



Patrick Bakhuizen
Commercieel Directeur

Onzichtbaar succes

Invloed van klimaat en bodembeweging op
infrastructurele objecten

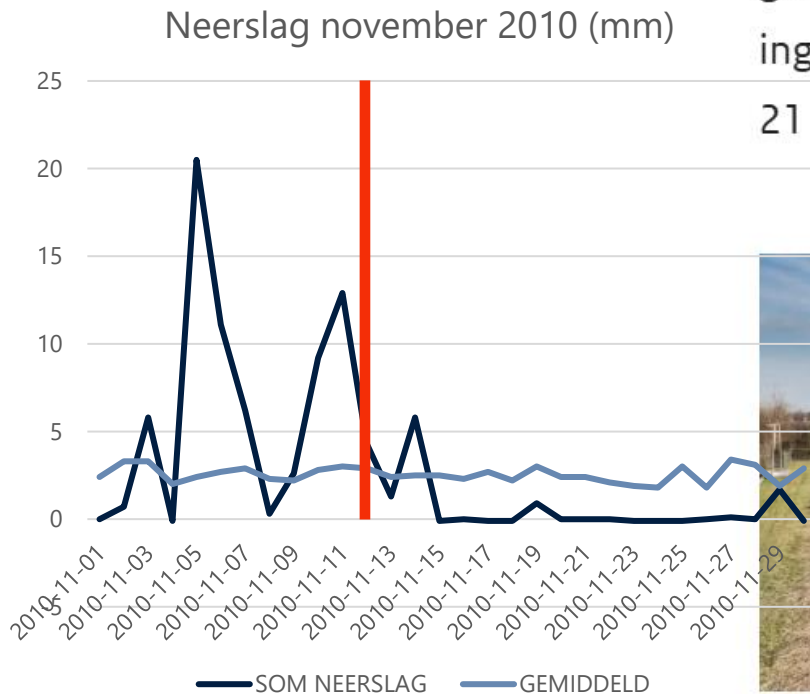
9 mei 2025

Vlaketunnel: A58, onder het Kanaal door Zuid-Beveland



De eerste keer is een incident

Op 12 november 2010, toen de renovatie nog bezig was, bleek een tunnelmoot van de oostelijke oprit omhoog te zijn gekomen. Hierdoor kwam het wegdek in de tunnel omhoog. Dit had niks met de renovatie te maken. De oorzaak bleek te komen door gebroken trekankers. De reparatieperiode aan het wegdek en de trekankers was ingrijpend en zorgde voor veel verkeershinder. Openstelling van de tunnel gebeurde op 21 april 2011.





Grote betonblokken hielden de bak van de Vlaketunnel op zijn plek. Het verkeer moest via de vluchtstrook. © willem mieras

Calamiteit

Op 12 november 2010 moest Rijkswaterstaat de tunnel noodgedwongen afsluiten. Na hevige regenval was de U-vormige bak van een deel van de oostelijke toerit over de hele breedte ongeveer tien tot vijftien centimeter omhoog gekomen. Door extra ballast op het wegdek te plaatsen, wist Rijkswaterstaat de bak weer op zijn plaats te krijgen. Onderzoek toonde aan dat meer dan de helft van de trekankers – die ervoor moeten zorgen dat de bak niet gaat opdrijven – door de grondwaterdruk was bezweken. Nader onderzoek maakte duidelijk dat de treksterkte van de voorspanstaven in de trekpalen aanzienlijk lager was dan de ontwerpwaarde. Om het probleem te verhelpen, heeft Rijkswaterstaat ruim 1.250 nieuwe Gewi-ankers van dertig meter lengte laten aanbrengen, verankerd aan de vloeren van de toeritten. Ruim vijf maanden na het incident ging de tunnel weer volledig open voor het verkeer.



Door extra ballast op het wegdek te plaatsen, wist Rijkswaterstaat de omhoog gekomen bak weer op zijn plaats te krijgen. (Foto: beeldbank Rijkswaterstaat)

