



Geleidewerken Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl

Trillingsonderzoek aanbrengen stalen buispalen

Zaaknummer: 31156999

projectnummer 0463688.100
definitief
7 oktober 2020

Geleidewerken Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl

Trillingsonderzoek aanbrengen stalen buispalen

Zaaknummer: 31156999

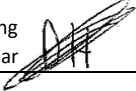
projectnummer 0463688.100
documentnummer 20201007-463388-rap-trillingsonderzoek-R1.0
definitief
7 oktober 2020

Auteurs

F.O. Eshuis

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat
Postbus 2232
3500 GE UTRECHT

datum vrijgave	beschrijving revisie	goedkeuring	vrijgave
	definitief	D. ter Haar 	M. de Kloet

Inhoudsopgave

Blz.

1	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Doel	1
1.1	Revisiebeheer	1
1.2	Leeswijzer	1
2	Uitgangspunten en randvoorwaarden	2
2.1	Beschikbaar gestelde informatie	2
2.2	Normen en richtlijnen	2
3	Situatie	3
3.1	Algemeen	3
3.2	Bestaande bouwwerken	4
4	Trillend aanbrengen van de palen	5
4.1	Algemeen	5
4.2	Aanpak	5
4.3	Dimensies buispalen	7
4.4	SBR Trillingsrichtlijn deel A	7
4.5	Trilblok	8
4.6	Trillingssnelheden	8
4.7	Toetsing van berekende trillingssnelheden aan de SBR Trillingsrichtlijn deel A	8
5	Zakkingen ten gevolge van trillingen	10
6	Conclusies en aanbevelingen	14
6.1	Conclusies	14
6.2	Monitoring	15

Bijlage 1 Inventarisatie bouwwerken

Bijlage 2 Berekeningsrapporten VP-Damwand

1 Inleiding

1.1 Algemeen

In opdracht van Rijkswaterstaat verzorgt Antea Group het ontwerp voor het aanbrengen van beschermopalen en palen voor een nieuw remmingwerk op een 4 tal locaties op de vaarweg Lemmer – Delfzijl. Hiervoor zijn inmiddels constructieve berekeningen uitgevoerd.

In voorliggende rapportage is onderzoek gedaan naar eventuele negatieve invloeden, als gevolg van het aanbrengen van de palen, op de bestaande bouwwerken. Het onderzoek betreft een verkenning of er sprake zal zijn van nadelige beïnvloeding, dit als gevolg van schade door:

1. Trillend aanbrengen van de palen
2. Zakkingen ten gevolge van trillingen

1.2 Doel

Dit rapport richt zich op de impact op omliggende bouwwerken ten gevolge van het trillend aanbrengen van open stalen buispalen (zonder voetplaat). Het onderzoek richt zich op bouwschade en niet op hinder. Wanneer er een verhoogd risico op constructieve schade is, wordt een passende (beheers)maatregel voorgesteld. Een beheersmaatregel is bijvoorbeeld: aanpassing van de uitvoeringsmethode.

Opgemerkt wordt dat dit trillingsonderzoek gericht is op de hoofddraagconstructie van omliggende bouwwerken. De bruggen zijn voorzien van trillingsgevoelige sensoren en apparatuur. Tijdens de trilwerkzaamheden, ten behoeve van het aanbrengen van de stalen buispalen, dient hier aandacht aan besteed te worden zodat de brugbediening geen storing zal ondervinden.

1.1 Revisiebeheer

Revisie	status	Datum	Gewijzigde hoofdstukken	Beschrijving wijzigingen
0.1	Concept	06-10-2020	–	eerste versie voor interne controle
1.0	Definitief	07-10-2020	divers	verwerken commentaar uit interne kwaliteitscontrole

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten en randvoorwaarden die bij dit onderzoek gehanteerd zijn, beschreven. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 de situatie beschreven. Daarna wordt in hoofdstuk 4 de (trillings)impact analyse uiteengezet. De ondergrondzakkingen als gevolg van verdichting wordt in hoofdstuk 5 onderzocht. In hoofdstuk 6 staan de conclusies en aanbevelingen. Tot slot is een literatuurlijst bijgevoegd.

