



# Procedures en meetresultaten

## GNSS-stations

Bodemdaling en relatieve zeespiegelstijging



Opdrachtgever

**Deltares**



Deltares

**Deltares**

# Procedures en meetresultaten GNSS-stations

---



Bodemdaling en relatieve zeespiegelstijging

Eindrapport

**Auteur(s)**

Dorien Honingh

PR2695.90

mei 2024

# Definities en afkortingen

Definitie	Omschrijving
Absolute zeespiegelstijging	Werkelijke verhoging van de zeespiegel t.o.v. het centrum van de aarde door vermeerdering van de hoeveelheid water in de oceanen, wijzigingen in het volume van de oceanbekkens en uitzetting van het oceanwater als gevolg van temperatuurstijging. (Dillingh et al, 2010).
Relatieve zeespiegelstijging	Stijging van de zeespiegel ten opzichte van een referentievlak, in het Nederland het NAP. Het is de lokale som van absolute zeespiegelstijging en de verticale bodembeweging (meestal daling in de Nederlandse situatie) van het referentievlak. (Dillingh et al, 2010).
Geoïde	Gemiddeld zeeniveau waar zonder wind en/of getijden het vaste zeeniveau zou zijn, vanwege hetzelfde zwaartekratchpotentiaal.
Referentie-ellipsoïde	Een benadering van de vorm van de aarde. De aarde is namelijk geen bol, vanwege de plattere polen ten opzichte van de evenaar.
Primaire waterpassingen	Zeer nauwkeurige landelijke waterpassingen.
Secundaire waterpassingen	Regionale verdichtingswaterpassingen.
B0-verificatie	Jaarlijkse meting waarbij de gecontroleerd wordt of de vlotter/radar instrument zich nog op de juiste hoogte bevindt.

Afkorting	Omschrijving
ARGS	Actief GNSS Referentie Systeem, de basis voor de geodetische infrastructuur van Nederland. Het wordt beheerd door het Kadaster en Rijkswaterstaat.
CORS	Continuously Operating Reference Station
DGNSS	Differential GNSS, een techniek waarbij een nabij referentiepunt wordt gebruikt om de nauwkeurigheid van de meting te vergroten.
DPGA	Dutch Permanent GNSS Array
EPN	Euref Permanent GNSS Network
GNSS	Global Navigation Satellite System
IGS	International GNSS Service
LMW	Landelijk Meetnet Water
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NETPOS	Netherlands Positioning Service, een verdere verdichting van AGRS. Wordt beheerd door het Kadaster en Rijkswaterstaat
NGL	Nevada Geodetic Laboratory
NSGI	Nederlandse Samenwerking Geodetische Infrastructuur. Bestaat uit het Kadaster, Rijkswaterstaat en de Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine.
PPP	Precise Point positioning.
PSMSL	Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL)
RD	Rijksdriehoeksstelsel
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RTK	Real time kinematics.
RWS-CIV-IGA-DMC	Rijkswaterstaat - Centrale Informatievoorzijing - Inwinning en Gegevensanalyse – Data Management Center
TIGA	TIde GAuge benchmarking monitoring

# Inhoud

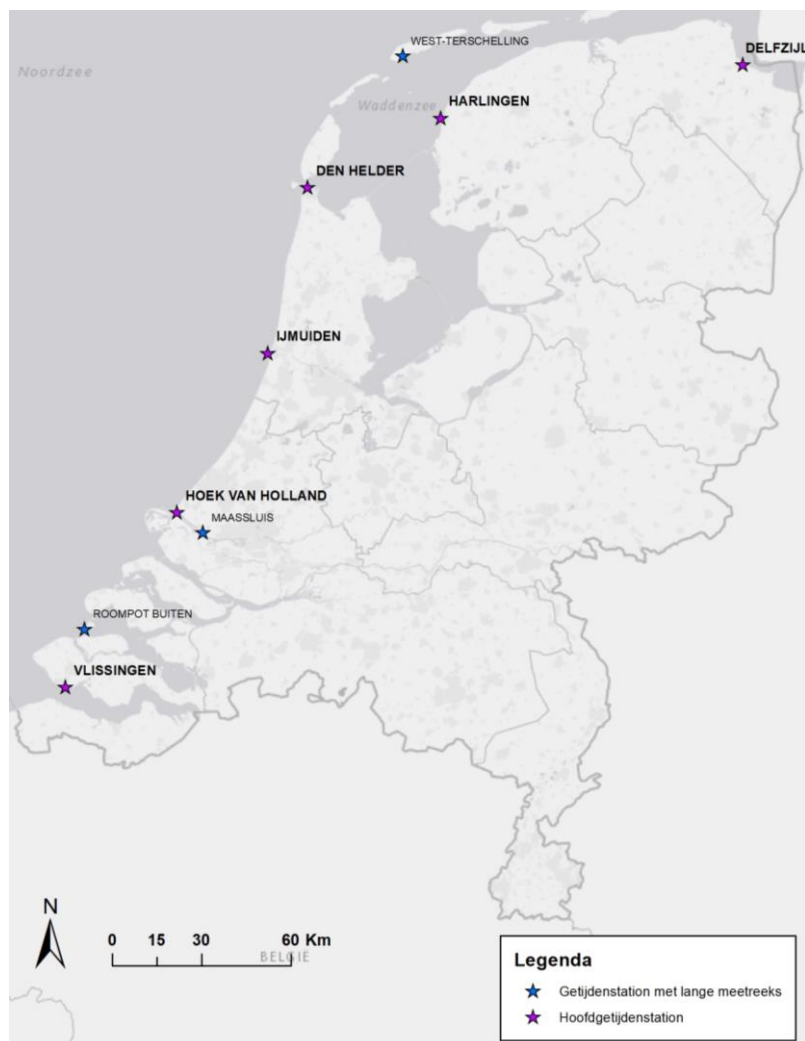
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Context	1
1.2	Probleem- en doelstelling	3
1.3	Aanpak	4
1.4	Leeswijzer	4
<b>2</b>	<b>Achtergrond</b>	<b>5</b>
2.1	NAP-nulvlak	5
2.2	Begrip bodemdaling	6
2.3	Bodemdalingsmonitor	6
<b>3</b>	<b>Metingen en dataverwerking</b>	<b>9</b>
3.1	Meetprocedures	9
3.2	Datanauwkeurigheid en dataverwerking	12
3.3	Correcties en ontsluiten data	18
<b>4</b>	<b>Adviezen en aanbevelingen</b>	<b>23</b>
4.1	Meetprocedures & nauwkeurigheid	23
4.2	Correcties en ontsluiten data	24
<b>5</b>	<b>Referenties</b>	<b>27</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Context

In Nederland wordt op veel plaatsen de waterstand gemeten binnen het Landelijk Meetnet Water (LMW), zowel de zeespiegel- als de binnenwaterstand. Zes meetstations langs de kust zijn gelabeld als hoofdgetijdenstation. De meetwaarden van deze stations worden onder andere gebruikt voor het vaststellen van de gemiddelde zeespiegelstand langs de Nederlandse kust en hierover wordt jaarlijks gerapporteerd binnen de Zeespiegelmonitor. Binnen de Zeespiegelmonitor worden waarnemingen en onderzoeksresultaten gerapporteerd met als doel om beter inzicht te krijgen in de stand en ontwikkeling van de zeespiegel langs de Nederlandse kust (Stolte et al., 2023).



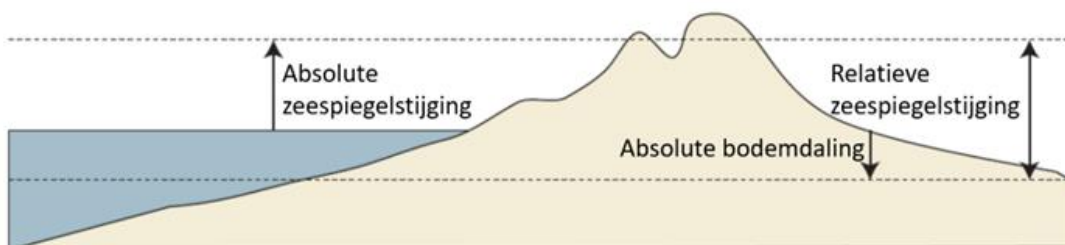
*Figuur 1: De negen getijden-stations waarvan de gegevens zijn gearcheveerd bij het internationale archief van de PSMSL<sup>1</sup>. Binnen de Zeespiegelmonitor worden metingen van de zes hoofdgetijdenstations gebruikt (weergegeven in paars) bij het analyseren van de zeespiegelstand langs de Nederlandse kust. De overige drie getijdenstations, die ook een lange meetreeks waterstanden hebben, worden slechts beschouwd (weergegeven in blauw).*

<sup>1</sup> Een lange meetreeks betekent hier dat de reeks lang genoeg is om de 18,6 jarige getijcomponent goed te kunnen onderscheiden. Daarnaast komt het goed uit als de data terug gaan tot voor 1990, omdat begin jaren '90 de zeespiegel relatief laag was. Wanneer de data pas vanaf begin jaren '90 beschikbaar is, kan dit tot een vertekend beeld leiden.

De hoofdgetijdenstations zijn Vlissingen, Hoek van Holland, IJmuiden, Den Helder, Harlingen en Delfzijl (Figuur 1). In de Zeespiegelmonitor 2022 (Stolte et al., 2023) is de data van station Delfzijl dit keer niet meegenomen. Dit station daalt al decennia relatief snel als gevolg van de gaswinning, maar momenteel is niet duidelijk of de gebruikelijke correcties op basis van waterpassingen doorgevoerd zijn en de metingen worden daarom momenteel niet voldoende betrouwbaar geacht. In het verleden zijn de metingen van dit station wel meegenomen in de Zeespiegelmonitor.

In Figuur 1 worden ook de getijdenstations West-Terschelling, Maassluis en Roompot-Buiten weergegeven. Samen met de 6 hoofdgetijdenstations zijn dit de stations waarvoor een lange meetreeks van waterstanden met gevalideerde verticale referentie beschikbaar is via Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL). Deze drie stations worden niet meegenomen in de data-analyse voor de zeespiegelmonitor. Alleen de hoofdgetijdenstations worden gebruikt voor de Zeespiegelmonitor. Bij de selectie van de hoofdgetijdenstations is gekeken naar een uniforme verdeling langs de kust, de lengte van de meetreeks en of het station in open verbinding met de zee gelegen is. West-Terschelling niet geselecteerd omdat deze in de buurt van Den Helder en Harlingen ligt, Roompot Buiten is niet geselecteerd omdat het station een relatief korte historie heeft en Maassluis is niet geselecteerd omdat dit station nabij Hoek van Holland gelegen is en omdat de open verbinding met zee middels de Maeslantkering afgesloten kan worden. De resulterende 6 hoofdgetijdenstations zijn redelijk uniform verdeeld zijn langs de Nederlandse kust en staan allemaal in open verbinding met de zee.

In de (hoofd)getijdenmeetstations wordt de waterstand gemeten via vlotter die gerefereerd zijn aan een NAP-peilmerk. Met deze metingen van de zeewaterstand ter plekke wordt de relatieve zeespiegelstijging gemeten. De relatieve zeespiegelstijging is een combinatie van de absolute zeespiegelstijging en de verticale bodembeweging van het referentievlak.



Figuur 2: Absolute versus relatieve zeespiegelstijging en bodemdaling (Nicolai et al., 2019).

Op wereldschaal wordt zeespiegelstijging voornamelijk onderzocht door middel van satellieten en ligt de nadruk op absolute zeespiegelstijging. Ter plaatse van de Nederlandse kust is feitelijk alleen de relatieve zeespiegelstijging van belang, omdat deze bepaalt hoe het kuststelsel reageert en waar onderhoud nodig is. Het is hierbij nog wel belangrijk om vast te stellen welk deel van de relatieve zeespiegelstijging veroorzaakt wordt door absolute zeespiegelstijging en welk deel door bodemdaling. Om te bepalen wat de invloed is van delfstofwinning, moet de bodemdaling nog verder uitgesplitst worden in bodemdaling veroorzaakt door menselijk handelen en bodemdaling door natuurlijke processen als tektoniek en isostasie.

