

Memo

Datum

10 januari 2020

Contactpersoon

Sanneke van Asselen

Henk Kooi

Doorkiesnummer

+31(0)88 335 7706

E-mail

Sanneke.vanAsselen@deltares.nl

Aantal pagina's

1 van 18

Onderwerp

Gebruik van InSAR voor detectie bodemdalingstrends in Gouda

1 Kader

In het kader van het TKI project 'Bodemdaling in steden op slappe ondergrond' (Deltares, projectnummer 11203013) is onderzocht of radarbeelden, die van de aarde worden gemaakt vanuit een satelliet ('Interferometric Synthetic Aperture Radar', InSAR), informatie verschaffen over de invloed van ophogingen en grondwaterstandverlagingen op bodemdaling in Gouda. De vraag hierbij was of eventuele versnelde bodemdaling door tijdelijke of permanente grondwaterstandsverlaging en/of ophogingen via InSAR metingen waarneembaar is en om hoeveel het gaat. Beantwoording van die vraag is wenselijk om meer zicht te krijgen op de effectiviteit van maatregelen om bodemdaling te verminderen en/of om te bepalen of er juist meer gerichte, aanvullende bodemdalingsmonitoring noodzakelijk is.

2 Aanpak & data

InSAR gegevens voor Gouda zijn beschikbaar gesteld door de gemeente via een portal van SkyGeo. Deze portal bevat bodemdalingsinformatie van een aantal satellieten. Elke satelliet geeft informatie over een bepaalde periode (Tabel 1). De informatie bestaat uit tijdreeksen van de verticale beweging voor reflectiepunten (Eng: scatterers) in de stad. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen Hoge en Lage reflectiepunten en Persistent en Distributed scatterers (PS/DS). Voor deze analyse is gekeken naar Lage Punten omdat deze vaker de beweging van het maaiveld weerspiegelen in plaats van punten van gebouwen of andere hoge objecten. Bij een Persistent Scatterer bevat een pixel één dominant en stabiel reflectiepunt. Bij een Distributed Scatterer bevat een pixel meerdere reflectiepunten met een zwak signaal. De werkelijke locatie van een reflectiepunt kan afwijken van de locatie die op de kaart in het portal is aangegeven. Tabel 1 geeft een indicatie van de nauwkeurigheid van de locatiebepaling voor de verschillende datasets.

Tabel 1. Informatie over de InSAR datasets van de verschillende satellieten.

Satelliet	Periode	Cyclus (dagen)	Nauwkeurigheid
TerraSAR-X	Nov 2013-Nov 2016*	11	1 a 2 m
RadarSat-2	Jun 2010-Aug 2016	24	5 a 7 m
Envisat	Jul 2003-Sept 2010	35	Ca. 10 m
ERS	Apr 1992-Jan 2001	35	Ca. 10 m

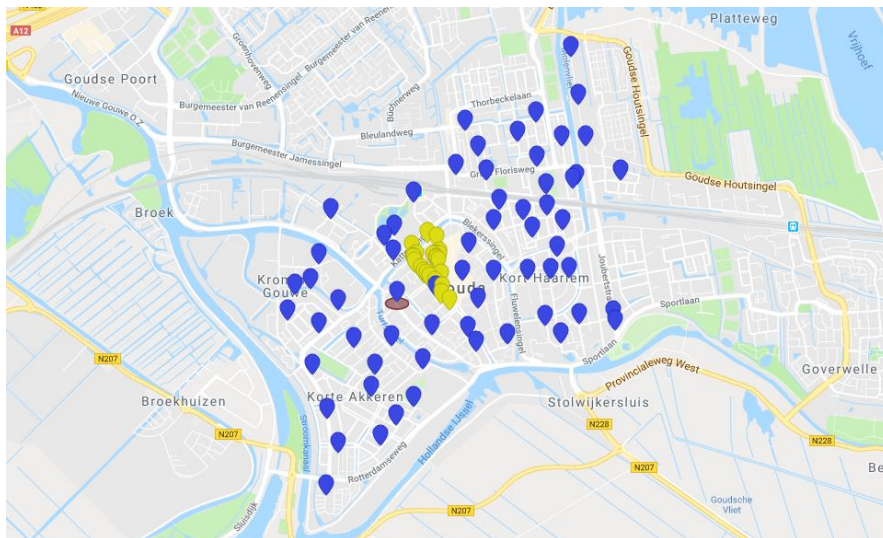
* oorspronkelijke dataset in 2019 uitgebreid tot Dec 2018

De gemeente Gouda heeft informatie over (weg)werkzaamheden beschikbaar gesteld voor de periode 2002-2018 (Excel bestand). Uit dit bestand is informatie over ophogingen gebruikt. De locatie (weg of wegvak) en periode van een ophoging is vergeleken met InSAR gegevens (tijdreeksen) voor dezelfde locatie en periode, indien beschikbaar in de SkyGeo portal. Daarbij is gezocht naar aanwijzingen voor een verandering in de dalingssnelheid (trendbreuk) door de ophoging.

Grondwaterstandgegevens zijn beschikbaar gesteld via de Wareco Water portal (Figuur 2.1). Voor de meeste punten zijn vanaf begin 2016 uurlijkse metingen beschikbaar. Voor diverse meetpunten zijn er daarnaast 2-wekelijkse handmatige waarnemingen beschikbaar vanaf 2008. Er is gezocht naar tijdreeksen met:

- een abnormaal grote tijdelijke uitzakking van het peil
- een permanente verlaging van het peil
- sterk verschillende seizoensdynamiek die dicht bij elkaar liggen

Voor geselecteerde tijdreeksen is vervolgens gekeken of er InSAR tijdreeksen in de nabijheid van de betreffende waarnemingspunten beschikbaar zijn en of er een relatie lijkt te bestaan tussen het grondwatergedrag en de bodemdalingstijdreeks(en). De vergelijking van curves is op het oog gedaan zonder statistische bewerkingen/correlatie; dat laatste bleek niet zinvol.



Figuur 2.1. Locaties van grondwaterstandsmetpunten in Gouda (Bron: Wareco portal).

3 Resultaten

3.1 Grondwaterstanden en bodemdaling

Er zijn geen verbanden gevonden tussen de grondwaterstandmetingen en de snelheid/trend van bodemdaling op basis van de InSAR data. Bijlage 1 illustreert dit met enkele voorbeelden.

Er is één grondwaterstandstijdreeks waarin de grondwaterstand in de zomermaanden van 2017 en 2018 (waarschijnlijk) meer is uitgezakt dan in andere jaren (zie Bijlage 1: Waarnemingsbuis BQ11A-PB13). Het gaat om extra verlagingen van twee a drie decimeter. Nabijgelegen InSAR reeksen tonen daar geen afwijkingen in de bodemdalingstrend in of rond deze maanden (Bijlage 1).