2 Uitgangspunten en randvoorwaarden

2.1 Beschikbaar gestelde informatie

Ten tijde van het opstellen van dit trillingsonderzoek, is gebruik gemaakt van de volgende informatie:

- [1] Bijlage A: Vraagspecificatie Nadere overeenkomst S03, document Rijkswaterstaat met zaaknummer 31156999 van 30 maart 2020, versie 1.0, definitief;
- [2] Project specifiek plan van aanpak (EMVI-BPKV), Antea Group, rapport met datum 25 juni 2020, versie 1.0, definitief;
- [3] Geotechnisch onderzoek uitgevoerd door Wiertsema & Partners 'Ontwerp geleidewerken hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl', rapport met documentnummer: R72310 van 25 september 2020, versie 1;
- [4] Ontwerp Geleidewerken Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl, DO-berekeningsrapport opgesteld door Antea Group, documentnummer: 463688-BER-DO-01, revisie 1.0;
- [5] Dieptecijferkaarten Prinses Margrietkanaal, PRS projectcode 18FLD9001ml12_01:
 - Blad 133 van 152, getekend: 05-02-2019 (Spannenburg)
 - Blad 109 van 152, getekend: 05-02-2019 (Uitwellingergera)
 - Blad 85 van 152, getekend: 05-02-2019 (Ald Skou)
 - Blad 9 van 152, getekend: 31-01-2019 (Blauwverlaat)
- [6] Tekening Provinciale waterstaat van Friesland 'Basculebrug over het Prinses Margrietkanaal nabij Blauwverlaat: Onderbouw, sonderingen, palenplan, situatie', kaartnummer: 6-2-131-12 van 14 januari 1983;
- [7] Tekeningen Antea Group 'Geleidewerken Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl':
 - Definitief ontwerp beschermipalen Spannenburg, tekening nr.: 463688-C-4-0004 van 09-10-2020, versie V1.0;
 - Definitief ontwerp beschermipalen Uitwellingergera, tekening nr.: 463688-C-4-0003 van 09-10-2020, versie V1.0;
 - Definitief ontwerp beschermipalen Ald Skou, tekening nr.: 463688-C-4-0002 van 09-10-2020, versie V1.0;
 - Definitief ontwerp geleidewerken en beschermibuisen Blauwverlaat, tekening nr.: 463688-C-4-0001 van 09-10-2020, versie V1.0.

2.2 Normen en richtlijnen

Dit trillingsonderzoek is uitgevoerd conform de onderstaande normen en richtlijnen:

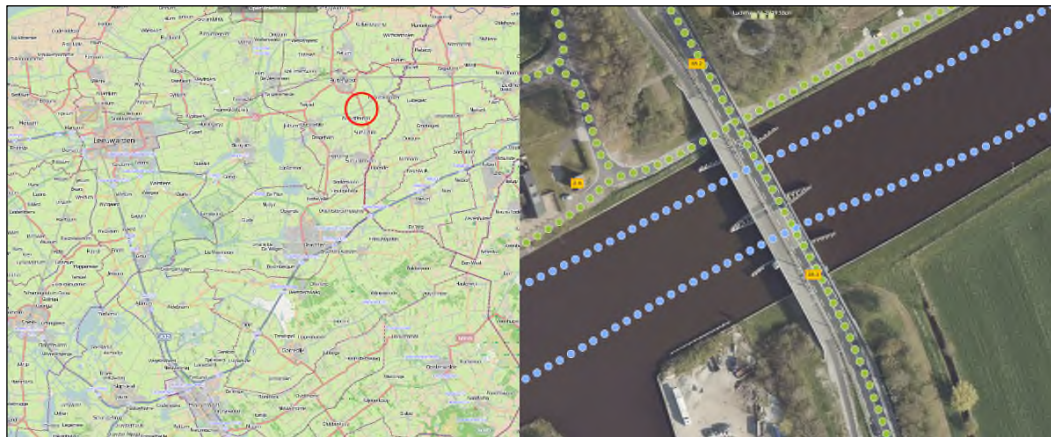
NEN 9997-1	Geotechniek	: Algemene regels	[Lit. 1]
SBR:2017	Trillingsrichtlijn A	: Schade aan bouwwerken	[Lit. 2]
CUR 166	Damwandconstructies (6 ^e druk)		[Lit. 3]
GEotechniek (04-2008)	Artikel uit vakblad Geotechniek, december 2008		[Lit. 4]