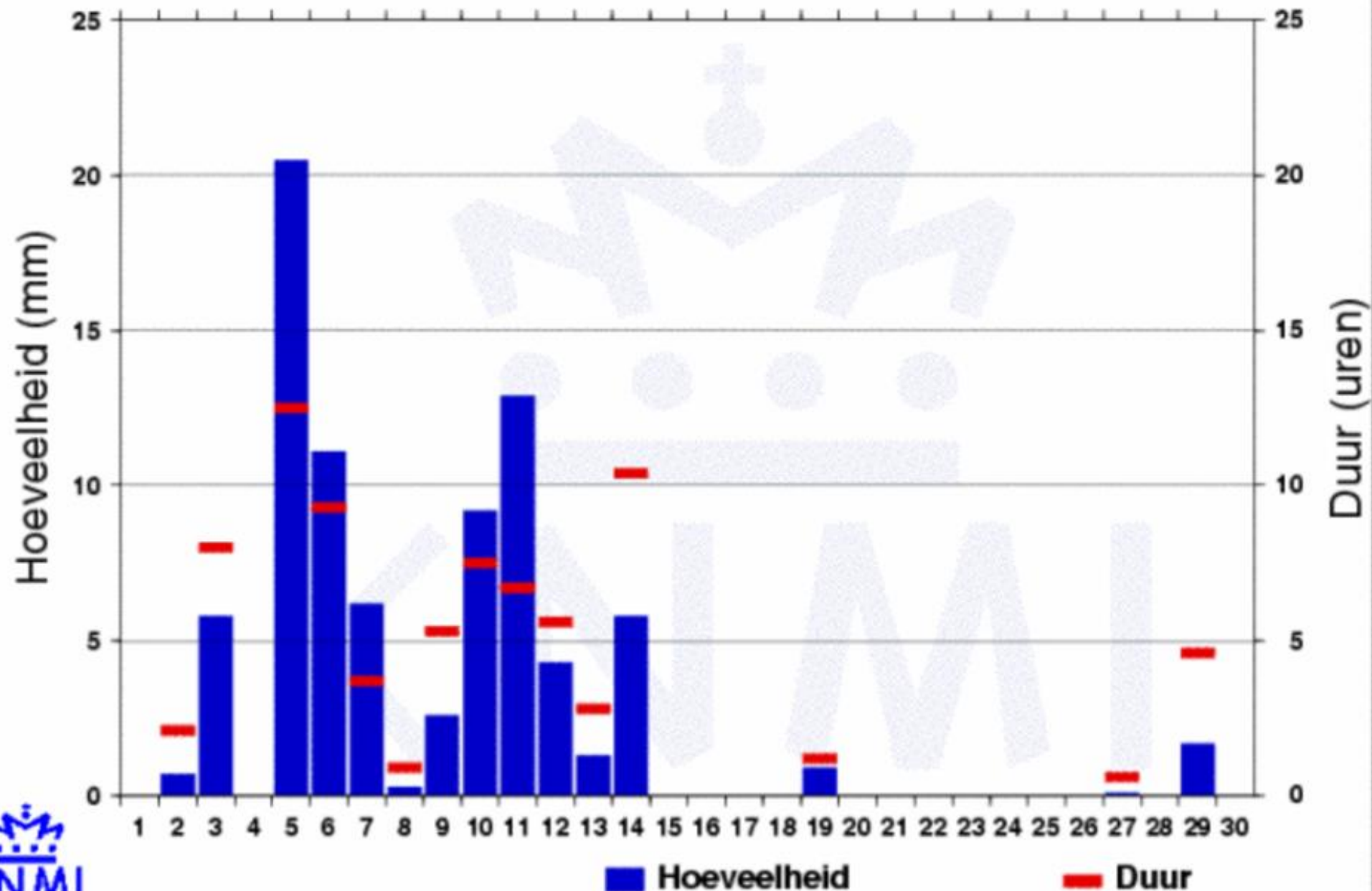


Neerslag

De Bilt, november 2010

Maandsom: 83 mm; 81 uur

Normaal: 81 mm; 70 uur



Langdurige regenval tijdens de voorgaande dagen, in heel Nederland.

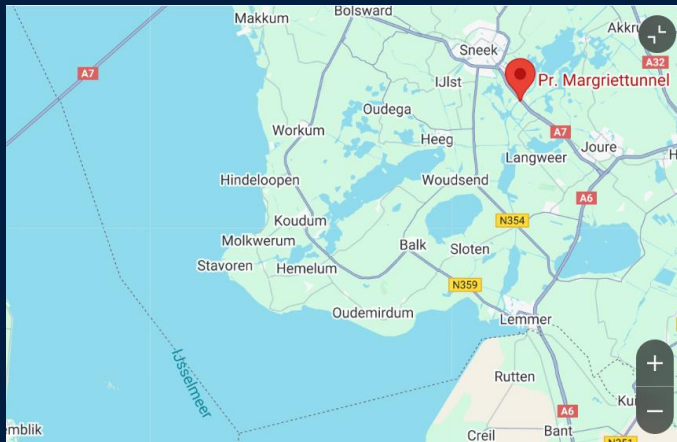


Noodmaatregelen

- Wegafsluiting
- Ballast op de rijbanen
- Bewaking onder barre omstandigheden

De tweede keer is toeval

Prinses Margriettunnel



De Prinses Margriettunnel tussen Sneek en Joure in februari 2023. Op het midden van de weg zie je zandzakken, gebruikt als ballast om omhoogkomend wegdek tegen te gaan. © Foto: ANP / Holland: Hoogte / Sander Koning



Dit roept inderdaad herinneringen op aan het verleden. **Het zijn dezelfde symptomen, het is hetzelfde beeld**

- Edwin de Feijter, Woordvoerder Rijkswaterstaat

Onderzoek oorzaak falen fundering Prinses Margriettunnel

Rapport | 18-12-2023

Rapport van TNO en Deltares. Het rapport onderzoekt een incident dat zich voordeed op dinsdag 13 december 2022. Hierbij kwams het tunneldeel 'moot 26' van de noordelijke toerit van de Prinses Margriettunnel in de snelweg A7 nabij Sneek omhoog en ontstond er schade aan het wegdek.