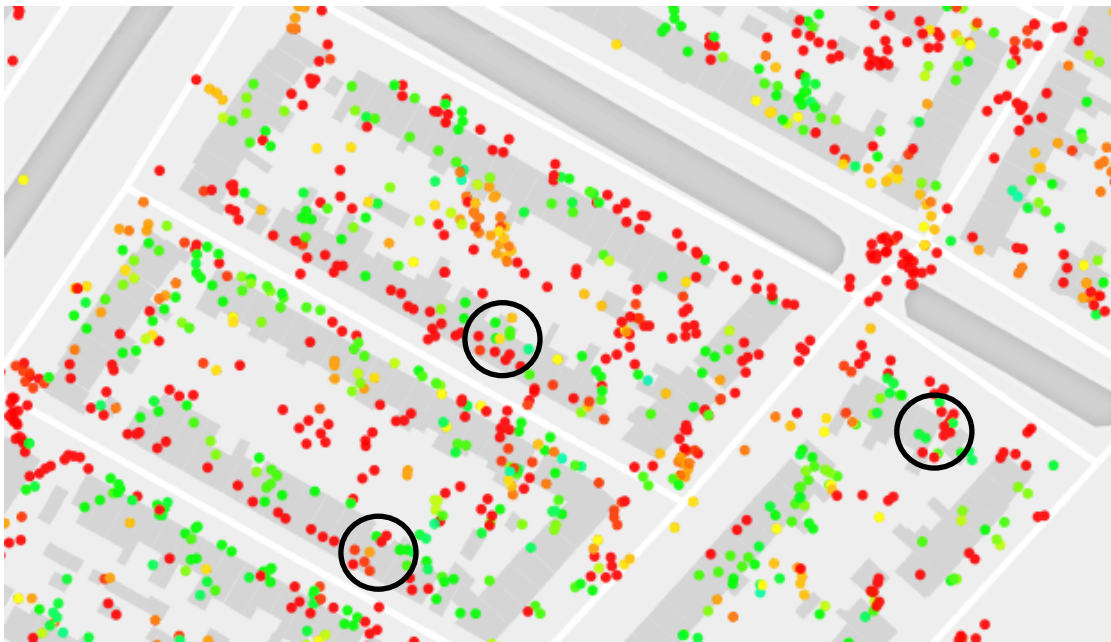
Er zijn géén grondwaterstandstijdreeksen aangetroffen waarin een permanente verlaging van het peil voor komt. De invloed van dit soort verandering in grondwaterstand op bodemdaling kon daarmee niet worden onderzocht.

Er zijn enkele grondwatertijdreeksen in de buurt Ouwe Gouwe gevonden met een sterk verschillende dynamiek (Bijlage 1). Vergelijking van bodemdalingsreeksen op punten bij deze grondwaterbuizen laat geen duidelijke verschillen zien die aan de verschillen in dynamiek kunnen worden gekoppeld.

3.2 Ophogingen en bodemdaling

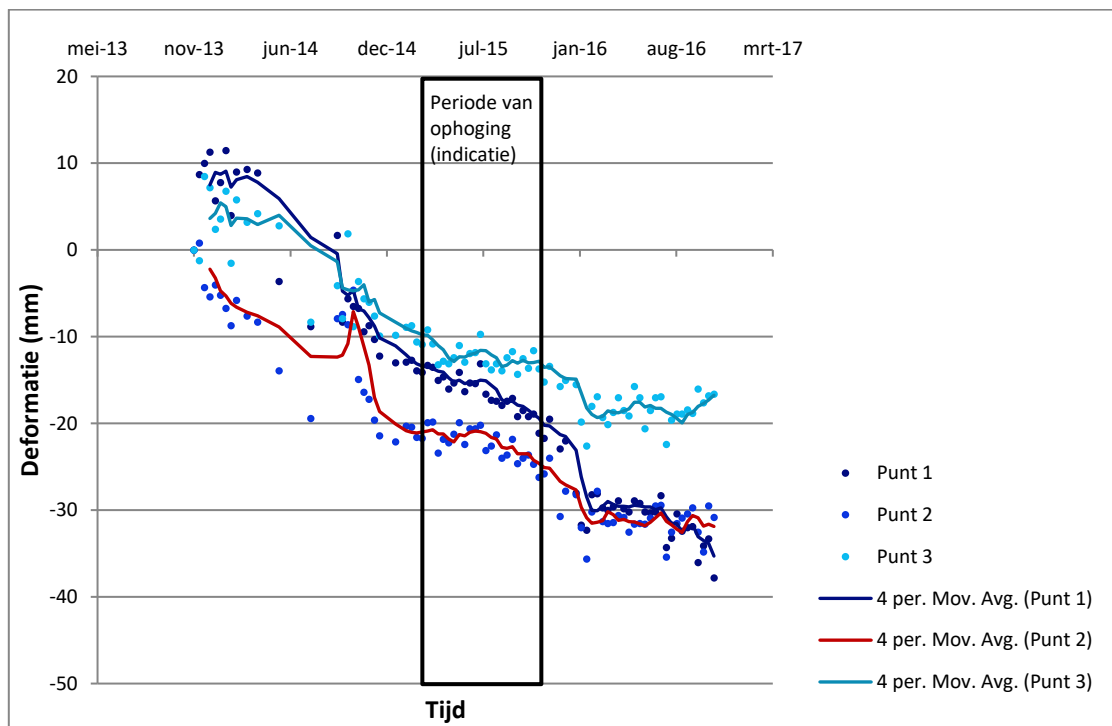
De beschikbare InSAR data hebben beperkte informatie opgeleverd over veranderingen in bodemdaling door ophogingen. De belangrijkste reden daarvoor is dat in delen van de openbare ruimte waar is opgehoogd zeer weinig InSAR waarnemingspunten (reflectoren) beschikbaar zijn waarvan de tijdreeksen kunnen worden bestudeerd (Figuur 3.1). Dit was niet voorzien, maar is achteraf goed te verklaren. Het gebrek aan waarnemingen op de opgehoogde wegdelen wordt veroorzaakt door de veranderde (radar)reflectie eigenschappen van het oppervlak, als gevolg van de werkzaamheden. De computeralgoritmes die worden gebruikt om maaiveld daling af te leiden uit de radarbeelden kunnen daar dan geen goede bodemdalingstrend meer uit extraheren. Die punten worden dan verwijderd uit de dataset (ook voor de periode tot aan het onderhoud). Hier wordt in paragraaf 4.1 verder op ingegaan. De tijdreeksen die wel beschikbaar waren in het potentiële invloedsgebied van een ophoging leveren om verschillende redenen geen duidelijke informatie over de invloed van de ophoging:

1. Beschikbare punten liggen veelal dicht bij of op gebouwen (Figuur 3.1). Het is daardoor onduidelijk of de tijdreeksen de beweging van het maaiveld weergeven. En als het wel maaiveld betreft kan dit buiten het terrein zijn dat is opgehoogd.
2. Van het dalingsgedrag van een enkel waarnemingspunt is de onzekerheid groot of dit representatief is voor de ruimere omgeving van dat punt. Ook waar geen ingreep heeft plaatsgevonden vertonen wegdelen soms sterk wisselende dalingssnelheden over korte afstand. Voor een betrouwbaar beeld is het wenselijk dat meerdere punten een vergelijkbaar gedrag vertonen.
3. Voor de InSAR data van de oudere satellieten (1992-2013) is de punt dichtheid over het algemeen sowieso vrij laag en de onzekerheid over de locatie van het reflectiepunt vrij groot. De data van de nieuwste satelliet is daarom het meest bruikbaar (TSX; 2014-2016). Nadeel is echter dat deze data een vrij korte periode betreft om echt goed uitspraken te kunnen doen over veranderingen in bodemdalingssnelheid.

