

Meetregister bij het meetplan De Wijk/Wanneperveen
Rapportage van satelliet radar interferometrie
De Wijk/Wanneperveen 2024

10 september 2024

Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

Documentnummer: NAM EP202407228465

Samenvatting

In dit meetregister worden de actuele bodemdalingsmetingen van de gasvelden De Wijk en Wanneperveen gepubliceerd. Zij zijn gebaseerd op radarbeelden, die tussen 2009 en 2024 met de satellieten Radarsat-2 en Sentinel-1 zijn opgenomen en respectievelijk in 2018 en 2024 met de Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) techniek zijn geprocest. De resulterende deformatie tijdseries zijn op de locaties van bestaande peilmerken omgerekend en daar met de bestaande waterpassingen gecombineerd. Bij de combinatie wordt rekening gehouden met een stabiliteitsanalyse van waterpaspeilmerken en een representativiteitsclassificatie van InSAR meetpunten. Het resultaat zijn gecombineerde tijdseries uit vijfjaarlijkse waterpassingen tussen 1974 en 2019 en jaarlijks gemiddelde InSAR deformatie tussen 2009 en 2024.

Boven delen van het gasveld De Wijk is sprake van bodemdaling, echter in de orde van een centimeter of minder in vijf jaar. De InSAR resultaten komen binnen de nauwkeurigheidsmarges goed overeen met Global Navigation Satellite System (GNSS) metingen op vier continue stations. In een gebied rond de NAM-locaties De Wijk-24 en De Wijk-200 heeft tussen 2018 en 2020 een tijdelijke, lokaal beperkte bodemstijging van maximaal 15 mm plaatsgevonden.

Aanvullend is een stabiliteitsanalyse van waterpaspeilmerken uitgevoerd, waarin de peilmerken gebaseerd op historische waterpassingen als stabiel, deels stabiel of niet stabiel worden geclassificeerd. Deze classificatie helpt bij de interpretatie van de deformatie tijdseries evenals bij de beoordeling van de geschiktheid van het huidige waterpasnetwerk voor de monitoring van bodemdaling door delfstoffenwinning. Ook al is het streven, om in toekomstige meetregisters weer van de InSAR techniek gebruik te maken, een hernieuwde waterpassing blijft als terugvaloptie gewaarborgd. De hiervoor noodzakelijk geachte peilmerken zijn in het veld op aanwezigheid gecontroleerd. Er hoeven geen nieuwe peilmerken te worden bijgeplaatst.

Inhoudsopgave

1. Introductie	5
1.1. Keuze meettechniek	5
1.2. Beschikbaarheid meetgegevens	5
1.3. Leeswijzer	7
2. Stabiliteitsanalyse waterpasnetwerk	8
2.1. Methode	8
2.2. Resultaten	9
3. PS-InSAR	10
3.1. Puntselectie	11
3.2. Conversie naar de verticaal	12
3.3. Jaarlijks gemiddelde	12
3.4. Resultaten	12
4. Combinatie	15
4.1. Referentie in de ruimte	15
4.2. Aansluiting van tijdseries op elkaar	15
4.2.1. Inachtneming stabiliteitsanalyse waterpaspeilmerken	16
4.2.2. Meerdere tijdseries per peilmerk	16
5. Instandhouding waterpasnetwerk	17
5.1. Selecteren peilmerken	17
5.2. Peilmerkcontrole in het veld	17
5.3. Analyse	18
6. Conclusies en vooruitzichten	19
Bijlagen	20
A. Geleverde data	20
A.1. Differentiestaat InSAR	20
A.2. Gecombineerde differentiestaat	20
A.3. Stabiliteitsstaat	20
A.4. Kaart met hoogteverschillen	21
B. Vergelijking met GNSS	22
B.1. Tijdseries	22
B.2. Verklaring der tekens	24
C. Combinatie procedure	25
Referenties	27

1. Introductie

In dit meetregister worden de resultaten van satelliet radar interferometrie gerapporteerd, waarmee uitvoering wordt gegeven aan het gestelde in artikel 31, Mijnbouwbesluit 2002, met betrekking tot de uitvoering en rapportage van metingen overeenkomstig het goedgekeurde meetplan De Wijk/Wanneperveen 2024.

Het nu voorliggende rapport vormt het officiële en openbare ‘meetregister’ behorende bij het meetplan De Wijk/ Wanneperveen 2024. De gepubliceerde hoogteverschillen en deformatietijdseries geven alleen een indruk van de beweging van de meetpunten en diens omgeving. De bijdrage aan deze beweging van een enkele oorzaak en de relatie met maaiveld- en/of bodembewegingen kan men slechts afleiden met doelgerichte verdere analyses door ter zake deskundigen. Dergelijke analyses vallen buiten het kader van dit meetregister.

1.1. Keuze meettechniek

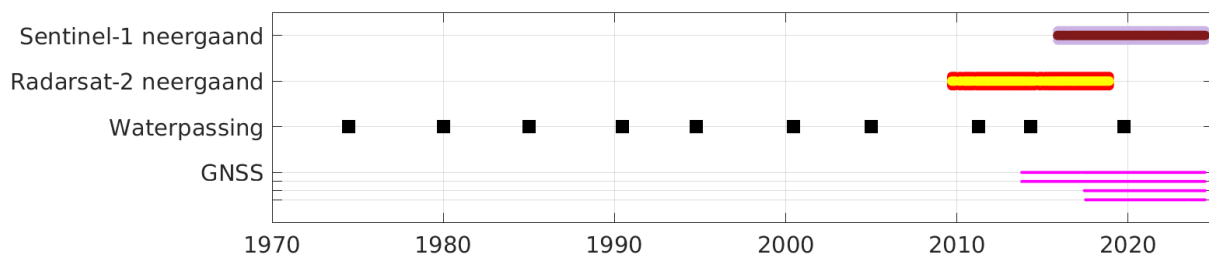
Tot en met het laatste meetregister van 2019 (NAM, 2020) is waterpassing als inwinningstechniek voor bodembewegingsmetingen boven de velden De Wijk en Wanneperveen gebruikt. In het voorliggende meetregister is voor het eerst voor PS-InSAR (Persistent Scatterer satelliet radar interferometrie) als meettechniek gekozen. Daarbij zijn de InSAR-waarnemingen dusdanig verwerkt, dat de op hoofdtrajecten naar 1974 teruggaande waterpas-tijdseries voor individuele peilmerklocaties door InSAR-metingen kunnen worden voortgezet.

InSAR heeft niet alleen het voordeel van minder veiligheidsrisico's, die bij het waterpassen door het verloop van waterpastrajecten langs wegen altijd aanwezig zijn. InSAR is door de veel hogere ruimtelijke dichtheid van meetpunten ook robuuster tegenover autonome beweging van individuele punten en maakt een betere selectie van representatieve meetpunten mogelijk. Dat InSAR qua nauwkeurigheid geschikt is voor de monitoring van bodemdaling door delfstofwinning is uit eerder gepubliceerde vergelijkingen met waterpassingen gebleken (NAM, 2018a, 2019b).

Dit meetregister is samengesteld in lijn met het Annex Meetplan Zuid-Holland 2019 (NAM, 2018b). Door middel van dit annex geeft NAM invulling aan de aspecten, die SodM van groot belang acht voor het monitoren van bodemdaling met PS-InSAR. De daarin beschreven procedures en kwaliteitsborgingen zijn voor de NAM generiek van toepassing op alle InSAR meetregisters, waarbij InSAR als hoofdtechniek ingezet kan worden voor het monitoren van bodemdaling. Deze houden in, dat de ruimtelijke verdeling van de waterpaspeilmerken geschikt moet blijven voor een toekomstige waterpassing als terugvaloptie op de historische meettechniek. Hieraan is invulling gegeven met een stabiliteitsanalyse en peilmerkcontrole in het veld.

1.2. Beschikbaarheid meetgegevens

Tussen 1974 en 2019 zijn boven de velden De Wijk en Wanneperveen regelmatige waterpassingen uitgevoerd met een herhalingsinterval van ongeveer vijf jaren. De hierop aansluitende InSAR-metingen zijn afkomstig van de satellietmissie Sentinel-1 (zie Figuur 1). Een enkele Sentinel-1 satelliet maakt eens in de 12 dagen een opname. Door de beschikbaarheid van twee Sentinel-1 satellieten tegelijk (2016 tot 2021 en naar verwachting weer vanaf 2025) wordt dit interval zelfs tot 6 dagen teruggebracht.

