



## Bijlage 2 bij MEMO Veiligheid bij opdrijven van tunnels- Plan van Aanpak

### Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud

Griffioenlaan 2  
3526 LA Utrecht  
Postbus 2232  
3500 GE Utrecht  
T 088 797 21 11  
www.rijkswaterstaat.nl

### Contactpersoon

[Redacted]  
[Redacted] 5.1.2.e

M [Redacted]  
[Redacted]@rws.nl

### Datum

10 maart 2023

### Kenmerk

GPO-TT-TNK

### Bijlage(n)

1

## Monitoring opdrijven tunnels

## Monitoringssysteem opdrijven Tunnels

Naar aanleiding van de calamiteit van het opdrijven van een toerit moot van de Prinses Margrietunnel in december 2022 is de vraag gesteld of er een methode beschikbaar is die als een soort bewaking fungeert voor de andere tunnelobjecten waar deze calamiteit opnieuw kan optreden. De methode is niet bedoeld om het falen door opdrijven te voorkomen maar meer om in een vroeg stadium vervormingen te signaleren. In deze memo is uiteengezet welke systemen van monitoring hiervoor in aanmerking komen.

In 2016 is door een COB Commissie T540 het rapport "Monitoring in de praktijk" uitgebracht. Deze commissie heeft van een 3 tal grotere tunnelprojecten de monitoringssystemen uitgebreid in beeld gebracht. Het betrof de projecten 'Noord-Zuidlijn Amsterdam', 'Spoorzone Delft' en 'A2 tunnel Maastricht'.

Bij deze projecten waren de risico's op schade aan omliggende bebouwing en infrastructuur erg groot en is dus veel aandacht besteed aan het continue monitoren zodat het effect van de werkzaamheden nauwlettend op de voet gevolgd kon worden.

Uit het COB rapport komen de volgende 2 kansrijke monitoringssystemen naar voren die bij de problematiek van het opdrijven kunnen worden ingezet:

1. Robotic Total Stations (zgn. RTS)
2. 3D laserscan methode

Uit nieuwe ontwikkelingen komt naar voren:

3. InSAR satelietmeting

### 1) Robotic Total Stations (zgn. RTS)

Het monitoringssysteem bestaat uit robotic total stations (zogenaamde RTS'en) waarmee volledig automatisch en relatief hoogfrequent zowel meetpunten in de vorm van prisma's als reflectorloze metingen op verharde oppervlakken kunnen

worden ingemeten (virtuele meetpunten). De RTS'en worden op een vaste ondergrond gemonteerd en meten de meetpunten in X,Y en Z richting in. Met een dergelijk systeem zijn bij de Noord/ Zuidlijn, en daarvoor al bij de Hubertustunnel, zeer goede ervaringen opgedaan. In de praktijk worden die metingen aangevuld met handmatige metingen die zowel ter controle als terugvalmogelijkheid bij storingen van het systeem dienen. De combinatie van robotic total stations (RTS'en) en vooraf aangebrachte prisma's is een goed functionerend systeem om de bewegingen van constructies te monitoren. Dit monitoringssysteem heeft destijds bij de Vlaketunnel gefunctioneerd en is momenteel ook operationeel bij de Prinses Margrietunnel. Hier zijn in totaal 8 RTS'en ingezet om de beide toeritten geheel te kunnen monitoren.

**Datum**  
10 maart 2023  
**Kenmerk**  
GPO-TT-TNK  
**Bijlage(n)**  
1



Figuur 5.6 / Robotic total station, RTS.

Foto 1 en 2: Prisma's (links) en robotic total stations. (Bron: Dienst Noord/Zuidlijn)

## 2) 3D Laserscanmethode

Wanneer een nog vollediger beeld van de zakkingen binnen een deelgebied gewenst is kan men door middel van hernieuwde 3D-scans hier een invulling aan worden geven. Hoogtechnologische scanners registreren honderdduizenden punten per seconde. Elk punt is een duidelijke millimeternauwkeurige XYZ-meting in kleur. Al deze punten samen vormen een soort van fotorealistische puntenwolk waarbinnen je kunt navigeren en die de werkelijke situatie weergeeft. Wanneer deze inmeting op een later tijdstip herhaald wordt, kan men een vergelijking maken van beide scans en zodoende een beeld krijgen van alle deformaties die over de gehele constructie zijn opgetreden in de tussenliggende tijd. Bij deze techniek van monitoren wordt dus de gehele tunnel in XYZ-metingen gescand en zal het specifiek voor het opdrijven van een moot een overdosis aan informatie opleveren die het doel voorbij schiet. Deze meettechniek is wel interessant als je van een bestaande tunnel met al zijn installaties een soort fotoprint wil hebben van de as-built situatie bijvoorbeeld voorafgaand aan een renovatie.