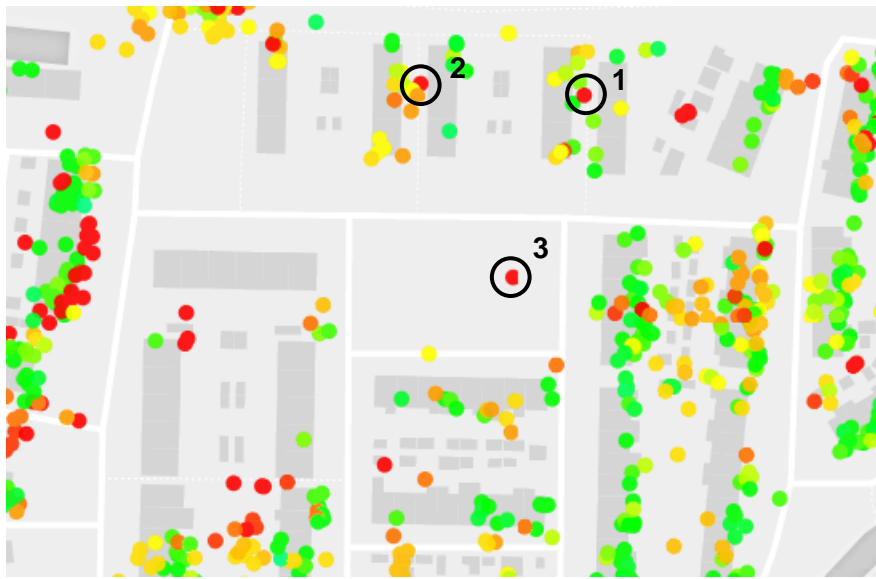


Figuur 3.1. Veel meetpunten vallen niet op wegen (de witte strepen), en meetpunten die vlak bij elkaar liggen kunnen grote verschillen in bodemdaling tonen (bijvoorbeeld binnen de zwarte cirkels). Alleen Lage Punten (Persistent Scatterers) zijn getoond (niet van gebouwen).

Soms lijkt er wel wat in de data te zitten. Bijvoorbeeld, in Figuur 3.2 worden drie meetreeksen getoond van drie punten gelegen in een gebied dat is opgehoogd in 2015 (Figuur 3.3). Na de periode van ophoging lijkt een versnelling in bodemdaling op te treden, gevolgd door een vertraging in bodemdaling. De vraag is hoe lang de vertraging doorgaat.

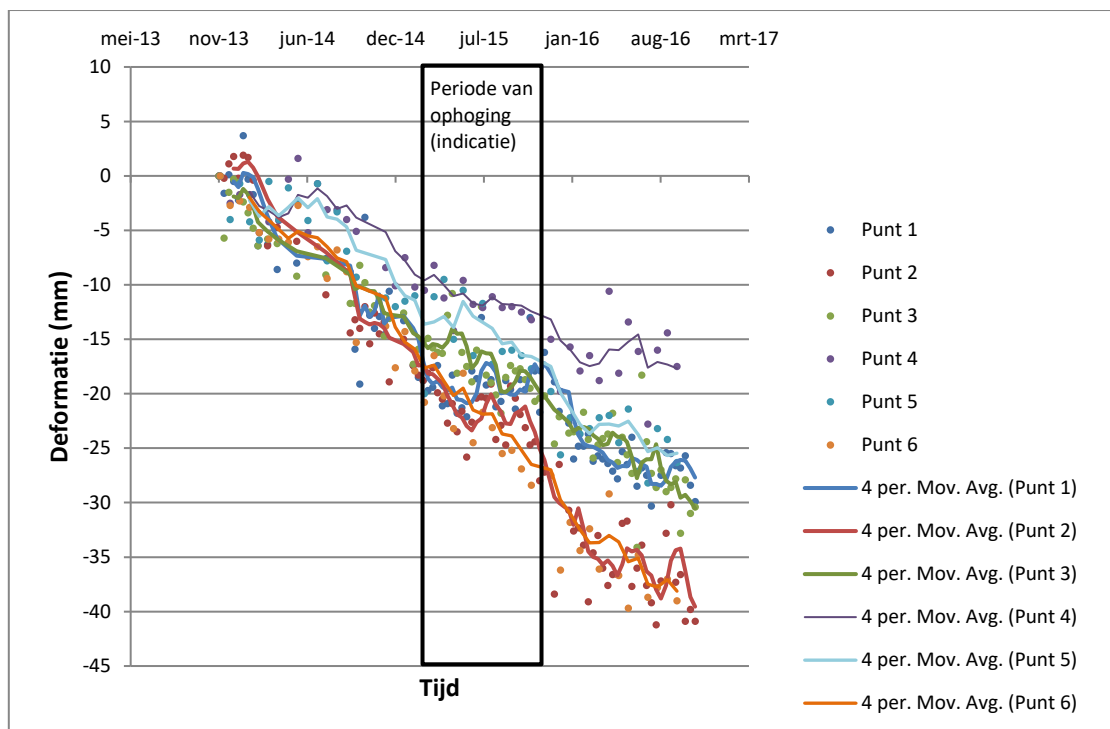


Figuur 3.2. Meetreeksen van 3 meetpunten (zie ook Figuur 3.3). Het betreft Lage reflectiepunten en Persistent Scatterers (TerraSAR-X satelliet). NB de ophoging zelf is niet terug te zien in de grafiek omdat de data alleen snelheden laten zien en geen (absolute) ophogingen.