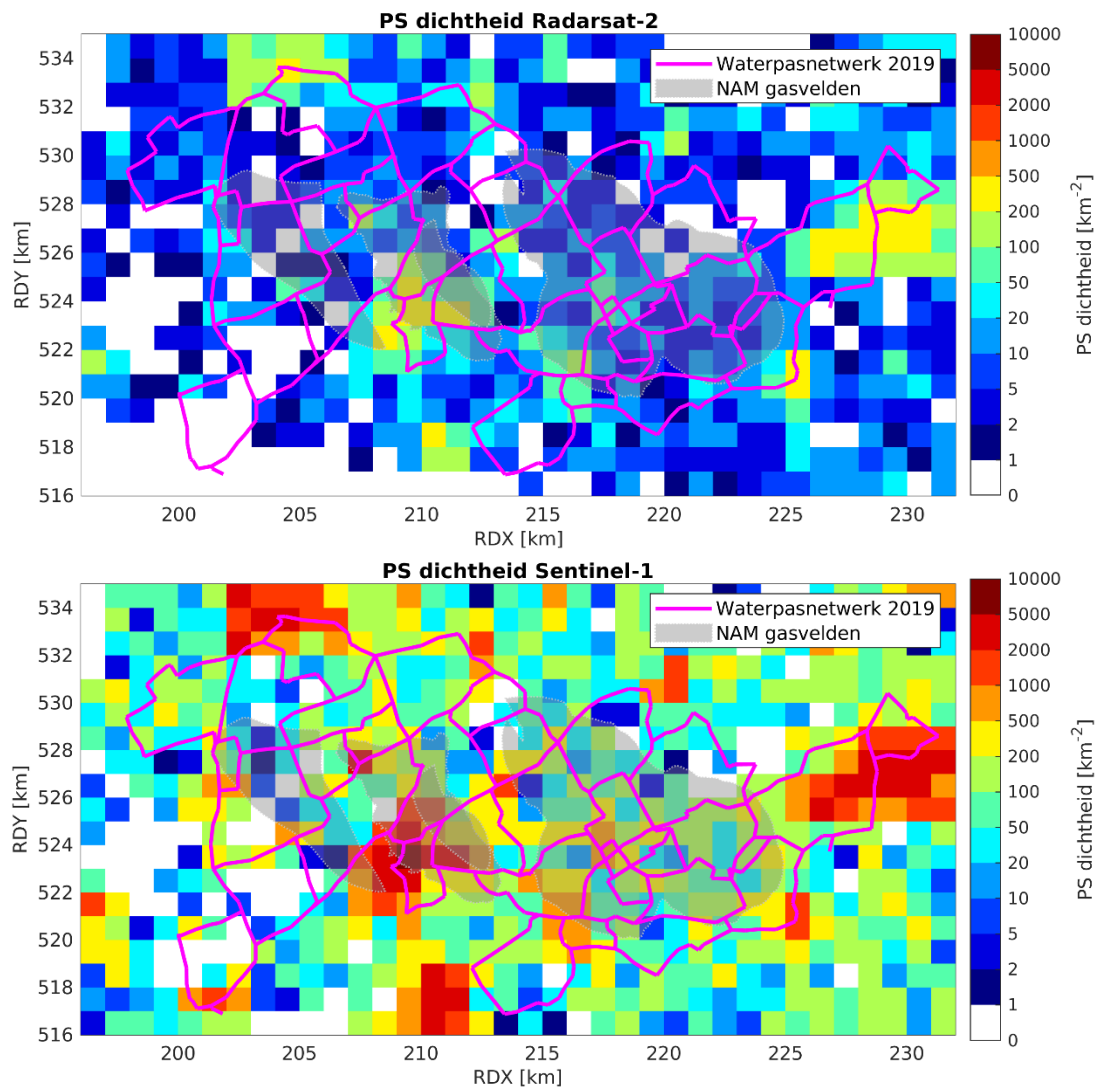


Figuur 1: Temporele bemonstering van satelliet opnames, tijdstippen van de waterpassingen en operationele tijdvakken van Global Navigation Satellite System (GNSS) stations.

De overlap van de Sentinel-1 tijdseries met de waterpassing van 2019 is op zich voldoende, om de historische meetreeks voort te zetten. De kwaliteit van de aansluiting kan echter worden verbeterd door ook gebruik te maken van Radarsat-2 data, die NAM in 2018 heeft laten processen en in het addendum bij het meetregister Noord-Nederland 2018 heeft gerapporteerd (NAM, 2019b). Deze dataset overlapt in de tijd met én de Sentinel-1 tijdseries én de waterpassingen van 2011 en 2014. In de ruimte is er overlap met het grootste deel van het rapportagegebied, waarbij de gasvelden in zijn geheel zijn bedekt. De Radarsat-2 dataset wordt in dit meetregister opnieuw gerapporteerd en gebruikt bij de voortzetting van de historische tijdseries.

De ruimtelijke dichtheid van InSAR-meetpunten in het rapportagegebied is met beide InSAR datasets boven de te monitoren gas- en olievelden voldoende (zie Figuur 2).

In het kader van het meet- en regelprotocol behorende bij het winninsplan De Wijk Fase 2 zijn vier continue Global Navigation Satellite System (GNSS) ontvangers geïnstalleerd: op de NAM locaties De Wijk-16 en De Wijk-26 sinds 2013 en op de NAM-locaties De Wijk-200 en Ten Arlo sinds 2017 (zie Figuur 1). De rapportage van GNSS-metingen valt buiten het kader van dit meetregister. Toch worden GNSS-tijdseries samen met tijdseries van de andere meettechnieken op dezelfde locaties in bijlage B getoond.



Figuur 2: Dichtheid van InSAR-PS voor Radarsat-2 (boven) en Sentinel-1 (beneden). Aangegeven wordt het aantal representatieve punten per vierkant van 1 km^2 , waarbij in paragraaf 3.1 is uitgelegd, wat onder representativiteit wordt verstaan.

1.3. Leeswijzer

De volgende hoofdstukken bevatten uitleg over de verwerking van de meetgegevens en gerelateerde analyses. De meetgegevens zelf zijn als bestanden bijgesloten. Een overzicht geeft bijlage A.

Een in het kader van dit meetregister uitgevoerde stabiliteitsanalyse van waterpaspeilmerken wordt in hoofdstuk 2 besproken. Hoofdstuk 3 geeft inzicht in de na-verwerking van de PS-InSAR metingen en hoofdstuk 4 in diens combinatie met de historische waterpassingen in vorm van tijdseries. In hoofdstuk 5 worden de resultaten van de peilmerkcontrole gepresenteerd en besproken. Tot slot is hoofdstuk 6 gewijd aan conclusies en vooruitzichten.

2. Stabiliteitsanalyse waterpasnetwerk

De peilmerken uit de bestaande waterpassingen zijn op representativiteit en betrouwbaarheid geanalyseerd. Het resultaat is een overzicht van peilmerken, waarvan de metingen gebruikt kunnen worden, om de “diepe” bodemdaling, dat wil zeggen de bodemdaling door delfstofwinning, af te leiden.

De analyseresultaten geven de gebruiker van de meetresultaten een handvat om onbetrouwbaar geachte metingen te negeren. Onbetrouwbaarheid kan daarbij zowel fysieke instabiliteit van het peilmerk zelf betekenen, als ook geconstateerde onregelmatigheden in de metingen. Maar ook voor de publicatie van waterpassingen en InSAR-metingen in een gecombineerde differentiestaat is het zinvol, om tijdseries uit InSAR alleen dan op waterpassingen aan te sluiten, wanneer het betreffende peilmerk als betrouwbaar is aangemerkt. Verder helpt de stabiliteitsanalyse alsmede de uitgevoerde peilmerkcontrole (zie hoofdstuk 5) bij de beoordeling, of het huidige waterpasnetwerk geschikt is voor een eventuele terugval op waterpassing als meettechniek.

2.1. Methode

De in 2019 gepubliceerde analysemethode (NAM, 2019a) is ongewijzigd toegepast. Er zijn alle beschikbare metingen tussen 1974 en 2019 gebruikt. Het resultaat is een classificatie van de peilmerken in *stabiel*, *deels stabiel* en *niet stabiel* veronderstelde peilmerken:

stabiel (verondersteld): De gehele tijdserie van hoogteverschillen wordt representatief geacht voor de diepe bodemdaling. Er is geen duidelijke indicatie voor significante autonome peilmerkbeweging of significante meetfouten in de tijdserie.

deels stabiel (verondersteld): Eén of meerdere delen van de tijdserie wordt representatief geacht voor de diepe bodemdaling. In deze delen is er geen duidelijke indicatie voor significante autonome peilmerkbeweging of significante meetfouten in de tijdserie.

niet stabiel (verondersteld): De tijdserie geldt NIET als representatief voor de diepe bodemdaling, omdat er een significante autonome beweging is geconstateerd.

Peilmerken worden als deels stabiel geclassificeerd, wanneer er in de corresponderende tijdseries identificatiefouten of verstoringen zijn geconstateerd:

Identificatiefout: kennelijke uitschieter van de waargenomen peilmerkbeweging in één meet-epoche. Identificatiefouten kunnen alleen in de context van een reeks opeenvolgende meetcampagnes worden gedetecteerd. In het algemeen is de oorzaak een peilmerkverwisseling (menselijke fout), vandaar de benaming.

Verstoring: plotselinge sprong in de waargenomen beweging van een peilmerk. Verstoringen kunnen alleen in de context van een reeks opeenvolgende meetcampagnes worden gedetecteerd. De oorzaak is een permanente en meestal antropogene hoogteverandering van het peilmerk, bijvoorbeeld door verkeer of werkzaamheden.

- Wordt in een meetepoche een identificatiefout gedetecteerd, dan moet deze epoche buiten beschouwing worden gelaten, terwijl de rest van de tijdserie als betrouwbaar kan worden beschouwd.
- Wordt in een tijdserie een verstoring gedetecteerd, moet de tijdserie in twee worden gesplitst. B m De aparte delen vóór en ná de verstoring moeten als onafhankelijk van elkaar worden beschouwd.