Prinses Margriettunnel in beide richtingen dicht

Het scenario lijkt zich nu te herhalen in Friesland met de Prinses Margriettunnel, in de A7 tussen Joure en Sneek. Ook daar duwt het grondwater een deel van de tunnelbak omhoog en zijn enorme gewichten nodig om dat tegen te gaan. Een maand geleden ging de tunnel daarom in beide richtingen dicht. De waarschijnlijke oorzaak van de problemen: het knappen van trekankers. **De verwachting is dat de tunnel maandenlang dicht zal blijven.**

A7: herstel Prinses Margriettunnel

Waarom

- ✓ Door druk van het grondwater is een van de tunneldelen van de Prinses Margriettunnel omhooggekomen.
- ✓ In de tunnel zijn betonblokken en rijplaten aangebracht, zodat de tunnel gedeeltelijk open kon voor wegverkeer.
- ✓ Uit onderzoek blijkt dat in meerdere tunneldelen trekpalen zijn bezwaken.
- ✓ Dat herstellen we door de gehele fundering te vervangen.

Hoe

1150

plaatsen nieuwe trekpalen



vernieuwen en versterken gehele fundering, tunnelwanden steviger verankeren

Overlast

Tijdens de herstelwerkzaamheden blijft 1 rijstrook per richting in de tunnel beschikbaar voor het wegverkeer. Hier mag u maximaal 50 km/h rijden. Mogelijk is een korte afsluiting van de tunnel tijdens een nacht of weekend nodig.

De scheepvaart op het Prinses Margrietkanaal heeft geen last van de werkzaamheden.

Economische en financiële gevolgen

- Herstelwerkzaamheden: geschat op minimaal 95 miljoen euro
- Verkeershinder: geschat op ongeveer 7 miljoen euro
- Economische impact: schatting enkele miljoenen euro's

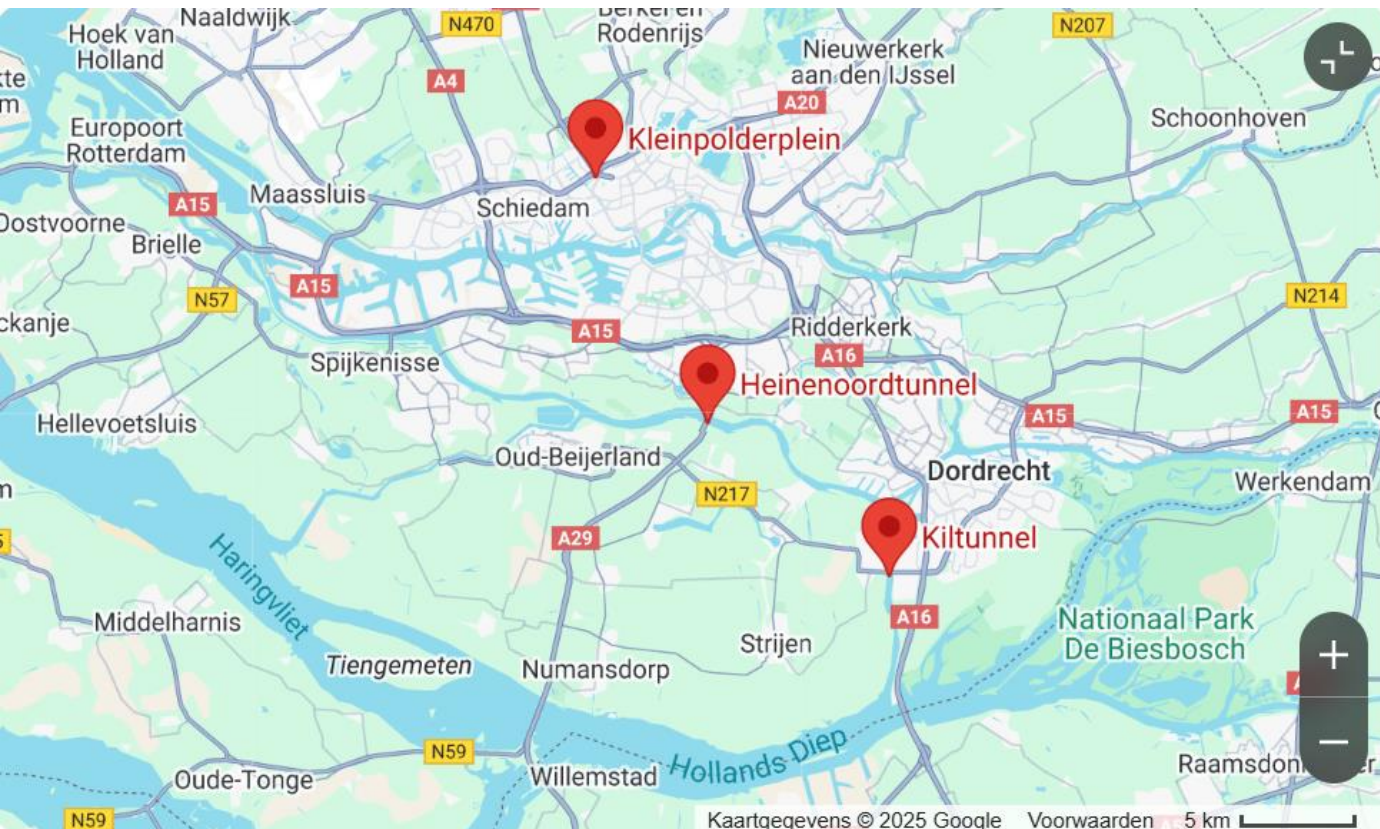
7.2 Overige kunstwerken met hetzelfde type trekpalen