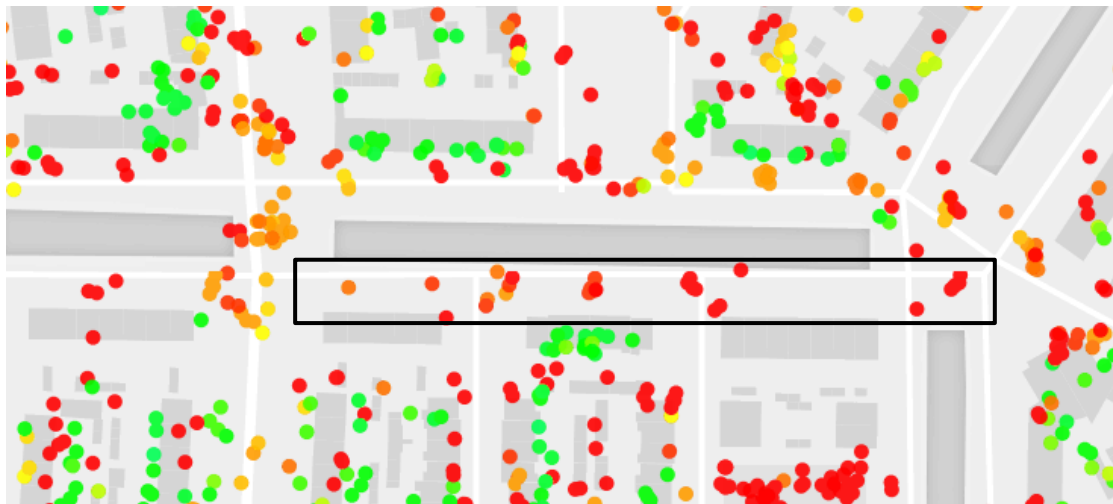


Figuur 3.3. Locaties van 3 meetpunten waarvan de tijdreeksen zijn weergegeven in Figuur 3.2. Alleen Lage Punten (Persistent Scatterers) zijn getoond (niet van gebouwen).

Ook op een andere locatie, welke is opgehoogd in 2015, laten een aantal punten (dus niet allemaal) na de periode van ophoging een versnelling in bodemdaling te laten zien (Figuur 3.4 en 3.5).

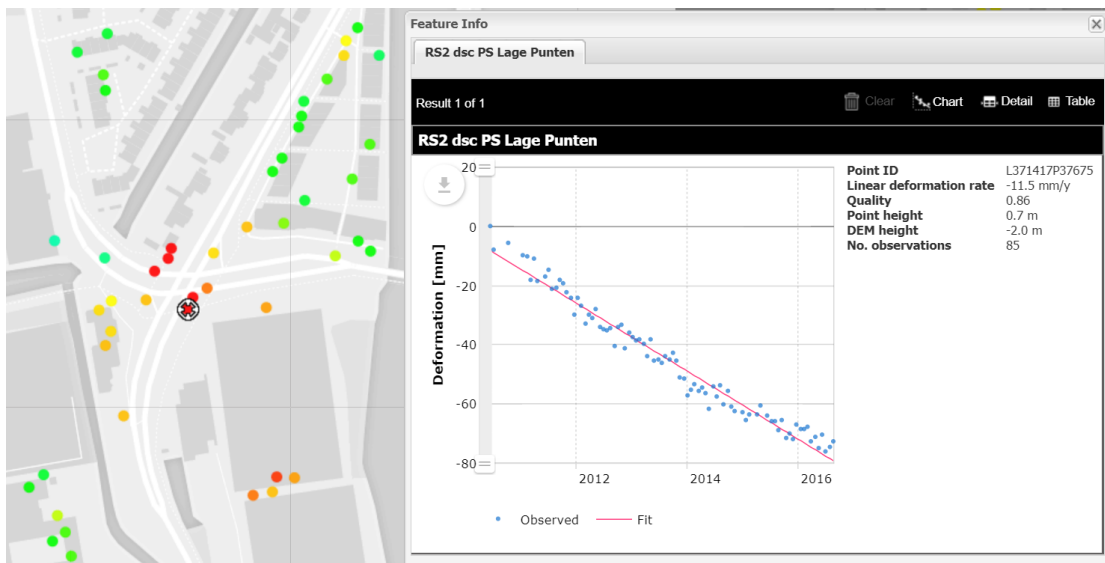


Figuur 3.4. Meetreeksen van 6 meetpunten. Het betreft Lage reflectiepunten en Persistent Scatterers (TerraSAR-X satelliet (zie ook Figuur 3.5)).



Figuur 3.5. De meetreeksen getoond in Figuur 3.4 vallen allen binnen het zwarte kader (TerraSAR-X PS Lage Punten). Dit gebied is in 2015 opgehoogd.

Op andere locaties lijkt er geen verandering in bodemdalingssnelheid op te treden ondanks een aangegeven ophoging in 2013 (Figuur 3.6). Blijkbaar betreft het meetpunt een object dat niet aangetast is door de ophoging.



Figuur 3.6. Deformatie van een meetpunt op een locatie welke is opgehoogd in 2013 (RadarSat-2 satelliet, PS Lage Punten).

4 Discussie

4.1 Alternatieve aanpak met InSAR data

Weinig en minder betrouwbare informatie in reguliere InSAR data

De resultaten maken duidelijk dat de 'standaard' InSAR datasets, zoals de data set die Gouda ter beschikking heeft, weinig geschikt zijn om duidelijkheid te krijgen over de impact van wegwerkzaamheden op bodemdaling. Dat heeft te maken met het feit dat bij zulk onderhoud het oppervlak ingrijpend verandert. Tijdens het onderhoud gaat de bestrating eruit, maar soms ook putdeksels, trottoirbanden, en er komt een nieuw oppervlak voor in de plaats. Door de verandering van het oppervlak ontvangt de satelliet andere radar reflectiesignalen van hetzelfde stukje oppervlak. De computeralgoritmes die worden gebruikt om maaiveld daling af te leiden uit de radarbeelden kunnen daar dan geen goede bodemdalingstrend meer uit extraheren. Die punten worden dan verwijderd uit de dataset (ook voor de periode tot aan het onderhoud!). Voor sommige punten kan nog net wel een interpretatie worden gegeven die aansluit bij de trend tot aan het onderhoud, maar de kwaliteit wordt laag (ruzig beeld; Bijlage 2), en de gevonden trend vanaf het onderhoud is minder betrouwbaar. Het resultaat is dat voor openbare ruimte waar onderhoud is gepleegd heel weinig punten met maaiveld daling beschikbaar zijn, en dat de informatie voor punten die wel beschikbaar zijn minder betrouwbaar is.

