

Memo

Ter attentie van	Richard van der Heijden Duraïd Shayout Elroy Akkermans
Datum	17-12-2019 V3.0 26-11-2019 V2.0 27-06-2019 V1.0
Auteur	Mohammed Alshekhli
2 ^{de} lezer	Nico van der Zouw
Projectnummer	BOK-001844
Onderwerp	Funderingsberekening tijdelijke voetgangersbrug - bok

1 INLEIDING

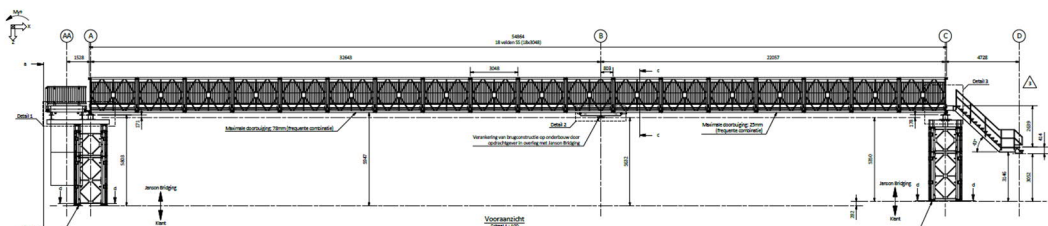
Versie 3.0 van deze memo is opgesteld i.v.m. de gemaakte opmerkingen door Waternet op versie 2.0, d.d. 26-11-2019. De gemaakte opmerkingen zijn in par. 1.1 in deze versie verwerkt en zijn met een verticale lijn aan de zijkant gemarkeerd.

Versie 2.0 van deze memo is opgesteld i.v.m. de gemaakte opmerkingen door Waternet op versie 1.0, d.d. 27-06-2019.

Ter plaatse van brug Ouderkerk wordt een tijdelijke voetgangersbrug ten zuiden van de bestaande brug aangebracht. In de onderstaande Figuur 1 is de locatie van de voetgangersbrug weergegeven. In Figuur 2 is een vooraanzicht weergegeven.



Figuur 1 bovenaanzicht tijdelijke voetgangersbrug



Figuur 2 zijaanzicht tijdelijke voetgangersbrug

Het huidige voetpad moet door werkzaamheden worden afgesloten. Voor de voetgangers wordt daarom deze tijdelijke brug gerealiseerd. De brug bestaat uit twee opgangen die als vluchtweg kunnen dienen en wordt met behulp van twee ondersteuningskokers ondersteund. De constructie betreft een Janson voetgangers Vakwerkbrug en wordt inclusief de bijbehorende ondersteuningstoren en trappen geleverd door de firma Jansonbridging. De toren wordt op een damwandconstructie gefundeerd. Een staalconstructie zorgt dat de belastingen vanuit de torens overgedragen wordt naar de damwandconstructie.

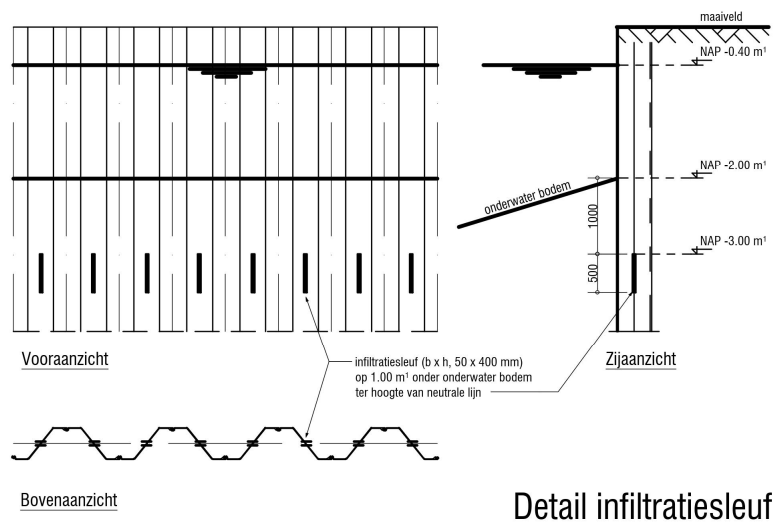
1.1 Keuze fundering

Het is gekozen om de tijdelijke stalen voetgangersbrug op damwanden te funderen. Het variant van op staal funderen leidt tot een zetting van ca. 150 mm. Dit is niet acceptabel.

Aan de westzijde is de afstand tussen de damwandfundering voor de tijdelijke voetgangersbrug en de bestaande kerendeconstructie (oeverconstructie) bedraagt circa 0,65 m (Figuur 6). Hierdoor dient deze damwandfundering niet te worden verwijderd en als verloren damwand te worden beschouwd.

Als gevolg van een verloren damwand zijn de onderstaande eisen voor de damwandfundering aan de westzijde van toepassing:

- De damwand tot 1,5 m onder het maaiveld dient te worden afgesneden.
- Er dienen infiltratievoorzieningen te worden aangebracht. Hiervoor wordt verwezen naar Figuur 3.



