

## Memo

**Aan**  
[redacted]

**Datum**  
2 februari 2023

**Ons kenmerk**  
11209150-004-GEO-0003

**Aantal pagina's**  
1 van 7

**Contactpersoon**  
[redacted]

**Doorkiesnummer**  
[redacted]

**E-mail**  
[redacted]@deltares.nl

**Onderwerp**  
overzicht veldonderzoek Prinses Margriettunnel

5.1.2.e

Geachte heer [redacted],

Op uw verzoek treft u in deze bijlage het overzicht van de uit te voeren veldwerkzaamheden voor het calamiteitenonderzoek aan de Prinses Margriettunnel.

## 1 Algemeen

Het omhoogkomen van moot 26 aan de Noordzijde van de tunnel is per definitie het gevolg van het falen van de funderingsconstructie, waarbij op voorhand niet duidelijk is of dit falen is door omstandigheden binnen de oorspronkelijke ontwerp-aannamen (belastingen en sterktes) en/of falen door onvoorziene mechanismen en effecten die buiten de oorspronkelijke ontwerp-voorwaarden vallen. Uit te voeren veldonderzoek moet voldoende aanknopingspunten en gegevens opleveren om hieromtrent nader inzicht te krijgen.

Het falen van de paalfundering heeft twee mogelijke hoofdoorzaken:

- Geotechnisch falen. Daarbij wordt het falen van de tunnelmoot geïnitieerd doordat één paal of een groep palen de gevraagde trekcapaciteit niet kan overdragen aan de grond doordat de grond niet de benodigde capaciteit kan leveren.
- Constructief falen. Daarbij wordt het falen van de tunnelmoot geïnitieerd door het falen van een constructief element, in dat geval hoogstwaarschijnlijk de voorspanstaaf, waardoor binnen de paal de opgelegde belastingen niet kunnen worden overgedragen en nooit de grond bereiken en de verbinding van de moot met de trekpaal en grond wegvalt.

Opgemerkt wordt dat naast de aard van het bezwijken onderdeel (geotechnisch dan wel constructief) ook de aanleiding tot het bezwijken relevant is. In zijn algemeenheid zal er, in ieder van beide mogelijke hoofdoorzaken, sprake zijn van een verlies van sterkte, dan wel een toename van de belasting en/of een combinatie van beide. Merk op dat ook bij een gelijkblijvende totale belasting door interne herverdeling van spanningen binnen constructie en ondergrond op lokaal niveau bezwijken kan ontstaan, met mogelijke cascade-effecten.

### 1.1 Overzicht van het onderzoek

Om vast te kunnen stellen welke faalmechanisme bepalend is geweest, wordt het in ieder geval noodzakelijk geacht om het volgende veldonderzoek uit te voeren:

- Inmeten van de vervorming van de tunnelmoten, teneinde inzicht te krijgen in de vervormingen die in de moten zijn opgetreden.
- Inspecteren van de aansluiting van de onderzijde van de moten aan de ondergrond, teneinde vast te stellen of daar sprake is van holle ruimten.
- Uitvoeren van een rioolinspectie, teneinde inzicht te verkrijgen in de vervormingen die zijn opgetreden ter plaatse van de voegen tussen de moten.
- Vrij maken van de koppen van voorspanstaven, teneinde het volgende te onderzoeken:

- Meten van de elektrische "weerstand" tussen de voorspanstaaf en het grondwater, teneinde inzicht te verkrijgen in de mate waarin de omhulling van de voorspanstaven de staven afsluit van het omringende milieu.
- Inmeten van de positie en de stand van de voorspanstaven, teneinde eventuele scheefstand van de voorspanstaven vast te stellen.
- Uitvoeren van een trekproef op voorspanstaven, enerzijds om vast te stellen of voorspanstaven zijn gebroken en anderzijds om vast te stellen wat het voorspanniveau in de voorspanstaven is.
- Indien er sprake is van gebroken voorspanstaaf, wordt het volgende onderzoek uitgevoerd:
  - Inmeten van de hellingshoek van het voorspankanaal, teneinde eventuele scheefstand van de palen vast te stellen.
  - Inspecteren van het voorspankanaal, teneinde vast te stellen of er sprake is van een verschuiving en/of rotatie tussen de tunnelvloer en de paal eronder.
  - De uitgenomen staafdelen worden gecodeerd en geconditioneerd opgeslagen, teneinde deze in een later stadium te kunnen onderzoeken.
- Uitvoeren van kernboringen naast voorspanstaven, teneinde te onderzoeken of er sprake is van een scheur in de aansluiting van de paal aan de betonvloer en/of dieper in de paal.
- Uitvoeren van sonderingen, teneinde inzicht te krijgen in de opbouw van de ondergrond en in de variaties daarin.

