrekende funderingsdieptes te achterhalen, is het uitvoeren van aanvullende metingen van de funderingsdiepte.
 - Onzekerheden over de opbouw van de ondergrond bij GNSS-stations verminderen door inzet van sondeergegevens die zijn verzameld bij de bouw van het gebouw waaraan de antenne bevestigd is. De geologische opbouw is sterk bepalend voor de lokale bodemdaling en het is daarom belangrijk om deze sondeergegevens te verzamelen, ook al is deze informatie vaak niet gemakkelijk beschikbaar. Indien noodzakelijk geacht, kan de ondergrondopbouw aanvullende worden onderzocht middels nieuwe boringen en/of sonderingen.

Literatuurlijst

- 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.
- 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., 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., 2024. 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., Rijdsijk, K.F., Vink, A., Busschers, F.S., 2025a. Global sea-level rise in the early Holocene revealed from North Sea peats. *Nature*, 639 (8055), 652-657. 10.1038/s41586-025-08769-7.
- 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., Rijdsijk, K.F., Vink, A., Busschers, F.S., 2025b. Global sea-level rise in the Early Holocene revealed from North Sea peats: Supplementary Information. Zenodo.
- Jelgersma, S., 1961. Holocene sea-level changes in The Netherlands. *Mededelingen Geologische Stichting*, 7, 1-101.
- 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.
- Nougues, L., 2022. Bodemdalingsmonitor 2022 Kustfundament en getijdenbekkens - Bodemdaling en GNSS-stations, Deltares report 11208035-003-ZKS-0004.
- 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.

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