Opgeknijpte bewerking

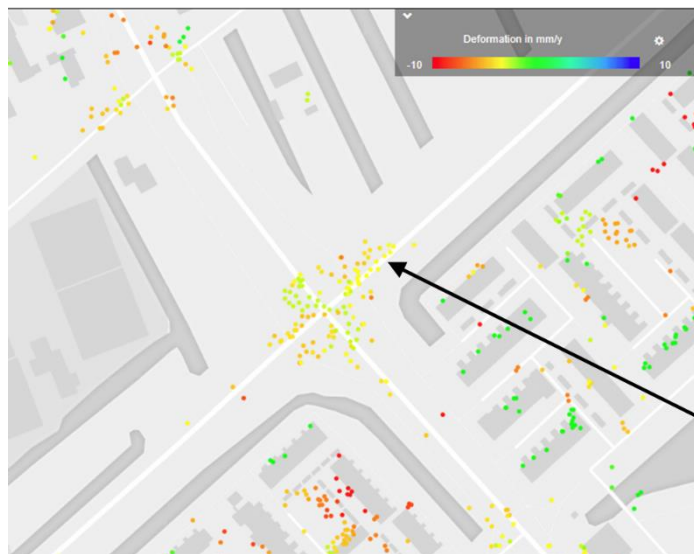
Met deze inzichten is er recent in een aantal andere gemeenten gekozen om voor een locatie/wijk waarin onderhoud is gepleegd door SkyGeo aparte InSAR datasets te maken voor de periode tot aan het onderhoud, en voor de periode na het onderhoud. Dit wordt ook wel aangeduid als 'opgeknijpte bewerking' van de radarsatellietbeelden. Voor beide perioden geldt dat het karakter van het oppervlak niet ingrijpend verandert. Voor beide perioden kan daarom relatief veel informatie (InSAR punten) worden gegenereerd met een normale betrouwbaarheid. Wel kan één van de twee perioden te kort zijn om een goede langjarige trend te verkrijgen. Ook liggen de meetpunten voor beide perioden veelal niet exact op dezelfde plek (iets andere reflectiepunten). De opgeknijpte aanpak is in 2011 al toegepast door de voorloper van SkyGeo (Hansje Brinker) om de invloed van ophoging in enkele wijken buiten de binnenstad te onderzoeken (Schouten, Leezenberg en van Leijen, 2011). Dat leverde wel aanwijzingen voor een toename van maaiveld daling in drie wijken, maar geen duidelijk beeld. Door het gebruik van de beelden van wat oudere satellieten (ERS; ENV) was de informatiedichtheid (aantal punten met tijdreeksen) vrij laag en de onzekerheid in de locatie van die punten vrij groot.. Naar verwachting zou de aanpak duidelijkere resultaten opleveren wanneer de recentere TSX-data zouden worden gebruikt.

Illustratie met dataset van de gemeente Capelle aan den IJssel

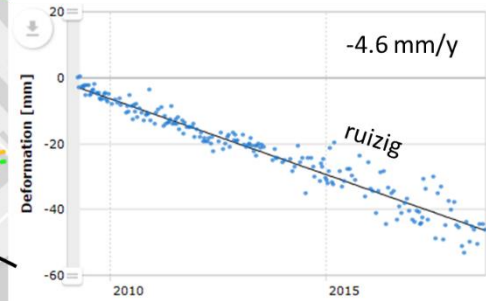
De gemeente Capelle aan den IJssel heeft tot op heden gebruik gemaakt van diverse ophoogmaterialen (lichte en reguliere) bij onderhoud van wijken en wijkdelen. In 2019 is de gemeente begonnen aan een onderzoek naar de effecten van die verschillende ophoogmaterialen op maaiveld daling. Daarvoor heeft SkyGeo een InSAR dataset geleverd (juni 2010 - september 2017) waarin gebruik is gemaakt van opgeknijpte bewerking. De opknijping verschilt per wijk(deel) afhankelijk van de periode waarin het onderhoud plaatsvond.

Figuur 4.1 illustreert de informatietoename die wordt verkregen met opgeknijpte bewerking (opgesteld met toestemming van Robert van de Nadort van de Gemeente Capelle aan den IJssel). De verandering in daling voor de periode voor en na het onderhoud zijn duidelijk zichtbaar in de onderste twee panelen. Deze verandering is niet te destilleren uit de informatie die wordt verkregen door reguliere bewerking (bovenste paneel).

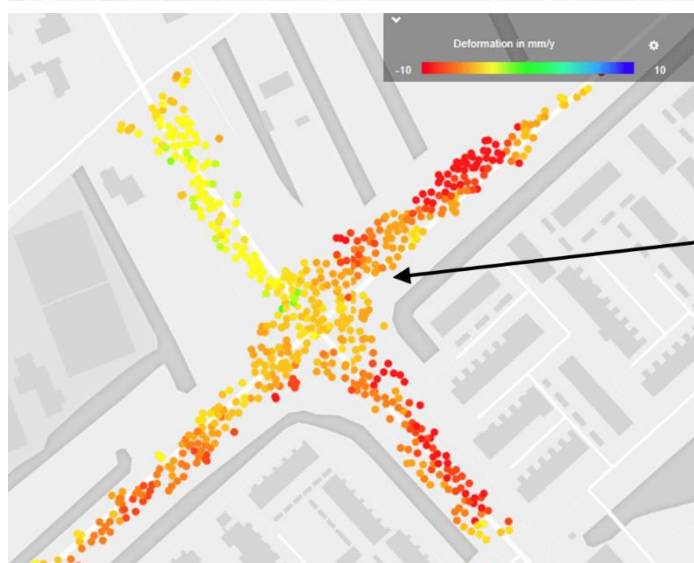
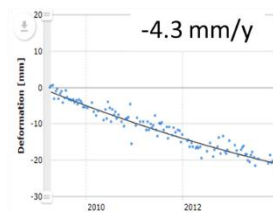
De onderste twee kaartjes bevatten alleen meetpunten die zijn verkregen uit radarbeelden van de opgaande satellietbaan (ascending). Het bovenste kaartje bevat punten die horen bij zowel de opgaande als de neergaande satellietbaan (ascending en descending). Het aantal punten voor alleen de opgaande baan is voor het bovenste kaartje aanzienlijk kleiner dan getoond. Helaas konden de waarnemingspunten in het bovenste kaartje niet op dezelfde grootte worden weergegeven als in de onderste twee kaartjes. Dit zorgt ook voor een op het oog vertekend beeld. De figuur illustreert desondanks vrij duidelijk dat door opgeknipte bewerking de hoeveelheid punten en de informatie over bodemdaling aanzienlijk wordt vergroot.



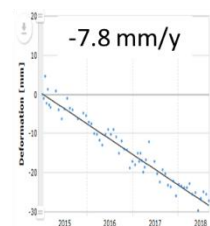
Regulier (hele periode)



Vóór onderhoud



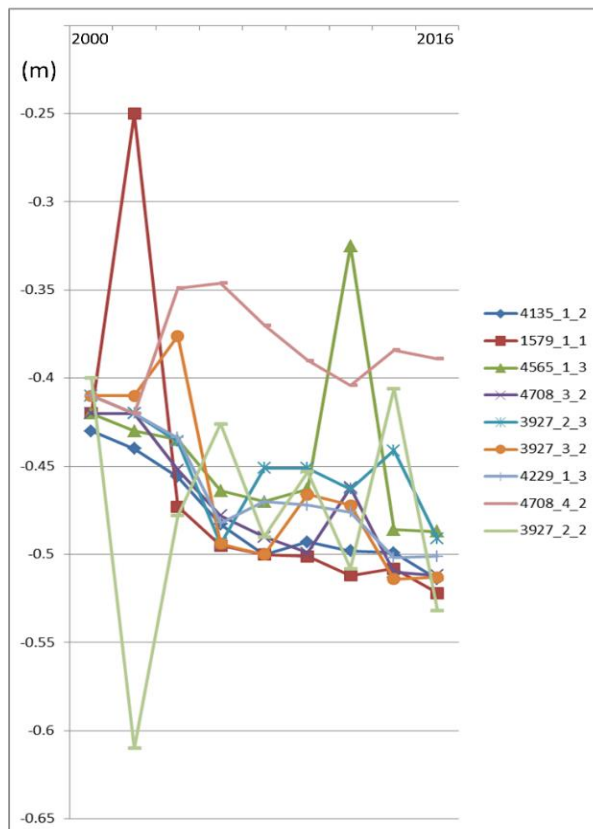
Na onderhoud



Figuur 4.1. Illustratie van het resultaat van opgeknipte bewerking van radarsatellietdata aan de hand van data van de gemeente Capelle aan den IJssel.