Uit een inventarisatie van Rijkswaterstaat is gebleken dat er meer kunstwerken in Nederland zijn die een vergelijkbare fundering hebben, met hetzelfde type trekpalen, waar mogelijk ook bezwijken zou kunnen optreden als gevolg van loog-spanningscorrosie. In mei 2023 heeft het onderzoeksteam hierover al overleg gehad met Rijkswaterstaat en een concept advies gegeven ten aanzien van de mogelijkheden om dit faalmechanisme bij de andere

De derde keer is een patroon “Voorkomen is beter dan genezen”

Zes tunnels worden extra gemonitord na funderingsproblemen bij de Margriettunnel. Rijkswaterstaat wil voorkomen dat ook daar de fundering bezwijkt.

De funderingsproblemen bij de Prinses Margriettunnel zijn veroorzaakt door spanningscorrosie van trekstaven, hebben kennisinstituten Deltares en TNO vastgesteld. Zes tunnels met vergelijkbare fundering worden voortaan goed in de gaten gehouden. De tunnels die als verdacht worden aangemerkt, zijn de Heinenoord-, Kil-, Hem- Taxandria-, Vollenhoventunnel en een tunnelbak bij het Rotterdamse Kleinpolderplein.



Vollenhoventunnel in de A28, ter hoogte van de Utrechtseweg in Zeist

Vollenhoventunnel kan op den duur bezwijken, herstel 'noodzakelijk'

Gepubliceerd op 15-01-2025 om 15:37



De tunnel blijkt er slecht aan toe. De vraag is nog wie de fundering moet gaan herstellen. © Foto: ANP

De fundering van de Vollenhoventunnel in de A28 bij Zeist loopt een verhoogd risico op bezwijken en moet worden vervangen of versterkt. Dat is een van de conclusies van de onderzoeken sinds het omhoogkomen van de Prinses Margriettunnel, maakt de minister van infrastructuur woensdag bekend.