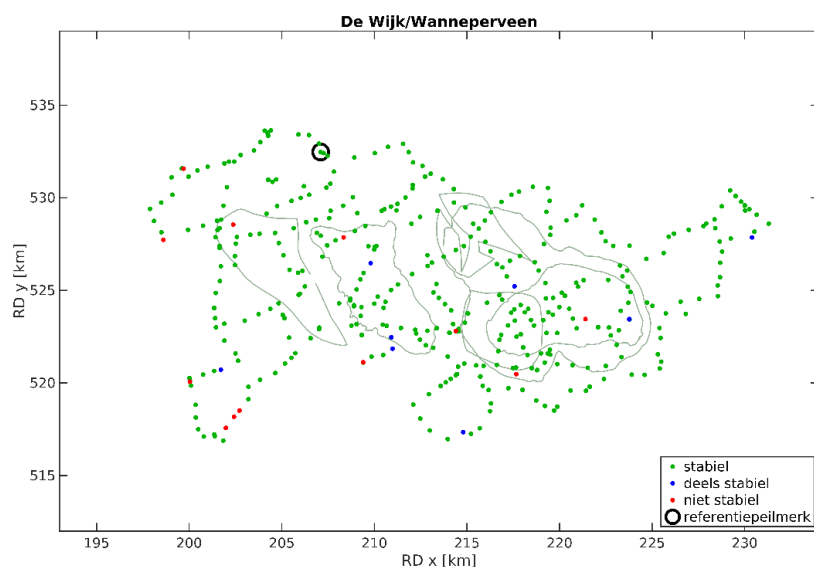
2.2. Resultaten

De resultaten worden in een stabiliteitsstaat (bijlage A.3) gepresenteerd. Een overzicht wordt door Tabel 1 en Figuur 3 gegeven. Om daarbij het aandeel van al dan niet stabiele peilmerken goed te kunnen beoordelen, wordt de balans ten opzichte van alle in 2019 gemeten peilmerken opgemaakt. In dat jaar vond de laatste meting van het volledige netwerk plaats – exclusief peilmerken, die vóór 2019 zijn vervallen. Daarom wordt de netwerkconfiguratie van 2019 qua representativiteit als de beste benadering van de huidige staat beschouwd.

Tabel 1: Peilmerkclassificatie qua aantallen en percentages.

	alle peilmerken	in 2019 gemeten
gerapporteerde peilmerken	624 (100,0 %)	400 (100,0 %)
niet geanalyseerde peilmerken (→ niet stabiel)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)
(geheel) stabiele peilmerken	588 (94,2 %)	379 (94,8 %)
(ten minste) deels stabiele peilmerken	602 (96,5 %)	388 (97,0 %)
deels maar niet geheel stabiele peilmerken	14 (2,2 %)	9 (2,2 %)
verstoringen op deels stabiele peilmerken	2	2
deels stabiele peilmerken met verstoringen	1 (0,2 %)	(0,2 %)
identificatiefouten op deels stabiele peilmerken	14	8
deels stabiele peilmerken met identificatiefouten	13 (2,1 %)	8 (2,0 %)
niet stabiele peilmerken	22 (3,5 %)	12 (3,0 %)
peilmerken met afwijkend gedrag	22 (3,5 %)	12 (3,0 %)
peilmerken met abnormale snelheid	10 (1,6 %)	6 (1,5 %)

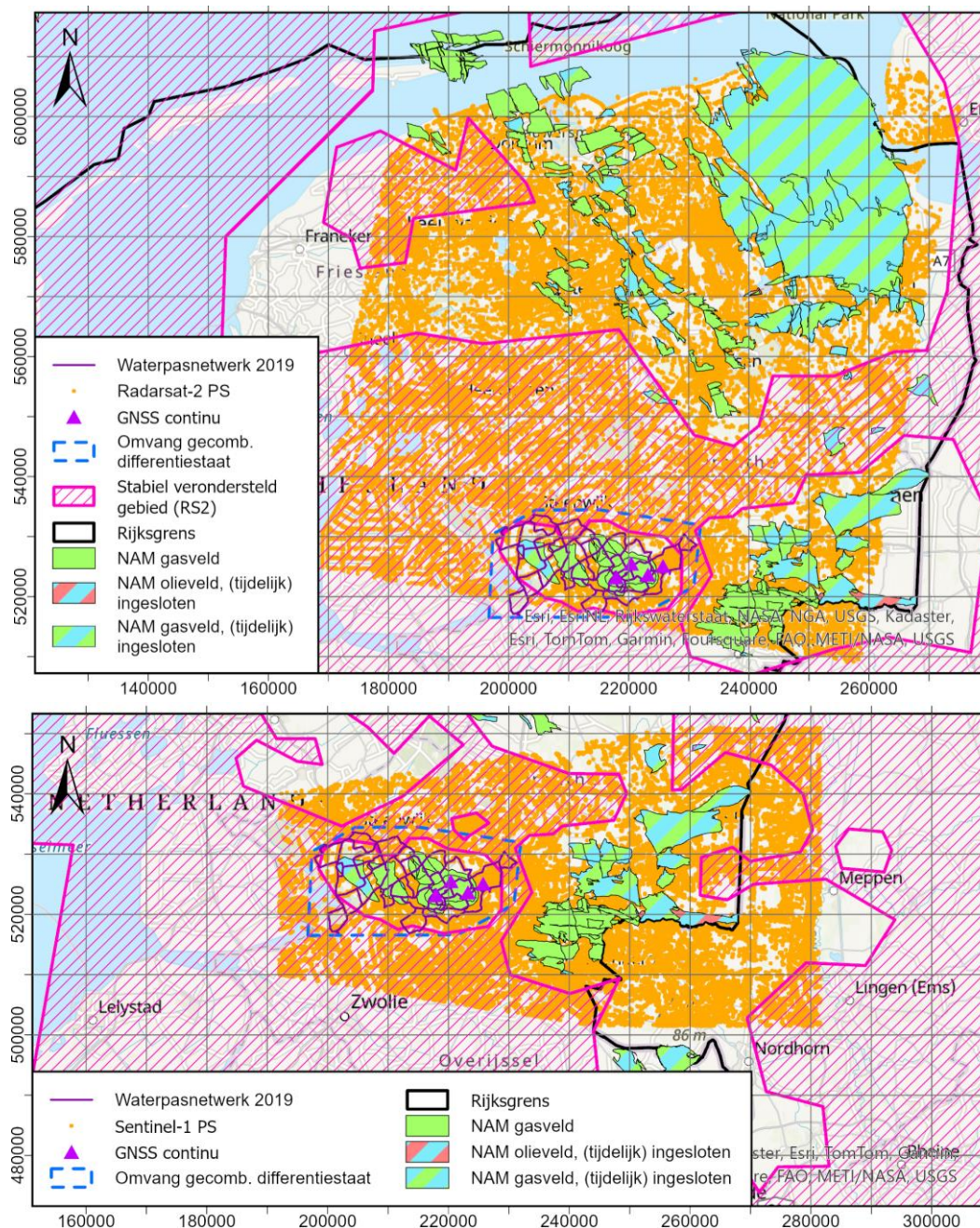
Figuur 3 laat de ruimtelijke verdeling van de niet stabiel veronderstelde peilmerken zien. Er treden boven de gasvelden geen clusters op, zodat het bijhouden van de door delfstofwinning veroorzaakte bodemdaling door niet stabiel veronderstelde peilmerken niet wezenlijk belemmerd wordt.



Figuur 3: Classificatie van peilmerken, die in de meetcampagne van 2019 waargenomen. De grijze lijnen geven de omlijnning van de gasvelden weer.

3. PS-InSAR

De ruwe InSAR meetgegevens zijn beeldbestanden, die pixelgewijs amplitude en fase van de gereflecteerde radarsignalen bevatten. Het resultaat van hun verwerking zijn deformatie tijdseries van een select aantal pixels met een consistent reflectiegedrag, de zogenoemde Persistent Scatterers (PS). De deformatietijdseries geven de verplaatsing van PS langs de kijklijn van de satelliet weer, te weten relatief in de ruimte en relatief in de tijd (t.o.v. de vroegste opname).



Figuur 4: Bedekking van de geproceste InSAR data. Tussen de processing van de Radarsat-2 data in 2018 en de Sentinel-1 data in 2024 is de definitie van het stabiel verondersteld gebied bijgewerkt. De veranderingen hebben te maken met het verklaren van gebieden met gasvelden als potentieel niet stabiel. (N.B.: Op de kaart zijn uitsluitend door NAM geëxploiteerde velden te zien, terwijl bij de definitie van het stabiel verondersteld gebied ook overige gasvelden zijn meegenomen.) Ook zijn nieuwe inzichten verwerkt met betrekking tot daadwerkelijk waargenomen bodemdaling (bv. compactie van het Fochteloërveen). De legenda classificatie "(tijdelijk) ingesloten" moet worden uitgelegd als ofwel tijdelijk ingesloten, ofwel definitief ingesloten, zoals bijvoorbeeld het Groningen gasveld.

De verwerking is uitgevoerd door Skygeo B.V., Delft. De door de externe partijen aangeleverde deformatietijdseries worden door de NAM na-verwerkt met betrekking tot puntselectie, conversie naar de verticaal en jaarlijkse middeling.

3.1. Puntselectie

Een eerste selectie van PS is gemaakt door Skygeo B.V., waarbij vooral de temporele coherentie van de tijdserie als kwaliteitscriterium is gebruikt. De temporele coherentie geeft een indicatie van de correcte oplossing van de fasemeerduidigheden en is onafhankelijk van de daadwerkelijk gemeten deformatie. De eis van een minimale coherentie verkleint de kans, dat fasesprongen van een geheel veelvoud van 2,8 cm in de opgeleverde tijdseries terechtkomen.

NAM heeft bij de gerapporteerde en in het meetregister gebruikte tijdserie voor een hogere drempelwaarde gekozen dan bij de verkregen data was toegepast. De PS met een coherentie beneden deze drempelwaarde zijn niet gerapporteerd. Bij de gerapporteerde PS kunnen foutief opgeloste meerduidigheden niet helemaal worden uitgesloten, maar hun aandeel is zeer klein en daarom aanvaardbaar. Het resultaat wordt hierdoor niet beïnvloed.

Een tweede selectie heeft te maken met de representativiteit van de berekende deformatie uit InSAR voor de bodembeweging als gevolg van delfstoffenwinning. De beweging van de PS is mogelijk een superpositie van deformatie als gevolg van verschillende oorzaken (instabiele fundering, ondiepe en diepe compactie). Ook kan het verschil tussen directe en indirecte reflecties een rol spelen. Daarom is een selectie van representatieve PS gemaakt, waarvan de deformatie met naburige punten in overeenstemming is.