Indien de waterstand buitende tunnel boven de tunnelvloer ligt, moeten maatregelen worden genomen om lekkage tegen te gaan.

## 1.2 Te onderzoeken moten

Het onderzoek wordt beperkt tot de moten die op trekpalen zijn gefundeerd. Dit zijn aan de zuidzijde de moten 7-22 en aan de noordzijde de moten 23-36. Dit zijn dus in totaal 30 moten.

De volgende moten zijn geselecteerd voor onderzoek (de z.g. "onderzoeksmoten"):

- Moot 26 die omhoog is gekomen.
- De moten 25 en 27 naast de omhoog gekomen moot 26, omdat deze mogelijk een rol hebben gespeeld bij het omhoogkomen van moot 26.
- De moten 13, 17, 21, 23 en 30, eveneens met 36 mm voorspanstaven, maar met een verschillend palenpatroon en andere waterdruk.
- De moten 8 en 34 met 32 mm voorspanstaven.

Tabel 1 geeft een overzicht van de genoemde "onderzoeksmoten" (diepte is bovenzijde vloer aan de hoge zijde). Ongeveer één op de vier moten wordt onderzocht.

Tabel 1 Overzicht onderzoeksmoten

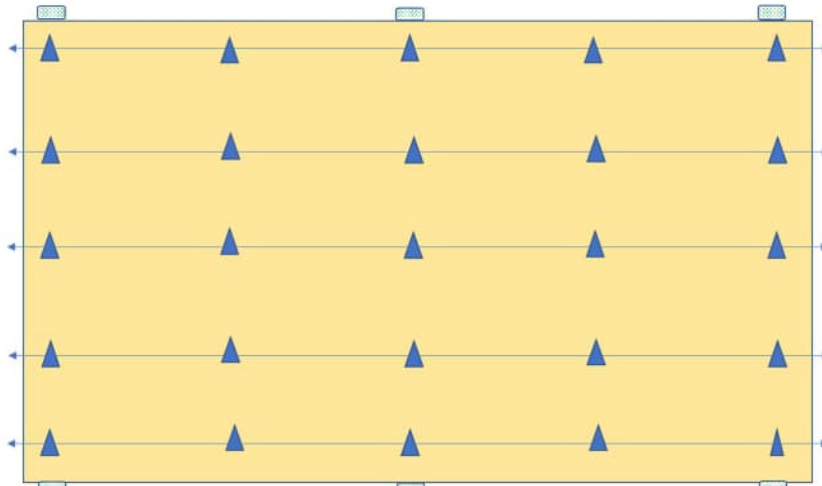
moot noord	diepte [m]	type fundering	moot zuid	diepte
34	4.1	trekpaal 45 cm dywidag 32 mm	8	
30	6.3	trekpaal 45 cm dywidag 36 mm	13	
27 26,25	8.7, 10.3	trekpaal 45 cm dywidag 36 mm	17	
23	11.5	trekpaal 45 cm dywidag 36 mm	21	

## 2 Nadere specificatie

## 2.1 Inmeten van de vervorming van de tunnelmoten

- Het betreft het waterpassen van de vloer op 25 punten
- Het opmeten van de stand van de wand op 4 hoogtes, 0%(\*), 50%, 70 en 90% van de wand en bovenzijde van de wand. De 0% hoogte is zo dicht mogelijk bij bovenzijde vloer. Het betreft twee lijnen aan de uiteinden van de moot en één in het midden van de moot, dus per moot 6 verticalen.

