

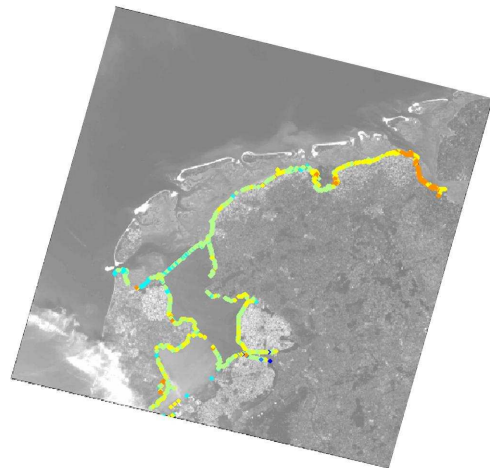


Hoe werkt het?

Beeldvormende radar maakt het mogelijk om dag en nacht, ook in bewolkte omstandigheden, het aardoppervlak waar te nemen vanuit satellieten. De radar zendt duizenden pulsen per seconde uit, die weerkaatsen op het aardoppervlak. Geavanceerde technieken verwerken de ontvangen reflecties vervolgens tot een radarbeeld met pixels van zo'n 2×10 m. Binnen een pixel zijn er bepaalde objecten, zoals de steenbekleding van dijken, lantarenpalen en daken van huizen, die het dominante aandeel hebben in de waargenomen reflectie. Voor de objecten met een dominant aandeel en een stabiele reflectie door de tijd kan de deformatie worden bepaald. Dergelijke objecten worden aangeduid als een coherente reflector.

Radar en Satelliet

Coherentie is hierbij de temporele mate van verandering in reflectie-eigenschappen van het oppervlak. Bij een coherent punt is deze verandering minimaal. Figuur 1 (rechts) laat een voorbeeld zien van deformatiesnelheden berekend voor coherente reflectoren op verschillende dijken in het noorden van Nederland.



Figuur 1: Links) Envisat, de momenteel operationele satelliet. Rechts) puntreflecties op dijken in het noorden van Nederland. Het radarinstrument geplaatst op een satelliet, bijvoorbeeld Envisat, zendt pulsen naar het aardoppervlak die daar worden gereflecteerd en weer worden opgevangen door de satelliet. Met de eigenschappen van de ontvangen pulsen kan deformatie berekend worden voor reflectoren met stabiele reflectie-eigenschappen. De gekleurde stippen in de rechterfiguur tonen de deformatiesnelheden voor de natuurlijke reflectoren op de dijken in het noorden van Nederland.