Het onderzoek naar bodemdaling langs de Nederlandse kust is ondergebracht in de Bodemdalingsmonitor (samenwerking tussen Deltares en RWS-WVL). Eén van de activiteiten binnen de Bodemdalingsmonitor is het berekenen van de lokale bodemdaling bij elk hoofdgetijdenstation. Binnen de Zeespiegelmonitor worden deze getallen gemiddeld en afgetrokken van de gemiddelde relatieve zeespiegelstijging om uit te komen op de gemiddelde absolute zeespiegelstijging. De berekende bodemdaling berust voor een belangrijk deel op modellen



waarvan de onzekerheid op 50% geschat wordt. Ondanks deze onzekerheid is het wel duidelijk dat de mate van bodemdaling langs de kust varieert en wellicht wordt dit weerspiegeld door de verschillen die bestaan in de gemeten zeespiegelstijging bij de hoofdgetijdenstations. De oorzaak van deze verschillen wordt momenteel echter nog niet goed begrepen (Deltares, 2020). Om het begrip te vergroten zijn inmiddels alle hoofdgetijdenstations en een deel van de getijdenstations uitgerust met GNSS-apparatuur om de bodemdaling continu te meten. Het is hierbij essentieel dat de funderingsdiepte van het gebouw waar de GNSS-antenne aan vast zit goed bekend is. Enerzijds om vast te stellen vanaf welke diepte bodemdaling gemeten wordt, maar anderzijds ook om GNSS-metingen van verschillende getijdenstations zinvol met elkaar te kunnen vergelijken. Als de funderingsdiepte sterk verschilt per station, wordt in feite niet dezelfde bodembeweging gemeten en kunnen er forse verschillen ontstaan.

## 1.2 Probleem- en doelstelling

Met de huidige meetstrategie wordt de relatieve zeespiegelstijging langs de kust gemeten, waarbij ongeveer een kwart van de stijging veroorzaakt wordt door bodemdaling (Hijma en Kooi, 2018b; Hijma, 2022). De berekende bodemdaling kent echter een grote mate van onzekerheid, tot wel 50%, en verschilt per hoofdgetijdenstation. Om het patroon in zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust beter te kunnen begrijpen en de absolute zeespiegelstijging zo nauwkeurig mogelijk vast te kunnen stellen, is het belangrijk om de mate van onzekerheid fors te verkleinen. Dit helpt niet alleen bij het verkrijgen van een beter beeld van de benodigde suppletievolumes voor het kustfundament van de Nederlandse kust (Deltares, 2020), maar ook om modellen die gebruikt worden voor het berekenen van de verwachte zeespiegelstijging in de komende decennia te kalibreren en/of te valideren. Los hiervan, bestaan er momenteel ook nog onduidelijkheden rondom de bestaande protocollen voor het meten van de zeespiegelstand en de verwerking van de ruwe data, waardoor het niet altijd duidelijk is op welke manier bijvoorbeeld NAP-correcties of aanpassingen aan de meetopstelling verwerkt zijn in de gepubliceerde data.

Vanuit zowel de Zeespiegelmonitor (Stolte et al., 2022) als de Bodemdalingsmonitor (Hijma, 2022; Nougès, 2022) bestaat daarom de wens om de absolute en relatieve zeespiegelstijging zo nauwkeurig mogelijk vast te stellen. Hiervoor is het nodig om zowel de meetprocedures rondom het meten van waterstanden als het meten van bodembewegingen te optimaliseren. In HKV (2020) is reeds onderzocht bij welke hoofdgetijdenstations er zinvol GNSS- en InSAR-meetapparatuur geplaatst kan worden. Hieruit volgde dat alleen Den Helder, IJmuiden en Hoek van Holland geschikt zijn voor het plaatsen van InSAR-apparatuur, bij de andere stations was de invloed van de omgeving te groot op het gereflecteerde signaal. Alle kuststations bleken wel geschikt voor het plaatsen van GNSS-apparatuur. Naar aanleiding van deze rapportage zijn inmiddels alle hoofdgetijdenstations uitgerust met GNSS-apparatuur (nader overzicht in paragraaf 3.2.3).

Het doel van dit rapport is het beantwoorden van een aantal aanvullende onderzoeksvragen in het kader van kustbeleid die bijdragen aan de opzet van een verbeterde monitoringsstrategie van zowel de absolute als relatieve zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust en in het bijzonder bij de zes hoofdgetijdenstations. De hoofdvraag van deze studie is: Welke procedures zijn gewenst om bodemdaling en zeespiegelstijging zo nauwkeurig mogelijk te bepalen en via welke route moet de data ontsloten en geraadpleegd worden voor een toegankelijke en robuuste werkwijze?

## 1.3 Aanpak

De volgende deelstappen zijn uitgevoerd om de hoofdvraag te beantwoorden.

### 1. Meetprocedures voor bodemdaling en zeespiegelstijging in kaart brengen

Deze stap is vooral gericht op het integreren van de data.

- Procedures voor het meten van waterstanden en bodemdaling
  - Verkenning van gegevens GNSS-stations

### 2. Datanauwkeurigheid en verwerking

- Interviews met meetdienst en experts van Deltares, het Kadaster en RWS-CIV (Marc Hijma, Bas Alberts, Lennard Huisman en Ton Kremers) over (bodembewegings)metingen en dataverwerking
  - Huidige werkwijze van correcties bij waterpassingen
  - Registratie correcties
- Impact van verschillende rekenmethodes voor het verwerken van de ruwe GNSS-metingen naar verticale bodembewegingen.

### 3. Correcties en ontsluiting van data

- FAIR data: vindbaarheid, toegankelijkheid, interoperabiliteit en herbruikbaarheid
- Beschouwing huidige werkwijze van correcties bij waterpassingen
- Correcties bij GNSS-metingen
- Beschikbaarheid correcties internationale portals (PSMSL) & nationale portals
- Robuustheid

## 1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de beschikbare achtergrondinformatie voor deze studie. Dit betreft het hoogtesysteem van Nederland (het NAP-nulvlak), het begrip bodemdaling en het monitoren van bodemdaling. Vervolgens worden de verschillende onderzoeksvragen rondom metingen en dataverwerking behandeld in Hoofdstuk 3. Ten slotte volgt een hoofdstuk met adviezen en aanbevelingen voor het inzichtelijk maken en het optimaliseren van de meetprocedures voor waterstanden en bodemdaling, het verbeteren van de nauwkeurigheid en benodigde correcties van de data en de ontsluiting van data (Hoofdstuk 4).

## 2 Achtergrond

### 2.1 NAP-nulvlak

Het hoogtesysteem in Nederland is gedefinieerd ten opzichte van het NAP (Normaal Amsterdams Peil). Met 'het NAP' wordt het NAP-nulvlak bedoeld. Het NAP-nulvlak wordt in de praktijk vastgelegd door middel van bronzen meetbouten (peilmerken) die zijn geplaatst op objecten als gebouwen, bruggen en viaducten en waarvan de hoogte ten opzichte van het denkbeeldige NAP-nulvlak bekend is. Hierdoor ontstaat een samenhangende set van peilmerken waarvan de NAP-hoogte bekend is. Dit wordt een *referentiestelsel* genoemd en dit is een *fysieke realisatie van een referentiesysteem*.

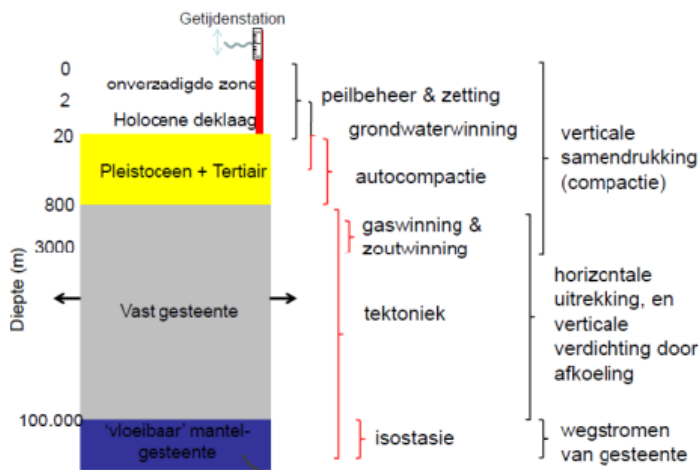
Van de 35.000 peilmerken in Nederland zijn er zo'n 400 ondergrondse merken, waarbij de meetbout bevestigd is in de kop van een funderingspaal. Deze paal is geplaatst in of op een intern stabiele pleistocene zandlaag. Dat de peilmerken van het NAP kunnen bewegen is algemeen bekend, omdat het gros van de merken zijn aangebracht in gebouwen waarvan de fundering niet altijd even stabiel is. Minder vanzelfsprekend is dat de ondergrondse merken van het NAP ook onderhevig zijn aan bewegingen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004). De hoofdoorzaken hiervoor zijn geologische bodemdaling en daling door winning van gas, olie, zout en water. De afspraak (of definitie) van het NAP-nulvlak en de fysieke realisatie daarvan kunnen daardoor onderling verschillen. Doordat peilmerken die het nulvlak vastleggen namelijk zelf bewegen, voldoet na enige tijd de fysieke realisatie van het referentiesysteem (in de vorm van bekend veronderstelde peilmerken) niet meer. Het referentiestelsel wijkt dan af van het referentiesysteem. Voor discussies rond zeespiegelmonitoring en bodembeweging is dit essentieel, omdat het gehele NAP-nulvlak dus ook aan beweging onderhevig is.

Het NAP-nulvlak wordt in Nederland vastgesteld d.m.v. waterpassingen, waarmee de hoogtes worden berekend uit de gewaterpaste hoogteverschillen. De kwaliteit van de waterpassingen is afhankelijk van het meetproces. De term nauwkeurigheidswaterpassing (NWP) wordt gebruikt om een landelijke waterpassing aan te duiden, die de hoogte van een netwerk van primaire landelijke punten moet vastleggen t.o.v. het NAP-nulvlak. In de loop van de tijd zijn er 5 nauwkeurigheidswaterpassingen uitgevoerd. De laatste (5<sup>e</sup>) NWP heeft in de periode 1996 t/m 1998 plaatsgevonden, waarna geadviseerd is om de hoogtes van de ondergrondse merken aan te passen. Bij de 'herziening' van het NAP in 2005 (de nieuwe NAP-publicatie per 1 januari 2005) is besloten om nieuwe waarden te geven aan de ondergrondse merken (De Bruijne et al., 2005). Voor de herziening van de genoteerde hoogtes zijn aanvullende stabiel veronderstelde punten binnen het primaire NAP-netwerk gedefinieerd. Deze stabiele punten bevinden zich op de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe. Door de oude hoogtes van deze stabiele ondergrondse merken op de Heuvelrug en Veluwe gelijk te houden aan de hoogtes van de 2<sup>e</sup> NWP is de ligging van het nulvlak gelijk gebleven. Minder stabiele punten zijn vervolgens gecorrigeerd aan de hand van deze stabiele punten. De NAP-waarden van de peilmerken in het westen van Nederland zijn bij de correctie in 2005 veranderd in een lagere hoogte t.o.v. het NAP-nulvlak. Tenslotte wordt op dit moment een studie uitgevoerd naar de noodzaak van een nieuwe (zesde) NWP. Of er in de toekomst nog NWP gaan plaatsvinden is onzeker. Na de 5<sup>de</sup> NWP werd al gezegd dat dit de laatste zou zijn, maar juist de NWP vormen de controle voor de stabiel veronderstelde ondergrondse merken, waar de nulpalen ook onderdeel van zijn. Om te controleren of deze ook daadwerkelijk stabiel zijn zou juist overwogen kunnen worden om alleen met deformatiekaarten te bepalen welke regionale

waterpassingen noodzakelijk zijn en verder NWP uit te voeren. Dit is ook belangrijk voor de controle van de stabiliteit van het hoofdgetijdenstation waarop de GNSS-antenne geplaatst is. Hiervoor worden de extra muurbouten ook ingemeten ten opzichte van de nulpaal.

