

# Dijkinspecties vanuit de ruimte: droom of werkelijkheid?

**We hebben in Nederland ongeveer 20.000 km waterkeringen en het is kostbaar en tijdrovend om deze regelmatig fysiek te inspecteren. Met radarsatellieten wordt deformatie op meer plekken, vaker, en nauwkeuriger gemeten. Hierdoor kan het gedrag van keringen continu worden gemonitord en kan afwijkend gedrag vroegtijdig worden gedetecteerd. Deze techniek is een welkome aanvulling op huidige inspectiemethoden.**

Om de waterveiligheid te kunnen waarborgen, is het van belang de toestand van de keringen zo goed mogelijk te monitoren. Huidige dijkinspectiemethoden zijn voornamelijk visueel en kwalitatief. Meetapparatuur wordt beperkt ingezet, vaak slechts lokaal of voor korte duur, omdat dit duur en tijdrovend is. De huidige inspectiemethoden zijn dus gebaseerd op beperkte informatie en niet effectief om kleine (in de orde van millimeters) en geleidelijke deformaties in de dijk waar te nemen.

Alleen door continu en gebiedsdekkend te meten, ontstaat een goed beeld over het gedrag van keringen onder normale omstandigheden. Een afwijking in dit gedrag is dan een mogelijk symptoom van een beginnend falen van de kering. Technieken die frequent en met hoge resolutie nauwkeurige observaties

## IN 'T KORT - Ruimteinspecties

Met radarsatellieten kunnen waterkeringen nauwkeurig worden geïnspecteerd

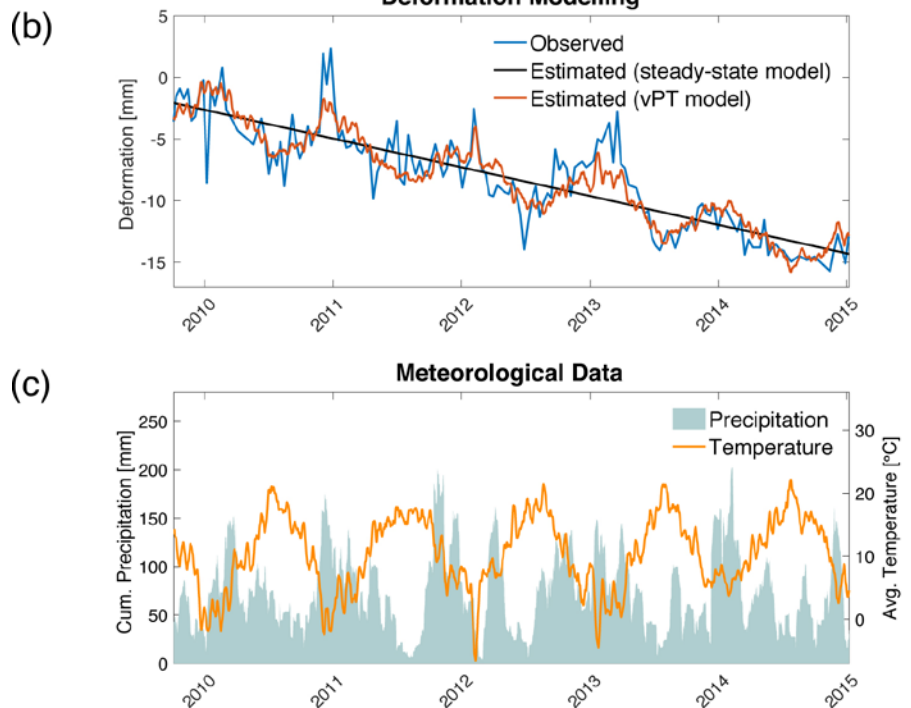
Afwijkend gedrag van de keringen kan hierdoor vroegtijdig worden gedetecteerd