3 Situatie

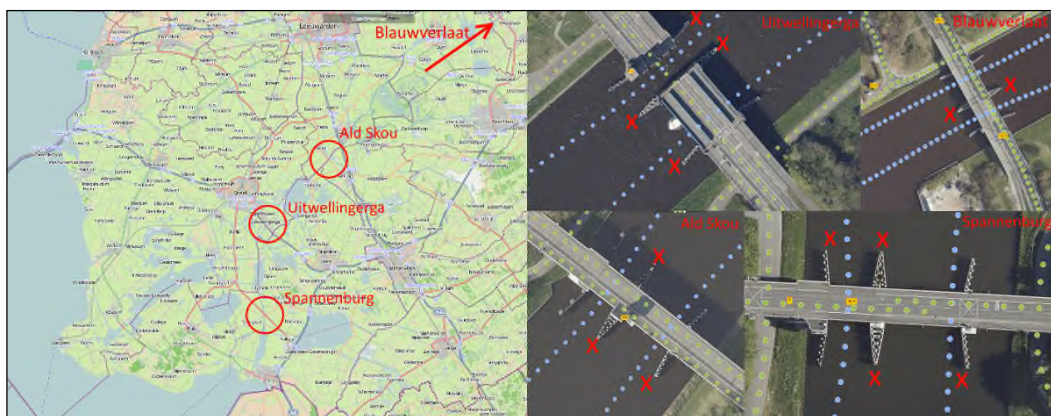
3.1 Algemeen

De huidige geleidewerken bieden onvoldoende bescherming aan de te beschermen objecten. De bruggen Ald Skou, Uitwellingerga en Spannenburg moeten vanaf 2024 vervangen worden. Gelet op deze volledige vervanging van de bruggen op relatief korte termijn, is gekeken naar een alternatief om de tussenliggende periode te overbruggen. Door het plaatsen van enkele buispalen voor de bestaande geleidewerken bij de bruggen Ald Skou, Uitwellingerga en Spannenburg, ontstaat er een barrière om beschadiging door schepen aan de brugpijlers zoveel mogelijke voorkomen. In het licht van de vervanging van deze bruggen (2026) is dit de meest doelmatige oplossing. De brug Blauwverlaat staat niet op de nominatie om vervangen te worden. Dat betekent dat de geleidewerken hier wel volledig vernieuwd moeten worden.

Onderstaande afbeeldingen illustreren de beschouwde locaties. Let op: bij Ald Skou worden slechts drie bescherpalen geplaatst.



Figuur 3-1. Locatie geleidewerken te Blauwverlaat (bron: Street Smart, 2020)



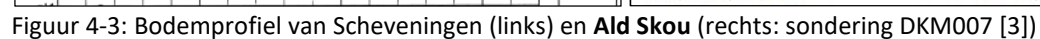
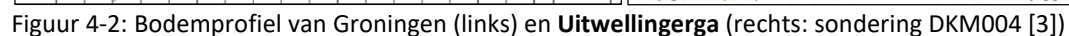
Figuur 3-2. Locaties bescherpalen te Ald Skou (Oude Schouw), Uitwellingerga, Spannenburg en Blauwverlaat (Bron: Street Smart, 2020)

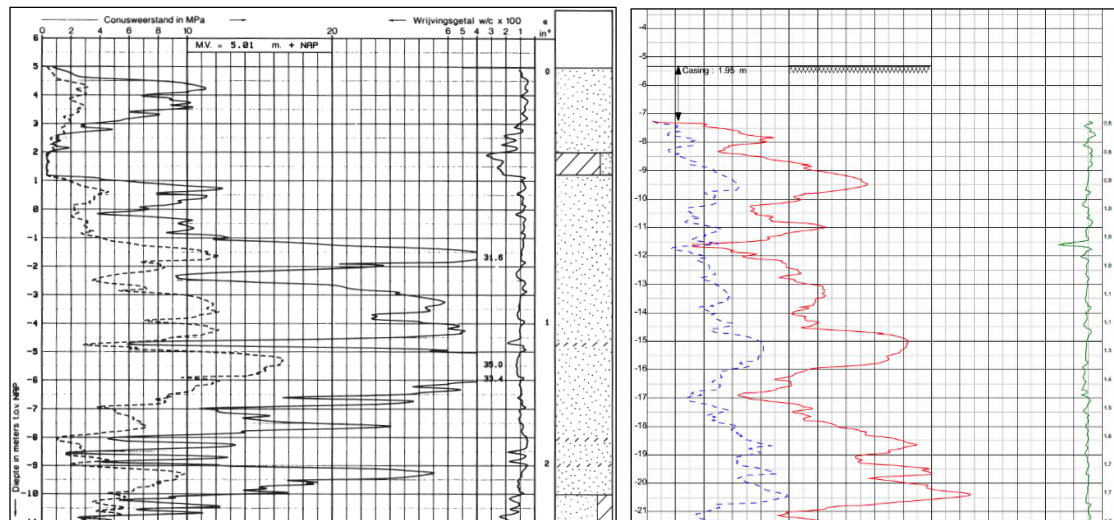
3.2 Bestaande bouwwerken

Op basis van praktijkervaringen is gebleken dat schade aan bouwwerken als gevolg van het trillen van stalen funderingselementen beperkt is tot op een afstand van 40 meter. Buiten een straal van 40 meter is het niet aannemelijk dat eventuele schade het gevolg is van trilwerkzaamheden.