## 2.2 Begrip bodemdaling

Bodemdaling is gedefinieerd als de relatieve hoogteverandering in de tijd ten opzichte van een referentievlak. In Nederland hebben verschillende componenten invloed op bodemdaling (Figuur 3); deze kunnen worden onderverdeeld in geologische en menselijke componenten. Binnen dit rapport gaat het om de bodemdaling van de diepere lagen (geologische bodemdaling), niet om het samendrukken van de Holocene deklaag. De peilmerken en de getijdenstations staan namelijk gefundeerd in de (Pleistocene) zandlagen onder deze deklaag. De geologische bodemdaling wordt veroorzaakt door de winning van aardgas en zout, tektoniek en isostasie.



Figuur 3: Bodemdalingscomponenten (Hijma en Kooi, 2018)

## 2.3 Bodemdalingsmonitor

In 2019 is, naar analogie met de *Zeespiegelmonitor*, de *Bodemdalingsmonitor* gestart. Hierbinnen worden ontwikkelingen omtrent dit onderwerp vastgelegd en worden regelmatig andere experts, instituten en universiteiten regelmatig geraadpleegd.

Om de ontwikkelde modellen voor bodemdaling te vergelijken en te verbeteren met data van Global Navigation Satellite System (GNSS) stations, is het nodig om te weten welke bodembeweging de GNSS-stations meten. Dit is afhankelijk van de diepte en het type fundering, en van lokale geologische en hydrologische omstandigheden. Voor de meeste GNSS-stations (langs de kust) is de funderingsdiepte onbekend, waardoor het onbekend is ten opzichte van welke geologische laag de bodemdaling gemeten wordt.

Het meten van bodemdaling middels GNSS-stations wordt verder gecompliceerd, doordat de verticale bodembeweging hierbij niet direct gemeten wordt. De verticale bodembeweging wordt afgeleid uit veranderingen van het station in zowel het horizontale (x,y) als het verticale vlak (z). Dit zorgt voor een extra onnauwkeurigheid in het bepalen van de bodemdaling. GNSS omvat een constellatie van satellieten die in een baan om de aarde draaien en continu signalen uitzenden, die gebruikers in staat stelt hun driedimensionale (3D) positie te bepalen. Het positioneringsprincipe is gebaseerd op het oplossen van een elementair geometrisch probleem, waarbij de afstanden

worden bepaald van een gebruiker tot een set van tenminste vier betrokken GNSS-satellieten met bekende coördinaten. Om op deze manier bodemdaling te kunnen monitoren zijn complexe nabewerkingsberekeningen nodig. Afhankelijk van de berekeningen, de meetreekslengte en de gebruikte referentiesystemen kunnen de resulterende verticale bodembewegingen behoorlijk verschillen (Hijma, 2021).

Geplande vervolgstappen binnen de *Bodemdalingsmonitor* zijn:

- Verzamelen gedetailleerde informatie m.b.t. funderingsdieptes van en geologische opbouw bij de GNSS-stations
- Verbeteren en valideren bodemdalingsmodellen middels GNSS-monitoring
- Opzetten GNSS-werkgroep met Kadaster, RWS-CIV, TU Delft en Deltares om de GNSS-metingen optimaal in te kunnen zetten voor zowel de *Zeespiegel-* als de *Bodemdalingsmonitor*.



## 3 Metingen en dataverwerking

*Teksten uit HKV (2020) zijn in dit hoofdstuk geactualiseerd, uitgebreid en aangevuld. Dit is gedaan op basis van aanvullende literatuur en interviews met experts van het kadaster, RWS-CIV en Deltares.*

### 3.1 Meetprocedures

#### 3.1.1 Metingen waterstanden

Voor het meten van de waterstanden bij de getijdenstations is de meest gangbare meetmethode een DNM (Digitale Niveaumeeter; vlottersysteem). Ook wordt er bij sommige stations gemeten met een radarmeter. De hoofdgetijdenstations zijn allemaal uitgerust met vlotters (DNM meetinstrumenten), behalve bij IJmuiden-Buitenhaven waar sinds 2020 met radar wordt gemeten. Beide instrumenten hebben een aanwijsbaar referentiepunt en bij beide methoden wordt de afstand vanaf het meetinstrument tot het water gemeten. De gemeten waterstand wordt gerefereerd aan de nulpaal of een ander NAP-peilmerk, voor de hoofdgetijdenstations gaat het doorgaans om de M-bout die in de muur van het stations is bevestigd.

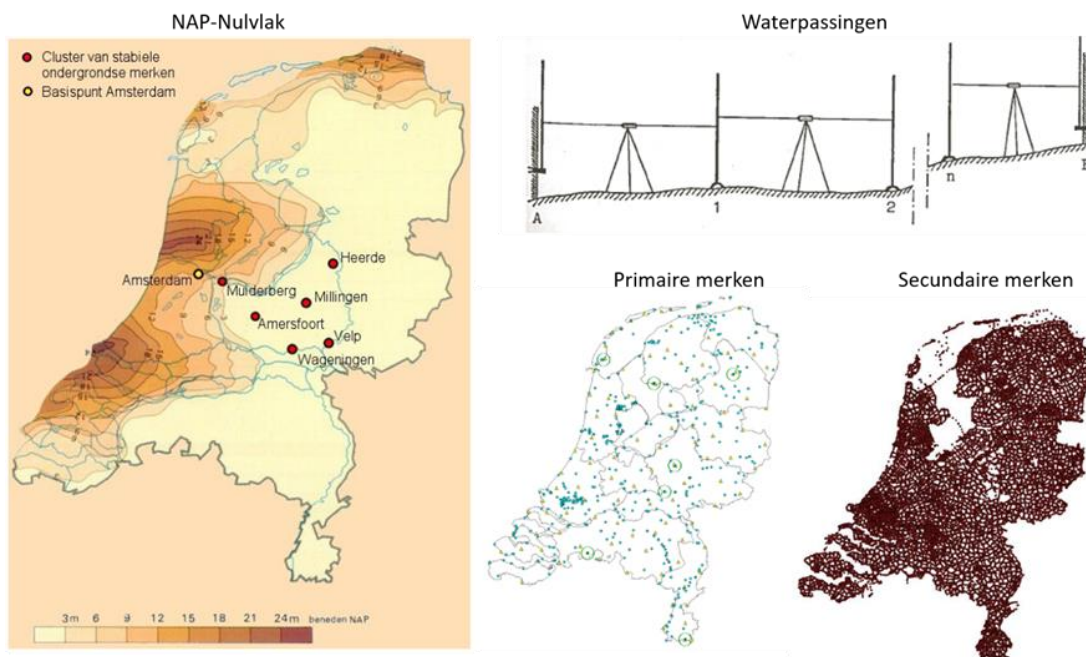
#### 3.1.2 Metingen bodemdaling

##### **Instrumenten**

Er zijn verschillende instrumenten beschikbaar om bodemdaling (van diepere lagen) te bepalen, zoals GNSS, InSAR, zwaartekrachtmetingen en waterpassen. GNSS bepaalt een 3D-positie in een geodetisch systeem, terwijl de meettechniek InSAR een verplaatsing bepaalt aan de hand van faseverschillen tussen opeenvolgende satellietbeelden. Ook is het mogelijk om de verticale bodembeweging vast te stellen op basis van gemeten zwaartekrachtveranderingen. Het voordeel van deze methode is dat het de bodem niet meet ten opzichte van een referentievlak, dat zelf ook kan veranderen, maar dat het de bodembeweging ten opzichte van het middelpunt van de aarde meet. Deze methode is echter niet geschikt voor de hoofdgetijdenstations, omdat ruis wordt veroorzaakt door onder andere luchtdruk, grondwaterdruk en trillingen. Er zijn nog meer meetmethoden, maar in de praktijk worden vooral waterpassingen, GNSS- en InSAR-meettechnieken gebruikt vanwege de voordelen met betrekking tot temporele en ruimtelijke resolutie, de nauwkeurigheid en de kosten. Deze meetmethoden zijn hieronder beschreven.

##### **Waterpassingen (huidige methodiek)**

Figuur 4 laat in het linker venster door middel van rode punten de stabiel veronderstelde merken zien en in het geel het basispunt in Amsterdam. De NAP-hoogtes van de 35.000 secundaire peilmerken worden door middel van waterpassingen bepaald. Een principeschets van waterpassing en de dichtheid van zowel de primaire en secundaire merken zijn ook weergegeven in Figuur 4.



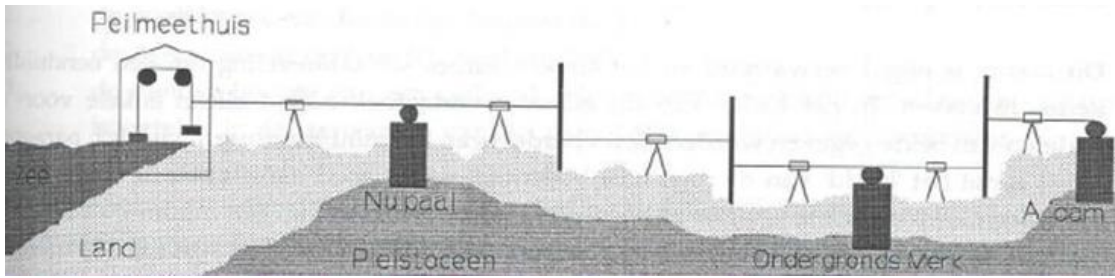
*Figuur 4: Weergave van het NAP-nulvlak, een schematische weergave van het uitvoeren van waterpassingen en een overzicht van de primaire en secundaire merken (figuur aangepast op basis van Rijkswaterstaat, 2018).*

De nulpalen, de muurbouten en de waterstandsinstrumenten bij de hoofdgetijdenstations worden ingemeten ten opzichte van het NAP-nulvlak door middel van primaire en secundaire waterpassingen. De hoogtemeting van de waterstandsinstrumenten t.o.v. de nulpalen of de muurbouten (Figuur 5) gebeurt jaarlijks, dit wordt ook wel de B0-verificatie genoemd.

Naast de B0-correctie is er ook een A0-correctie. De NAP-peilmerken werden voorheen per regio 1x per 10 jaar ingemeten, in wat ook wel 'planperiodes' genoemd worden. Alleen de minder stabiele locaties (Groningen en Friesland) werden 1x per 5 jaar ingemeten. Deze metingen werden voor zowel de primaire en secundaire peilmerken uitgevoerd en de informatie wordt ontsloten in de NAP-info viewer en via webservices. De vaste cycli van 5 of 10 jaar zijn echter losgelaten, omdat er inmiddels in nog meer detail geprioriteerd wordt, mede door gebruik te maken van de deformatiemetingen op basis van InSAR (Rijkswaterstaat, 2024). De prioritering vindt plaats op regioniveau waarbij instabiele punten frequenter ingemeten worden en stabiele punten worden minder frequent ingemeten dan voorheen. Hierbij is er wel een risico voor de kwaliteitsborging van de waterstandsmetingen. Op dit moment zijn er stations waar de laatste regionale waterpassing 15 jaar geleden is uitgevoerd. Indien na een dergelijke periode toch blijkt dat een correctie plaats moet vinden wordt het steeds lastiger om te bepalen vanaf welk moment de meting betrouwbaar is en over welke periode de correctie plaats moet vinden.