4.2 Bruikbaarheid van waterpassingsdata

De gemeente Gouda beschikt over tijdreeksen van hoogtes van een netwerk van merken die 2-jaarlijks worden ingemeten. Een inspectie van de hoogtedata voor de periode 2000-2016 laat zien dat de reeksen trends lijken te bevatten die duiden op lange-termijn daling van de merken. Tegelijkertijd bevatten de reeksen ook veel fluctuaties die lijken te wijzen op fouten in metingen of geregistreeerde hoogten. Figuur 4.2 geeft hier een voorbeeld van voor reeksen merken waar volgens de beschikbare informatie binnen de periode géén ophoging heeft plaatsgevonden. Diverse curves tonen grote fluctuaties (3927_2_2; 4565_1_3; 3927_3_2; 3927_2_3; 4708_4_2). Dit roept vragen op over de bruikbaarheid van de gegevens om een goed beeld te krijgen van de impact van onderhoud. De bruikbaarheid is verder erg beperkt doordat de locaties van de meetpunten niet zijn afgestemd op dit doel en de ruimtelijke dekking bijzonder laag is. Ook uit ander onderzoek, naar het gebruik van InSAR voor het bepalen van vervormingen van panden in het kader van vervanging van kademuren in Amsterdam, is gebleken dat waterpasgegevens niet altijd even betrouwbaar worden bevonden vanwege opwaartse en neerwaartse sprongen in de meetreeks, die niet direct te verklaren zijn door seizoenale factoren of menselijk ingrepen (Venmans, 2019).



Figuur 4.2 Tijdreeksen van hoogte van merken van het waterpasmeetnet van Gouda

5 Conclusies en aanbevelingen

- De resultaten van deze studie geven aan dat de beschikbare 'standaard' InSAR data niet of slechts zeer beperkt bruikbaar zijn om meer zicht te krijgen op de invloed van (a) grondwaterstandsverlagingen en (b) ophogingen op de bodemdaling in Gouda.
- Voor de invloed van grondwaterstandsverlagingen ligt dit deels aan het feit dat de grondwaterstandsdata weinig tot geen geprononceerde verlagingen bevatten. Waar zich beperkte verlagingen lijken te hebben voorgedaan in de zomers van 2017 en 2018 is daarvan geen effect op de bodemdaling gevonden in de InSAR data in de directe omgeving. Mogelijk betekent dit dat de invloed van tijdelijke verlagingen bijzonder gering is (dit sluit aan bij de bevindingen/verwachtingen op basis van modellering), maar de dataset is te gering om hier duidelijke uitspraken over te doen.
- Voor studie van de invloed van ophogingen levert de beschikbare 'standaard' InSAR data weinig informatie doordat de ingreep de reflectie eigenschappen van het maaiveld verandert en daardoor weinig meetpunten met tijdreeksen beschikbaar zijn. De tijdreeksen die wel beschikbaar zijn, zijn minder duidelijk te relateren aan de ophoging.
- We verwachten dat beschikbare waterpasgegevens geen bruikbaar alternatief bieden voor de bestudering van de invloed van ophogingen.

Op basis van dit onderzoek doen wij de volgende aanbevelingen:

- Om voor de analyse van de invloed van diverse ingrepen zoals ophogingen op bodemdaling speciaal daarop toegesneden InSAR data te betrekken waarin opgeknipte bewerking is toegepast.
- Goede databases bij te houden van uitgevoerde werkzaamheden in de openbare ruimte (locatie, moment, vervanging, ophoging, materiaal). Dit is nodig om deze te kunnen relateren aan InSAR data (ook met terugwerkende kracht).
- Indien waterpassen wordt gebruikt voor het bepalen van effecten van grondwaterstandverlaging en ophogingen op bodemdaling het meetnetwerk en -frequentie en -duur daar specifiek op te ontwerpen.

Een dergelijke aanpak kan als voorbeeld dienen voor andere gemeenten. Ook kunnen resultaten van dergelijke hoogwaardige analyses in de toekomst gebruikt worden voor het toetsen van modelberekeningen.

6 Referenties

Schouten, M., P.B. Leezenberg en F van Leijen (2011) Historische deformatiemetingen Gemeente Gouda d.m.v. radar interferometrie. Rapport van Hansje Brinker.

Venmans, A. (2019) Betrouwbare satellietmonitoring van panden bij kademuurvervangning - Geanonimiseerde versie. Deltares rapport 11202687-002-GEO-0003, p. 35.

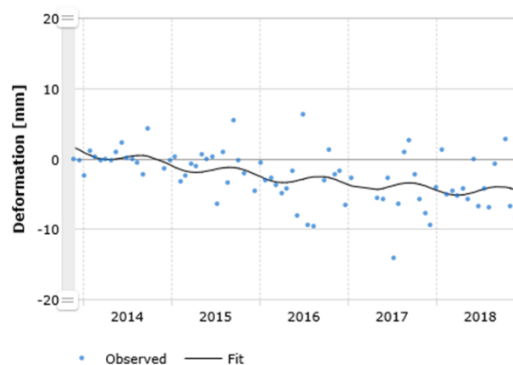
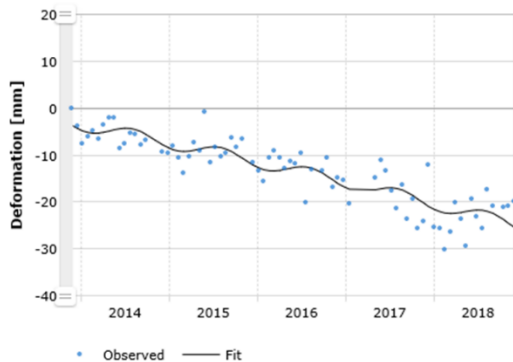
Bijlagen

Bijlage 1. Grondwaterstandsverlaging en bodemdaling uit InSAR

Tijdelijke 'grote' uitzakking van het freatisch grondwaterniveau
Waarnemingsbuis BQ11A-PB13
Vrouwepoort 3

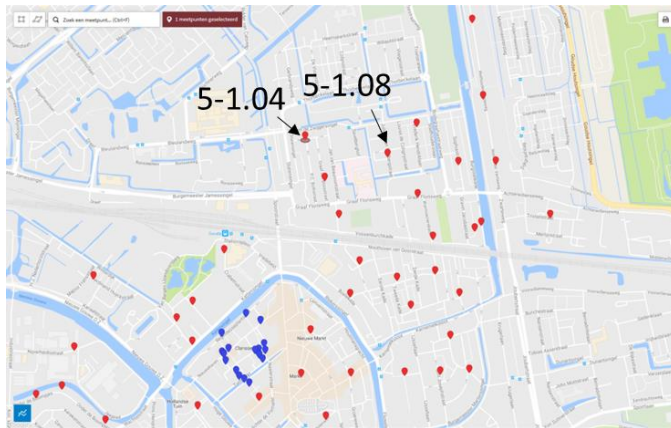


Deze tijdreeks laat in de zomermaanden van 2017 en van 2018 een sterkere verlaging zien dan in de zomermaanden van 2016. Onderstaande figuur toont twee InSAR tijdreeksen dicht bij deze waarnemingsbuis. Daarin is geen invloed van de versterkte zomerverlaging (2 a 3 dm) waarneembaar. De modelfits van beide tijdreeksen bevatten een seizoenale component van maaiveldbeweging. Volgens die interpretatie wordt het laagste punt in de winter of in het vroege voorjaar bereikt, en niet in de zomermaanden waarin de grondwaterstand het laagst is.