In bijlage 1 is, per locatie, een inventarisatie van bestaande bouwwerken weergegeven. Hierbij is de kortste afstand tussen de nieuw aan te brengen buispalen en de bouwwerken, inclusief een indeling van SBR-klasse aangegeven.

Geconcludeerd wordt dat binnen een afstand van 40 meter van de aan te brengen buispalen, alleen de bestaande bruggen aanwezig zijn. Deze zijn dan ook aan een trillingsanalyse onderworpen.





Figuur 4-4: Bodemprofiel van Maasvlakte (links) en **Blauwverlaat** (rechts: sondering DKM013 [3])

4.3 Dimensies buispalen

Op basis van het ontwerp [4] zijn in Tabel 4-1 de paaldimensies samengevat die als basis zijn gebruikt voor dit onderzoek.

Tabel 4-1: Paaldimensies op basis van ontwerp [4]

Locatie	onderdeel	diameter [mm]	wanddikte [mm]	paallengte [m]	paalpuntniveau [m .. NAP]
Spannenburg	beschermipalen	1.420	40,0	23,7	-21,0
Uitwellingerga	beschermipalen	1.220	40,0	22,7	-20,0
Ald Skou	beschermipalen	1.420	40,0	19,2	-16,5
Blauwverlaat	beschermipalen	1.220	40,0	22,7	-20,0
Blauwverlaat	nieuw geleidewerk	762	36,0	19,3	-18,0

De bovenkant van alle beschermipalen komen op een niveau van NAP +2,71 m.

De beschermipalen voor de locaties Spannenburg, Ald Skou en Blauwverlaat worden op een niveau variërend van NAP -4,5 à -5,5 m verjongd.

De bovenkant van de palen voor het remmingwerk Blauwverlaat komen op een niveau van NAP +1,26 m.

Voor verdere specificaties en achtergronden hieromtrent, wordt verwezen naar de ontwerprapportage [4].

4.4 SBR Trillingsrichtlijn deel A

Voor de beschouwing worden de berekende trillingssnelheden getoetst aan de grenswaarden uit de SBR Trillingsrichtlijn uit 2017, uitgegeven door Stichting Bouw Research [Lit. 2]. De Raad van State erkent de richtlijn als uitgangspunt voor jurisprudentie. In dit geval is de SBR-richtlijn [Lit. 2] van toepassing.

4.5 Trilblok

Het aangehouden bloktype is bepaald op basis van ervaring met vergelijkbare projecten. In de berekening van de trillingssnelheid is uitgegaan van een relatief zwaar trilblok met een slagkracht van 2.900 kN, bijvoorbeeld PVE 2350VM. Bij een 'zwaarder' blok (grotere slagkracht) zal de productiesnelheid weliswaar hoger komen te liggen, echter de trillingssnelheid zal ook inherent toenemen met daarbij een verhoogde kans op schade.

Een uitzondering op het gekozen trilblok, is locatie Spannenburg. De geregistreerde conusweerstand in het zand zijn dermate hoog dat een zwaarder trilblok nodig is. Voor locatie Spannenbrug is gekozen voor een trilblok met een slagkracht van 3.320 kN, bijvoorbeeld PTC 60HFV.

4.6 Trillingssnelheden

De voorspelde trillingssnelheden ($v_{\max}$) zijn gebaseerd op een overschrijdingskans van 1%. In Tabel 4-2 is, per locatie, de berekende trillingssnelheid weergegeven.

Tabel 4-2: Samenvatting berekende trillingssnelheden

Locatie	bouwwerk	onderdeel	minimale afstand tot buispalen [m]	$v_{\max}$ [mm/s]
Spannenburg	Spannenburgerbrug	beschermipalen	12	2,2
Uitwellingerga	Brug Nije dyk	beschermipalen	11	0,4
Ald Skou	Brug Ald Skou	beschermipalen	11	0,9
Blauwverlaat	Brug Blauwverlaat	beschermipalen	12	0,7
Blauwverlaat	Brug Blauwverlaat	nieuw geleidewerk	2	3,5

In bijlage 2 zijn volledigheidshalve de berekeningsrapporten van VP-Damwand toegevoegd.