Monitoring RTS



Monitoring voegmeters



Voegmeterkast



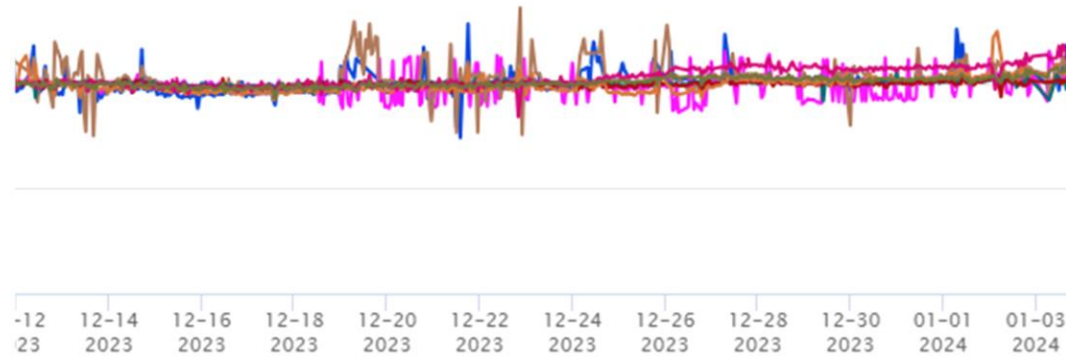
Voegmeter binnenzijde



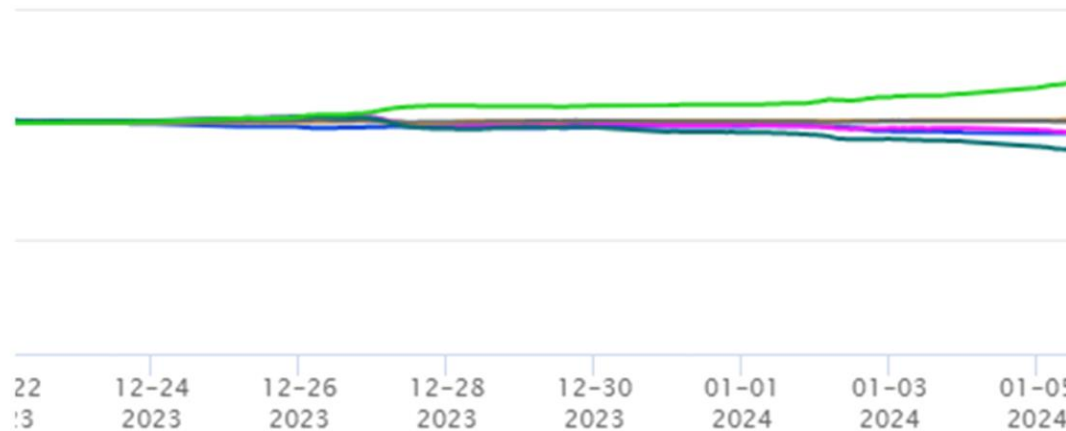
Gateway

Vollenhaventunnel, drempel en alarmeringen

RTS data



Voegmeter data



Stabiele situatie
tot 5 januari 2024

Het patroon doorbroken



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Vollenhoventunnel

Waarom

- ✓ Er is geconstateerd dat een van de tunneldelen van de Vollenhoventunnel enkele millimeters omhoog is gekomen. Dit komt door de hoge grondwaterstand.
- ✓ Ook zijn ankers in de paalfundering stuk.
- ✓ In 2024 stabiliseerden we dit wegdeel in de A28 om verder opdrijven en vervolgschade te voorkomen. Hiervoor hebben we grote betonblokken geplaatst die werken als tegenwicht.
- ✓ Momenteel onderzoeken we de oorzaak en een mogelijke oplossing.

Hoe



aanbrengen van betonnen blokken



onderzoeken van oorzaken en oplossingen





Innovatieve monitoringstechnieken

Doelen monitoring risicovolle objecten

Vroegtijdig en real-time inzicht
in potentieel falen

- *Veiligheid garanderen*
- *Voorkomen ongeplande afsluitingen*

Betere planning en prioritering
van vervanging, renovatie &
onderhoud

In Rotterdam zien we een vergelijkbaar project bij de metrotunnel. Dankzij sensoren kan de tunnel continu in de gaten worden gehouden, zonder dat er dure inspecties nodig zijn die het treinverkeer stilleggen. Deze systemen kunnen jarenlang functioneren, **wat op lange termijn leidt tot een aanzienlijke besparing.** Sensoren, zoals gebruikt in Rotterdam, kunnen bijvoorbeeld vroegtijdig waarschuwen bij dreigende schade, **zodat problemen preventief kunnen worden opgelost, voordat ze overlast veroorzaken voor reizigers.**

Bron: ANP

Welke parameters moeten er gemonitord worden?

Relevante Parameters

(Statische) deformaties en verplaatsingen

Zakking / opstuwing

Voegbewegingen

Grondwaterstanden

Temperatuur

Verkeersbelasting (WIM)

Scheurmetingen

Debieten lekkage

Krachten in tunnelconstructie

Materiaaldegradatie

Optie 1: Tachymetrie (RTS)

Pros

- Nauwkeurig (< 1 mm)
- Contactloos monitoren van meerdere punten
- Grote afstanden (tot ca. 250 m) met één apparaat
- Absolute deformaties (t.o.v. RD-NAP)

Cons

- Pijzig op lange termijn
- Arbeidsintensief, afhankelijk van geodetische experts
- Diefstalgevoelig

ADVIES



*Waar mogelijk vervangen
door alternatieven*



Optie 2: Voegmeters

ADVIES 

Toepassen op kritische locaties met (potentieel) bewegende voegovergangen

Pros

- Zeer nauwkeurig: 0.1 mm
- Draadloos met batterij > 10jaar

Cons

- Detailopname op 1 specifiek punt



Setup Vollenhoventunnel



Setup Vollenhoventunnel

Optie 3: Tiltensoren

Pros

- Zeer kosteneffectief, compact en draadloos

Cons

- Alleen hoekverdraaiing geen pure zetting. Daardoor lastig te interpreteren
- 1 sensor per meetpunt
- Temperatuurgevoelig

ADVIES



Toepassen op enkele locaties (bijv. 5) in één of twee moten om vervormingsgedrag tussen voegovergangen te begrijpen.



Optie 4: Totalite®

Pros

- Camera met geavanceerde positiebepaling reflectoren.
- Compact, robuust en zeer nauwkeurig (~1 mm)
- 1x per 5 minuten verplaatsingen van meerdere meetpunten (<20)

Cons:

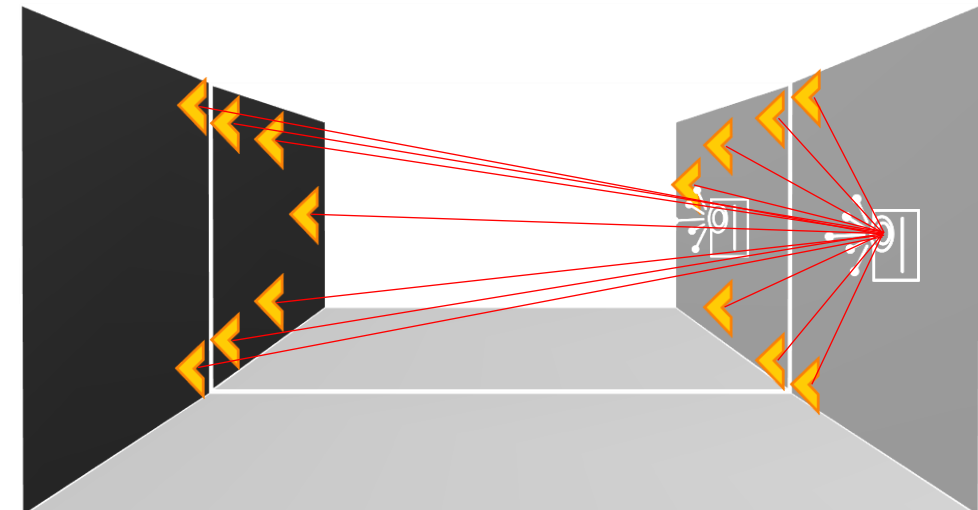
- Vereist vrije zichtlijnen.
- 2D metingen