De overeenstemming wordt beoordeeld met behulp van de volgende algoritme:

1. Voor elke PS worden de alle naburige PS binnen een straal van 500 m geselecteerd, die aan aangescherpte kwaliteitscriteria omtrent reflectiegedrag en temporele coherentie moeten voldoen.
2. De straal wordt aangepast, zo dat in het geval van Sentinel-1 minimaal 20 en maximaal 200 naburige PS erin vallen (10-100 PS bij Radarsat-2).
3. Van de tijdseries van alle PS binnen deze straal wordt telkens het gemiddelde in de tijd afgetrokken. Vervolgens wordt hiervan een gemiddelde tijdserie berekend door voor elke epoeche de mediaan te berekenen. Het resultaat noemen wij de mediaantijdserie van de burens.
4. Ook van de tijdserie van de PS in beschouwing wordt het gemiddelde in de tijd afgetrokken. Vervolgens wordt de mediaantijdserie van de burens ervan afgetrokken. Het resultaat noemen wij de gereduceerde tijdserie.
5. Van de gereduceerde tijdserie wordt het glijdend gemiddelde berekend, waarbij in het geval van Sentinel-1 over negen opeenvolgende epochen wordt gemiddeld (drie opnames bij Radarsat-2).
6. Als de resulterende tijdserie aan de volgende twee criteria voldoet, wordt de PS als representatief beschouwd:
 - a. De geschatte lineaire snelheid mag niet meer dan 1,5 mm/a van nul afwijken.
 - b. Het verschil tussen maximale en minimale waarde mag niet meer dan 14 mm bedragen.

De representativiteit van de individuele PS is in de aangeleverde InSAR differentiestaat (bijlage A.1) in een aparte kolom gekenmerkt. Voor de gecombineerde differentiestaat (bijlage A.2) en alle visualisaties binnen deze rapportage zijn alleen representatieve PS gebruikt.

3.2. Conversie naar de verticaal

De InSAR deformatie is in de kijkrichting van de satelliet gemeten en kan niet direct als hoogteverandering worden beschouwd. De metingen zijn daarom naar de verticaal geconverteerd onder de aanname, dat geen horizontale beweging heeft plaatsgevonden. De verwachte horizontale bewegingen zijn echter relatief klein, en vanwege de steile kijkhoek is de InSAR techniek ook minder gevoelig voor horizontale dan voor verticale deformatie. Per 1 mm/a horizontale beweging is het effect op de geconstateerde verticale beweging bij de in het gebied van dit meetregister gebruikte Radarsat-2 en Sentinel-1 opnames 0,7...0,8 mm/a.

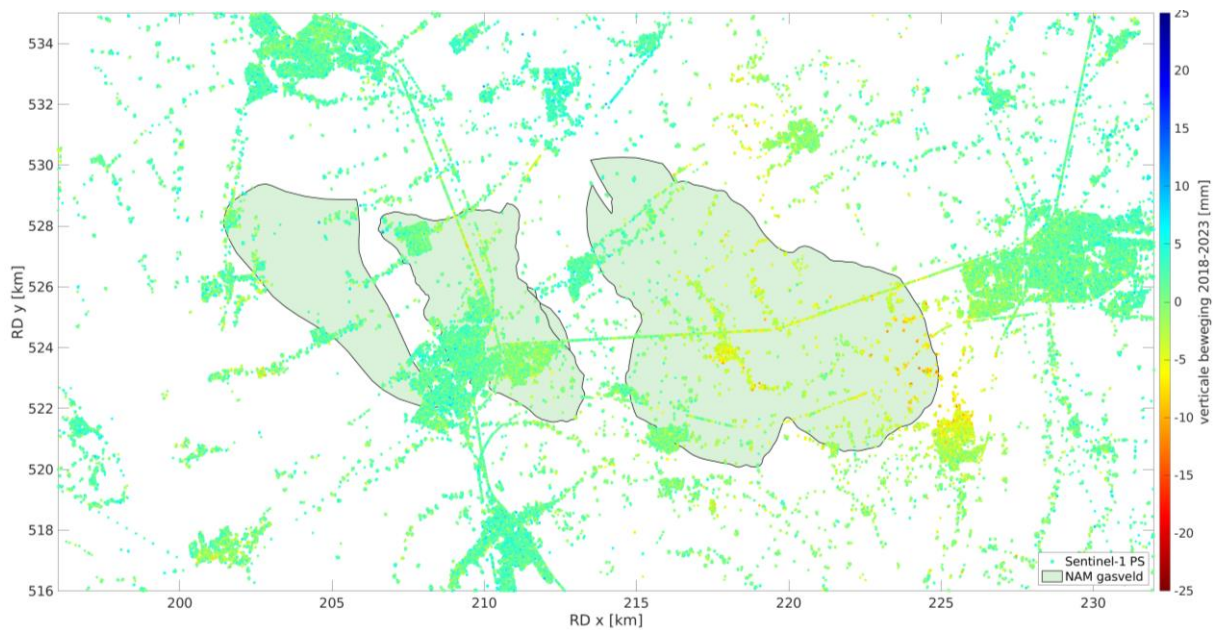
3.3. Jaarlijks gemiddelde

De InSAR opnameintervallen zijn korter dan nodig is voor de doelstelling, het bijhouden van bodemdeformatie door delfstofwinning. Om de hoeveelheid data te beperken worden in de gecombineerde differentiestaat op peilmerkniveau (bijlage A.2) alleen jaarlijks gemiddelde hoogteverschillen gerapporteerd. De tijdseries worden dus in vakken van twaalf maanden onderverdeeld, waarvan alleen de gemiddelde waardes gerapporteerd worden. Deze waardes representeren de deformatie in het midden van de respectievelijke tijdvakken, die beginnend bij de laatste opname van 29 juni 2024 teruglopend in de tijd zijn gedefinieerd. Het laatste tijdvak loopt dus van 29 juni 2023 tot 29 juni 2024 met 30 december 2023 als gemiddelde datum. De meest recente deformatiewaardes van het meetregister 2024 liggen daarom formeel in het jaar 2023 maar zijn mede gebaseerd op metingen uit 2024.

Een aantal figuren in dit rapport evenals de bijgevoegde verschilkaart (bijlage A.4) hebben als doelstelling, de verandering sinds het laatste meetregister van 2019 (NAM, 2020) weer te geven. In dat meetregister is een waterpassing gerapporteerd met 8 oktober 2019 als gemiddelde datum. Omdat de InSAR-meting niet direct aan de waterpassing aansluit, is ervoor gekozen, voor de figuren en de verschilkaart het meetinterval van vijf jaar aan te houden, ongeacht het tijdstip van de laatste waterpassing. Te zien zijn daarom de gemeten hoogteverschillen uit InSAR tussen 30 december 2018 en 30 december 2023.

3.4. Resultaten

Figuur 5 toont de verticale beweging van de representatief geachte InSAR-meetpunten tussen 2019 en 2024. Tijdseries met jaarlijks gemiddelde InSAR-deformatiemetingen zijn per peilmerklocatie in de bijgevoegde gecombineerde differentiestaat (bijlage A.2) gerapporteerd.

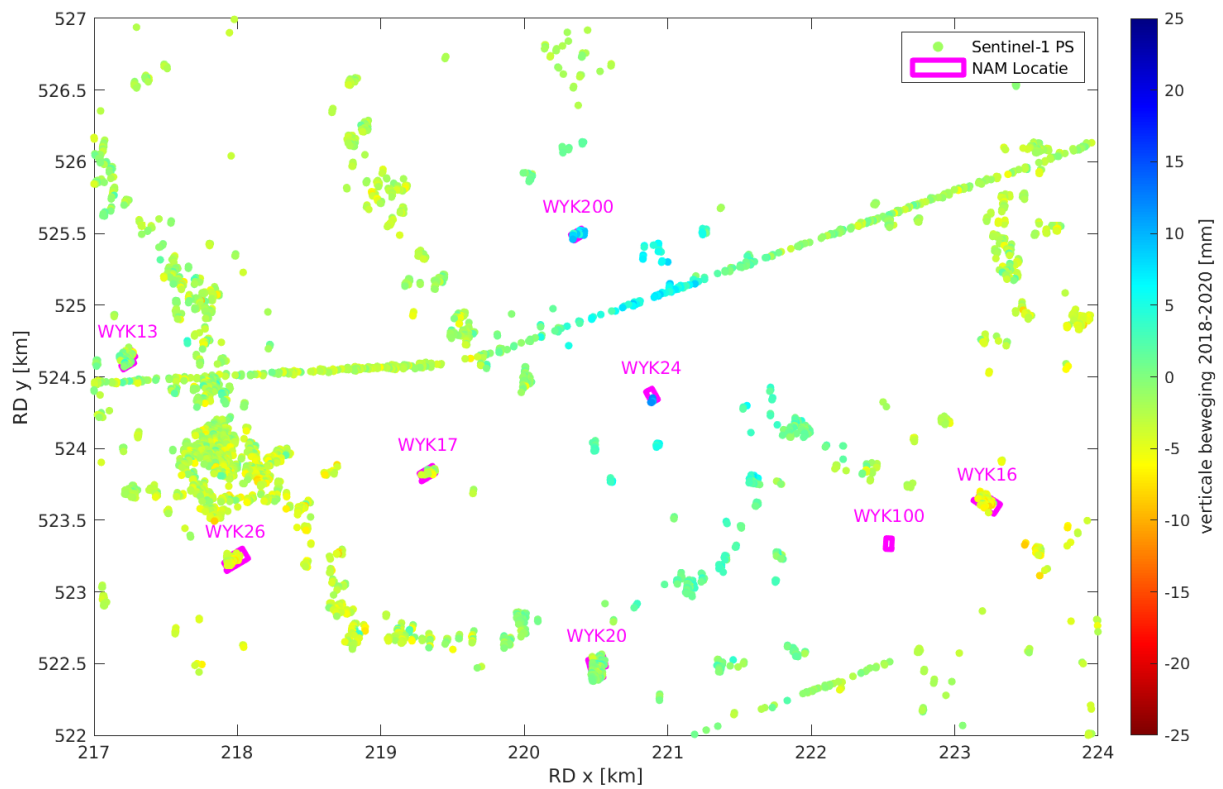


Figuur 5: Bodembeweging bepaald uit InSAR voor de periode 2019-2024. Deze is berekend uit de gemiddelde deformatie van tijdvakken van een half jaar vóór en na 30 december 2018 c.q. 30 december 2023.