4.7 Toetsing van berekende trillingssnelheden aan de SBR Trillingsrichtlijn deel A

De hoogte van de toelaatbare grenswaarden waarbij volgens de bestaande praktijkervaring de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van het type trillingsbron, de bouwkundige staat en funderingswijze van de naburige bouwwerken. In SBR Trillingsrichtlijn [Lit. 2] wordt onderscheid gemaakt in de volgende trillingsbronnen:

- incidenteel voorkomende kortdurende trillingen;
- herhaald kortdurende trillingen;
- continue trillingen.

Het intrillen van stalen buispalen wordt beschouwd als een bron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Daarnaast wordt onderscheid gemaakt in trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal (geen palen) waarbij de ondergrond verkneedbaar/verdichtbaar is, worden als trillingsgevoelig aangemerkt.

De bestaande bruggen worden conform de SBR Trillingsrichtlijn [Lit. 2] ingedeeld in categorie 1 (draagconstructies van bouwwerken met gewapend beton, waaronder bruggen).

Er zijn bij trillingen afkomstig van de bodem drie soorten metingen mogelijk: indicatieve meting, beperkte meting en uitgebreide meting. Bij de indicatieve meting en beperkte meting worden minder trillingsopnemers gebruikt dan bij de uitgebreide meting. Hierdoor is het minder zeker dat op de plaats wordt gemeten waar de grootste trillingsterkten optreden. Deze onzekerheid leidt ertoe dat een grotere veiligheidsfactor op de grenswaarde wordt toegepast voor dat beoordeeld kan worden.

Voor de bepaling van de rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van trilling een maatgevende factor. In Tabel 4-3 is, per type meting, de rekenwaarde van de grenswaarde aangegeven.

Tabel 4-3: Rekengrenswaarden conform SBR Trillingsrichtlijn [Lit. 2]

locatie	bouwwerk	SBR-klasse	bouwkundige staat	grenswaarde v_r [mm/s]		
				indicatieve meting	beperkte meting	uitgebreide meting
Spannenburg	Spannenburgerbrug	1	gevoelig	4,8	5,5	7,7
Uitwellingerga	Brug Nije dyk	1	gevoelig	4,8	5,5	7,7
Ald Skou	Brug Ald Skou	1	gevoelig	4,8	5,5	7,7
Blauwverlaat	Brug Blauwverlaat	1	normaal	8,1	9,3	13,0

De resultaten van de trillingsanalyse zijn getoetst aan de grenswaarden. Een overzicht van de resultaten van de toetsing op schade aan de hoofdconstructie is in Tabel 4-4 gepresenteerd. In kolom 5 t/m 7 is de kans op schade van de grenswaarde, per type meting, weergegeven.

Tabel 4-4: Toetsing berekeningsresultaten conform SBR Trillingsrichtlijn [Lit. 2]

bouwwerk	onderdeel	trillings snelheid v_{max} [mm/s]	grenswaarde v_r [mm/s]			kans op schade [%]		
			indicatieve meting	indicatieve meting	beperkte meting	uitgebreide meting	beperkte meting	uitgebreide meting
Spannenburgerbrug	beschermpalen	2,2	4,8	5,5	7,7	< 1	< 1	< 1
Brug Nije dyk	beschermpalen	0,4	4,8	5,5	7,7	< 1	< 1	< 1
Brug Ald Skou	beschermpalen	0,9	4,8	5,5	7,7	< 1	< 1	< 1
Brug Blauwverlaat	beschermpalen	0,7	8,1	9,3	13,0	< 1	< 1	< 1
Brug Blauwverlaat	nieuw remmingwerk	3,5	8,1	9,3	13,0	< 1	< 1	< 1

De berekende trillingssnelheid bedraagt maximaal 3,5 mm/s en is daarmee kleiner dan de grenswaarde van 8,1 mm/s. De kans op schade is daarmee kleiner dan 1% en voldoet daarmee aan de vigerende wet- en regelgeving.