Zie ook onderstaande Figuur 1



*Figuur 1 Overzicht meetpunten voor deformatie bepaling (driehoeken) en voor het vaststellen van holle ruimten onder de vloer (rechthoeken). De pijlpunten links en rechts geven de posities aan waar langs een verticaal op vier hoogtes de vervorming (de uitwijking van of naar de weg-as) van de wand wordt gemeten.*

### **Inspectie holle ruimte onder de vloer**

De eventuele aanwezigheid van een holle ruimte onder de vloer wordt onderzocht voor alle onderzoeksmoten. Dit onderzoek vindt plaats op de vier hoekpunten en onder de middenberm nabij de randen van de moot. Deze zijn met een rechthoekje aangegeven in Figuur 1. Bij de Vlaketunnel was dergelijk onderzoek goed uitvoerbaar

## 2.2 Rioolinspectie

De ligging van het riool ter plaatse van alle mootvoegen wordt in beeld gebracht. Hierbij moet worden bepaald of er schade zichtbaar is en hoe groot de horizontale of verticale verplaatsing in het riool is.

## 2.3 Onderzoek van moten 25, 26 en 27

Alle conussen van de te onderzoeken palen onder de rijvloer worden open gemaakt om de koppen van de voorspanstaven te kunnen inspecteren.

De inspectie van alle geopende conussen bestaat uit:

- een visuele inspectie van de kop van de voorspanstaaf
- het opmeten van de positie van de voorspanstaaf en de lengte van de beschikbare schroefdraad
- het meten van de "weerstand" tussen de voorspanstaaf en het grondwater onder de tunnelmoten

- het aanslaan van de voorspanstaaf met een rubberhamer. Dit wordt ter plaatse beoordeeld, maar ook opgenomen voor latere analyse. Hiervoor is het noodzakelijk dat er regelmatig geen verkeer is of dat de tunnel kortdurend in beide richtingen wordt afgesloten.
- De hoek van de staaf met de verticaal wordt in twee richtingen (evenwijdig met en loodrecht op de tunnel as) gemeten (inclusief de richting van de scheefstand).

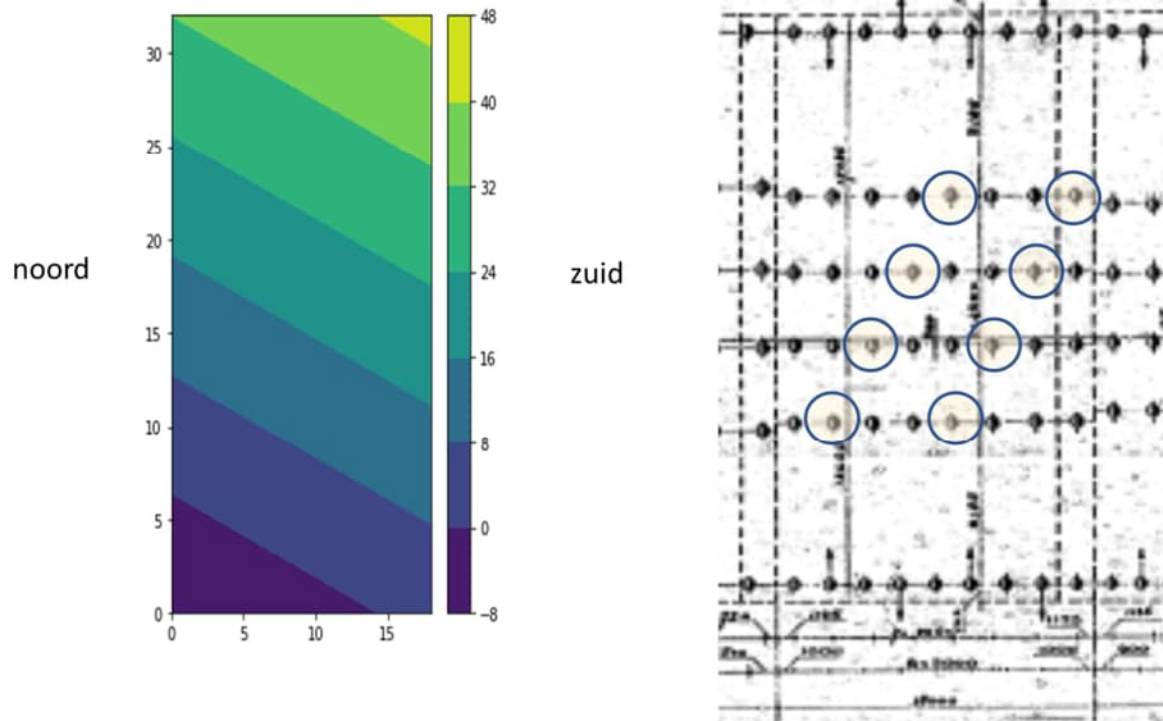
Er worden in beginsel acht voorspanstaven getest volgens het patroon, zie Figuur 2. Dit kan nog worden aangepast op basis van de eerdere inspecties en bevindingen. De trekinstallatie wordt geplaatst. Het testen bestaat uit twee delen. Gestart wordt met de controle of de staaf is gebroken (dus zonder wezenlijke weerstand uit het voorspankanaal kan worden getrokken). Voor de voorspanstaven waarbij dit niet lukt wordt met de vijzelopstelling de voorspanstaaf aangespannen tot de voorspanmoer loskomt van het onderliggende beton. De kracht op- en de verplaatsing van de voorspanstaaf worden bij beide processen gemeten.