Bij de interpretatie van Figuur 5 moet met de meetonzekerheid rekening worden gehouden. Grootschalige variaties tot ca. 1 cm kunnen aan restfouten in de atmosfeerschatting van de InSAR-processing te wijten zijn.

Er mag geconcludeerd worden, dat in de afgelopen vijf jaar in het rapportagegebied nauwelijks significante bodembeweging heeft plaatsgevonden. Boven delen van het gasveld De Wijk en ten oosten ervan is sprake van bodemdaling, echter in de orde van een centimeter of minder in vijf jaar. Dit wordt bevestigd door de metingen van vier vast geïnstalleerde GNSS-ontvangers. Een vergelijking van de Sentinel-1 metingen met de GNSS tijdseries is te vinden in bijlage B.

In het gebied rond de NAM-locaties De Wijk-24 en De Wijk-200, waar tijdelijk stikstof werd geïnjecteerd, heeft tussen 2018 en 2020 een ruimtelijk beperkte bodemstijging van maximaal 15 mm plaatsgevonden (zie Figuur 6). Het tijdsverloop van deze stijging is te zien in Figuur 12 in bijlage B.1.



Figuur 6: Met Sentinel-1 waargenomen bodembeweging in het gebied van de NAM-locaties De Wijk 24 (WYK24) en De Wijk 200 (WYK200) tussen 1 januari 2018 en 1 januari 2020.

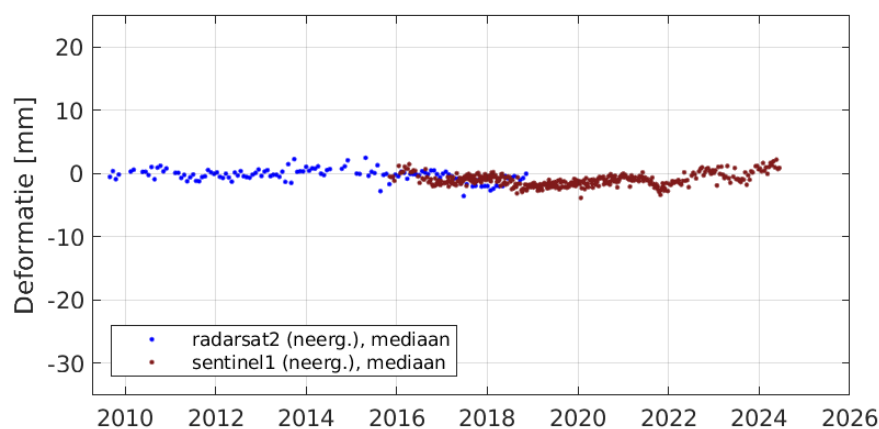
4. Combinatie

Om met behulp van InSAR metingen de bodemdaling op de langere termijn te kunnen tonen, moeten deze met waterpassingen gecombineerd worden. De zodanig voortgezette historische tijdseries worden in gecombineerde differentiestaten opgeleverd (bijlage A.2).

Door waterpassing en InSAR worden niet dezelfde meetpunten waargenomen (peilmerken versus PS). Om een combinatie mogelijk te maken, wordt aangenomen, dat de gemiddelde beweging van alle PS binnen een straal van 500 m rond een peilmerk gelijk is aan de beweging van het peilmerk zelf. Zodoende worden InSAR tijdseries in de peilmerk-gewijze tijdseries van waterpassingen geïntegreerd. Aandachtspunten zoals ruimtelijke referentie en koppeling van tijdseries worden in het volgende nader toegelicht.

4.1. Referentie in de ruimte

De gerapporteerde hoogteverschillen van beide meettechnieken zijn relatief in de ruimte. Voor de waterpassingen is het peilmerk 016G0059 als referentiepeilmerk gebruikt, terwijl de InSAR-deformatiemetingen aan een stabiel verondersteld referentiegebied gerelateerd zijn (zie Figuur 4). De combinatie van de hoogteverschillen uit waterpassing en InSAR gebeurt onder de aanname, dat het referentiepeilmerk geen autonome beweging vertoont en dat het InSAR-referentiegebied ook daadwerkelijk stabiel is. Een indicatie, dat deze aanname klopt is, dat de gemiddelde tijdserie van alle PS binnen een straal van 1 km rond het referentiepeilmerk geen significante residuele deformatie laat zien (zie Figuur 7).



Figuur 7: Gemiddelde tijdserie (mediaan) van alle PS binnen een straal van 1 km rond het referentiepeilmerk 016G0059.

4.2. Aansluiting van tijdseries op elkaar

Om tijdseries van waterpassing en InSAR op elkaar aan te sluiten, moeten peilmerken en geassocieerde PS tegelijkertijd zijn waargenomen. Vervolgens kan uit de differenties op alle tijdstippen van gelijktijdige waarnemingen een onderlinge offset worden geschat en toegepast. Van tevoren moeten echter waarnemingen van verschillende InSAR satellieten onderling gecombineerd worden. Bij de aansluiting wordt ook rekening gehouden met de resultaten van de stabiliteitsanalyse van waterpaspeilmerken (zie hoofdstuk 2). Op waterpaspeilmerken geconstateerde niet-stabiliteit, verstoringen en identificatiefouten kunnen net zoals een ontbrekende overlap van opeenvolgende InSAR missies ertoe leiden, dat per peilmerk meer dan één tijdserie wordt gerapporteerd. Details hierover zijn in grote

lijnen in de volgende sub-paragrafen toegelicht. De volledige combinatie procedure is in detail beschreven in bijlage 0.

4.2.1. Inachtneming stabiliteitsanalyse waterpaspeilmerken

In de stabiliteitsanalyse van waterpaspeilmerken (paragraaf 2) wordt een deel van de peilmerken als niet stabiel verondersteld (ca. 3,5 % van alle gerapporteerde peilmerken). Dat betekent, dat de op deze peilmerken gemeten deformatie als niet representatief wordt beschouwd voor de bodemdaling door delfstofwinning. Waterpas tijdseries van niet stabiele peilmerken worden daarom *niet* met InSAR tijdseries gecombineerd. In plaats daarvan wordt de op de peilmerklocatie (en binnen een straal van 500 m daaromheen) gemeten InSAR deformatie als aparte tijdserie gerapporteerd.

Daarnaast zijn 2,2 % van de peilmerken “deels stabiel verondersteld”. Dat betreft peilmerken, waarbij identificatiefouten en/of verstoringen zijn geconstateerd. Waterpasmetingen, die als identificatiefouten zijn geïdentificeerd, worden bij de onderlinge aansluiting met InSAR tijdseries niet gebruikt. In het zeldzame geval, dat er alleen identificatiefouten in het overlappend tijdvak tussen twee op elkaar aan te sluiten tijdseries zijn, vindt geen aansluiting plaats, en de tijdseries worden apart gerapporteerd.

De classificatie in al dan niet of deels stabiel veronderstelde peilmerken is overgenomen in de gecombineerde differentiestaten (bijlage A.2). Afwijkend daarvan zijn tijdseries van deels stabiel veronderstelde peilmerken, die bij verstoringen zijn opgesplitst en geen identificatiefouten bevatten, als *stabiel* gekenmerkt. Tijdseries, die alleen InSAR deformatie bevatten zijn tevens altijd als *stabiel* gekenmerkt, omdat deze uitsluitend op representatieve PS (zie paragraaf 3.1) zijn gebaseerd.

4.2.2. Meerdere tijdseries per peilmerk

Voor een aantal peilmerken worden in de gecombineerde differentiestaat dus meerdere tijdseries gerapporteerd. Daarvoor zijn de volgende redenen te bedenken:

- De tijdserie van waterpassingen heeft geen overlap met InSAR tijdseries.
- Het peilmerk is niet stabiel verondersteld, daarom wordt de InSAR tijdserie niet op de waterpassing aangesloten.
- Het peilmerk is deels stabiel verondersteld, en alle waarnemingen in het overlappend tijdvak met InSAR zijn als identificatiefouten geïdentificeerd.
- Het peilmerk is deels stabiel verondersteld en bevat geconstateerde verstoringen, waar de tijdserie in delen is opgesplitst.

De verschillende bij een peilmerk behorende tijdseries zijn met suffixen op het peilmerknummer gekenmerkt (XXXXXXX, XXXXXXXa, XXXXXXXb, ...). De benaming volgt de chronologische volgorde van de eerste waarneming per tijdserie.

5. Instandhouding waterpasnetwerk

In het kader van de instandhouding van het waterpasnetwerk in het rapportagegebied als mogelijke terugval optie in de toekomst is de aanwezigheid van de hiervoor noodzakelijke peilmerken vastgesteld.