Ten slotte zijn er de nauwkeurigheidswaterpassingen (NWP's), dit zijn de landelijke waterpassingen. Bij de NWP's wordt de hoogte van primaire landelijke punten t.o.v. het NAP-nulvlak vastgelegd. Deze NWP's vinden niet met een reguliere frequentie plaats, maar zijn in het verleden altijd uitgevoerd vanwege een specifieke aanleiding. Er zijn vijf NWP's uitgevoerd en op dit moment wordt een onderzoek uitgevoerd naar de nut en noodzaak van een zesde NWP. Of er in de toekomst aanvullende NWP's gaan plaatsvinden is nog onzeker (zie ook paragraaf 2.1).



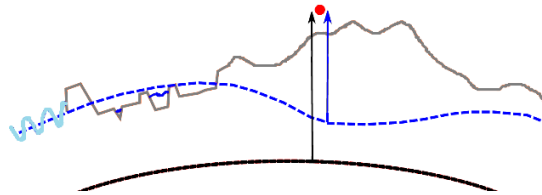


Figuur 5: Schematische weergave van waterpassingen t.o.v. het referentiepunt in A'dam (Bruine, 2004).

### GNSS- en InSAR-meettechnieken

De hoogtebepaling van GNSS wordt uitgedrukt in ellipsoïdische hoogtes. Het verschil tussen fysische hoogte en ellipsoïdische hoogte wordt hieronder besproken en is weergegeven in Figuur 6.

- Fysische hoogte: Hoogte zoals uit waterpassing verkregen wordt, wat een geöïde als referentievlak heeft, waarbij hoogteverschillen afhankelijk zijn van de massaverdeling van de aarde. Fysische hoogten is meestal nauw gerelateerd aan het zeeniveau, in Nederland ook met het Normaal Amsterdams Peil (NAP).
- Ellipsoïdische hoogte: De ellipsoïde is een omwentelingsellipsoïde, die een benadering voor de vorm van de aarde vormt.



Figuur 6: Illustratief het verschil tussen ellipsoïdische hoogte (zwarte lijn) en fysische hoogte NAP (blauwe gestippelde lijn geeft het nulvlak weer). De grijze lijn geeft het oppervlak aan en het rode een bepaald punt. Het figuur laat zien dat de NAP-hoogte en de ellipsoïdische hoogte verschillen (Lesparre et al., 2020).

Ellipsoïde hoogtes kunnen met een quasi-geöïde model naar NAP worden getransformeerd. Dit model beschrijft voor elke locatie de geöïdehoogte, die het hoogteverschil tussen de geöïde en de ellipsoïde beschrijft. De transformatie berekeningen worden uitgevoerd met Bernese Software<sup>2</sup> met diverse scripts, waarbij de precisie voor jaaroplossingen ongeveer 1 mm horizontaal en 3 mm verticaal is. Deze nauwkeurigheid is voor veel toepassingen voldoende, maar voor bodemdaling- en zeespiegelmonitoring is het zaak deze transformatie zo nauwkeurig mogelijk te laten zijn. Dit omdat de bodemdaling in het noordelijke 2/3 deel van Nederland in de orde 0-2 cm/eeuw is.

Voor monitoring van de bodembeweging van een GNSS-antenne bij een hoofdgetijdenstations is geen transformatie nodig, omdat de referentiehoogte (NAP of ellipsoïdische) voor het vergelijken van hoogtes op twee tijdstippen niet uitmaakt. Wel is het relevant of de GNSS-antenne en het waterstandsmeeinstrument dezelfde bodembeweging vertonen. Hiervoor is het nodig om de NAP-hoogte van de GNSS-antenne te vergelijken met de hoogte van peilmerken en nulpalen in de omgeving. Om eventuele verzakkingen van de GNSS-antenne zo goed mogelijk in beeld te brengen zijn bij de getijdenstations met GNSS-apparatuur ook extra muurbouten geplaatst. Op deze manier kunnen ook eventuele ongelijkheden in zakkingen (scheefstand) bij een getijdenstation in kaart worden gebracht. Met behulp van waterpassing en tachymetrie kan jaarlijks de precieze hoogte ten opzichte van het NAP-nulvlak worden bepaald (lokale deformatie) voor zowel het peilmerk en de GNSS-antenne (Figuur 7). Deze jaarlijkse meting staat los van de B0-meting, aangezien niet dezelfde apparatuur gebruikt wordt en niet dezelfde mensen de metingen uitvoeren.

<sup>2</sup> Bernese GNSS Software BORIS DOI: 10.7892/boris.72297, URI: <https://boris.unibe.ch/id/eprint/72297>



Figuur 7: Getijdenstation IJmuiden waarbij de CAT (platte doosvorm aan de linkerkant) en GNSS-antenne (conusvorm aan de rechterkant) zijn uitvergroot.

InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) is een techniek waarbij faseverschillen in weerkaatste radargolven op hetzelfde oppervlak gebruikt worden om relatieve bodembeweging te bepalen. Het nadeel van deze meettechniek is dat niet altijd duidelijk is welk object reflecteert en wat daarmee dus gemeten wordt. Daarnaast geeft het de beweging in de line-of-sight naar de satelliet. Het voordeel van InSAR-data is dat deze voor grote gebieden als puntdata beschikbaar zijn. In Nederland wordt vaak de PSI-techniek (Persistent Scatterer InSAR) toegepast, waarmee het mogelijk is om verplaatsingen van objecten te bepalen met een nauwkeurigheid van millimeters. Hiervoor moet het wel een langdurig coherent meetpunt zijn, het terrein moet namelijk op exact dezelfde manier het radiosignaal reflecteren. Aangezien PSI-meetpunten en GNSS-metingen of waterpassingen niet op exact dezelfde locatie meten, is een ruimtelijke interpolatie van PSI-meetpunten vereist om de verticale hoogtes met elkaar te verbinden. Een alternatieve benadering is het gebruik van kunstmatige reflectoren met vaste aansluiting naar een GNSS (collocatie van GNSS-apparatuur en InSAR-transponders of hoekreflectoren) of een meetpunt dat gewaterpast is om zo InSAR-referentiepunten te creëren. Op deze manier is het mogelijk om een InSAR-meting te koppelen aan een meetpunt waarvan de positie is bepaald in een geodetisch referentiesysteem (het NAP) en dit maakt de miljarden InSAR-waarnemingen waardevoller.

In HKV (2020) is onderzocht waar GNSS- en InSAR-meetapparatuur geplaatst kan worden. Hieruit kwam dat van de hoofdgetijdenstations alleen Den Helder, IJmuiden en Hoek van Holland geschikt zijn voor het plaatsen van InSAR-apparatuur op basis van de reflecties. In 2020 was in IJmuiden InSAR-meetapparatuur reeds aanwezig, maar vanwege problemen met de apparatuur is in 2023 een nieuwe transponder geplaatst. Bij de andere stations is geen InSAR-apparatuur aanwezig.

## 3.2 Datanauwkeurigheid en dataverwerking

### 3.2.1 Onnauwkeurigheden in de meetketen met waterpassingen

Tabel 1 geeft een overzicht van de meetnauwkeurigheid in de waterstandsmeting en de waterpassingsmetingen.

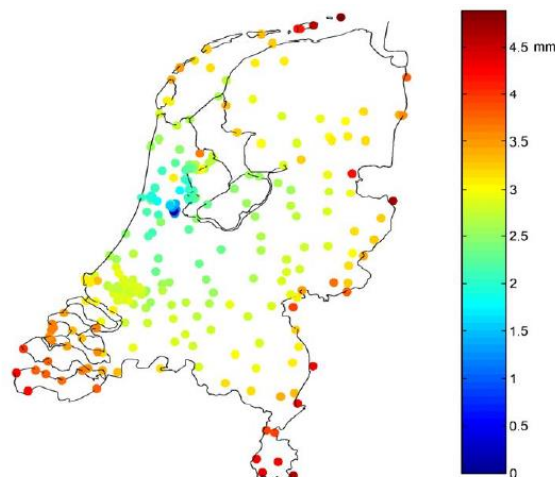
Tabel 1: Overzicht meetnauwkeurigheid waterstandsmeting en waterpassingen.

Omschrijving	Nauwkeurigheid
Waterstandsmeting	Afleesprecisie: 1 cm
Hoogte meetinstrument t.o.v. NAP:	
<ul style="list-style-type: none"> <li><i>B0-verificatie en B0-correctie; ijking meetinstrument t.o.v. P/M-bout</i></li> </ul>	1-5 mm (Groot, 2018)
<ul style="list-style-type: none"> <li><i>NAP-hoogte P/M-bout (primaire/secundaire waterpassing)</i></li> </ul>	2-4 mm (Brand, 2004)

Aspecten in het meetprotocol die leiden tot systematische fouten in de meting:

1. Hoogtebepaling van de B0-verificatie wordt uitgevoerd tussen het meetinstrument en de M-bout (behalve bij Harlingen waar de nulpaal in het getijdestation staat). Deze M-bout zit in het hoofdgetijdenstation en is, afhankelijk van de fundering, onderhevig aan verticale verplaatsingen. De M-bout wordt niet jaarlijks<sup>3</sup> ingemeten t.o.v. de P-bout (nulpaal), maar wordt, mits toegankelijk, net als de P-bout tijdens zowel de primaire als de secundaire waterpassing ingemeten.
2. B0-correctie: het instrument wordt verplicht bij een afwijking van 6 mm bijgesteld, bij 1-6 mm afwijking is dit niet verplicht en hangt dit van de monteur af. De afwijking en eventuele correctie<sup>4</sup> worden genoteerd in pdf-bestanden.
3. Afronding B0-correctie bij 6 mm afwijking, de meetreeks wordt hierbij met 1 cm aangepast.

Omdat deze onzekerheden onafhankelijk van elkaar zijn, kunnen de standaardafwijkingen van de onzekerheden gesommeerd worden. Daarnaast zijn er verschillen in de nauwkeurigheid van de bepaalde hoogten van NAP-merken. De standaardafwijking van de nieuwe hoogten van het primaire net bedragen voor merken op korte afstanden van Amsterdam ongeveer 2 mm en deze lopen op tot ongeveer 4 mm aan de randen van Nederland (afstand van circa 200 km). Daarnaast kunnen in de periode van 10 jaar (meetfrequentie NAP) ook regionale en lokale bodembeweging en een eventuele andere verstoring van een peilmerk plaatsvinden. Plekken met een relatief grote standaardafwijking bevinden zich met name in het Waddengebied, Zeeland en Limburg (Figuur 8). In Groningen en Friesland zijn de meeste primaire merken gedegradeerd tot secundaire merken, omdat olie-, gas- en zoutwinning hebben geresulteerd in onstabiele merken. Figuur 8 laat daarom een leeg gebied zien voor grote delen van Friesland en Groningen. Voor hoofdgetijdenstation Delfzijl is dit relevant omdat de bijbehorende peilmerken dus als secundair merk worden behandeld.



Figuur 8: Standaardafwijking van de nieuwe hoogten van het primaire net (Brand et al., 2004).

Fouten (voor zover niet geëlimineerd) leiden tot een onzekerheid in de metingen die wordt gepresenteerd door middel van een standaardafwijking van de metingen. Voor secundaire metingen is deze standaardafwijking groter dan voor primaire metingen. Dit komt doordat er bij

<sup>3</sup> Op basis van HKV, 2021 waarin aanbevolen werd om jaarlijks de m-bout ten opzichte van nulpaal in te meten zijn in 2021 de hoogtes van m-bouten gecontroleerd in afzonderlijke metingen.

<sup>4</sup> Voor de hoofdgetijdenstations zijn er geen B0-correcties uitgevoerd in de periode 2015-2020. Voor de periode hiervoor dient dit nader te worden uitgezocht.

secundaire metingen minder maatregelen worden genomen om fouten te voorkomen/eliminieren. De standaardafwijking wordt deels veroorzaakt door het meetinstrument (nauwkeurigheid), maar voor een deel ook door het netontwerp. Gezamenlijk leidt dit tot de uiteindelijke nauwkeurigheid van de gemeten hoogtes. Een uitwerking van de doorwerking van B0-correctie en A0-correctie in de waterstand is opgenomen in HKV (2021).