Figuur 3 Infiltratie voorzieningen

1.2 Doorvaarthoogte

In de VO-fase is de benodigde doorvaarthoogte beschouwd. Hieronder is dit toegelicht.

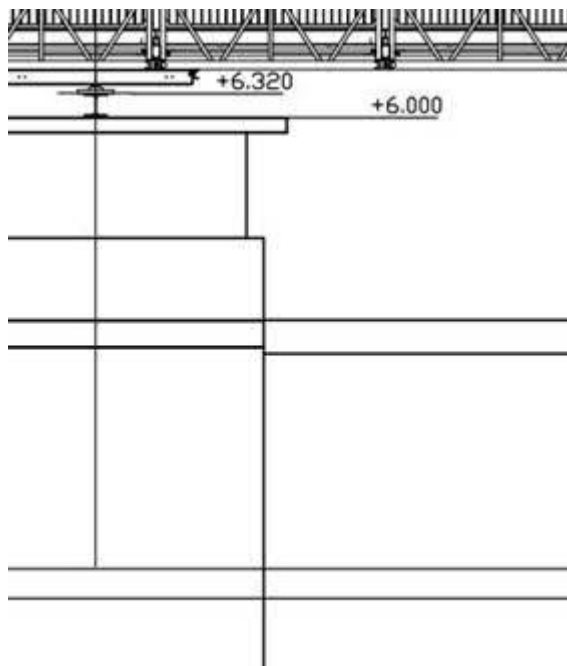
3.1 Doorvaarthoogte

Op basis van eis EMVI_33.1 mag de tijdelijke voetgangersbrug over de Amstel het lokale vaarverkeer niet belemmeren. In het deel van de Amstel waarbinnen de brug gelegen is wordt de doorvaarthoogte beperkt door de vaste bruggen in de A10 (ten noorden) en de A9 (ten zuiden). De brug over de A10 en brug over de A9 hebben een doorvaarthoogte van 5,8m boven kanaalpeil. Dit komt overeen met het niveau +5,4m NAP.

De tijdelijke voetgangersbrug wordt 0,2m hoger gelegd dan de bruggen over de A10 en A9. Zo is de voetgangersbrug niet maatgevend voor de beschikbare doorvaarthoogte op dit traject van de Amstel, en is er enige marge. De onderzijde van de voetgangersbrug komt dus op +5,6m NAP te liggen. Bij het streefpeil van de Amstel van -0,4m NAP komt dit overeen met 6,0m boven kanaalpeil.

De maximale toegestane hoogte van schepen op de Amstel is 5,3m. Als extreme hoogwaterstand wordt rekening gehouden met maximaal 0,0m NAP. Ook dan ligt de brug hoger dan de maximale hoogte van de scheepvaart.

De onderkant van de brug ligt nu boven de +6.00 meter, hiervoor wordt verwezen naar Figuur 4.



Figuur 4 Peilmaten i.v.m. doorvaarthoogte

De doorvaarthoogtes van A9 en A10 zijn maatgevend ten opzichte van hoogte tijdelijke voetgangersbrug. Hiermee voldoet de aangehouden doorvaarthoogte voor de tijdelijke voetgangersbrug.

2 UITGANGSPUNTEN EN DOCUMENTEN

In de berekening worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

1. Rapport: grondonderzoek van Geosonda "Renovatie N522 brug Ouderkerk aan den Amstel"; projectnummer AA16978, d.d. 15-5-2019;
2. Rapport: grondonderzoek van VWB "Sonderingen over de Amstel te Ouderkerk aan de Amstel"; projectnummer 102906, d.d. 28-9-2016;
3. Freatisch grondwaterstand op NAP -0,4 m (waterpeil Amstel);
4. Constructie valt in veiligheidsklasse RC1, NEN9997-1:2017;
5. Sondering 111 is maatgevend aan de oostzijde van de fundatie.
Sondering 125 is maatgevend aan de westzijde (zie bijlage 1);
6. Geen corrosietoeslag meegerekend (tijdelijke damwand);
7. Geen ontgraving aan beide zijden van de damwand
8. Bovenkant van de damwand bevindt zich op 1 m boven het maaiveldniveau;
9. Belastingen op de damwand (verticaal en horizontaal) zijn door de constructeur berekend (zie hoofdstuk 4);
10. CUR 166 damwanden constructie.

3 BODEMOPBOUW EN GRONDPARAMETERS

Op basis van het beschikbare grondonderzoek van Geosonda (maatgevende sondering 125 aan de westzijde en sondering 111 aan de oostzijde, zie bijlage 1) is een bodemopbouw en zijn de grondparameters ter plaatse van de fundatie van de voetgangersbrug opgesteld. Het gemiddelde maaiveld bevindt zich op circa NAP niveau. In de onderstaande tabellen 1 en 2 zijn de bodemopbouw en de grondparameters weergegeven. De grondparameters zijn gebaseerd op tabel 2.b van NEN9997-1:2017. Dit is conservatief t.o.v. de grondparameters, die door Waternet zijn verstrekt. Voor de tijdelijke constructie is dit acceptabel.