Output

- Convergentiemetingen
- Relatieve verplaatsingen eventueel tov "vast punt"
- Hoekverdraaiing

ADVIES

Starten met een proef bij moot 8, 9 en 10 (eigen initiatief Totalite®) in combinatie met voegmeters



Optie 5: Glasvezel

ADVIES



*Starten met een proef met huur
apparatuur van ca. 1 maand*

Pros

- Deformatie in 3 richtingen (bijv. rek, torsie, doorbuiging)
- Inzicht over gehele tunnellenlengte
- Zeer nauwkeurig

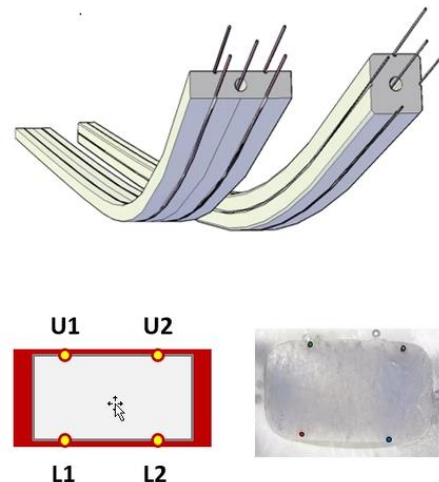
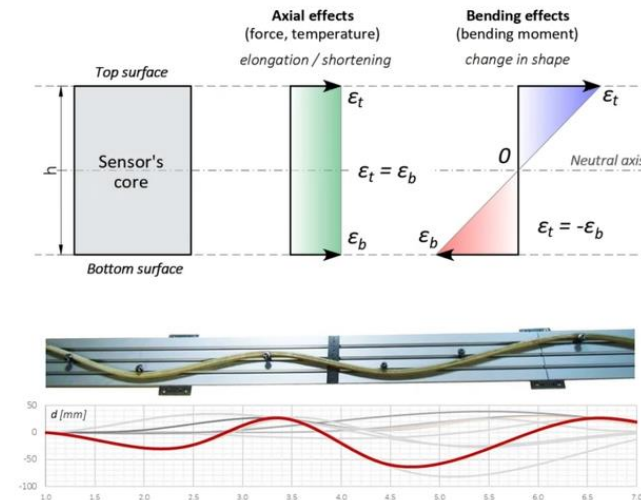
Cons

- Relatief prijzig materiaal >€60k
- Cumulatieve fout
- Resolutie wellicht voor dilatatievoeg onvoldoende