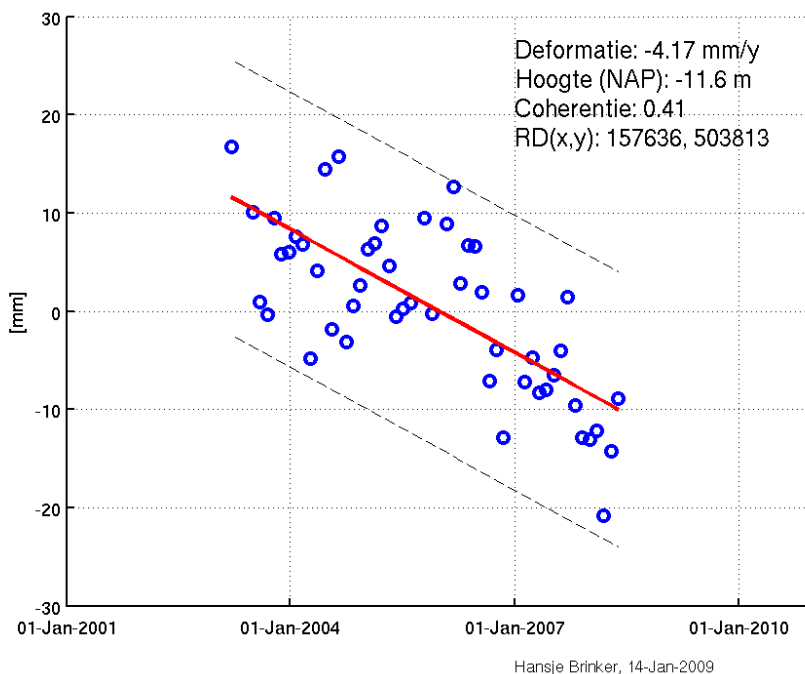


Er zijn momenteel zes satellieten in omloop die de gewenste metingen kunnen leveren. Vanaf 1992 hebben ERS-1 en ERS-2 van ESA achtereenvolgens een archief aan data opgebouwd, in 2001 aangevuld door Envisat, zie fig. 1 (links). De herhalende satellietbaan zorgt voor een globale dekking. Grote gebieden kunnen snel en frequent worden afgetast. Voor een willekeurig punt in Nederland kunnen gemiddeld elke 10 dagen herhalingsmetingen plaatsvinden. Door het archief kunnen we “terug in de tijd” kijken en achteraf een deformatieanalyse doen. In de nabije toekomst zullen nieuwe satellieten worden gelanceerd die de meetkwaliteit zullen verbeteren en de continuïteit kunnen garanderen.

Wat wordt gemeten?

In feite zijn er twee belangrijke parameters die worden gemeten. De eerste is de vormverandering, c.q. deformatie van de dijk. De precisie van deze meting ligt in de orde van 1 mm per jaar. Per ‘reflector’ wordt een tijdreeks berekend. Een tijdreeks bevat de geschatte deformatie per acquisitiemoment, zie fig. 2. De deformatiesnelheid van de reflector wordt bepaald met behulp van de trendlijn van de tijdreeks. Door het berekenen van de deformatie zijn verschillende mechanismen in principe waarneembaar, zoals afschuiving, verzakking, inklinking, heave, horizontale verschuiving, en infrastructuur schade. Opgemerkt dient te worden dat alhoewel een constante deformatiesnelheid wordt geschat, er vaak veel informatie over het temporele gedrag van een punt in de tijdreeks zelf zit.

De tweede parameter is veranderingsdetectie. Wanneer het oppervlak van de dijk verandert, bijvoorbeeld door toedoen van stormen, erosie of ijsbedekking, kan dit worden gedetecteerd als een verandering in het radar reflectiepatroon.



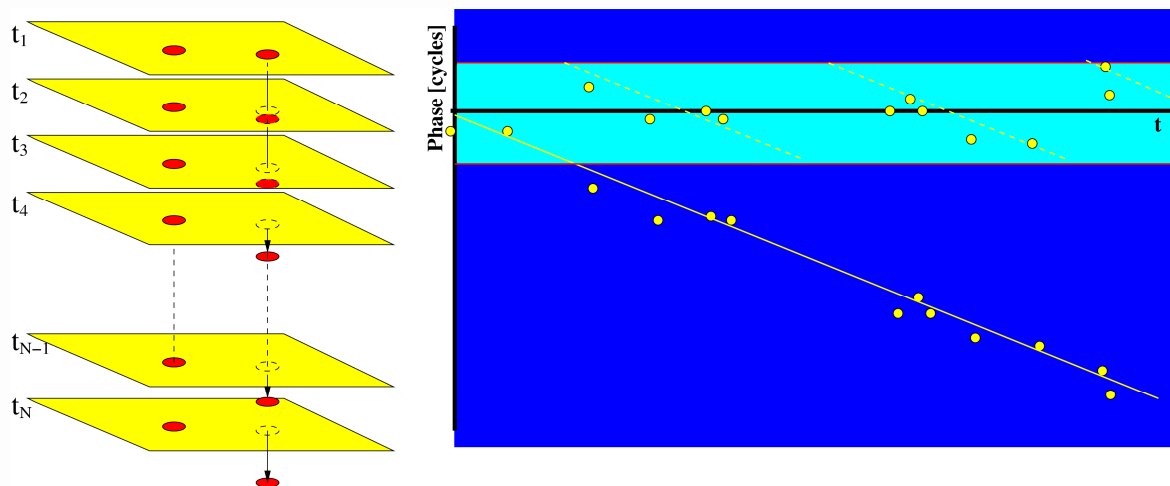
Figuur 2: Voorbeeld van een tijdreeks voor een bepaald punt. De cirkels geven de geschatte deformatie per acquisitie weer. Door deze deformatie is een trendlijn getekend, waaruit de lineaire deformatiesnelheid afgeleid wordt.