Tabel 1 bodemopbouw en (karakteristieke) grondparameters (westzijde), sondering 125

Bovenkant laag [NAP m]	Grondlaag	Y / Y _{nat} [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	φ' [°]	δ [°]	K1 [kN/m ³]	K2 [kN/m ³]	K3 [kN/m ³]
mv, 0	Klei, slap humeus	14/14	2,0	17,5	8,75	1500	650	375
-7	Veen	10,5/10,5	1,5	15,0	0	1000	500	250
-8	Klei, slap humeus	14/14	2,0	17,5	8,75	1500	650	375
-10	Basis veen	11/11	2	15,0	0	2000	800	500
-11	Pleistoceen zand	18/20	0	32,5	21,7	20000	10000	5000

Tabel 2 bodemopbouw en (karakteristieke) grondparameters (oostzijde), sondering 111

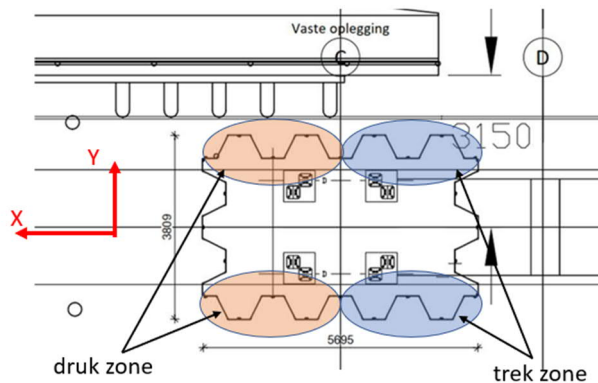
Bovenkant laag [NAP m]	Grondlaag	Y / Y _{nat} [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	φ' [°]	δ [°]	K1 [kN/m ³]	K2 [kN/m ³]	K3 [kN/m ³]
mv, 0	Klei, slap humeus	14/14	2,0	17,5	8,75	1500	650	375
-2,5	Veen	10,5/10,5	1,5	15,0	0	1000	500	250
-4,0	Klei, slap humeus	14/14	2,0	17,5	8,75	1500	650	375
-5,5	Veen	10,5/10,5	1,5	15,0	0	1000	500	250
-6,5	Klei	15/15	3,0	22,5	11,25	4000	2000	800
-10,0	Basis veen	11/11	2	15,0	0	2000	800	500
-10,8	Pleistoceen zand	18/20	0	32,5	21,7	20000	10000	5000

Voor de berekeningen is uitgegaan van een freatische grondwaterstand gelijk aan het waterpeil van Amstel. De waterstand in Amstel is NAP -0,4 m^{*)}. De stijghoogte van de 1WVP bevindt zich op NAP -3,5 m.

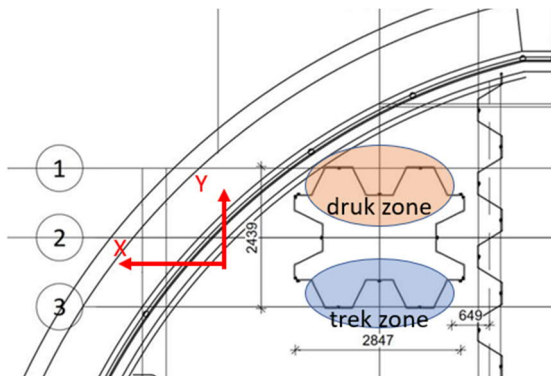
*) de grondwaterstand /stijghoogte verkregen uit het rapport "Bemalingsadvies Amstedijk Noord 1a te Amstelveen" door Antea group, projectnummer 407675, definitief -revisie 1,0 d.d. 06-02-2017.

4 BELASTINGEN OP DE FUNDATIE

De verticale en horizontale belastingen uit de constructie zijn door de constructeur berekend. de brug wordt op een damwandconstructie gefundeerd. Op de damwand wordt een staalconstructie gemonteerd die de belastingen vanuit de torens overdraagt naar de damwandconstructie. In de onderstaande figuren 3 t/m 6 zijn schetsen van de fundatie gepresenteerd (niet op schaal). Ook is de richting van de belastingen die op de constructie werken in de onderstaande figuren weergegeven.