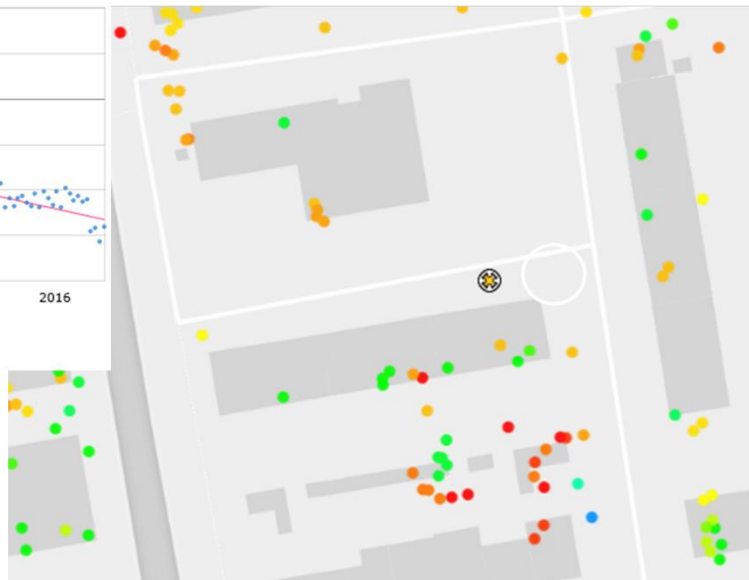
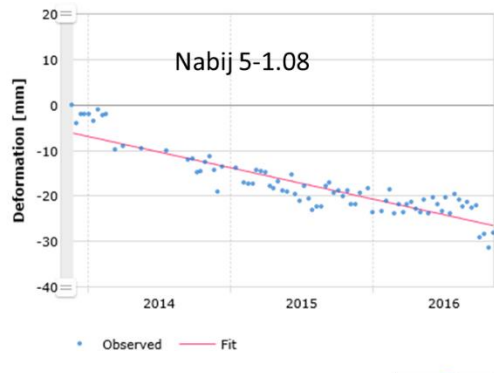
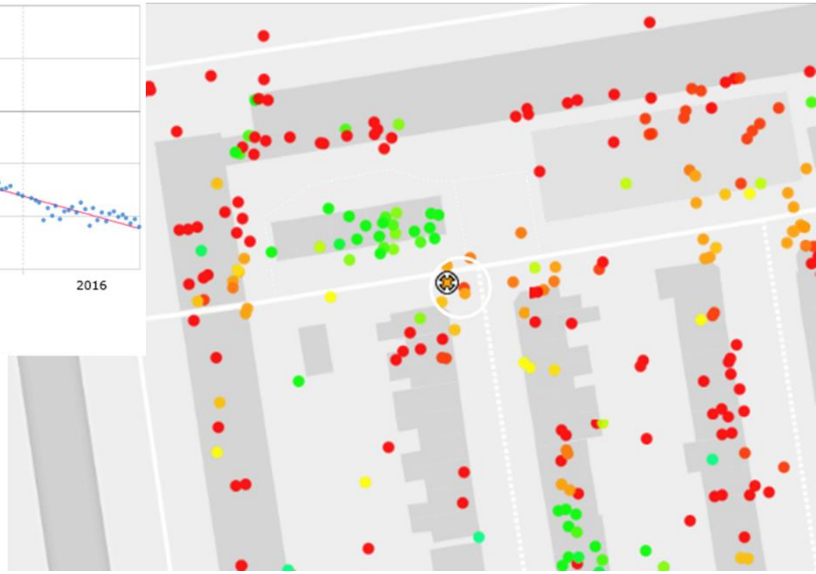
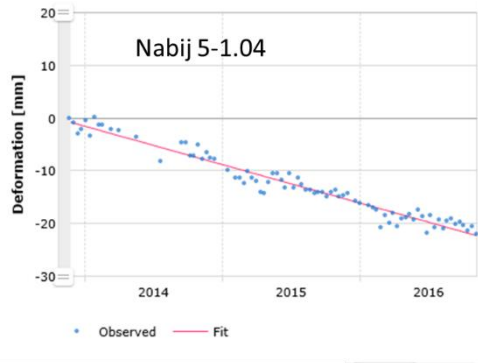


Verschillen in grondwaterdynamiek

Waarnemingsbuizen 5-1.04 en 5-1.08 tonen een sterk verschillende grondwaterdynamiek. De tijdreeks van 5-1.04 is zeer vlak. Mogelijk is er goed contact met nabijgelegen oppervlaktewater. De tijdreeks van 5-1.08 toont een sterke dynamiek met een seizoenale variatie van ca. 0.5 m.



InSAR tijdreeksen van reflectiepunten nabij deze grondwaterwaarnemingspunten tonen een zeer vergelijkbare dalingssnelheid van ca. 7 mm/jaar. Er is geen duidelijke invloed van de verschillende dynamiek zichtbaar in de tijdreeksen.