### 3.2.2 GNSS-referentiesysteem

#### Verticale bodembewegingen

De positie van een GNSS-antenne kan met de tijd veranderen door verticale bodembewegingen. Hierbij kunnen, afhankelijk van het bodembewegingsproces, bewegingssnelheden variëren van enkele millimeters per eeuw tot meerdere centimeters per jaar. Ook de horizontale positie van een GNSS-antenne verandert met de tijd, aangedreven door de beweging van tektonische platen. Dit gaat om verplaatsingen van enkele millimeters per jaar (vergelijkbaar met de snelheid van groeiende nagels). De metingen worden verder beïnvloed door beweging van de antenne onder invloed van temperatuur, onderhoud en beweging van het getijdenstation zelf (bijvoorbeeld scheefzakken van het getijdenstation).

#### Referentiesystemen

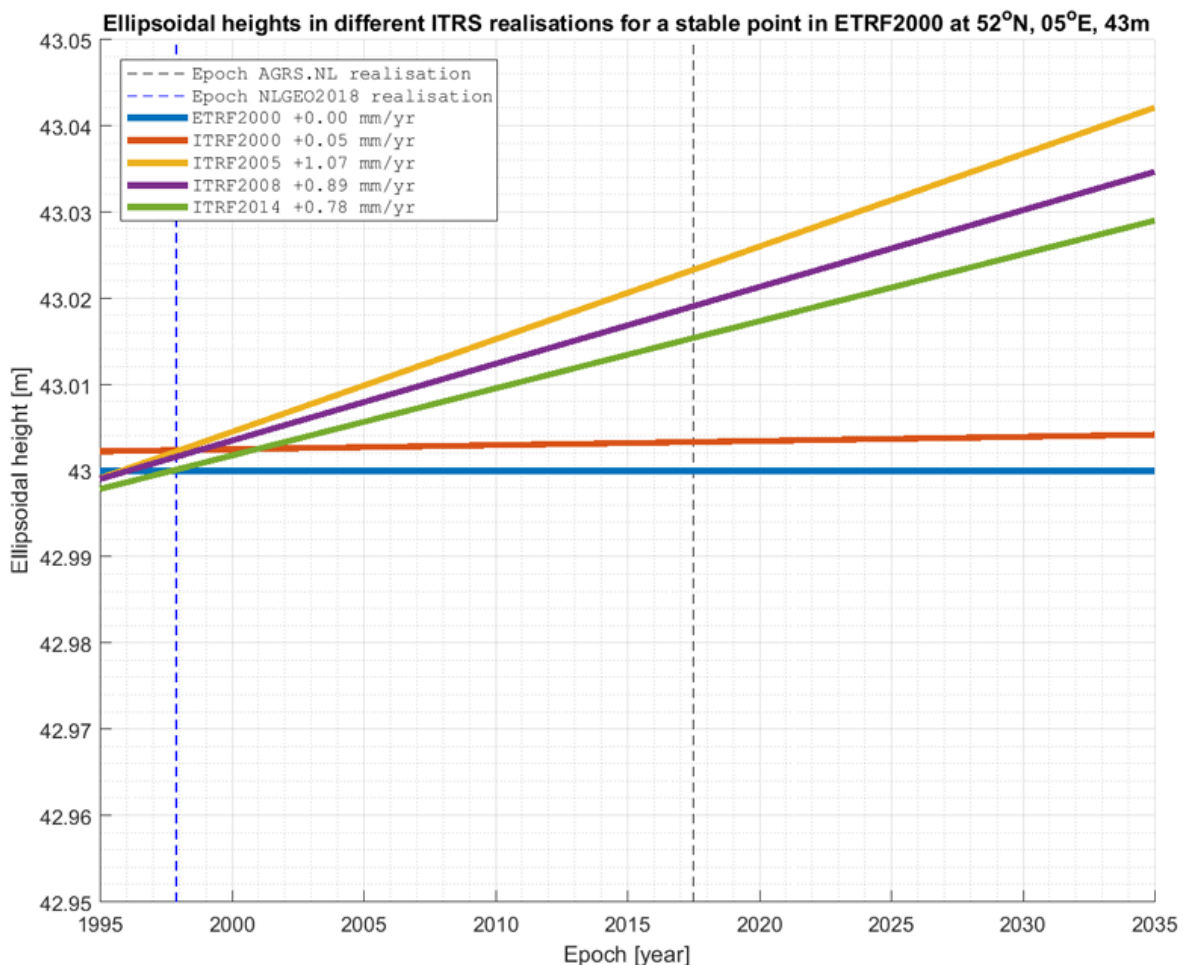
De verschillende (geodetische of landmeetkundige) referentiestelsels worden gezamenlijk de geometrische infrastructuur genoemd. Sinds 1930 is de geometrische infrastructuur in Nederland gescheiden bijgehouden, waarbij het Kadaster verantwoordelijk is voor het RD-stelsel en Rijkswaterstaat verantwoordelijk is voor het NAP-stelsel. Deze splitsing in verantwoordelijkheden komt voort uit de verschillende doelen van de desbetreffende diensten, namelijk het vastleggen van kadastrale grenzen in een referentiesysteem en het referentiesysteem voor waterbeheer. De technieken van triangulatie en waterpassen verschillen en de resulterende referentiestelsels zijn los van elkaar zijn ingericht. Dit was geen probleem tot de komst van satellietmetingen, omdat met Global Positioning System (GPS) zowel de ligging als hoogte gemeten kan worden. Voor de vastlegging van de GPS meting wordt een driedimensionaal referentiesysteem gebruikt, waarvan er diverse bestaan (NCG, 2005). Onderstaand lichten we enkele van deze driedimensionale referentiesystemen uit.

Het Actief GNSS Referentiesysteem voor Nederland (AGRS.NL) vormt de operationele basis van de geometrische infrastructuur van Nederland. Het AGRS.NL koppelt de Nederlandse referentiestelsels (RD en NAP) aan internationale referentiestelsels zoals ITRS en het Europese referentiesysteem ETRS (Buren en Huisman, 2012).

Het International Terrestrial Reference System (ITRS) is een wereldwijd referentiesysteem en speelt een belangrijke rol bij het analyseren van de geodynamica van de aarde. ITRS is minder praktisch voor georeferentie in Europa, omdat rekening moet worden gehouden met tijdsafhankelijke coördinatentransformaties vanwege de verschuiving van Europa door plaattektoniek. Daarom is in 1989 naast het internationale referentiesysteem (ITRS) ook het Europese referentiesysteem (ETRS) ingevoerd. Op tijdstip 1989.0 komen de posities in ETRS89 en ITRS89 overeen. Met transformatiesformules kunnen posities en snelheden omgerekend worden tussen de referentiesystemen (NCG, 2005).

Ditzelfde geldt voor ETRF2000. Dit systeem is gebaseerd op ITRF2000 en het bijbehorende 'plate-velocity' model voor Europa. Inmiddels is ook ITRF2014 beschikbaar, waarbij ten opzichte van

ITRF2000 de 'plate-velocity' voor Nederland met 1 mm/jaar veranderd is. Dit betekent dat berekeningen van de verticale bodembeweging van GNSS-stations in Nederland een andere uitkomst zullen hebben als gebruik gemaakt wordt van ETRF2000 of van ITRF2014 (Figuur 9). Dit verklaart het verschil tussen verticale bodembewegingen voor AGRS-stations (op basis van ETRF2000) zoals berekend door de Nederlandse Samenwerking Geodetische Infrastructuur (NSGI) of door het NGL (op basis van ITRF2014). De NSGI heeft als doel het faciliteren van goede geodetische infrastructuur, waarvoor binnen Europa afgesproken is om van ETRF2000 gebruik te maken. Deze keuze is voornamelijk op basis van de horizontale beweging gemaakt terwijl vanuit de geologische processen de verticale snelheden relevanter zijn. Voor deze verticale snelheden komt de 'plate-velocity' van ITRS2014 beter overeen met de snelheden die volgen uit waterpassingen.



Figuur 9: Duiding van verschillen in ITRF-realisesaties en 'plate-velocity' (Huisman, 2018)

### Nederlandse GNSS-stations, tijdseries en snelheden

De GNSS-stations die de NSGI beheert, worden gebruikt voor het AGRS.NL en NETPOS. De tijdseries die de NSGI beschikbaar maakt worden berekend met de Bernese software<sup>5</sup>. Met deze tijdreeksen kunnen coördinaten worden vastgesteld voor plaatsbepaling in Nederland. Die procedure is als volgt:

1. Bereken dagoplossingen in de actuele ITRS-realisesatie (ITRF2005 / ITRF2014 etc.).

<sup>5</sup> Bernese GNSS Software BORIS DOI: 10.7892/boris.72297, URI: <https://boris.unibe.ch/id/eprint/72297>

2. Bereken een gemiddelde oplossing in de ITRS-realisatie voor de periode van interesse met de aanname dat de stations lineair bewegen in ITRS.
3. Om coördinaten voor referentiestations te bepalen in ETRF2000 wordt het resultaat in de ITRS-realisatie getransformeerd naar ETRF2000.

### 3.2.3 Vergelijking gemodelleerde en gemeten (GNSS) verticale landbeweging

Voor GNSS-apparatuur zijn de (hoofd)getijdenstations langs de Nederlandse kust beschouwd. Vanwege onvolledige funderingsgegevens wordt voor de getijdenstations verondersteld dat de funderingsdiepte van het peilschaalhuis gelijk is aan de funderingsdiepte van de NAP-meetpaal bij het station. De tabel hieronder bevat de gegevens van deze stations<sup>6</sup>:

Getijdenstation + marker nummer	Plaatsing GNSS-apparatuur	Plaatsing	Ontvanger & Antenne	Netwerk	Verskil in gemodelleerde geologische en gemeten <sup>7</sup> verticale landbeweging (cm/eeuw) <sup>8</sup>
<b>Hoofdgetijdenstations</b>					
Delfzijl (13547M001)	DELZ 0 0 NLD sinds augustus 2022	peilschaalhuis	TRIMBLE ALLOY, TRM159900.00	AGRS.NL,TG	Nog niet beschikbaar
	DZYL 0 0 NLD sinds september 2005	RWS gebouw nabij peilschaalhuis	TRIMBLE NETR9, LEIAR20	NETPOS	44.29 ± 5.77
Den Helder (13549M001, DHEL 0 0 NLD)	Sinds juni 2022	peilschaalhuis	LEICA GR50, LEIAR20	AGRS.NL,TG	Nog niet beschikbaar
Harlingen (13548M001, HARL 0 0 NLD)	Sinds juni 2022	peilschaalhuis	LEICA GR50, LEIAR20	AGRS.NL,TG	Nog niet beschikbaar
Hoek van Holland (13546M001)	Sinds mei 2021	peilschaalhuis	LEICA GR50, LEIAR20	AGRS.NL,TG	Ontbreekt in overzicht
	Sinds juni 2006 tot mei 2021	RWS gebouw (verplaatst)	LEICA GR50, LEIAR20	NETPOS	7.80 ± 5.48
IJmuiden (13537M001, IJMU 0 0 NLD)	Sinds december 2004	peilschaalhuis	TRIMBLE NETR9, LEIAR25.R4	EPN,AGRS.NL	8.24 ± 5.77
Vlissingen (13538M001, VLIS 0 0 NLD)	Sinds november 2006	peilschaalhuis	LEICA GR50, LEIAR25.R4	EPN,AGRS.NL	-1.23 ± 5.29

<sup>6</sup> Het meest complete overzicht van de stations is te raadplegen via: <https://www.nsgi.nl/gnss>. Andere sites die een overzicht van de GNSS-stations bevatten zijn: <https://gnss1.tudelft.nl/dpga/station/index.html> en <https://www.sonel.org/-GPS-.html>. Echter ontbreekt een deel van de Nederlandse stations binnen deze overzichten.

<sup>7</sup> Overgenomen uit Deltares (2022) o.b.v. gemeten snelheid van landbeweging door NGL (2022).