Figuur 5 bovenanzicht schets fundatie damwandconstructie - oostzijde



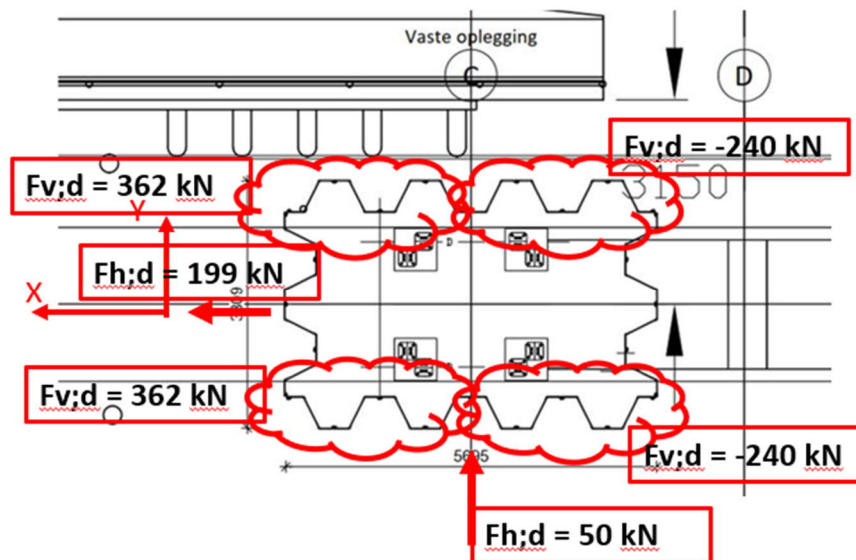
Figuur 6 bovenanzicht schets fundatie damwandconstructie - westzijde

Waarbij:

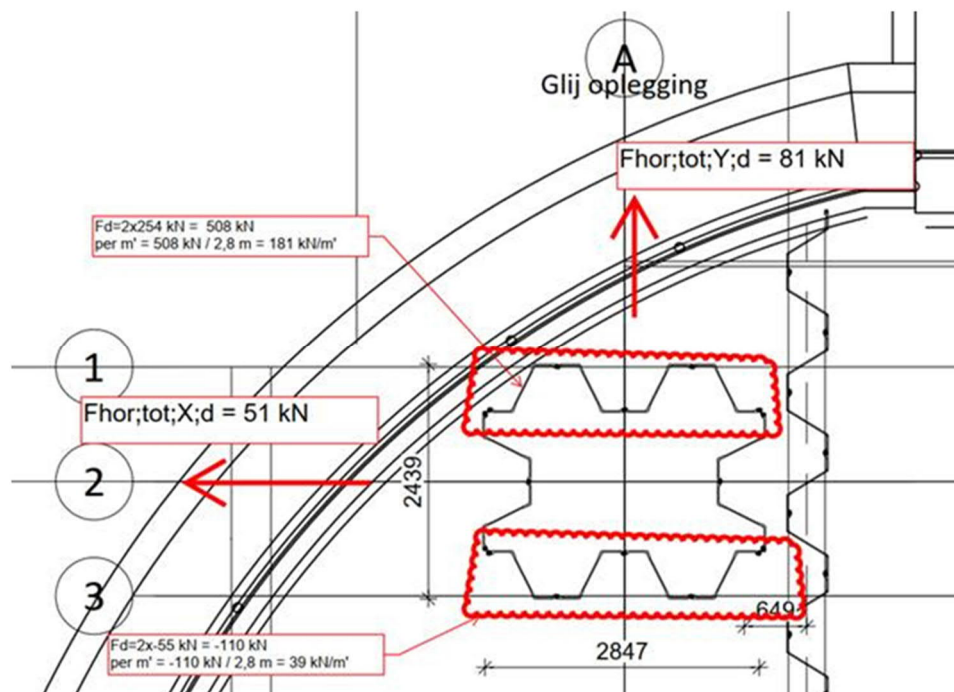
X- richting: in de lengterichting van de brug

y-richting: in de dwarsrichting van de brug

De berekende belasting op de fundatie per zijde zijn in de onderstaande figuren 5 en 6 weergegeven. Deze waarden zijn door de constructeur berekend.



Figuur 7 Rekenwaarden belastingen (UGT) op de fundatie (x en y-richting) - oostzijde



Figuur 8 Rekenwaarden belastingen (UGT) op de fundatie (x en y-richting) - westzijde

In de onderstaande tabel zijn de maatgevende belastingen in UGT weergegeven.

Tabel 3 belastingen op de fundatie (UGT)

zijde	Horizontale belasting x-richting [kN]	Horizontale belasting y-richting [kN]	Verticale belasting -druk Fv;d;druk [kN/per zijde]	Verticale belasting-trek Fv;d;trek [kN/per zijde]
Oost Zie Figuur 7	199	50	362	240
West Zie Figuur 8	51	81	508	110

Voor de fundatie van de voetgangersbrug is een damwand profiel AZ26-700(S240) gekozen. Het aantal damwandplanken per zijde zoals in de figuren 3 en 4 gepresenteerd:

Oostzijde: x-richting = 4 dubbele planken. waarvan er 2 dubbele planken onder drukbelasting en 2 dubbele planken onder trekbelasting worden belast, of andersom (zie Figuur 5). Dus voor de verticale belasting: $= 2 \times 1,4 = 2,8 \text{ m}$ Voor de horizontale belastingen werken alle 4 dubbele planken mee $= 4 \times 1,4 = 5,6 \text{ m}$
 y-richting = 2 dubbele planken $= 2 \times 1,4 = 2,8 \text{ m} + 1 \text{ m}^{**}) = 3,8 \text{ m}$

[**) hoogte van 2 planken op x-richting, zie Figuur 5]