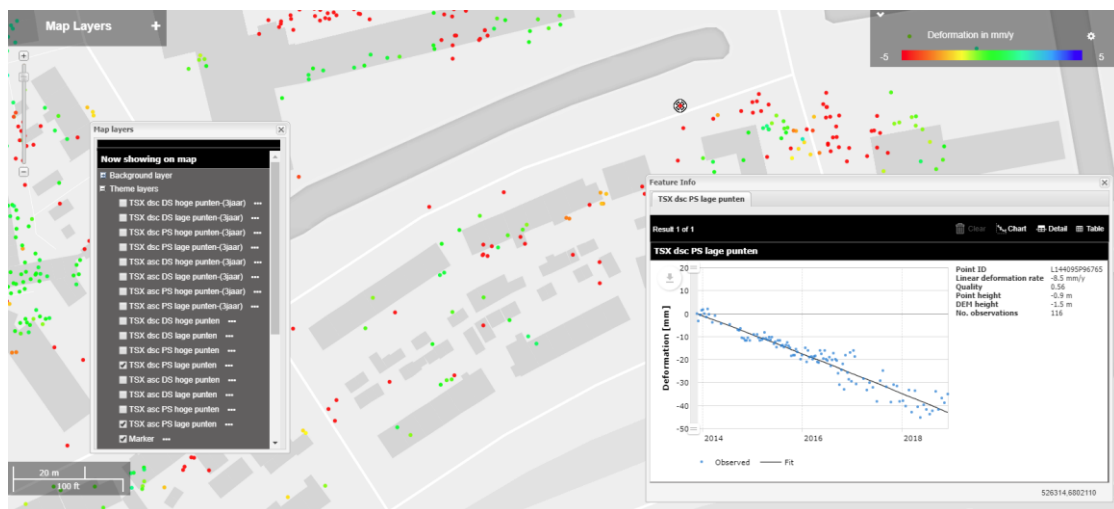
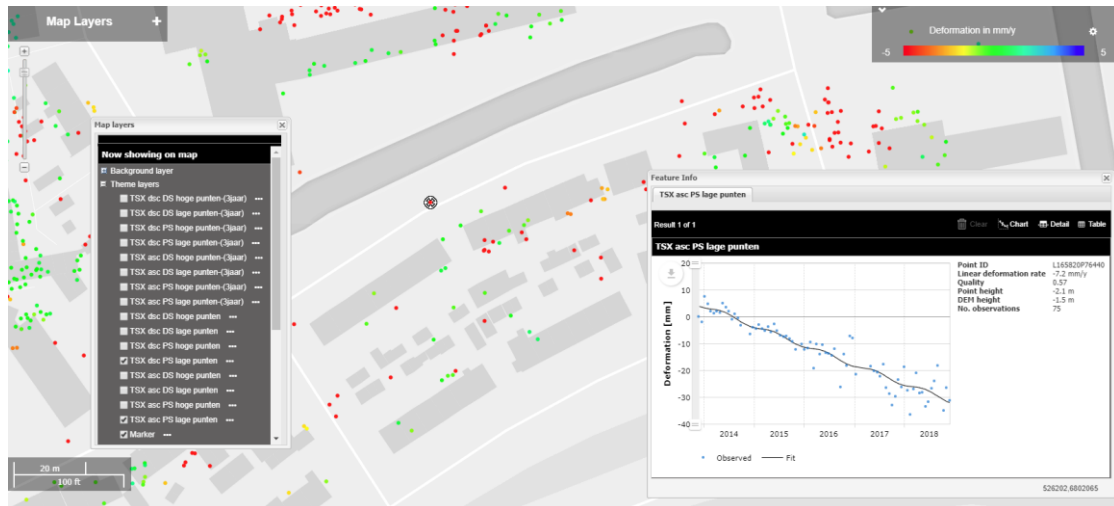
Bijlage 2. Verandering kwaliteit InSAR trend na ophogingen

Voorbeeld 1

Startjaar werkzaamheden: 2016

Realisatie: 1-12-2017

Waarnemingen: in de InSAR grafiek wordt de spreiding van de twee meetreeksen groter vanaf ongeveer 2016.

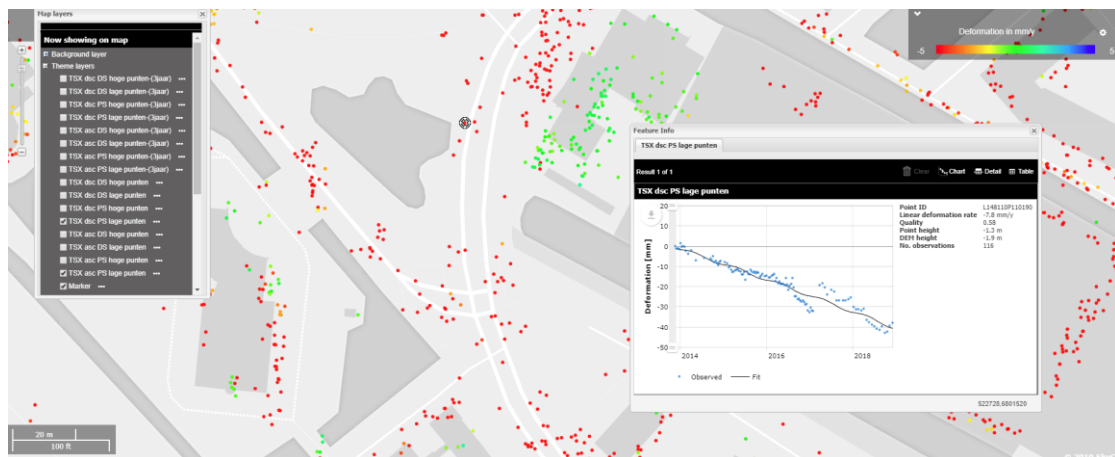
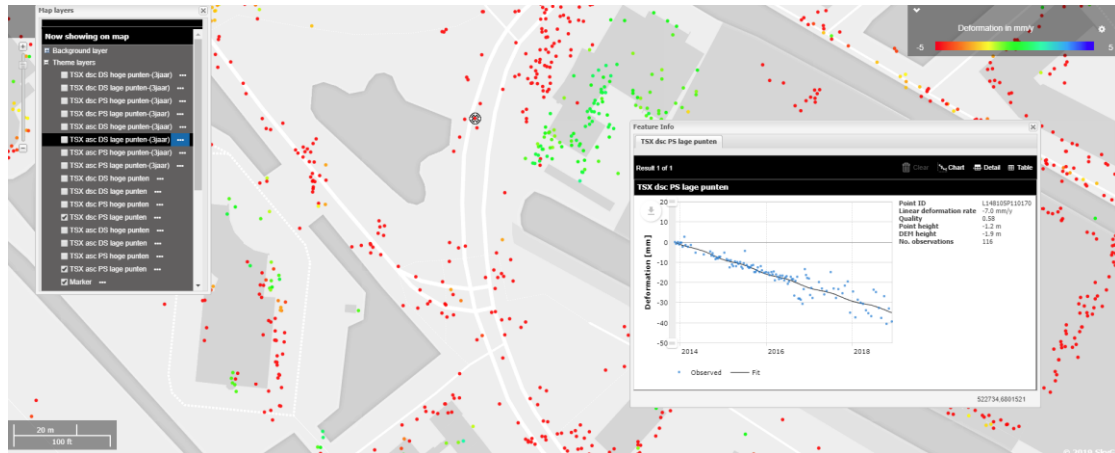


Voorbeeld 2

Startjaar werkzaamheden: 2016

Realisatie: 20-8-2016

Waarnemingen: in de InSAR grafiek wordt de spreiding van de twee meetreeksen groter in de loop van het jaar 2016.



Voorbeeld 3

Start werkzaamheden: 8-8-2016

Realisatie: 1-12-2017

Waarnemingen: in de InSAR grafiek wordt de spreiding van de meetreeks groter vanaf ongeveer 2016.



Voorbeeld 4

Start werkzaamheden: 13-10-2014

Realisatie: 15-11-2015

Waarnemingen: in de InSAR grafiek is de spreiding tot 2015 groter dan in de periode erna.