Nerve Sensors: displacement measurements



Nerve Sensors: displacement measurements



3DSensor

Patents: US, CAN, EUR, PL



www.nerve-sensors.com



www.nerve-sensors.com

SLIDE 46

SLIDE 43

Optie 6: InSAR

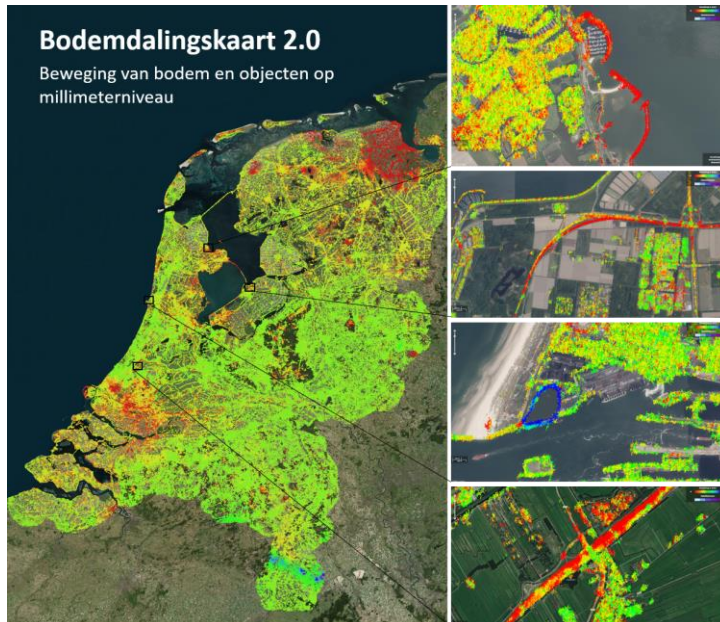
ADVIES



*Lessen van proef bij
Heinenoordtunnel toepassen
voor andere tunnels.*

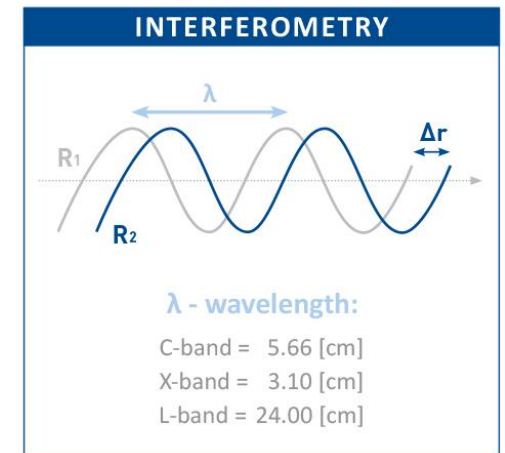
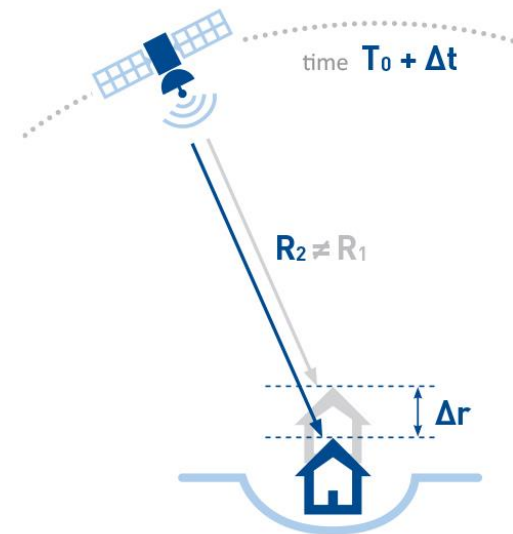
Pros:

- Zinvol voor lange termijn trendanalyse en identificatie hotspots
- Werkt goed voor harde oppervlakken (wegen, gebouwen)
- Veel data al gratis beschikbaar (met beperkte toepassing)



Cons:

- Werkt niet (goed) in smalle tunnel(bakken)
- Niet real-time
- Lastiger met bomen/begroeiing
- Minder geschikt voor details, grote resolutie



Optie 7: GPS Sensor

ADVIES



Pros:

- Absolute deformatiemetingen (x,y,z) net 2-5 mm nauwkeurigheid
- Low-power, kosteneffectief en redelijk compact.

Cons:

- Vereist open omgeving. Betrouwbaarheid niet gegarandeerd in stedelijke omgeving rondom hoogbouw/bomen.
- Werkt niet (goed) in smalle tunnel(bakken).
- Geschikt voor trend-analyse, minder geschikt voor real-time alarmering.

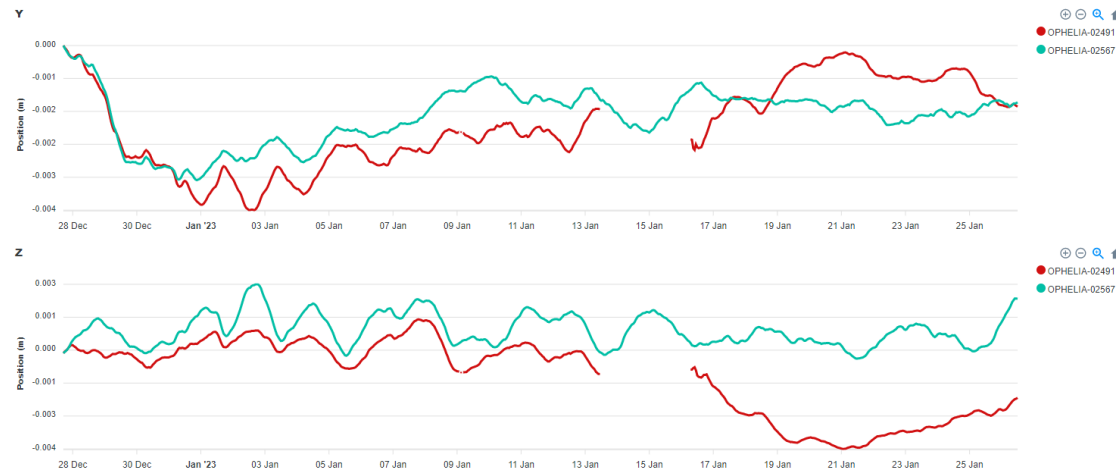


Fig 1. Moving average of two measurement points



Fig 2. Measurement setup of GeoCubes in the field.