- Westzijde: x-richting = 2 dubbele planken $= 2 \times 1,4 = 2,8 \text{ m}$ van wie 2 noorden dubbele planken werken onder drukbelasting en 2 zuiden dubbele planken werken onder trekbelasting of andersom (zie Figuur 6). Voor de horizontale belastingen werken de 2 dubbele planken mee.

y-richting = 1 dubbele planken $= 1 \times 1,4 = 1,4 \text{ m} + 1 \text{ m}^{**}) = 2,4 \text{ m}$

[**) hoogte van 2 planken op x-richting, zie Figuur 6]

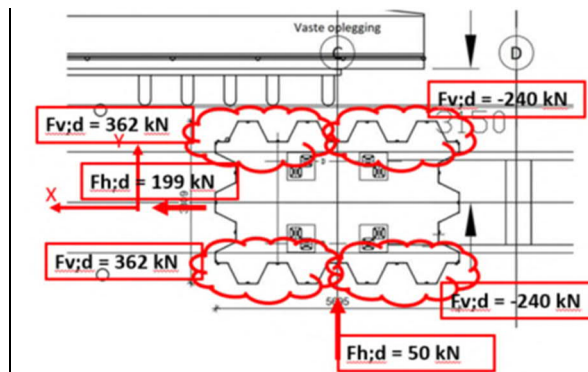
De verticale en horizontale belasting per sterkte meter of per planken van de damwand wordt als volgt berekend:

Oostzijde:

verticale drukbelasting = 362 kN.

Breedte damwand (onder druk belast) = 2,8 m, alleen 2 dubbele planken in de berekening is meegenomen (zie figuur onder).

Verticale belasting $= 362/2,8 = 129,3 \text{ kN/m}^1$



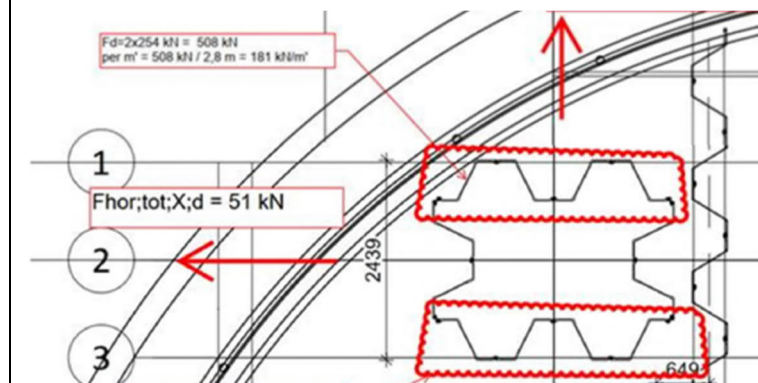
- Verticale trekbelasting = $240/2,8 = 86 \text{ kN/m}^1$
- Horizontale belasting: x-richting (zie Figuur 7) = $199/2 = \text{ca. } 100 \text{ kN}$ per zijde, in het vlak belast (verdelen over 4 dubbele planken) = $100/5,6 = 18 \text{ kN/m}^1$.
- Horizontale belasting: y-richting (loodrecht, zie Figuur 7) = 50 kN uit het vlak belast (op 2 rijen van 4 dubbele planken) $\rightarrow 50/2 = 25 \text{ kN/rij}$, deze belasting is niet gelijktijdig met de andere horizontale belasting van x-richting aanwezig.

Westzijde:

- verticale drukbelasting = 508 kN

Breedte damwand = $2,8 \text{ m}$ (alle planken zijn in de berekening meegenomen, zie onderstaande figuur)

Verticale belasting = $508/2,8 = 181,4 \text{ kN/m}^1$



- Verticale trekbelasting = $110/2,8 = 39,3 \text{ kN/m}^1$
- Horizontale belasting x-richting (evenwijdig, zie Figuur 8) = $\text{ca. } 26 \text{ kN}$ /per zijde, in het vlak belast (verdelen over 2 dubbele planken).
- Horizontale belasting y-richting (loodrecht, zie Figuur 8) = 81 kN uit het vlak belast (op 2 rijen van 2 dubbele planken) niet gelijktijdig met evenwijdige belasting.