De techniek

De fase van het weerkaatste signaal speelt een grote rol in het verkrijgen van deformatie met millimeter precisie.¹ Het verschil tussen twee satellietbeelden geeft faseverschillen. Dit verschil bevat informatie over afstandsveranderingen tussen aarde en satelliet. Door gebruik te maken van meerdere beelden worden foutbronnen, zoals atmosferische invloeden, geschat en fasemeerduidigheden opgelost, wat het berekenen van deformatie mogelijk maakt. Over het algemeen zijn minimaal 25–30 beelden nodig om de deformatie met millimeter nauwkeurigheid te berekenen.

Objecten op aarde met een sterke en stabiele reflectie worden gebruikt om de fasemeerduidigheden op te lossen. Enkele voorbeelden van dit soort objecten zijn steenbekleding van dijken, gebouwen en bruggen. Het opbouwen van tijdreeksen van de deformatie voor deze punten maakt het oplossen van de meerduidigheden mogelijk. Figuur 3 toont het oplossen van de fasemeerduidigheden met behulp van meerdere beelden.



Figuur 3: Oplossen van fasemeerduidigheden. De fase van een reflectie wordt ontvangen door de radar. Deze fase bevat informatie over de afstand tussen de radar en het reflectiepunt op aarde. De fase bevat echter geen informatie over het aantal volledige golven door het signaal afgelegd van de radar tot het object en terug. Voor het oplossen van het onbekende aantal volledige cycli zijn meerdere satellietbeelden aan elkaar gerelateerd. Per acquisitiemoment wordt de deformatie van een pixel berekend. Aan de hand van de berekende deformatie kan een lineaire snelheid worden geschat, wat het oplossen van meerduidigheden mogelijk maakt.

De berekende deformatie is relatief in tijd en ruimte. De satellietbeelden kunnen gezien worden als een opstapeling, waarin de tijd de volgorde van de beelden bepaald. Een van de satellietbeelden is gekozen als referentie. De overige beelden zijn zo gepositioneerd dat pixels, op overeenkomende locaties met het referentiebeeld, signaal bevatten van hetzelfde gebied. De deformatie op het tijdstip waarop het referentiebeeld genomen is, zal gelijk aan nul zijn. De keuze voor het referentiebeeld is in principe willekeurig. Indien er een ander beeld als referentie zou zijn gekozen, zou de deformatie op dat tijdstip gelijk aan nul zijn, wat consequenties heeft voor de absolute