Van de voorspankanalen waar de staaf verwijderd kan worden wordt de hoek van het voorspankanaal in de vloer en de paal gemeten. Een visuele inspectie van de overgang van de vloer en de paal wordt uitgevoerd. De volgende gegevens zijn wenselijk:

- is er een verschuiving van de tunnelvloer ten opzichte van de paalkop (grootte en richting vastleggen)
- is er sprake van een hoekverdraaiing van de paalkop ten opzichte van de verticaal (grootte en richting vastleggen)

Voor de palen waarvan de voorspanstaaf niet kan worden verwijderd wordt de aanhechting tussen de paal en de vloer als volgt onderzocht:

- direct naast de conus wordt een kernboring tot de stalen plaat uitgevoerd (diameter 100 mm); de betonnen boorkern wordt opgeslagen om later eventueel te gebruiken voor materiaaltesten;
- de vloerdikte tot aan de stalen plaat wordt ingemeten;
- in de stalen plaat wordt een klein inspectiegat voor de minicamera geboord;
- controle op de aanwezigheid van een (openstaande) opening (scheur) onder de plaat met een minicamera. Vaststellen grootte en richting van het verloop van de opening;
- doorzetten van de kernboring tot in de paal voor tweede inspectie; de betonnen boorkern wordt opgeslagen om later eventueel te gebruiken voor materiaaltesten en/of voor het vaststellen van de aanwezigheid van scheuren;
- uitvoeren tweede visuele inspectie en eventueel vaststellen van de scheurwijdte en het verloop hiervan over de paalkop (hoekverdraaiing van de paalkop ten opzichte van de vloer).



Figuur 2 Positie meetpunten moot 26

Er worden twee kernboringen uitgevoerd in palen waarvan de voorspanstaaf is gebroken. Deze worden in het begin uitgevoerd zoals dit voor een niet gebroken staaf wordt gedaan. Indien mogelijk wordt de kernboring doorgezet tot vlak onder het breukpunt van de voorspanstaaf, waarna het boorgat wordt geïnspecteerd op de eventuele aanwezigheid van scheuren in de paal ter plaatse van de breuk.

## 2.4 Onderzoek aan de palen onder de wand

Het onderzoeken van de randpalen is lastig omdat de wand op de palen staat, maar anderzijds belangrijk omdat het falen daar mogelijk begonnen is. Daarom is het wenselijk in enkele moten de randpalen wel te onderzoeken. Dit is een complexe operatie, waarvoor het nut en de omvang nog tegen elkaar moet worden afgewogen.

Dit onderzoek wordt uitgevoerd in moot 25, 26 en 30. Aan de oostwand kunnen twee palen worden vrijgemaakt, zodat het onderzoek naar de staat van deze palen kan worden uitgevoerd zoals hiervoor beschreven.