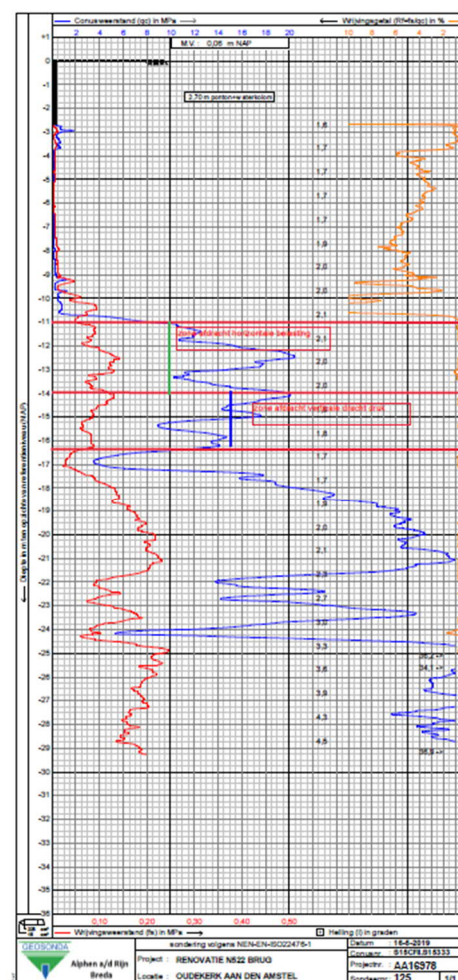
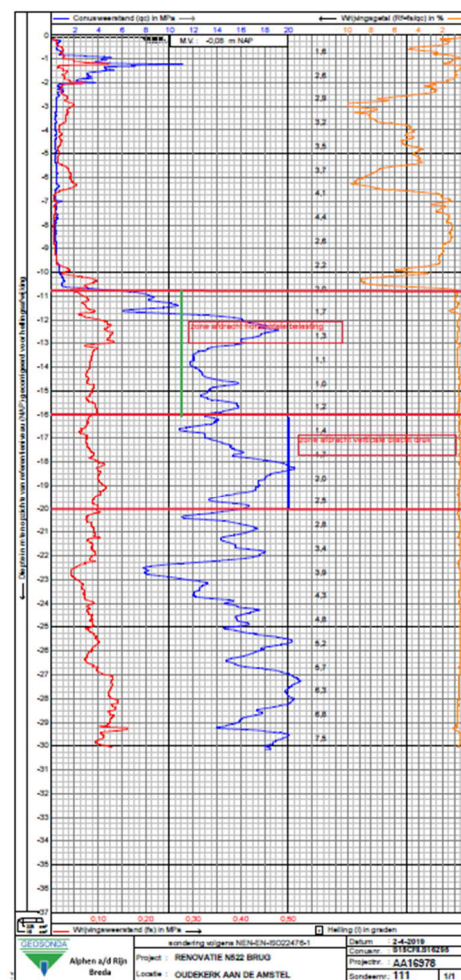
5 BEREKENING DRAAGVERMOGEN VAN DE DAMWANDCONSTRUCTIE

5.1 Horizontale draagkracht damwanden

De horizontale belasting van de voetgangersbrug wordt afgedragen door alle damwandplanken. De damwand heeft géén grondkerende functie. De horizontale belasting wordt door schachtwrijving tussen de damwand en grond afgedragen. Hiervoor dienen de damwandplanken gekoppeld te worden door middel van een gordingsconstructie of gelijkwaardig. In de berekening worden enkele meters in de zandlaag als afdrachtzone voor de horizontale belasting aangehouden. Aan de oostzijde is dit 5 meter, aan de westzijde 3 meter). Onder deze horizontale afdrachtzone is de afdrachtzone voor de verticale belasting geschematiseerd, zie Figuur 9 en bijlage 1.

Oostzijde: maatgevende sondering is 111:

westzijde: maatgevende sondering is 125:



Figuur 9 horizontale en verticale afdragende zones

Voor de bepaling van de horizontale weerstand van de damwand is een beschouwing gemaakt waarbij de weerstand in de draagkrachtige zandlaag tussen NAP -11,0 m en NAP -16,0 m (5,0 m) ter plaatse van de oostzijde en tussen NAP -11,0 m en NAP -14,0 m (3 m) ter plaatse van westzijde van de fundatie van de voetgangersbrug is beschouwd. De draagkracht van de damwand die horizontaal belast wordt, is conform CUR 166 -6e druk paragraaf 4.10.2 (niet kerende damwandconstructie) berekend. De effectieve horizontale korreldruk wordt bepaald op basis van neutrale gronddrukfactor k_0 . Hiermee wordt de weerstand van de grond (horizontale grondveren worden door een raamwerkprogramma gemodelleerd) tegen de optredende schuifspanningen berekend. In cohesieve grondlagen draagt de cohesie bij aan de mobilisatie van de draagkracht. De weerstand in cohesieve lagen wordt bepaald door de maximale schuifkracht te delen door de maximale deformatie die nodig is om deze schuifkracht te mobiliseren.

De maximale horizontale schuifweerstand T_{max} en de veerstand van de grondlagen zijn in de bijlage 2 uitgewerkt. De wrijvingshoek tussen de damwand en de grond (δ) is afhankelijk van de verhouding tussen de lengte van het grensvlak wand-grond en het grensvlak grond-grond bij het beschouwde damwandscherm. De maatgevende waarde van deze hoek is in de bijlage 2 weergegeven. De horizontale weerstand wordt getoetst op een overall veiligheidsfactor $\geq 1,5$. De resultaten van de berekeningen van de horizontale schuifweerstand van de damwand zijn in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 4 horizontale weerstand damwand

zijde	Damwand profiel	Bovenkant damwand [NAP m]	Inheidiepte ¹⁾ damwand [NAP m]	Dikte afdracht zone (zand) [m]	Maximale horizontale weerstand, x-richting [kN/per zijde]	Resterende horizontale belasting, x-richting [kN/per zijde]
Oost	AZ26-700- (S240)	+1,0	-20,0	5	20	30
West	AZ26-700- (S240)	+1,0	-16,5	3	11	15

1) De inheidiepte is bepaald ten opzichte van het draagvermogen van de damwand voor druk en trek belastingen.