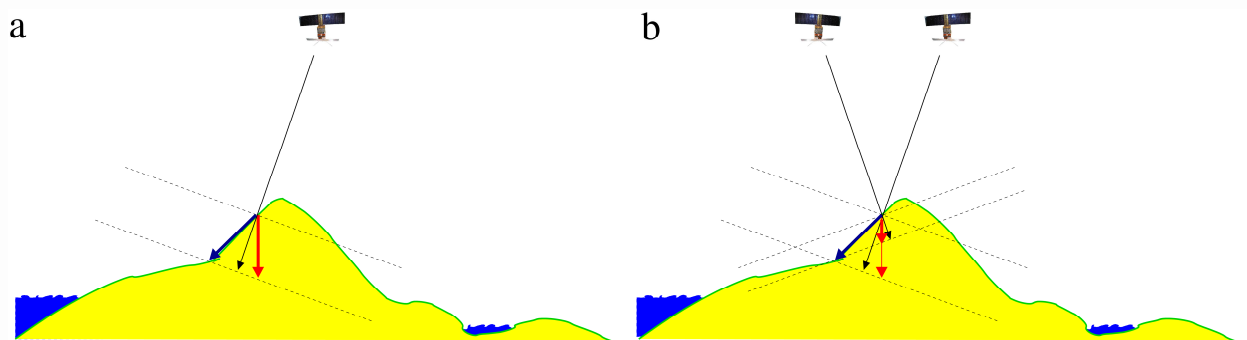


maximale en minimale berekende deformatie. De deformatie in ruimte is relatief ten opzichte van een gekozen referentiepunt. Bij voorkeur is het referentiepunt gepositioneerd op een locatie die geen deformatie ondervindt, aangezien dit de interpretatie vergemakkelijkt. In de praktijk is het echter moeilijk om vast te stellen of een punt daadwerkelijk stabiel is, waardoor alle metingen relatief ten opzichte van elkaar dienen te worden geïnterpreteerd.

De richting van de deformatie

De kijkrichting van de satelliet (20-23 graden vanuit de verticaal) bepaalt de waargenomen deformatie. In realiteit zal dit zelden de werkelijke richting van deformatie zijn. In het geval dat er een enkele dataset verwerkt is (satellietbaan in slechts de klimmende of de dalende richting) kan de richting van de deformatie niet afgeleid worden zonder aannames, zie fig. 4. Dit heeft te maken met het feit dat deformatie in drie richtingen (noord, oost en omhoog) te ontbinden is en er slechts een enkele waarneming (kijkrichting van de satelliet) beschikbaar is. Het systeem is onderbepaald. De aanname dat er in twee van de drie richtingen geen deformatie is, maakt decompositie van de deformatie mogelijk. Indien de drie richtingen met behulp van deze aanname worden ontbonden, resulteert dit in grenzen van het gebied waarin de richting van de werkelijke deformatie zal vallen.

Het gebruik van twee datasets (een satellietbaan in klimmende richting en een satellietbaan in dalende richting) in combinatie met de redelijke aanname dat zich in de langsrichting van de dijk geen deformatie voordoet, maakt het mogelijk om de deformatie te ontbinden. Doordat de werkelijke deformatievector geprojecteerd wordt op de kijkrichting van de satelliet, en dit voor de geometrie met twee satellieten verschillend is, kan de werkelijke deformatievector worden bepaald. De rechter afbeelding in fig. 4 laat dit zien. Kennis van de daadwerkelijke richting van de deformatievector vergemakkelijkt de analyse en geeft inzicht in de mechanismen achter de deformatie.



Figuur 4: a) Vectordecompositie voor één satellietbaan. b) Vectordecompositie voor twee satellietbanen. In (a) is de waargenomen deformatie in de kijkrichting van de satelliet met een zwarte pijl weergegeven. De waargenomen deformatie is de werkelijke deformatie loodrecht op de kijkrichting van de satelliet geprojecteerd. Zowel een verticale deformatie (b.v. verzakking zoals aangegeven met de rode pijlen) als een schuine deformatie (b.v. afschuiving aangegeven met de blauwe pijlen) resulteren in dit geval in een waargenomen deformatie van dezelfde grootte, waardoor niet te bepalen is of er sprake is van verticale deformatie of van afschuiving. Aangezien de projectie in de twee kijkrichtingen verschillend is (b), kan bij beschikbaarheid van een dataset uit een andere satellietbaan de werkelijke richting van de deformatie wel bepaald worden. Hierbij wordt de aanname gedaan dat er geen deformatie in de lengterichting aanwezig is. In dit geval is er sprake van afschuiving, zie (b).



Kwaliteit

De standaardafwijking van berekende deformatie per punt per tijdstip is gemiddeld 4–5 mm, maar kan lokaal verschillen tussen 2-9 mm. Voor de deformatiesnelheden geldt een standaardafwijking van 0.1–0.2 mm/jaar [GMES, 2008].

Relevante literatuur

[Hanssen, 2001] R F Hanssen. Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2001.

[GMES, 2008] R F Hanssen, F J van Leijen, G J van Zwieten (TU Delft), C Bremmer, S Dortland, M Kleuskens (TNO). GMES TerraFirma, Validation of existing processing chains in TerraFirma stage 2, maart 2008