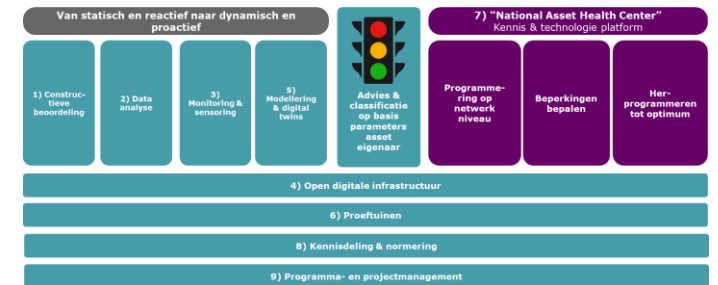
Infra Kenniscoalitie Datagedreven Beheer & Onderhoud

Nationaal Groeifonds programma
Toekomstbestendige Leefomgeving – Infra

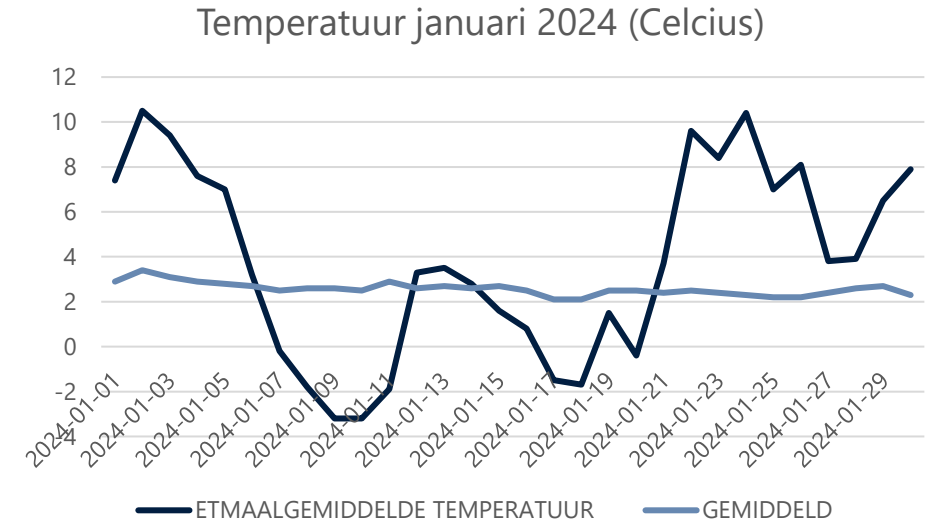
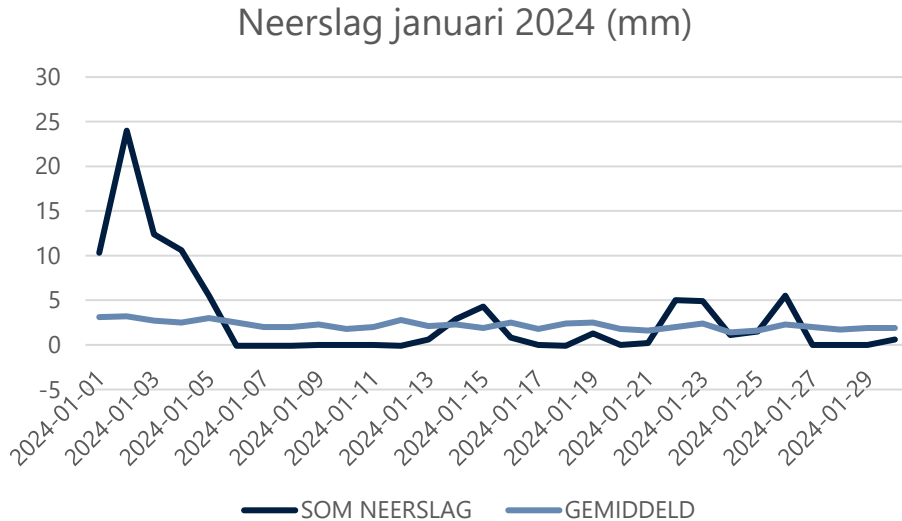


Datagedreven beheer & onderhoud: doel

- Ontwikkelen, testen en in gebruik nemen van werkwijzen en technologische oplossingen voor data- en risicogestuurd beheer en onderhoud van infrastructuurnetwerken.
- Opzetten van een National Asset Health Centre met als doel het gestandaardiseerd, grootschalig en digitaal monitoren van kunstwerken en om te kunnen besluiten over optimale programmering van levensduur verlengende maatregelen en toekomstbestendige vervanging.
- Het NAHC wordt daarmee een kennis- en technologie platform voor nationaal toepasbare methodes, standaarden, informatietechnologie en datasets voor beheer, onderhoud, levensduurverlenging en vervanging.



Invloed van klimaat bij het incident Vollenhaventunnel



Door langdurige hevige regenval, waardoor de grondwaterstand sterk steeg, in combinatie met opvriezen, werden gebreken zichtbaar.

“Door de klimaatverandering kunnen onzichtbare schades blootgelegd worden”

Stellingen

'Monitoring van infrastructurele objecten zoals: tunnels, bruggen en viaducten kan langdurige verkeersoverlast voorkomen'

'We kunnen het klimaat niet veranderen, maar we kunnen wel bewaken en daardoor sturen op het nemen van maatregelen'

“

Met deze werkzaamheden dragen wij bij aan
“het creëren van een veilig en leefbare
samenleving”

“Together we create a safe and liveable world!”



Patrick Bakhuizen
Commercieel Directeur
p.bakhuizen@fugro.com