Uit bovenstaande tabel volgt dat de horizontale weerstand van de damwand niet voldoet.

De resterende horizontale belasting wordt door de damwandplanken in de y-richting opgenomen. De berekening is met behulp van de D-Sheet Piling versie 18.2 (build 1.20477) uitgevoerd en zijn in bijlage 2,3 en 2.4 opgenomen.

De damwandconstructie worden aan de bovenzijde voorzien van een ringgording (hart gording op NAP +0,5 m) om herverdeling van de horizontale belasting te realiseren. het type gording wordt door de constructeur berekend.

5.2 verticale draagkracht damwanden

druk draagkracht: het druk draagvermogen van de damwand wordt conform qc - methode berekend. het draagvermogen van de punt van de damwand is niet meegerekend (conservatief).

$$Fr, d = (\alpha s * \Delta L * qc, gem * O) / (ksi * \gamma m)$$

Waarbij:

Fr,d: draagvermogen, rekenwaarde [kN/m¹]

αs : schacht paalfactor = 0,004 (trillen);

ΔL : lengte van de schachtwrijving [m];

q_{c, gem}: gemiddelde conusweerstand van schachtwrijving [Kpa]

O: gemiddelde omtrek van de paal = verf oppervlakte van de damwand = 1,38 m /per zijde;

Ksi: factor voor het aantal sonderingen = 1,39 conservatief;

γm : materiaalfactor =1,2 voor druk.

In de berekening is géén negatieve kleef meegenomen.

In de berekening wordt de drukzone voor de draagkracht van de damwand als volgt aangehouden (zie ook Figuur 9):

Oostzijde: vanaf NAP -16 m tot NAP -20,0 m (trek is maatgevend);

Westzijde: vanaf NAP -14 m tot NAP -16,5 m (druk is maatgevend).

In de onderstaande tabel zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven. De berekening is in bijlage 3 weergegeven.

Tabel 5 draagkracht damwand -druk

zijde	Damwand profiel	Bovenkant damwand [NAP m]	Inheidiepte damwand [NAP m]	Bovenkant Positieve schacht zone [NAP m]	onderkant Positieve schacht zone [NAP m]	Draagkracht damwand [kN/m ¹]
Oost	AZ26-700- (S240)	+1,0	-20,0 ¹⁾	-16,0	-20,0	291
West	AZ26-700- (S240)	+1,0	-16,5	-14,0	-16,5	182

¹⁾ de damwand wordt verlengt tot NAP -20,0 m om de trekbelasting op te nemen (trek is maatgevend).

trek draagkracht: het trek draagvermogen van de damwand is met D-Sheet Piling brekend. Hierbij wordt de wrijvingshoek tussen de grond en de damwand (δ) van de zandlaag (vanaf ca. NAP -11,0 m) aan de passieve zijde van de damwand gelijk aan nul (0) gesteld. Ook is de variatiecoëfficiënt (γ_{var}) gelijk aan 1,5 aangenomen (conform NEN9997-1, § 7.6.3.3). De berekening is in bijlage 4 weergegeven. Het trek draagvermogen van de damwand als volgt:

Oostzijde : $137 \text{ kN/m}^1 / 1,5 = 91 > 86 \rightarrow \text{u.c.} = 0,95$

Westzijde : $64 \text{ kN/m}^1 / 1,5 = 43 > 39,3 \rightarrow \text{u.c.} = 0,91$

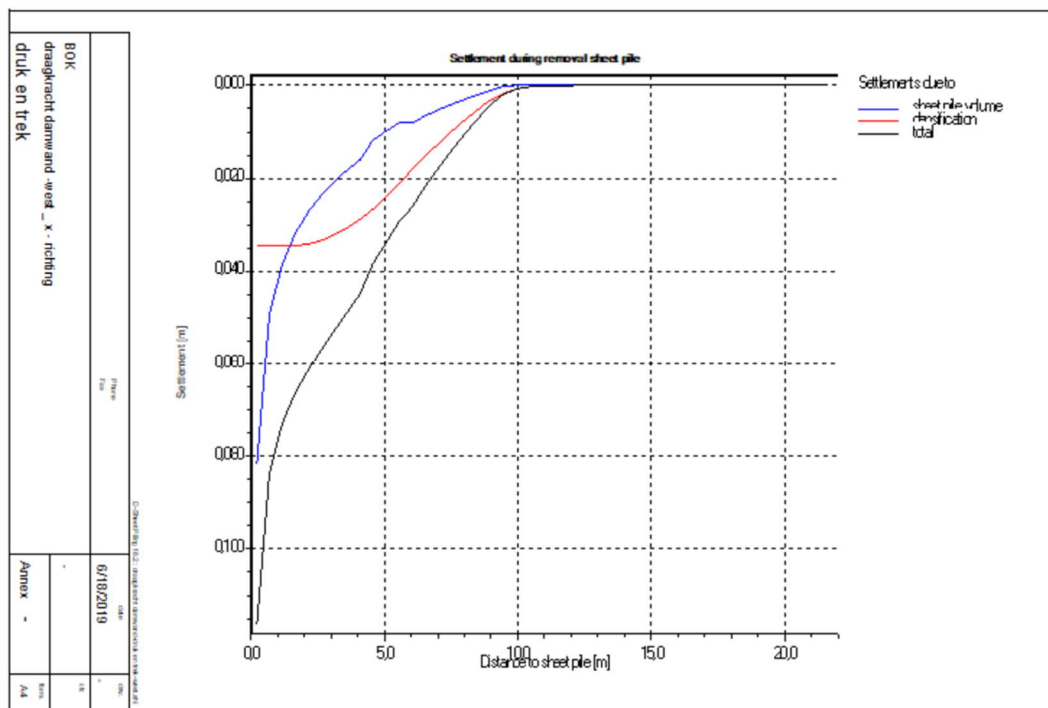
Op basis van de bovenstaande resultaten wordt geconcludeerd dat de damwand lengte voldoende draagkracht voor zowel horizontaal als verticaal heeft.