5 Zakkingen ten gevolge van trillingen

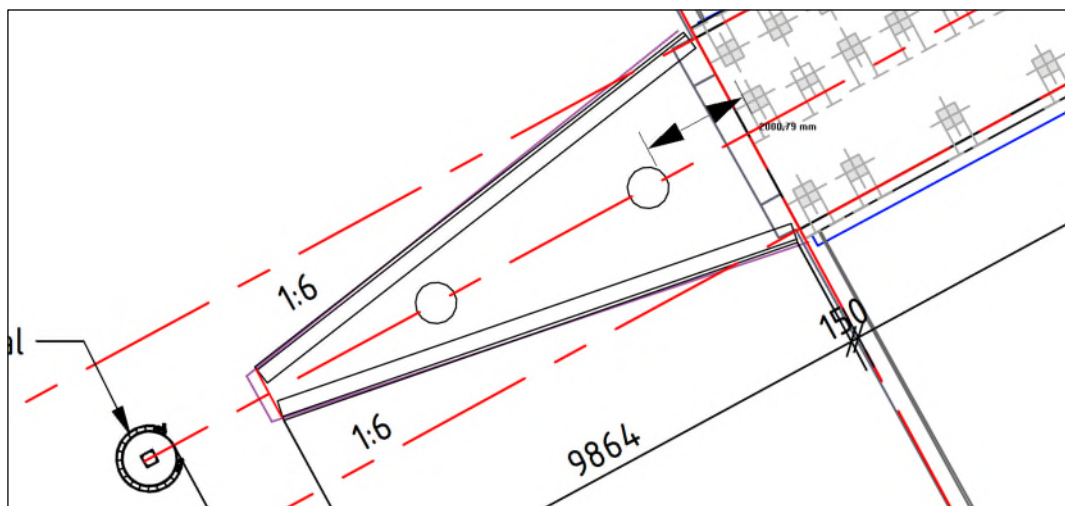
Als gevolg van het (trillend) aanbrengen van de palen ontstaan trillingen in de ondergrond.

Tijdens het trilproces treden er schuifspanningen tussen de buispalen en de grond op. Ten gevolge van deze schuifspanningen in combinatie van het (horizontaal) bewegen van de buispaal, treedt verdichting op. Volgens CUR166 [Lit. 3] op pagina 498 mag in het algemeen worden aangenomen dat in klei de verdichting tijdens het in- en uittrillen verwaarloosbaar is.

De zone waarin verdichting ontstaat is in de praktijk beperkt tot maximaal 5 meter buiten de aan te brengen palen. De afstand van de nieuw aan te brengen beschermingspalen tot de bruggen bedraagt minimaal 10 meter. Derhalve zijn deze palen buiten beschouwing gelaten en beperkt het onderzoek zich op de buispalen voor het nieuwe remmingwerk voor brug Blauwverlaat.

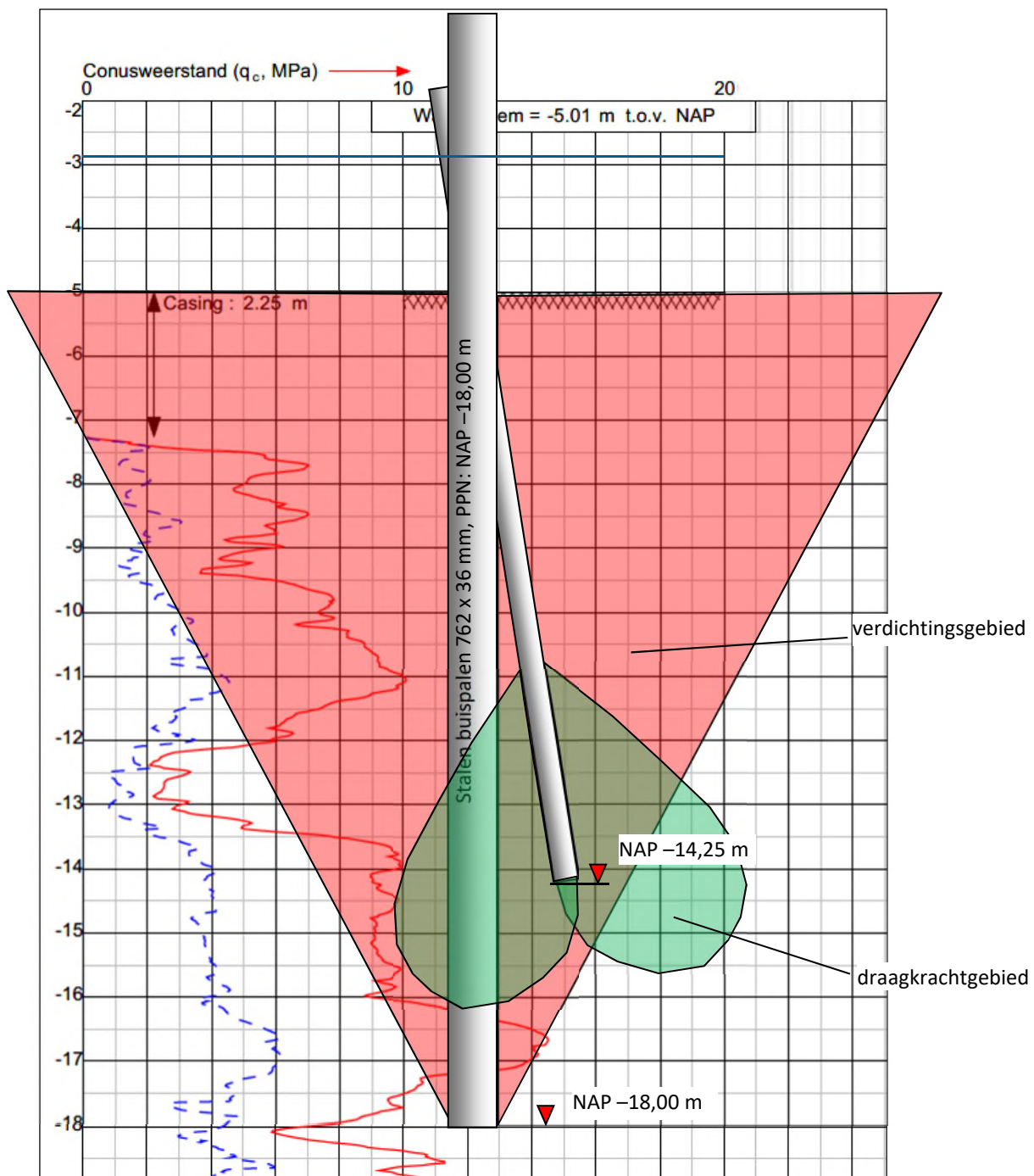
De trillingen op de bestaande bruggen met daarbij de kans op eventuele schade is in het voorgaande hoofdstuk behandeld. In dit hoofdstuk zijn zakkingen als gevolg van de trillingen onderzocht.