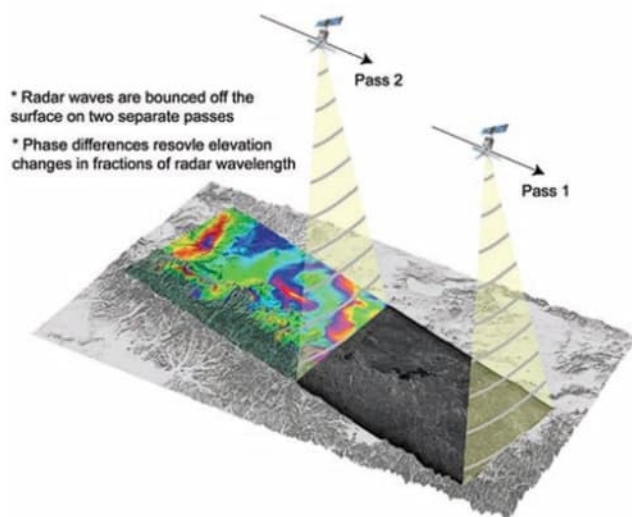


Figuur 3: Voorbeeld Puntenwolk van 3D-scan bestaande stationsgebouw

### 3) InSAR satellietmeting

Een nieuwe veel belovende techniek voor monitoring van het tunnel areaal is InSAR. InSAR staat voor Interferometrische Synthetische Aperture Radar. Metingen worden verricht door satellieten die uitgerust zijn met radertechnieken die gebruik maken van elektromagnetische straling op microgolffrequenties. Met deze techniek kunnen millimeterschaal veranderingen en vervorming meten over perioden van dagen tot jaren. Als er voldoende data is kan er vaak ook nog teruggekeken omdat InSAR al vanaf 1992 operationeel is. Door het tunnelobject van actieve sensoren (transponders of GNSS-ontvangers) te voorzien kun je waarborgen dat het radarsignaal met goede kwaliteit wordt teruggezonden.

**Datum**  
10 maart 2023  
**Kenmerk**  
GPO-TT-TNK  
**Bijlage(n)**  
1



Het InSAR kent tot nu toe toepassingen voor geofysische monitoring van natuurlijke gevaren, bijvoorbeeld aardbevingen, vulkanen en aardverschuivingen, en in de bouwkunde, in het bijzonder monitoring van bodemdaling en structurele stabiliteit

Illustration of how InSAR works (image courtesy of Charles Wicks/USGS).

#### Samenvatting, kern of boodschap

Hier staat een samenvatting van de in de centrale vraag aangekondigde informatie, in maximaal tien regels. Deze samenvatting bevat alle kernpunten en kan zelfstandig geïnterpreteerd worden. Een uitvoeriger samenvatting kan worden opgenomen in de toelichting.

5.1.2.e



## **Bijlage 1:** Technische achtergronden monitoringssystemen

**Datum**

10 maart 2023

**Kenmerk**

GPO-TT-TNK

**Bijlage(n)**

1

### **Aandachtpunten RTS monitoringssysteem**

Op basis van de meetpunten dienen de opstellocaties van de RTS'en te worden bepaald. Die zijn afhankelijk van onder andere de volgende factoren:

- Het aantal meetpunten dat een RTS per meetcyclus (van een uur) kan inmeten.
- De maximale afstand waarbinnen een RTS nog voldoende nauwkeurig en betrouwbaar kan inmeten (als ervaringsregel geldt daarvoor circa 75 meter).
- Het kunnen 'aanstralen' van alle meetpunten door een geschikt gepositioneerde RTS.
- De beschikbaarheid van opstelplaatsen voor RTS'en; bij voorkeur worden RTS'en opgehangen aan bestaande constructies, maar zo nodig dienen speciale opstelpunten gebouwd te worden (bijvoorbeeld op daarvoor opgestelde palen).
- De uitvoerbaarheid van referentiemetingen; ten behoeve van de kalibratie van de metingen dienen voldoende vaste punten buiten het invloedsgebied beschikbaar te zijn. (daardoor is het geen bezwaar dat een RTS zelf wel in het invloedsgebied wordt aangebracht)

### **Aanvullende handmatige metingen (meetbouten)**

Naast het volledig automatische monitoringssysteem is het zeer wenselijk om een aanvullende meetmogelijkheid te realiseren in de vorm van een meetnet met meetbouten voor nauwkeurigheidswaterpassingen. Deze handmatig in te meten meetpunten dienen als controle van het automatische systeem en als terugvaloptie mocht het automatische systeem uitvallen. Bovendien kunnen de meetbouten achterblijven als het automatische meetsysteem wordt ontmanteld, wat de omgeving de zekerheid geeft dat er altijd een mogelijkheid blijft voor controlemetingen.

### **Snelheid beschikbaarheid metingen**

Met name voor de bewakingsfunctie van het monitoringssysteem is het belangrijk dat metingen zo snel mogelijk in de centrale database geplaatst worden. Uit ervaring blijkt dat RTS'en werken met meetcycli waarbij de verzamelde meetdata eens per uur wordt geüpload naar de server. Ervan uitgaand dat deze handeling en eventueel noodzakelijke bewerkingen meteen worden uitgevoerd, dan is de maximale vertraging tussen een meettijdstip en de beschikbaarheid van de gegevens circa een uur. Dit blijkt in de praktijk acceptabel.



*Figuur 5.6 / Robotic total station, RTS.*