6 AANBRENGEN DAMWAND ZONDER SCHADE

Damwanden dienen trillend (hoog - frequent) aangebracht te worden. Het inbrengen van de damwand wordt getoetst volgens grafieken m.b.t. het schadevrij installeren van stalen damwanden in Nederland (CUR 166 6e herzien druk, deel 1, bijlage B).. De damwandconstructie wordt als draagelement beschouwt. Derhalve wordt het draagvermogen van de damwand getoetst. De gekozen AZ26-700N (S240) wordt hoog - frequent op diepte gebracht. De maximale lengte van de damwand in de zandlaag bedraagt circa 10 m. Hierbij wordt verwacht dat er géén schade aan de damwand zal optreden.

Aandachtspunt:

De afstand tussen de damwand constructie voor de brug fundatie aan de westzijde en de bestaande kerende constructie (oeverconstructie) bedraagt circa 0,65 m. De damwandconstructie mag niet worden getrokken om het risico op schade aan de bestaande kerende constructie te beperken. Er is een indicatieve zettingsberekening uitgevoerd voor het inbrengen en verwijderen van de damwand. In de onderstaande Figuur 10 is de zakkig van het maaiveld ten opzichte van de damwand weergegeven.



Figuur 10 maaiveld zakkig achter de damwand

Op basis van het bovenstaande figuur blijkt dat de verwachte zetting van het maaiveld langs de bestaande kerende constructie circa 7 cm bedraagt. Dit is geïnterpreteerd op basis van de blauwe lijn i.v.m. een verloren damwand.

6.1 Toelichting aanbrengen damwand naast oeverconstructie

De afstand tussen de oeverconstructie en de fundering van de voetgangersbrug is aan de oostzijde ca. 5,0 m en aan de westzijde ca 0,65 m, hiervoor wordt verwezen naar Figuur 6.

Ten gevolge van het aanbrengen van de damwand als fundering van de tijdelijke voetgangersbrug wordt een minimale horizontale vervorming van de oeverconstructie verwacht. Tijdens het aanbrengen van de damwanden als fundering wordt de horizontale vervorming van de oeverconstructie gemonitord. De eisen i.v.m. de horizontale vervorming van de oeverconstructie zijn hieronder weergegeven.

Vervorming damwand

Vertrekpunt voor het opstellen van een vervormingseis zijn de eisen zoals die door RWS zijn gesteld ten aanzien van horizontale vervormingen:

- de toelaatbare horizontale vervorming van definitieve damwanden (in het zicht) is 1/200 van de kerende hoogte, in alle bouwfasen, met een maximum van 50 mm;
- voor *tijdelijke* damwanden is de toelaatbare vervorming afhankelijk van de situatie. Als vuistregel wordt 1/100 van de maximaal te keren hoogte met een maximum van 100 mm aangehouden.

Bovenstaande eisen gelden voor de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) voor damwanden van bouwputten, grondkeringen en dergelijke (constructies in veiligheidsklasse II). Voor relatief eenvoudige constructies zoals beschoeiingen kunnen lagere eisen gelden.

Als vervormingseis bij berekening van een vervangende waterkering wordt in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) de empirische waarde van **maximaal 10cm** aangehouden. Reden hiervoor is dat de maximale vervorming optreedt bij een calamiteit onder maatgevende omstandigheden.

Indien er een horizontale vervorming optreedt, wordt de situatie technisch beoordeeld. De grenswaarde is 50 mm. Een mogelijke maatregel bij het optreden van de horizontale vervorming is dat de oeverconstructie aan de fundering wordt gekoppeld.

BIJLAGE 1: MAATGEVENDE SONDERINGEN

BIJLAGE 2: HORIZONTALE DRAAGKRACHT DAMWAND

BIJLAGE 3: VERTICAL DRAAGKRACHT DAMWAND - DRUK

BIJLAGE 4: VERTICALE DRAAGKRACHT DAMWAND - TREK