5.1. Selecteren peilmerken

Allereerst is een selectie van peilmerken gemaakt, die voor de instandhouding van het waterpasnetwerk noodzakelijk worden geacht. Daarbij zijn de volgende criteria toegepast:

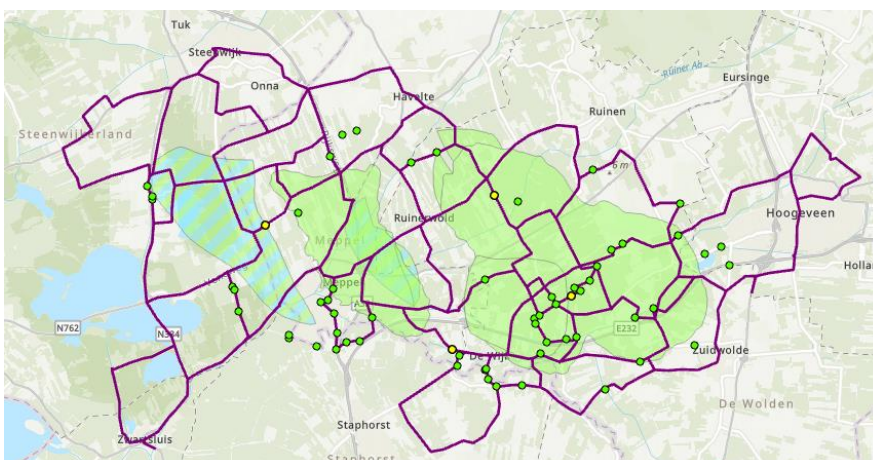
- gelegen binnen het waterpasnetwerk van 2019; deze netwerkconfiguratie wordt als geschikt geacht, om de bodemdaling boven de gas- en olievelden te monitoren.
- gelegen boven de gasvelden of binnen een buffer gelijk aan diens diepte; de diepte van de gasvelden De Wijk en Wanneperveen is ongeveer 1500 m.
- stabiel verondersteld of stabiliteit niet geanalyseerd (zie hoofdstuk 2).
- niet vóór de laatste NAM-meetcampagne vervallen.
- in de laatste drie NAM-meetcampagnes (2011, 2014 en 2019) minimaal één keer aangemeten.

Als resultaat zijn 283 peilmerken geselecteerd. Vanwege het laatste criterium is deze selectie is aan de ruime kant, omdat in 2011, 2014 en 2019 niet doorgaans dezelfde peilmerken zijn waargenomen.

213 van de 283 peilmerken zijn in 2021 of later door Rijkswaterstaat gewaterpast, waardoor hun aanwezigheid minimaal tot en met het jaar 2021 al is vastgesteld. 7 peilmerken zijn bij Rijkswaterstaat reeds als vervallen gemeld. Er blijven dus 63 peilmerken over, die in het veld gecontroleerd moesten worden.

5.2. Peilmerkcontrole in het veld

De controle van de peilmerken is gedaan door een landmeter met behulp van een GIS app. In deze app is een inspectie tool ingericht, zodat de landmeter direct bij visuele controle in het veld de aan- dan wel afwezigheid van een peilmerk kan rapporteren. Hierbij worden ook foto's gemaakt van de peilmerken. De resultaten hiervan zijn door de NAM direct in een GIS-systeem in te zien. 4 van de gecontroleerde peilmerken bleken niet meer aanwezig of verstoord te zijn (6 %), zie Figuur 8.



Figuur 8: Gecontroleerde peilmerken: aanwezige peilmerken in groen, niet aanwezige peilmerken in geel.

5.3. Analyse

Om te bepalen of er nieuwe peilmerken moeten worden geplaatst, is de volgende analyse uitgevoerd:

1. Per verdwenen stabiel peilmerk is berekend of er alternatieve stabiele peilmerken aanwezig zijn in directe omgeving binnen een straal van 500 meter.
2. Indien dit niet zo is, wordt vervolgens beoordeeld of er minstens 2 stabiele peilmerken aanwezig zijn in een straal van 1 km.
3. Indien dit niet zo is, worden voor de gevallen binnen de invloedssfeer van de producerende gas- en olievelden peilmerken bijgeplaatst, tenzij er alternatieve stabiele NAP peilmerken van Rijkswaterstaat beschikbaar zijn.

Tabel 2 toont de resultaten van deze analyse. Bij alle vier verdwenen peilmerken zijn er voldoende andere stabiele peilmerken aanwezig in de nabije omgeving, of is in recente jaren een alternatief peilmerk van Rijkswaterstaat bijgeplaatst. Er hoeven dus geen additionele nieuwe peilmerken te worden bijgeplaatst.

Tabel 2: Analyse van de niet aanwezige peilmerken in de peilmerkcontrole.

PEILMERKNR	X(RD,m)	Y(RD,m)	AANWEZIG	OPMERKING	1 stabiel punt < 500 m	2 stabiele punten < 1000 m	peilmerk RWS
021F0273	219250	523450	Nee	Stuw is verbouwd.	nee	ja	nvt
021F0284	214280	521150	Nee	Pand zal worden gesloopt.	nee	ja	nvt
016H0185	216000	527620	Nee	Bout verwijderd.	nee	nee	016H0316 (2021)
016G0334	206400	526280	Nee	Schuur krijgt gevelbekleding.	ja	nee	nvt

6. Conclusies en vooruitzichten

In het meetregister De Wijk/Wanneperveen worden in 2024 voor het eerst InSAR-deformatiemetingen gerapporteerd, afgeleid van Sentinel-1 opnames tussen 2015 en 2024. Voor een betere aansluiting op de historische waterpassingen worden deze aangevuld met waarnemingen van de Radarsat-2 satelliet uit de jaren 2009 tot 2018. In een gecombineerde differentiestaat worden de tijdseries van peilmerk-bewegingen voortgezet. De tot 2019 beschikbare hoogteverschillen uit waterpassing worden aangevuld door de InSAR-deformatie, die voor alle peilmerklocaties als jaarlijkse gemiddelden van 2009 tot 2023 is berekend.

Op de historische waterpasmetingen is een stabiliteitsanalyse uitgevoerd, waardoor onderscheid kan worden gemaakt tussen al dan niet stabiel veronderstelde peilmerken c.q. betrouwbare waarnemingen. Deze classificatie helpt bij de interpretatie van metingen en verhoogt de betrouwbaarheid van de met InSAR gecombineerde tijdseries. Hieruit is gebleken, dat 97 % van alle peilmerken in het 2019 waargenomen waterpasnetwerk in het als ten minste deels stabiel kunnen worden verondersteld.

Boven delen van het gasveld De Wijk is sprake van bodemdaling, echter in de orde van een centimeter of minder in vijf jaar. De InSAR resultaten komen binnen de nauwkeurigheidsmarges goed overeen met GNSS. In een gebied rond de NAM-locaties De Wijk-24 en De Wijk-200 heeft tussen 2018 en 2020 een tijdelijke, lokaal beperkte bodemstijging van maximaal 15 mm plaatsgevonden.

De Europese Sentinel-1 missie is voor de lange termijn ontworpen. Tegenwoordig is alleen de Sentinel-1A satelliet operationeel, nadat Sentinel-1B in december 2021 is uitgevallen. Continuïteit blijft door de geplande lancering van Sentinel-1C gewaarborgd, en ook Sentinel-1D staat al gereed. Indien continuïteit met InSAR monitoring door onvoorziene omstandigheden toch niet mogelijk is, kan alsnog worden teruggevallen op het bestaande waterpasnetwerk. Een groot deel daarvan is in 2021 door Rijkswaterstaat gewaterpast. De overige peilmerken zijn door NAM in augustus 2024 in het veld geïnspecteerd. Er hoeven geen nieuwe peilmerken te worden bijgeplaatst.

Bijlagen

A. Geleverde data

Het meetregister De Wijk/Wanneperveen 2024 bevat naast dit rapport een aantal digitaal opgeleverde bestanden. Deze zijn in deze bijlage gespecificeerd.

A.1. Differentiëestaat InSAR

De resultaten van de InSAR processing (Radarsat-2, neergaande baan, 2009-2018 en Sentinel-1, neergaande baan, 2015-2024), zoals verkregen en na-verwerkt volgens hoofdstuk 3, zijn aangeleverd in de vorm van een differentiëestaat naast toelichting in een “leesme”-bestand:

```
InSAR_Radarsat-2_desc_MR_DeWijk_Wanneperveen_2024.zip  
InSAR_Sentinel-1_desc_MR_DeWijk_Wanneperveen_2024.zip  
  
InSAR_MR_DeWijk_Wanneperveen_2024.leesme.txt
```

De differentiëestaat bevat één tijdserie per PS met de naar de verticaal geconverteerde deformatie schattingen (zie paragraaf 3.2). Voor elke PS is aangegeven, of de tijdserie als representatief wordt beschouwd of niet (zie paragraaf 3.1). Op het tijdstip van de eerste opname is de deformatie op nul gezet. De referentie in ruimte is de gemiddelde deformatie van een stabiel verondersteld gebied (zie Figuur 4 op blz. 10).

Het bestand in Radarsat-2 ziparchief is identiek aan dit Radarsat-2 bestand uit Meetregister bij het meetplan Noord Nederland, Groningen en Waddenzee 2018 – Addendum InSAR (NAM, 2019b):

```
BijlageA1_MR_NNed_2018_Radarsat-2.csv
```

A.2. Gecombineerde differentiëestaat

Voor het hele rapportagegebied is een differentiëestaat met gecombineerde tijdseries uit waterpassen en InSAR opgeleverd, waarbij de InSAR deformatie schattingen in de tijdseries van de waterpas peilmerken geïntegreerd zijn (zie hoofdstuk 4). De betekenis van de kolommen is in een “leesme” bestand verklaard. Zie bestanden:

```
016G0059_1974-06-15_MR_DeWijk_Wanneperveen_2024.csv  
016G0059_1974-06-15_MR_DeWijk_Wanneperveen_2024.leesme.txt
```

De combinatie met InSAR volgt de in bijlage C toegelichte procedure.

De InSAR tijdseries per peilmerk worden berekend als mediaan van de individuele tijdseries van alle (dus minimaal één) PS binnen een straal van 500 m. Om de hoeveelheid aan data te beperken en de precisie te verhogen, worden niet alle beschikbare waardes geïntegreerd, maar alleen de gemiddelde deformatie voor gedefinieerde, opeenvolgende tijdvakken van een jaar. Indien binnen een tijdvak minder dan drie InSAR acquisities plaatsvonden, wordt de gemiddelde deformatie als onvoldoende betrouwbaar beschouwd en daarom niet gerapporteerd.