Als gevolg van verdichting bestaat er een kans op zakkingen en afname draagvermogen van de bestaande palen van de brug. De zone waarin verdichting optreedt is gelijk te stellen aan de actieve wigvorm bij een damwand. De afstand tussen de nieuw aan te brengen palen tot de bestaande palen bedraagt 2 m, zie Figuur 5-1. Het paalpuntniveau van de bestaande palen bedraagt NAP –14,25 m. Deze palen staan onder een helling van 1:6 (horizontaal:verticaal). De nieuw aan te brengen palen voor het nieuwe remmingwerk heeft een installatieniveau van NAP –18,0 m.

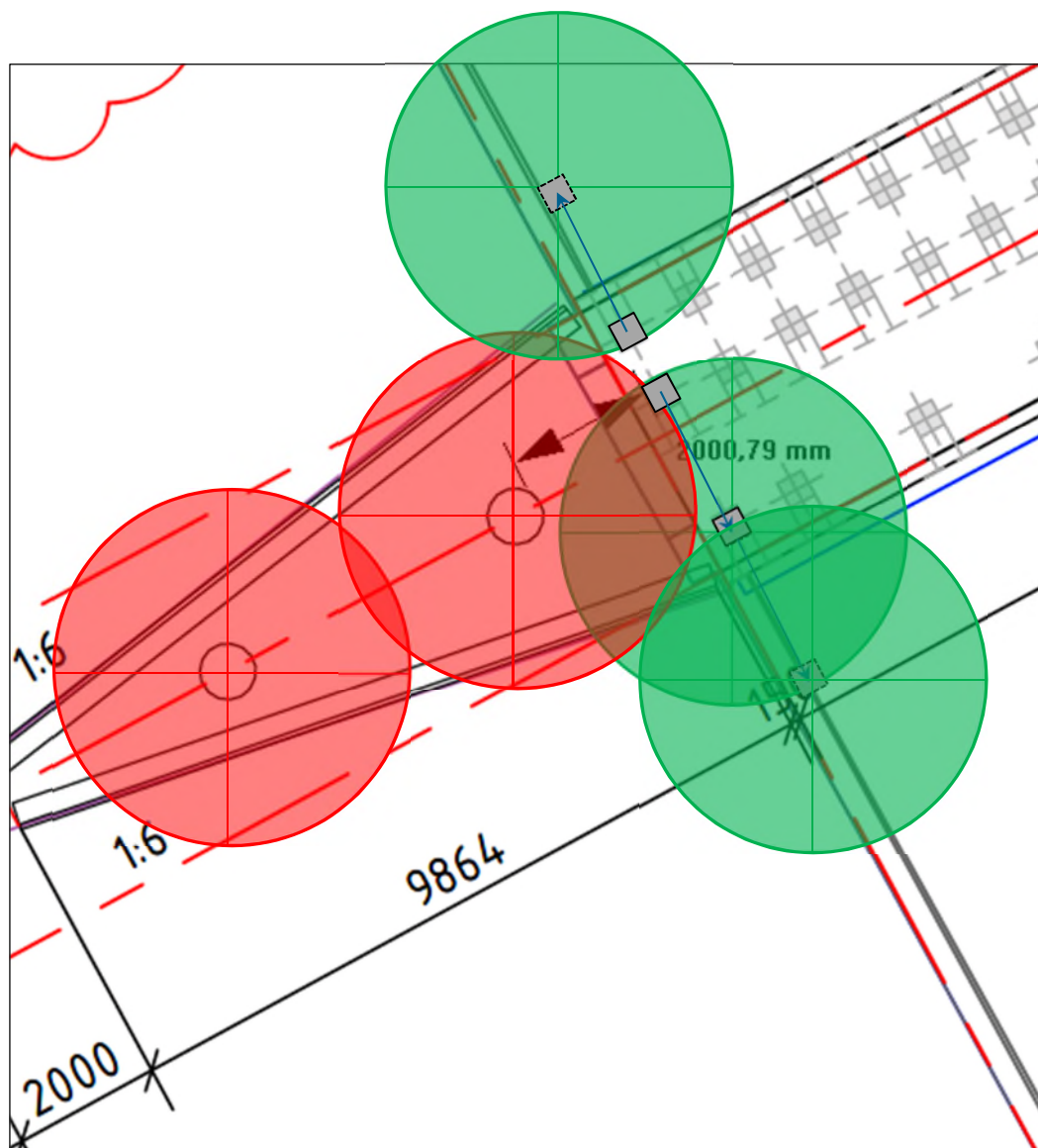


Figuur 5-1: fragment uit Definitief ontwerp locatie Blauwverlaat (bron: [7])

In Figuur 5-2 is in een doorsnede de nieuwe en bestaande palen weergegeven. Tevens is hierin het draagkrachtgebied van de bestaande palen en het verdichtingsgebied van de nieuwe palen gevisualiseerd.