<sup>8</sup> Het verschil tussen de gemodelleerde snelheid van geologische verticale bodembeweging en de voor de GNSS-stations gemeten verticale bodembeweging is bepaald in de Bodemdalingsmonitor 2022 (Nouguès, 2022). Als een station niet goed gefundeerd is in de Pleistocene afzettingen, meet deze ook bodemdaling in het Holocene pakket en zal de gemeten bodemdaling daarom hoger zijn dan de geologische bodemdaling.

Getijdenstations					
Ameland (13540M001, AMEL 0 0 NLD)	Sinds juni 2014	Rijkswaterstaat gebouw	TRIMBLE NETR9, LEIAR25.R4	AGRS.NL	-3.32 ± 8.01
Maassluis (13550M001)	Sinds april 2023	peilschaalhuis	SEPT POLARX5, SEPCHOKE_B3E6	TG	Ontbreekt in overzicht
Schiermonnikoog (13541M001, SCHI 0 0 NLD)	Sinds september 2005	Gebouw Wetterskip Fryslan	LEICA GR50, TPSCR.G3	AGRS.NL	3.64 ± 5.99
Texel (13542M001, TXE2 0 0 NLD)	Sinds september 2005, huidige instrument sinds juni 2014	peilschaalhuis	TRIMBLE ALLOY, LEIAR25.R4	AGRS.NL	-0.50 ± 8.21
West-Terschelling (13534M001, TERS 0 0 NLD)	Sinds oktober 1996	mast direct naast het peilschaalhuis	SEPT POLARX5E, LEIAR25.R4	EPN,AGRS.NL	-1.17 ± 5.14
Vlieland (13539M001, VLIE 0 0 NLD)	Sinds november 2000	RWS gebouw in de buurt van peilschaalhuis	LEICA GR50, TPSCR.G3	AGRS.NL	2.83 ± 6.89

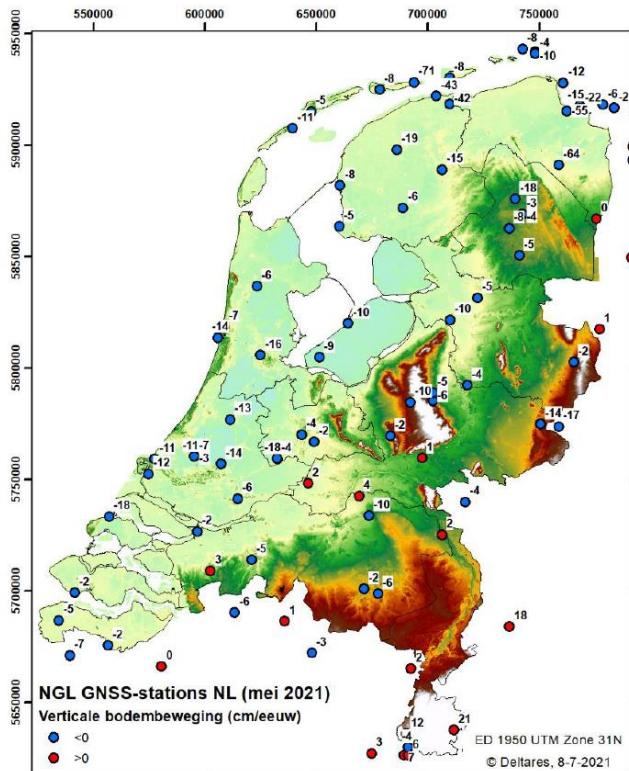
Voor de gemeten verticale bodembeweging geldt hoe langer de meetreeks, hoe nauwkeuriger de bodembeweging gemeten kan worden omdat de snelheden laag zijn en reeksen minimaal 10 jaar lang moeten zijn om de bodemdalingstrend nauwkeurig vast te kunnen stellen (Hijma et al. 2019). Toch zijn er aanzienlijke verschillen in bodemdaling tussen GNSS-stations, ook tussen stations die dicht bij elkaar gelegen zijn (Figuur 10). Deze verschillen kunnen niet verklaard worden op basis van verschillen in geologische bodemdaling, maar moeten het gevolg zijn van verschillen in fundering. Voor de meeste stations is de gemeten bodembeweging groter dan de gemodelleerde bodembeweging.

Voor de GNSS-stations geldt dat met de aanleg van de meeste AGRS/NETPOS-stations nooit rekening is gehouden met het uitvoeren van bodemdalingsonderzoek. Daarom zijn niet van alle stations de funderingsdieptes bekend. Het is niet mogelijk om vast te stellen of de verschillen tussen de gemodelleerde en de gemeten bodembewegingsreeksen veroorzaakt worden door verschillen in funderingsdieptes of door zowel ondiepe als geologische bodembewegingen indien de funderingsdiepte ontbreekt. Daarnaast geldt voor de stations die in gaswinningsgebieden liggen dat de gemodelleerde geologische bodembeweging gecorrigeerd moet worden met de daling door de aardgaswinning (Nouguès, 2022).

Om de daling door gaswinning in Groningen beter in kaart te brengen, heeft de NAM<sup>9,10</sup> 30 Integrated Geodetic Reference Stations (IGRS-stations) geplaatst in 2018. Deze meetapparaten zijn voorzien van zowel GNSS-antennes en InSAR-reflectoren, om op deze manier continu de bodemdaling van het Groningen-gasveld te monitoren.

<sup>9</sup> <https://www.nam.nl/nieuws/2018/nam-plaatst-30-gps-antennes.html>

<sup>10</sup> <https://www.nam.nl/nieuws/2019/nam-rapporteert-bodembeweging-gebied-de-wijk.html>



Figuur 10: Overzichtskaart van de bodembeweging [cm/eeuw] voor GNSS-stations die al langer dan 10 jaar de bodemligging meten. De achtergrondkaart is de AHN-hoogtekaart van Nederland. Let op: de funderingsdieptes van de GNSS-stations kunnen verschillen en deze zijn nog onbekend.

### 3.3 Correcties en ontsluiten data

#### 3.3.1 Bodemdaling

##### Waterpassingen - Huidige methodiek

##### Waterpassingen - Data correcties

In de huidige situatie worden de waterstandsmetingen en de trendanalyses uitgevoerd binnen het NAP-referentievlak. Jaarlijks wordt de B0-verificatie uitgevoerd. Deze data is beschikbaar, maar doorgaans in PDF-format. Er wordt nog gewerkt aan een digitale ontsluiting van deze gegevens, waarbij de aannemer de data bijvoorbeeld in XML-bestanden moet toeleveren.

Voor elke B0-verificatie wordt vervolgens door Rijkswaterstaat CIV gecontroleerd of een datacorrectie toegepast moet worden. Dit is het geval indien de verstelling van de vlotter meer dan 6 mm was. De datacorrectie wordt lineair uitgevoerd over de periode tussen de B0-verificaties, dus over één jaar. Naast de B0-verificatie kan bij regionale waterpassingen een correctie van de hoogte ten opzichte van NAP worden vastgesteld voor een peilmerk.

##### Waterpassingen - Data ontsluiting

Deze waarde wordt dan via NAPinfo ontsloten. Dit is in het verleden qua verantwoordelijkheden en communicatieproces niet goed verlopen, omdat het niet tijdig bij de juiste persoon bekend was dat een nieuwe waarde voor een NAP peilmerk in Delfzijl was vastgesteld. Daarom is gewerkt aan een oplossing waarbij de Ultimo Configuratie Tool automatisch geüpdatete waarden uit NAPinfo synchroniseert. Bij een wijziging wordt de aannemer gevraagd om een B0-correctie uit te voeren.



## GNSS-metingen - Toekomstige alternatieve methodiek

### GNSS - Data correcties

Voor het verkrijgen van een betrouwbare meetreeks van GNSS-metingen is een meetperiode van minimaal 10 jaar nodig (Hijma et al., 2019). Indien dit het geval is, kunnen gemeten en gemodelleerde waarden met elkaar vergeleken worden om beter inzicht te krijgen in de langzame verticale bodembewegingsprocessen. Dit wordt gedaan, omdat in de gemeten verticale bodembeweging op dit moment nog onzekerheden zijn vanwege de variërende funderingsdiepte. Indien de resultaten van de meetreeks betrouwbaar worden bevonden, kan deze manier van bodemdaling meten toegepast worden voor het analyseren van de zeespiegel trends.

De NSGI is verantwoordelijk voor het geometrische referentiesysteem in Nederland. De GNSS-data is beschikbaar in Receiver Independent Exchange Format (RINEX). Dit is een standaardformaat voor ruwe data en is los toepasbaar voor verschillende typen aangesloten apparatuur. De controle van de data gebeurt deels op dagelijkse, deels op onregelmatige basis. Op dagelijkse basis worden de GNSS-stations gecontroleerd middels een dagoplossing om de ETRF2000-coördinaten te controleren van de stations. Dit gebeurt met Bernese GNSS Software<sup>11</sup> op basis van snelle analyses, waarbij effecten als variatie in druk ten gevolge van getij niet worden meegenomen. Voor standaardmonitoring volstaat dit, maar niet voor het berekenen van nauwkeurige tijdsreeksen van bodembewegingen. Voor deze tijdreeksen, waarbij het vaak om niet meer dan één millimeter per jaar gaat, wordt daarom over langere tijd post-processing uitgevoerd.

Naast de controle worden dagoplossingen voor realisatie van het coördinatensysteem en bepalen van coördinaten gegenereerd (stappen vermeld in paragraaf 3.2.2). Dit is een post-processing methode op basis van IERS-conventies, IGS-en EUREF-richtlijnen met behulp van Bernese software. Dit gebeurt nu nog ad-hoc, maar gaat in de toekomst geautomatiseerd worden. Deze methodiek levert voor Nederland tijdreeksen met een hogere precisie dan de geautomatiseerde aanpak Median Interannual Difference Adjusted for Skewness (MIDAS). MIDAS wordt gebruikt door het Nevada Geodetic Laboratory (NGL). Op dit moment is binnen de Bodemdalingsmonitor aangesloten bij het referentiesysteem en de methodiek van NGL, omdat de resultaten met NGL met MIDAS beter aansluiten bij de berekende geologische bodemdaling en bij de daling volgend uit waterpassingen (Hijma, 2021). Echter is het voornaamste verschil het gebruikte referentiesysteem van de eindproducten van de NGL (ITRF2014) en NSGI (ETRF2000). De dagoplossingen die door het NSGI ontsloten worden zijn wel in ITRF2014. Deze dagoplossingen zijn het meest nauwkeurig voor de Nederlandse stations. Op basis van deze dagoplossingen moet de verticale snelheid worden bepaald.

Hoogte wordt in Nederland uitgedrukt ten opzichte van NAP. Om GNSS-hoogten uit te drukken in het NAP-systeem wordt een quasi-geoïde gebruikt. De omrekening kan systematische afwijkingen geven, wat betekent dat een bepaald punt een andere NAP-hoogte kan krijgen op basis van waterpassing, dan op basis van een naar NAP-omgerekende GNSS-meting. Om het NAP-vlak te controleren en de systematische verschillen tussen hoogten uit waterpassing en GNSS-metingen te verbeteren is mogelijk een 6<sup>e</sup> nauwkeurigheidswaterpassing nodig.