A.3. Stabiliteitsstaat

De resultaten van de stabiliteitsanalyse, zoals toegelicht in paragraaf 2, zijn in een stabiliteitsstaat aangeleverd en in een “leesme”-bestand toegelicht:

```
sta_ww2019_016G0059.csv
```

`sta_ww2019.leesme.csv`

A.4. Kaart met hoogteverschillen

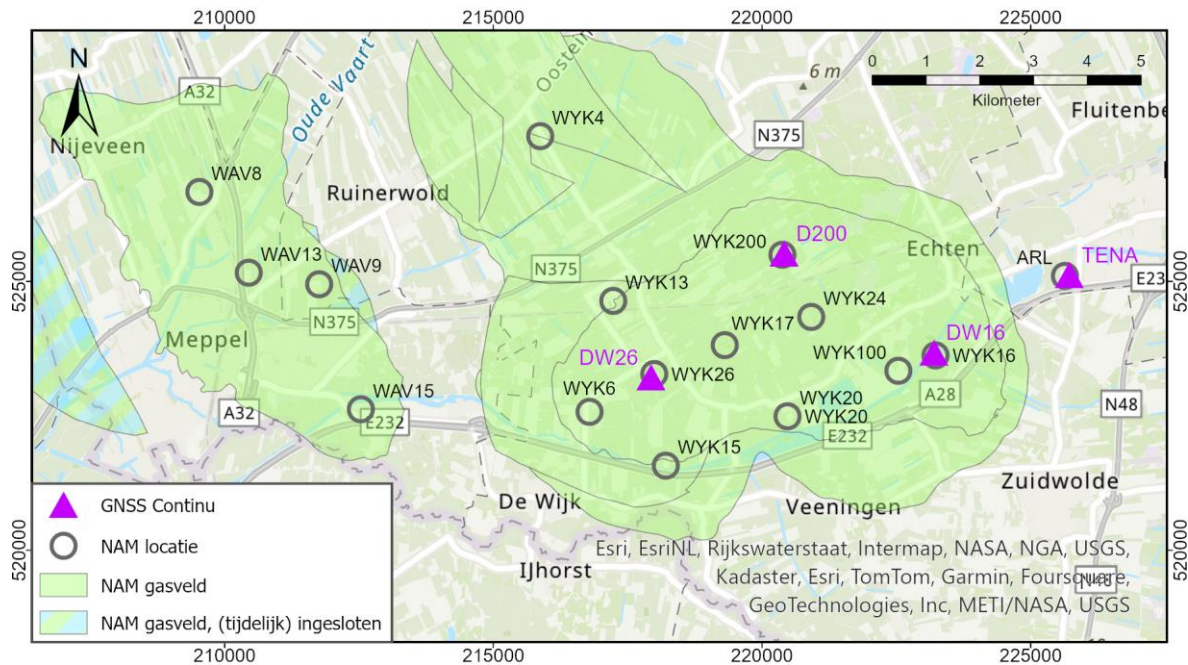
De met InSAR en waterpassing gemeten hoogteverschillen van de afgelopen vijf jaar zijn per peilmerklocatie vergelijkend in kaart gebracht:

`Kaart_MR_DeWijk_Wanneperveen_2024_2019-2024.pdf`

De hoogteverschillen uit InSAR zijn berekend als differentie van de in de gecombineerde differentiestaat (bijlage A.2) gerapporteerde jaarlijkse gemiddelde deformatie van 30 december 2018 en 30 december 2023.

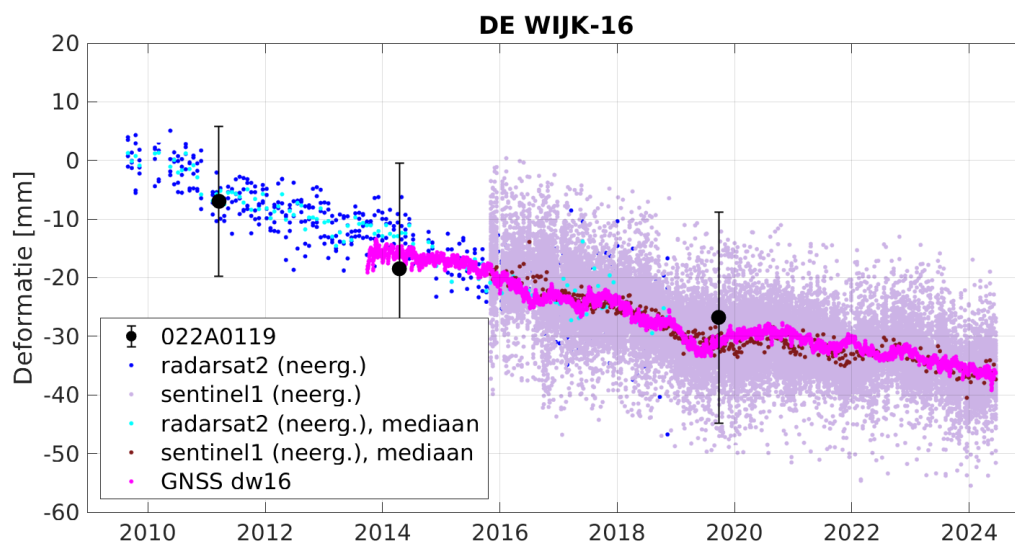
B. Vergelijking met GNSS

In bijlage B.1 worden InSAR tijdseries van de vier NAM-locaties, waar continue GNSS stations geplaatst zijn, gezamenlijk met GNSS tijdseries weergegeven. De ligging van de locaties is in Figuur 9 weergegeven. Een verklaring der tekens is in bijlage B.2 te vinden.

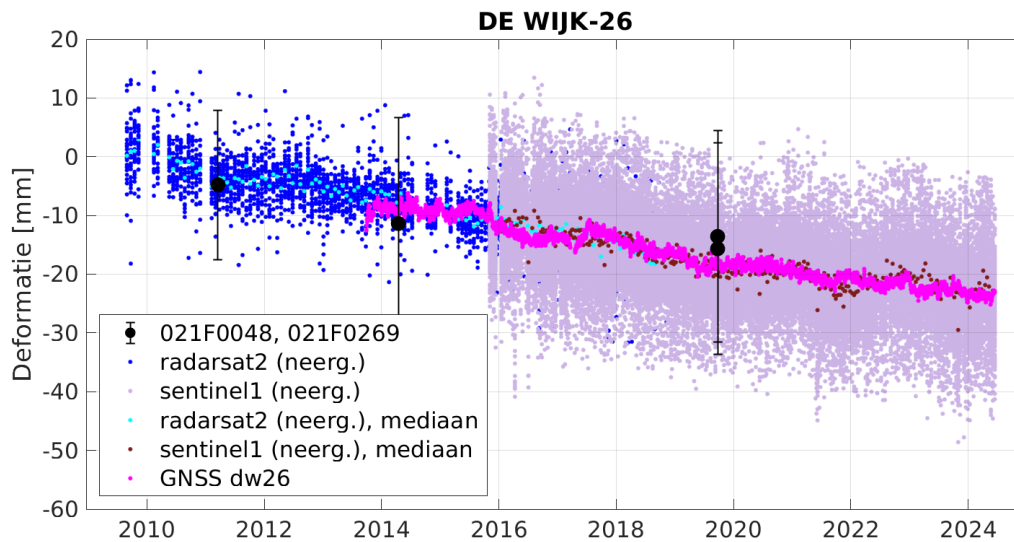


Figuur 9: Ligging van de continue GNSS stations op NAM locaties boven het gasveld De Wijk.