Satellieten kunnen zowel zwel- als krimp-gedrag signaleren

Extreme vernatting/verdroging van dijken kan ook vroegtijdig gedetecteerd worden



De figuur laat het volgende zien: a) deformatiesnelheid, afgeleid voor elk meetpunt op boezemkades nabij Delft op basis van de InSAR-techniek, b) tijdreeks van de geschatte deformatie op één locatie met de voorspelde deformatie uit het vPT-model, en c) meteorologische gegevens, die het seizoensgebonden deformatiepatroon volgen. Duidelijk te zien is dat de kade zwelt tijdens periodes met lage temperaturen en veel neerslag en krimpt tijdens periodes met hoge temperaturen en weinig neerslag.



verzamelen, zijn dan ook erg welkom, omdat zij kunnen bijdragen aan het vroegtijdig detecteren van afwijkend gedrag van een dijk.

## Voorspellingen zwel en krimp

De afgelopen jaren is satellietradar-interferometrie (InSAR) efficiënte gereedschap voor het monitoren van bodemdeformatie. De satelliet zendt elektromagnetische golven vanuit de ruimte naar de aarde en ontvangt vervolgens het weerkaatste signaal. Na een aantal dagen wordt deze meting vervolgens herhaald. Op basis van deze gegevens schat InSAR voor een

groot aantal locaties tijdreeksen van de deformatie met millimeterprecisie. De radar neemt zowel overdag als 's nachts en ongeacht de weersomstandigheden waar. Meestal wordt de gemiddelde deformatiesnelheid weergegeven over een meerjarige periode. Echter, door ook kortere intervallen tussen observaties te benutten, is ook het gedrag van de keringen op kortere tijdschaal te evalueren. Hierin is bij bepaalde regionale keringen een patroon te herkennen dat varieert met de seizoenen. Het blijkt dat keringen zwellen en krimpen, waarschijnlijk door

continue blootstelling aan de variabele belastingen, zowel in waterstanden, als in meteorologische omstandigheden, zoals neerslag en temperatuur.

Zwel en krimp wordt veroorzaakt door variatie in de poriëndruk in de bodem, veroorzaakt door variërende hydrologische belasting. Bij vernatting van de grond, neemt de poriëndruk toe, maar de effectieve spanning af. De verzadiging van een dijk heeft daarom invloed op de stabiliteit. Bij verdroging van de grond, neemt de poriëndruk juist af, waardoor de grond krimpt, met in extreme gevallen scheurvorming tot gevolg. Daarnaast kan verdroging leiden tot grote gewichtsafname van de kering, zeker in veenkades.

### Boezemkaden

Zwel- en krimpgedrag is daarom bijzonder belangrijk voor boezemkaden. De boezemwaterstand is vrijwel constant en vaak boven het maaiveld van de omliggende polders, waardoor er in deze gebieden een voortdurende dreiging van overstromen is. Veranderende geohydrologische omstandigheden in de kering kunnen dus direct leiden tot instabiliteit en falen. Verschillende faalgebeurtenissen in boezemkaden in Nederland vonden plaats tijdens hevige regenval, zoals bij Wilnis in 1874, of juist door extreem warm en droog weer, zoals bij Zoetermeer (1947), Oostzaan en Bleiswijk (1990), en Wilnis (2003). Extreme meteorologische omstandigheden, dat wil zeggen: te droog (hoge temperaturen en weinig neerslag) of te nat (veel neerslag en lage temperaturen) kunnen een afname in bodemsterkte van een kering veroorzaken, met mogelijk falen tot gevolg.

Nog niet eerder werd het zwel- en krimpgedrag van keringen op deze temporele en ruimtelijke schaal geobserveerd. Om dit gedrag te bestuderen is een voorspellend deformatiemodel ontwikkeld, het vPT-model, waarin meteorologische gegevens worden gebruikt als indirecte indicatoren van het vochtgehalte in de kering. Het vPT-model maakt gebruik van neerslag en temperatuur als invoerparameters. In deze studie werden boezemkaden in het beheergebied van Delfland onderzocht. Om het deformatiegedrag van de boezemkaden te analyseren werden gegevens van de TerraSAR-X satelliet gebruikt om per locatie tijdreeksen af te leiden.