---

<sup>11</sup> Bernese GNSS Software BORIS DOI: 10.7892/boris.72297, URI: <https://boris.unibe.ch/id/eprint/72297>

## GNSS – Data ontsluiting

GNSS-informatie over de stations en de ruwe satellietdata (RINEX bestanden) kan worden ingewonnen via:

- <https://gnss1.tudelft.nl/dpga/station/index.html>
  - Beheerder / financiering: Delft University of Technology (DEOS) – Hans van der Marel
  - Doel: Het hoofddoel van het Dutch Permanent GNSS Array (DPGA), bestaande uit 18 operationele GPS ontvangers in Nederland i.c.m. een data center, is om GNSS data te ontsluiten aan International GNSS Service (IGS), EUREF Permanent GNSS Network (EPN), EUMETNET GPS water vapour programme (E-GVAP), nationale en internationale projecten en om onderzoek en onderwijsdoeleinden te ondersteunen.
  - Opmerking: Op deze website ontbreken de stations die alleen voor NETPOS worden gebruikt. Daarnaast staan op deze website ook stations die niet door de NSGI beheert worden, zoals Maassluis en Zegveld.
- <https://www.nsgi.nl/gnss-datacentrum/stations>
  - Beheerder / financiering: Nederlandse Samenwerking Geodetische Infrastructuur (NSGI), bestaande uit een samenwerking tussen Kadaster, Rijkswaterstaat en de Dienst der Hydrografie van de Marine. Het is een partnerschap waarbij deze drie organisaties mensen en middelen bundelen voor de geodetische infrastructuur.
  - Doel: De NSGI streeft ernaar gebruikers in staat te stellen met actuele meettechnieken gebruik te kunnen maken van de informatie over de geodetische infrastructuur-informatie en toegang te bieden tot deze data.
- <https://www.sonel.org/-GPS-.html>
  - Beheerder / financiering:
  - Doel: SONEL streeft naar het leveren van hoogwaardige continue metingen van zee- en landniveaus aan de kust voor onderzoek naar lange termijn trends van de zeespiegel, maar bijvoorbeeld ook het kalibreren van satelliehoogtemeters. SONEL fungeert als het GNSS-gegevensverzamelingscentrum voor het Global Sea Level Observing System (GLOSS). Het werkt nauw samen met de PSMSL en het Sea Level Center (UHSLC) van de Universiteit van Hawaï door een geïntegreerd mondiaal observatiesysteem te ontwikkelen, dat zowel de getijdenmeter als de GNSS-databases met elkaar verbindt voor een dienstverlening gericht op de wetenschappelijke gemeenschap. Daarnaast fungeert het ook als interface met de wetenschappelijke gemeenschap voor Franse getijmetergegevens.

De portalen verschillen qua beschikbare informatie en gebruiksvriendelijkheid, maar ook bevatten ze niet allemaal alle GNSS-stations. Alleen de NSGI-website bevat een volledig overzicht van de stations die voor NETPOS worden gebruikt. Het dataportaal<sup>12</sup> waarmee de GNSS-data van het Kadaster normaal gesproken ontsloten wordt bestaat momenteel uit een lege structuur. Indien het portaal weer naar behoren functioneert, gaat de voorkeur uit naar het downloaden van de geautomatiseerde berekeningen van de tijdreeksen via dit portaal. Dit omdat de NSGI beter inzicht heeft op oorzaken voor lokale ruis voor een meetlocatie en daardoor in principe de meest betrouwbare dagoplossingen moet verkrijgen. Verder sluit de data aan bij de data die via Nevada Geodetic Laboratory<sup>13</sup> ontsloten wordt.

<sup>12</sup> <https://gnss-data.kadaster.nl/>

<sup>13</sup> <http://geodesy.unr.edu/NGLStationPages/stations/>

### 3.3.2 Waterstanden

De hoofdgetijdenstations hebben twee instrumenten om waterstanden te meten. De primaire sensor stuurt zijn data naar [waterinfo.rws.nl](https://waterinfo.rws.nl) (operationeel meetnet) en het Landelijk Meetnet Water (LMW) en de secundaire sensor dient als back-up. Als ook de tweede sensor faalt, terwijl de eerste sensor nog niet gerepareerd is, dan wordt op basis van omliggende stations de waterstand berekend. De waterstandsmeting wordt elke 10 seconden gedaan (ruwe data). Uit deze 10-secondenmetingen wordt een 10-minuten gemiddelde bepaald. Deze 10-minuten waarde is de waterstand die beschikbaar is. Deze 10-minuten waarde wordt dus in principe gebaseerd op 60 metingen. Als er minder dan 54 metingen zijn, wordt er geen gemiddelde waterstand berekend. Indien deze gemiddelde waterstand niet wordt berekend wordt er een missende waarde gerapporteerd. De ruwe data wordt niet bewaard. (HKV, 2021)

#### Operationele meetnet ([Waterinfo.rws.nl](https://waterinfo.rws.nl))

De waterstanden worden direct openbaar ontsloten via [waterinfo.rws.nl](https://waterinfo.rws.nl). Tot 28 dagen terug zijn de waterstanden in een grafiek af te lezen en te exporteren. Indien men voor een langere periode waterstanden wil downloaden kan deze worden opgevraagd via de "Download meer data" knop. Met deze functie wordt data opgevraagd uit DONAR (Data Opslag Natte Rijkswaterstaat). DONAR is een database van RWS, waarbij de data via een Data Distributie Laag (DDL) wordt ontsloten.

#### DONAR

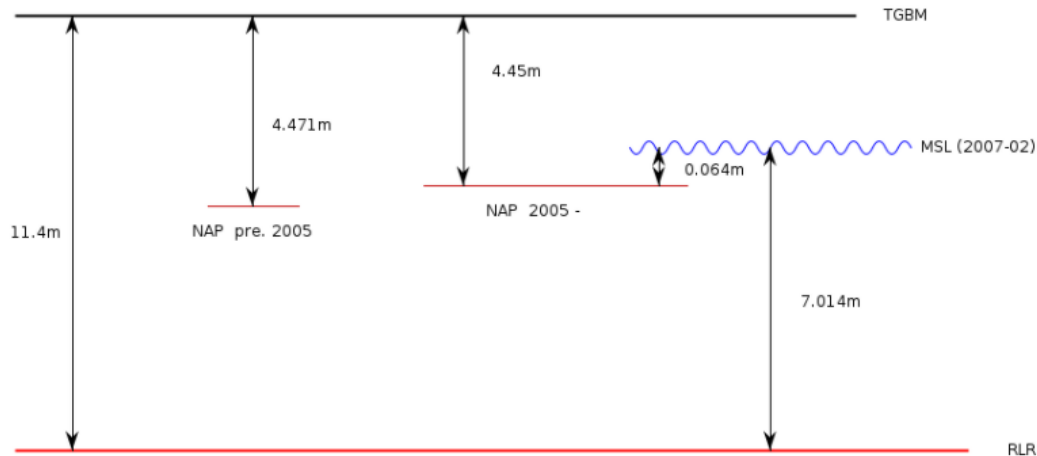
DONAR bevat waterstandsdata en een statuskenmerk. Voordat de data in DONAR worden opgenomen, wordt een eerste validatieslag binnen het Landelijk Meetnet Water (LMW) uitgevoerd. Hierbij worden missende waarden opgevuld met waardes van de back-up sensor of door middel van Multi Lineaire Regressie (MLR). Ook worden de waardes gecontroleerd ten opzichte van buurstations. Na twee dagen komen de metingen in de permanente database DONAR. Op de gegevens in DONAR kunnen nog correcties worden toegepast. In 2021 werden alleen de gecorrigeerde reeksen opgeslagen. Toen is in HKV (2021) geadviseerd om naast de gecorrigeerde data ook de gemiddelde 10-minutenwaarde te bewaren, de maandelijkse trendanalyse correctiereeksen, de jaarlijkse B0-correctiereeksen en de NAP-correctiereeksen. Daarnaast was ook aanbevolen om de DONAR-statussen uit te bereiden. Rijkswaterstaat werkt hard aan de overgang van DONAR naar WADAR, waardoor er onvoldoende tijd beschikbaar was om de aanbevolen wijzigingen door te voeren in DONAR. Wel is gewerkt aan het opstellen van correctiereeksen, maar deze zijn nog niet ontsloten. De overgang van DONAR naar WADAR wordt op zijn vroegst eind 2024 verwacht. Met deze overgang zouden de waterstandsdata niet meer via de helpdesk van RWS opgevraagd hoeven te worden, maar direct via de webservices te downloaden zijn<sup>14</sup>. Binnen WADAR wordt wel gewerkt aan het bijhouden van de verschillende correcties (maandelijkse trendanalyse correctiereeksen, de jaarlijkse B0-correctiereeksen, NAP-correctiereeksen) en statussen (Persoonlijke communicatie RWS, 2023).

#### PSMSL

Binnen het takenpakket van het RWS-CIV-IGA-DMC behoort de taak om jaarlijkse gemiddelde waterstanden van de hoofdgetijdenstations en de getijdenstations Roompot Buiten, Maassluis, West-Terschelling, Brouwershavense gat 8 en Haringvliet 10 naar de Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) te sturen. Deze PSMSL-data vormt op dit moment de invoer van de Zeespiegelmonitor. Naast het jaarlijks delen van de data is de timing van het delen van data relevant vanwege eventuele correcties. In HKV (2021) is daarom geadviseerd om de data na de

<sup>14</sup> Dit is op dit moment wel mogelijk via een package die Deltares heeft geschreven voor de packages voor het raadplegen van de webservice (DDL) van RWS.

jaarlijkse B0-verificatie te delen. Daarnaast moet data na een latere correctie opnieuw met PSMSL gedeeld worden. Of dit (altijd) gebeurt is onduidelijk en moeten worden gecontroleerd. Daarnaast moet ook de historische data uit PSMSL vergeleken worden met de data uit DONAR om te achterhalen of correcties uit het verleden zijn doorgevoerd. Indien mogelijk is het handig om dit te combineren/ aansluitend uit te voeren met het project Kenmerkende Waarden Kust, wat in de eerste helft van 2024 afgerond moet worden. In dit project wordt een controle uitgevoerd voor de DONAR-data.



*Figuur 11: Revised Local Reference (RLR) Diagram for IJmuiden uit HKV (2021)*

De PSMSL-data wordt ontsloten in millimeternauwkeurigheid. De data wordt hier ontsloten ten opzichte van een Revised Local Reference (Figuur 11), die ongeveer 7.000 mm onder gemiddeld zeeniveau voor februari 2007 ligt. De keuze voor dit RLR-datum is gemaakt in het verleden om negatieve getallen in maand- en jaargemiddelde te voorkomen. In het algemeen mogen alleen RLR-gegevens worden gebruikt voor tijdreeksanalyses. De uitzonderingen waarbij metrische-datareeksen gebruikt mogen worden zijn te vinden op de PSMSL pagina Revised Local Reference (RLR) Definition<sup>15</sup>. Voor IJmuiden is er een reductiegetal van 6,929 m voor de data van voor 2005 en een reductiegetal van 6,950 m voor de data van na 2005 gebruikt (PSMSL, 2020).

<sup>15</sup> Revised Local Reference (RLR) Definition pagina: <https://psmsl.org/data/obtaining/rlr.php>

## 4 Adviezen en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de adviezen en aanbevelingen voor het verbeteren van de werkwijze voor het inmeten van de hoofdgetijdenstations besproken. Het advies is specifiek gericht op:

- Data:
  - Publiekelijk beschikbaar, vindbaar, toegankelijk, robuust (uitgangspunt 50-100 jaar) en reproduceerbaar.
  - Beschikbaarheid en reproduceerbaarheid van metadata en correcties.
- Vaste en duidelijke protocollen voor koppeling GNSS aan NAP (zie ook HKV, 2020 & 2021).

De belangrijkste aanbevelingen zijn hieronder uitgesplitst per onderwerp. Voor het uitvoeren van aanbevelingen zal het noodzakelijk zijn om een werkgroep op te richten bestaat uit alle betrokken partijen.