## 2.5 Onderzoek overige moten

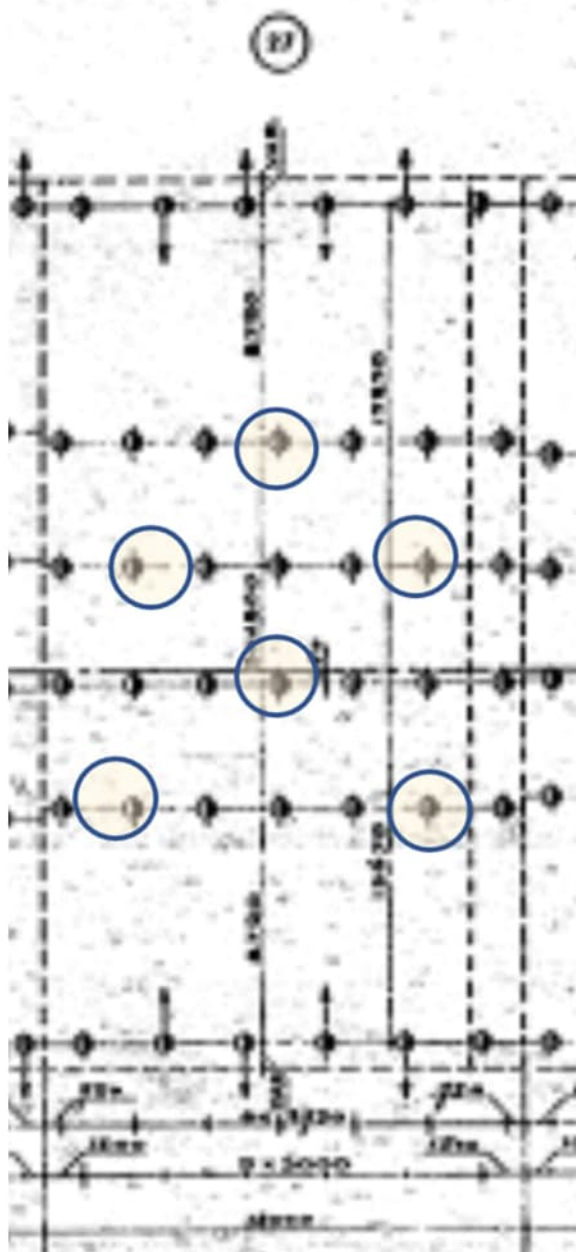
Op de overige moten worden per moot zes palen geïnspecteerd. Figuur 3 toont het patroon, dat bestaat uit over de breedte 1,2,1,2 palen. Daardoor ontstaat een redelijk beeld van de fundering.

De werkzaamheden zijn identiek aan de werkzaamheden aan moot 26, waarbij

- alleen de te inspecteren conussen worden geopend.

- het aantal uit te voeren kernboringen tot het punt van paalbreuk worden uitgevoerd zal worden vastgesteld op basis van de resultaten. Dit is naar verwachting lager dan twee per moot.

Op basis van praktische overwegingen en variatie kan er enige variatie in de te inspecteren palen bestaan, maar het patroon 1,2,1,2 palen blijft gehandhaafd.



Figuur 3 Inspectiepatroon onderzoeksmoten

## 2.6 Sondeonderzoek i.v.m. variatie in bodemeigenschappen

Langs de tunnelwand worden sonderingen uitgevoerd tot 1 m onder het paalpunt niveau in de moot. Dit gebeurt naast beide wanden. In totaal betreft dit dus  $2 \cdot (3 \cdot 9 + 4 \cdot 6) = 102$  sonderingen. Hierbij moeten twee conussen afwisselend worden gebruikt, i.v.m. verschillen en slijtage sondeerconus. Het is gewenst een nader te bepalen aantal van deze sonderingen

ten behoeve van het ontwerp van de herstelwerkzaamheden door te zetten tot onder het toekomstige funderingsniveau (vermoedelijk 40 m onder maaiveld).

*Tabel 2 Locaties sondering langs de wand*

<b>moot</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
aantal rand	13	10	9	6	5	5	5
afstand rand [m]	1.4	1.8	2.0	3.0	4.15	3.75	4
aantal veld	8	8	8	7	6	7	6.0
afstand veld [m]	2.25	2.25	2.25	2.75	3.0	3.75	3.0
afstand cpt [m]	3	2	2	2	3	3	3

Toelichting bij Tabel 2:

afstand rand is de h.o.h. paalafstand tussen de randpalen in lengterichting van de tunnel

afstand cpt is de afstand tussen de sonderingen in lengterichting van de tunnel

## 2.7 Additioneel grondonderzoek

In de moten 25, 26 en 27 en de onderzoeksmoten wordt één sondering door de tunnelvloer uitgevoerd. Aanbevolen wordt om ook deze sonderingen zo diep uit te voren dat deze ook voor het ontwerp van de vernieuwde fundering kunnen worden gebruikt.