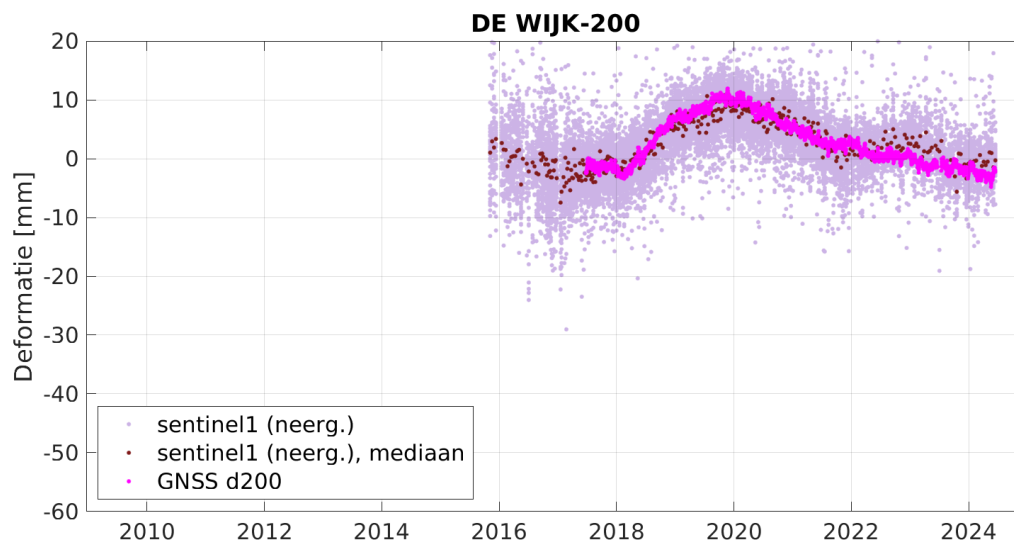
B.1. Tijdseries



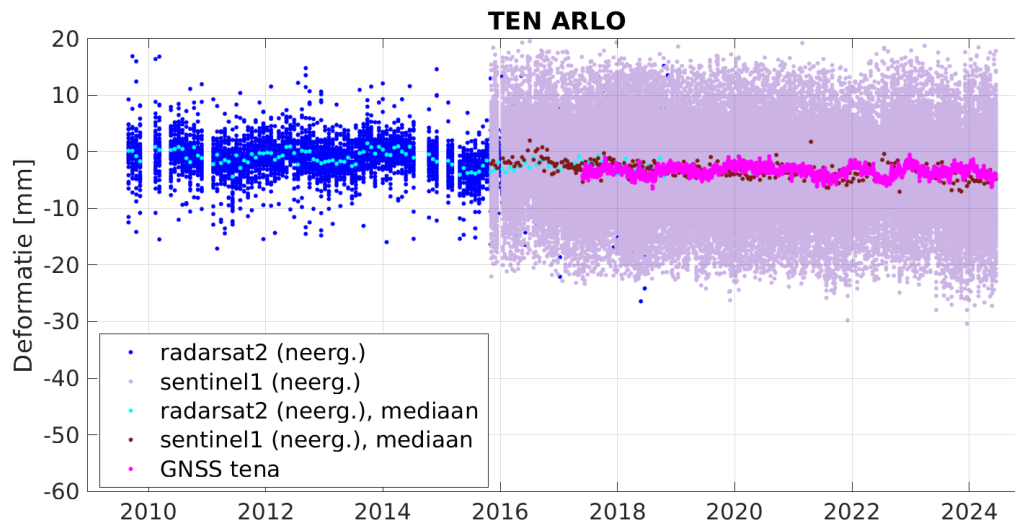
Figuur 10: Gecombineerde tijdseries van alle meetpunten (waterpassing, InSAR en GNSS) binnen een straal van 500 m rond de NAM-locatie De Wijk-16.



Figuur 11: Gecombineerde tijdseries van alle meetpunten (waterpassing, InSAR en GNSS) binnen een straal van 500 m rond de NAM-locatie De Wijk-26.



Figuur 12: Gecombineerde tijdseries van alle meetpunten (InSAR en GNSS) binnen een straal van 500 m rond de NAM-locatie De Wijk-200. De locatie is in 2016/2017 (her)ingericht. Dat is der waarschijnlijke reden, waarom er geen PS van Radarsat-2 (2009-2018) beschikbaar zijn.



Figuur 13: Gecombineerde tijdseries van alle meetpunten (InSAR en GNSS) binnen een straal van 500 m rond de NAM-locatie Ten Arlo.

B.2. Verklaring der tekens

De symbolen in de visualisatieplaatjes hebben de volgende betekenis:

Symbol	Uitleg	Betreft tijdvak
	Waterpassing op een stabiel verondersteld peilmerk: hoogteverschil t.o.v. het begin van een gekoppelde InSAR-tijdserie; met 3 σ -foutenbalken.	t/m 2019
•	Radarsat-2, neergaande baan, individuele PS	2009-2018
•	Radarsat-2, neergaande baan, mediaan	2009-2018
•	Sentinel-1, neergaande baan, individuele PS	2015-2024
•	Sentinel-1, neergaande baan, mediaan	2015-2024
•	Dagelijks gemiddelde GNSS-deformatie	2013-2024

C. Combinatie procedure

Om verschillende tijdseries van waterpassing, InSAR en GNSS op elkaar aan te sluiten, wordt op de gecombineerde differentiestaten de hieronder beschreven procedure gebruikt. Deze is toegepast op de gecombineerde differentiestaten (bijlage A.2) en de visualisatie van tijdseries in bijlage B.

Met combinatie is in deze context de schatting van onderlinge offsets van individuele tijdseries en de toepassing op deze tijdseries bedoeld. Omdat alle tijdseries opeenvolgend in beschouwing worden genomen, worden in de achtergrond een of meerdere “gecombineerde tijdseries” van gemiddelde en/of samengevoegde individuele tijdseries gebruikt. Deze zijn echter uitsluitend een hulpmiddel binnen de combinatie procedure en niet onderdeel van het eindresultaat.

De hieronder beschreven procedure is op identieke wijze al toegepast in het InSAR-addendum bij het meetregister Noord Nederland 2018 (NAM, 2019b). De beschrijving is echter ingekort op de voor De Wijk/Wanneperveen relevante verwerkingsstappen.

1. **Combinatie van waterpas-tijdseries van meerdere (deels) stabiele peilmerken:** Dit is uitsluitend van toepassing op bijlage B.1.
 - a. Peilmerken worden in chronologische volgorde op elkaar aangesloten: De tijdserie van het tweede peilmerk wordt met de eerste waarneming op de (zo nodig geïnterpoleerde) tijdserie van het eerste peilmerk aangesloten.
 - b. De deformatie van de (reeds) gecombineerde peilmerken wordt in een gecombineerde tijdserie gemiddeld.
 - c. Verdere peilmerken worden chronologisch successievelijk op deze gecombineerde tijdserie aangesloten.
 - d. Geconstateerde identificatiefouten worden niet gebruikt voor de aansluiting.
2. **Combinatie van InSAR-tijdseries van opeenvolgende satellietmissies**
 - a. De één na vroegst beginnende InSAR-tijdserie wordt op de vroegst beginnende InSAR-tijdserie aangesloten. De onderlinge offset wordt bepaald als gemiddelde van de volgende differenties binnen het overlappend tijdvak:
 - i. deformatie van de tweede tijdserie min de, op de acquisitietijdstippen van de tweede tijdserie, lineair geïnterpoleerde, deformatie van de eerste tijdserie
 - ii. deformatie van de eerste tijdserie min de, op de acquisitietijdstippen van de eerste tijdserie, lineair geïnterpoleerde deformatie van de tweede tijdserie
 - b. Alle waarnemingen van deze twee tijdseries vormen een gecombineerde InSAR-tijdserie.
3. **Aansluiting van GNSS op InSAR:** Dit is uitsluitend van toepassing op bijlage B.1.
 - a. De GNSS-tijdserie wordt tot dagelijkse gemiddeldes gereduceerd.
 - b. De GNSS-tijdserie wordt op de gecombineerde InSAR-tijdserie aangesloten, als deze bestaat en in de tijd overlapt. De onderlinge offset wordt bepaald als gemiddelde van de differenties tussen de deformatie van de GNSS-tijdserie op de acquisitiedagen van de InSAR-tijdserie en de deformatie van de InSAR-tijdserie binnen het overlappend tijdvak.
 - c. Alle GNSS-waarnemingen en de gecombineerde InSAR-tijdserie vormen een gecombineerde InSAR/GNSS-tijdserie.

4. **Opsplitsen van tijdseries waterpassing:** Als op een deels stabiel verondersteld peilmerk een verstoring is geconstateerd, wordt de tijdserie van waterpassingen bij de verstoring gesplitst. Daardoor ontstaan twee (of meer) aparte tijdseries voor één peilmerk, die in het vervolg worden behandeld, alsof het om afzonderlijke peilmerken zou gaan.
5. **Aansluiting van InSAR/GNSS op waterpassing**
 - a. Ter schatting van de onderlinge offset wordt voor ieder tijdstip van waterpassing binnen het overlappend tijdvak een gemiddelde InSAR/GNSS deformatie berekend. Deze is het gemiddelde van de gecombineerde InSAR/GNSS tijdserie binnen een tijdvak van een half jaar vóór en ná het tijdstip van de waterpassing. De offset t.o.v. de waterpassing wordt vervolgens bepaald als differentie tussen deze gemiddelde waardes en de gecombineerde waterpas tijdserie.
 - b. Er wordt alleen aangesloten aan waterpassingen op stabiele peilmerken of aan waterpassingen op deels stabiele peilmerken, die niet als identificatiefout zijn geïdentificeerd. Bij niet stabiel veronderstelde peilmerken of wanneer het overlappend tijdvakken alleen waterpassingen met geconstateerde identificatiefouten bevat, gebeurt geen aansluiting, en er worden aparte tijdseries voor InSAR/GNSS en waterpassing gerapporteerd.
6. **Vastlegging van absolute waardes:** Gezien InSAR tijdseries geen absolute hoogteverschillen ten opzichte van het referentiepeilmerk, maar alleen veranderingen weergeven, wordt de gemiddelde deformatie binnen het eerste jaar van deze tijdseries op nul gesteld. Voor met waterpassingen geïntegreerde tijdseries is deze stap niet nodig en wordt met betrekking tot de differentiestaten ook niet toegepast. Wat de visualisatieplaatjes in bijlage B.1 betreft, komt echter het absolute hoogteverschil ten opzichte van het referentiepeilmerk arbitrair over en heeft geen toegevoegde waarde voor de interpretatie. Daarom is in alle grafieken de gemiddelde deformatie van alle InSAR-waarnemingen binnen het eerste jaar van de InSAR-tijdserie op nul gesteld.

Referenties

- NAM (2018a): [Meetregister Zuid-Holland 2017 – Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing en satelliet radar interferometrie; rapportage behorende bij het meetplan Zuid-Holland 2017](#). Nederlandse Aardolie Maatschappij, 12 januari 2018, EP201709207562.
- NAM (2018b): Annex Meetplan Zuid-Holland 2019, 18 december 2018, EP201812201671.
- NAM (2019a): Stabiliteitsanalyse van waterpaspeilmerken 2019 – Toelichting methodiek en toepassing op de meetregisters “Noord Nederland, Groningen en Waddenzee 2018” en “Zuid-Holland 2017”. Nederlandse Aardolie Maatschappij, 12 juli 2019, EP201906210480.
- NAM (2019b): Meetregister bij het meetplan Noord Nederland, Groningen en Waddenzee 2018 – Addendum InSAR. Nederlandse Aardolie Maatschappij, 19 juli 2019, EP201907205139.
- NAM (2020): Meetregister bij het meetplan De Wijk/Wanneperveen – Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing De Wijk/Wanneperveen 2019. Nederlandse Aardolie Maatschappij, 21 april 2020, EP201912253562.