### 4.1 Meetprocedures & nauwkeurigheid

#### 4.1.1 Metingen en nauwkeurigheid waterstanden

Aanbevolen wordt om:

- Jaarlijks niet alleen de vlotter- of het radarinstrumenten bij te stellen indien een afwijking van 6 mm wordt geconstateerd tussen het meetinstrument en de m-bout, maar ook jaarlijks de m-bout in te meten ten opzichte van de nulpaal.
- Ook bevelen wij aan om conform HKV (2021) jaarlijks het instrument te corrigeren indien de afwijking meer dan 2 mm is.
- Daarnaast werkt het Rijkswaterstaat-CIV aan een digitale omgeving om de bevindingen en correcties volgend uit een B0-verificatie direct in op te slaan. Deze omgeving maakt het mogelijk dat de betreffende aannemer die de B0-verificatie uitvoert de resultaten in digitale vorm aan het CIV toelevert, en dus gemakkelijk opgenomen kan worden in de nieuwe digitale omgeving. Dit draagt bij aan een robuustere werkwijze, waarbij de meetresultaten eenduidig worden gearchiveerd en ontsloten.

#### 4.1.2 Metingen en nauwkeurigheid bodemdaling

##### **Waterpassingen – Huidige methodiek**

Aanbevolen wordt om:

- Ten behoeve van de kwaliteitsborging van de waterstandsmetingen minimaal in de opstartfase van GNSS-metingen regionale waterpassingen nog altijd volgens de planperiodes uitvoeren om het vergelijken van data mogelijk te maken. Dit betreft dus niet het voorzetten van de huidige strategie, omdat in de huidige strategie de planperiodes los zijn gelaten en een prioritering op basis van InSAR plaatsvindt.
- Na de opstartfase ook nog regionale of NWP's uit blijven voeren om de statistische betrouwbaarheid van de aangenomen stabiele nulpaal te controleren. Daarnaast wordt op deze manier ook getoetst of het punt ten opzichte van de omgeving zich anders gedraagt, wat voor

de kustverdediging ook relevante informatie is. Zeker voor de hoofdgetijdenstations Harlingen en Delfzijl is deze informatie extra belangrijk.

- Jaarlijks naast de B0-verificatie voor de vlotter, ook de extra m-bouten in de hoofdgetijdenstations in te meten middels waterpassingen. Hiervoor bevelen we aan om deze data net als de resultaten van de B0-verificatie in een digitale omgeving te ontsluiten, zodat het CIV deze data niet handmatig hoeft te verwerken en de meetresultaten eenduidig worden gearhiveerd en worden ontsloten.
- Trendlijnen op basis van de waterpassingen voor deze extra muurbouten uitrekenen.

### **GNSS – Toekomstige alternatieve methodiek**

Aanbevolen wordt om:

- De bodembeweging op basis van GNSS-metresultaten vergelijken met de waterpassingsresultaten indien een zesde landelijke waterpassing uitgevoerd wordt. Indien geprioriteerd moet worden adviseren wij om als eerste naar station IJmuiden te kijken. Dit omdat de GNSS-resultaten voor IJmuiden een extreme bodemdaling laten zien (gemiddeld >10 cm/eeuw) die niet waargenomen wordt in het zeespiegelsignaal en ook veel groter is dan verwacht. Daarom is het belangrijk om te onderzoeken wat hier aan de hand is.

## **4.2 Correcties en ontsluiten data**

### **4.2.1 Bodemdaling**

#### **Waterpassingen - Huidige methodiek**

Aanbevolen wordt om:

- De data van de B0-verificatie zo snel mogelijk digitaal te ontsluiten en de eventuele correctiereeks te bewaren. De datacorrectie wordt lineair uitgevoerd over de periode tussen de B0-verificaties, dus over één jaar.
- Gebruik te blijven maken van de nieuwe Ultimo Configuratie Tool om automatisch nieuwe waarden uit NAPinfo te synchroniseren en miscommunicaties hierover te voorkomen.

#### **GNSS-metingen – Toekomstige alternatieve methodiek**

Aanbevolen wordt om:

- Op dit moment voor de *Bodemdalingsmonitor* gebruik te maken van de resultaten van de Nevada Geodetic Laboratory (NGL) aangezien deze methodiek tot nu toe het beste aansluit bij de berekende geologische bodemdaling en bij de daling volgend uit waterpassingen. Op termijn zou het wenselijk zijn om gebruik te maken van de berekende dagoplossingen in de actuele ITRS-realisatie die door de NSGI ontsloten worden. De NSGI maakt gebruik van een post-processing methode op basis van IERS-conventies en IGS- en EUREF-richtlijnen met behulp van Bernese software. Dit levert voor de Nederlandse stations het minste ruis in de dagoplossingen op. Deze dagoplossingen moeten echter nog wel omgezet worden naar een verticale snelheid. Het software programma Hector (Bos e.a., 2013) is hiervoor een veel gebruikt pakket, maar geadviseerd wordt om nader onderzoek te doen of dit ook het meest geschikte pakket is.
- Het berekenen van de verticale snelheden bij experts van Deltares of RWS-CIV te beleggen, aangezien de doelen van het in kaart brengen van de geologische bodembewegingen zeer sterk afwijken van de doelen en precisie van geodetische infrastructuur waarvoor het NSGI verantwoordelijk is.

- De berekende bodemdalingstrends te verifiëren met waterpassingen. Bij de waterpassingen moeten de extra m-bouten in de muur bij de getijdenstations met GNSS-apparatuur ook worden ingemeten om eventuele verzakkingen van de GNSS-antenne zo goed mogelijk in beeld te brengen.
- Voor de *Bodemdalingsmonitor* en de *Zeespiegelmonitor* de geautomatiseerde berekeningen van de tijdreeksen te downloaden via het dataportaal van de NSGI waar GNSS-data mee wordt ontsloten. Vereist is hiervoor dat dit portaal weer naar behoren functioneert. Dit omdat de dagoplossingen die hier gedownload kunnen worden aansluiten bij de data die via Nevada<sup>16</sup> ontsloten wordt. Daarnaast heeft de NSGI beter inzicht in de oorzaken voor ruis voor een meetlocatie. Hierdoor kan lokale ruis bij dagoplossingen in principe beter worden verholpen.

## 4.2.2 Waterstanden

### DONAR/WADAR

Aanbevolen wordt om:

- De adviezen uit HKV (2021) die nog niet zijn doorgevoerd, alsnog door te voeren. In 2021 werden alleen de gecorrigeerde reeksen opgeslagen. In HKV (2021) is geadviseerd om naast de gecorrigeerde data ook de gemiddelde 10-minutenwaarden, de maandelijkse trendanalyse correctiereeksen, de jaarlijkse B0-correctiereeksen en de NAP-correctiereeksen te bewaren. Ook werd aanbevolen om de DONAR-statussen uit te breiden. Deze wijzigingen zijn nog niet doorgevoerd. Wel is er gewerkt aan het opstellen van correctiereeksen, maar deze zijn nog niet ontsloten. Dit komt omdat er parallel gewerkt wordt aan de overgang van DONAR naar WADAR. Deze overgang stond al eerder op de planning, maar wordt op dit moment op zijn vroegst eind 2024 verwacht. Met deze overgang zou de waterstandsdata gemakkelijker en sneller te downloaden moeten zijn. Daarnaast wordt binnen WADAR wordt gewerkt aan het bijhouden van de correcties en statussen.
- Prioriteit te stellen aan het correct doorvoeren van de adviezen met betrekking tot het ontsluiten van de data middels WADAR.

### PSMSL

Aanbevolen wordt om:

- Naast het delen van de jaarlijkse gemiddelde waterstanden ook een latere correctie opnieuw met PSMSL te delen. Of dit gebeurt moet worden nagevraagd en indien dit niet gebeurt, moet dit alsnog geleverd worden.
- Een vergelijking te maken tussen data uit DONAR en PSMSL. Hierbij wordt aanbevolen om de planning van het project Kenmerkende Waarden Kust te beschouwen om te kijken of er meekoppelkansen zijn om dubbel werk te voorkomen.

## 4.2.3 Robuustheid ontsloten data en data-archivering

Ten behoeve van de Zeespiegelmonitor worden op dit moment de zeewaterstanden via PSMSL ingewonnen. Aanbevolen wordt om:

- Zodra WADAR operationeel is data via dit portaal te downloaden. Tot die tijd is DONAR het beste alternatief om data in te winnen.
- Correctiereeksen in WADAR te bewaren.

<sup>16</sup> <http://geodesy.unr.edu/NGLStationPages/stations/>

- Te zorgen dat eigen data op orde is en ontsloten wordt om daarmee onafhankelijk te zijn van internationale portals.
- Te zorgen dat alle relevante data voor het bepalen van bodemdaling en ZSS bij de hoofdgetijdenstations in één portaal staan en als selectie gemakkelijk ontsloten worden. Het gaat hierbij om nulpaalhoogtes, ruwe GNSS data (RINEX), GNSS-trends, bodemdalingsdata, absolute en relatieve ZSS-data.



## 5 Referenties

**Baart, F., Rongen, G., Hijma, M., Kooi, H., de Winter, R. & Nicolai, R., 2019.**

Zeespiegelmonitor 2018. De stand van zaken rond de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust.

**Bos, Bos, M.S., Fernandes, R.M.S., Williams, S.D.P., and Bastos, L., 2013.**

Fast Error Analysis of Continuous GNSS Observations with Missing Data. J. Geod., Vol 87(4), 351-360, doi:10.1007/s00190-012-0605-0.

**Brand, G., Damme, J., Brussel, G., Gerritsen, J. & Vliet, A., 2004.**

De waterpasmetingen van de 5<sup>e</sup> NWP. Rapportnummer AGI-GAP-2004-15.

**De Bruijne, A., Buren, J., Kösters, A., Marel, H. van der, 2005.**

Definitie en vastlegging van ETRS89, RD en NAP en hun onderlinge relaties. Nederlandse Commissie voor Geodesie 43, Delft, 2005.

**Deltares, 2020.**

Uitvraag Advies Zeespiegelmonitoring. Kenmerk:11205236-002-ZKS-0002

**Dillingh, D., Baart, F., & de Ronde, J. G. 2010.**

Definitie zeespiegelstijging voor bepaling suppletiebehoefte: rekenmodel tbv handhaven kustfundament.

**Groot, B., 2018.**

Landelijk Meetnet Water – Verbetervoorstel. 05- B0 m.b.v. kruislijnlaser. BAM Infra Verkeerstechniek bv Culemborg. In opdracht van RWS-CIV. Nummer: LMW-VV05-BGO.

**Hijma, M.P., Kooi, H., 2018a.**

Bodemdaling in het kustfundament en de getijdenbekkens, Deltares: 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: 11202190-001-ZKS-0001\_v1.0.

**Hijma, M.P., 2021.**

Bodemdalingsmonitor 2021 Kustfundament en getijdenbekkens

**HKV, 2020.**

Strategie voor monitoring van bodembewegingen bij de Nederlandse kust. Bodemdaling en relatieve zeespiegelstijging

**HKV, 2021.**

Werkwijze inmeten zeespiegelstand hoofdgetijdenstations. Huidige werkwijze en advies voor verbetering.

**Huisman, 2018.**

Nederlandse Samenwerking Geodetische Infrastructuur - GNSS ellipsoidal heights to LAT and NAP. What reference frame at what epoch?

**NCG, 2005.**

Definitie en vastlegging van ETRS89, RD en NAP en hun onderlinge relaties.

**Nouguès, 2022**

Bodemdalingsmonitor 2022 Kustfundament en getijdenbekkens. Bodemdaling en GNSS-stations.

**Rijkswaterstaat, 2024**

Normaal Amsterdams Peil (NAP) – Planning en controle van NAP-peilmerken. Geraadpleegd op 21-3-2024 via: <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/open-data/normaal-amsterdams-peil>.

**Stolte et al, 2022**

Zeespiegelmonitor 2022, W. Stolte, F. Baart, S. Muis, M.P. Hijma, M. Taal, D. Le Bars (KNMI) en S. Drijfhout (KNMI). Deltares rapport 11209266, 2023.





HKV lijn in water BV

**Locatie Lelystad**

Botter 11-29  
8232 JN Lelystad

**Locatie Delft**

Informaticalaan 8  
2628 ZD Delft

**Locatie Amersfoort**

Berkenweg 7  
3818 LA Amersfoort

0320 294242  
info@hkv.nl  
www.hkv.nl