### Bescherming overstromingen

De kracht van het vPT-model ligt niet alleen in het beschrijven van de gemiddelde meerjarige deformatie, maar ook het deformatiegedrag over periodes korter dan een seizoen, gebaseerd op meteorologische gegevens (neerslag en temperatuur) als indirecte



Dijkinspecties vanuit de ruimte zijn een welkome aanvulling op huidige inspectiemethoden.

indicator van het watergehalte in de dijk. Dit maakt het mogelijk om de invloed van de weersomstandigheden op het zwel- en krimpgedrag wekelijks te analyseren, waardoor voorspellingen kunnen worden gedaan over het verwachte gedrag van de dijk als gevolg van variaties in de meteorologische omstandigheden. Het kunnen modelleren en voorspellen van dit kortetermijngedrag van een dijk, op basis van waargenomen extreme meteorologische gebeurtenissen, vergroot ons vermogen om kritieke situaties te identificeren. Bovendien kan de waargenomen deformatie ook in verband worden gebracht met veranderingen in geohydrologische eigenschappen van een dijk, zoals het vochtgehalte, het gewicht en de grondwaterstand in de dijk.

### Wilnis

Instabiliteit van het binnentalud kan optreden door veranderingen in de effectieve spanning in de grond of als de dijk verdroogt. Om de potentie van satellietmonitoring voor de detectie van stabiliteitsproblemen te illustreren, beschouwen we het falen van de boezemkade in Wilnis in 2003. Door extreem uitdrogen van deze veenkade tijdens de droge zomer nam de kade sterk in gewicht af. Dit resulteerde in afschuiving van de kade met overstroming van de achterliggende wijk tot gevolg. Op basis van gedocumenteerde informatie van Van Baars (2005) over de gewichtsveranderingen van verzadigde tot onverzadigde condities van de dijk en uitgaande van isotrope deformatie, schatten we dat voor een droogteperiode van honderd dagen ongeveer 2 tot 10 procent krimp heeft plaatsgevonden op de kruin vóórdat de eigenlijke faalgebeurtenis plaatsvindt. De deformatie in de eerste fase van het verdrogingsproces is dan naar schatting enkele centimeters.

Hoewel er in de periode van dijkfalen geen bruikbare satellietgegevens beschikbaar waren, vallen deformaties van deze omvang ruim binnen de precisie van de huidige satellieten, en zou een dergelijke deformatie dus in principe waarneembaar zijn vanuit de ruimte.

### Vroegtijdig detecteren

Samengevat laat deze studie zien dat:

- seizoensgebonden deformatiegedrag van een dijk met InSAR kan worden waargenomen op de tijdschaal van weken;
- deze deformatie sterk gecorreleerd is met veranderingen in meteorologische omstandigheden;
- de deformatieveranderingen in de tijd kunnen worden voorspeld met behulp van een relatief eenvoudig regressiemodel. Het monitoren en modelleren van afwijkend deformatiegedrag, zoals bij Wilnis, dat normaal plaatsvindt over een periode van enkele weken tot maanden en uiteindelijk tot falen leidt, zou kunnen helpen om de extreme vernatting of verdroging van dijken vroegtijdig te detecteren. Hierdoor kunnen beheerders tijdig passende maatregelen nemen, zoals bewatering van de kering of installatie van een (tijdelijke) stabiliteitsberm, om instabiliteit te voorkomen.

*Dit artikel is gebaseerd op het artikel 'Sub-seasonal levee deformation observed using satellite radar interferometry to enhance flood protection' (Özer et al., 2019) dat onlangs is verschenen in Scientific Reports.*

*Ece Özer is promovendus; Stephan Rikkert is promovendus; Freek van Leijen is onderzoeker; Bas Jonkman is professor; Ramon Hanssen is professor (allen aan de Technische Universiteit Delft).*