Figuur 5-2: Principe verdichting en draagkrachtgebied palen locatie Blauwverlaat



Figuur 5-3: Fragment uit Definitief ontwerp locatie Blauwverlaat (bron: [7]) met cirkels **verdichtingsgebied** en **draagkrachtgebied**

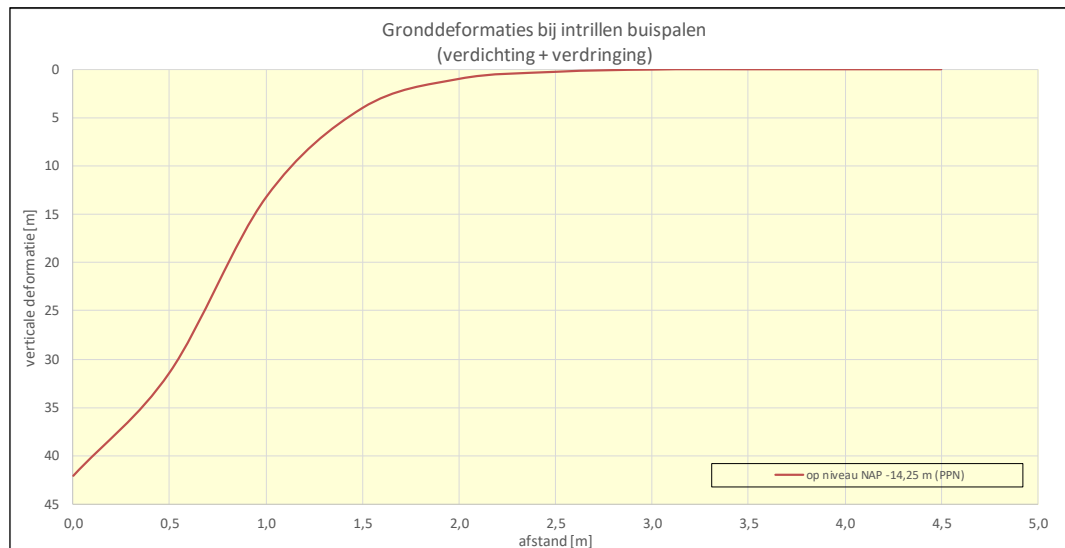
In de figuur is de zonering van de verdichting aangegeven (rood gearceerd). Daarnaast is het draagkrachtgebied van de bestaande palen onder de brug Blauwverlaat, grafisch weergegeven (groen gearceerd). De invloed is volgens Geotechniek, december 2008 [Lit. 4] beperkt tot maximaal 6 maal de equivalente paaldiameter rondom het voetsniveau van de palen. Uitgaande van palen met een schachtafmeting van 0,38 m, resulteert dit in $(6 * 1,13 * 0,38 =) 2,6$ m.

Zoals uit de figuur op te maken is, is er sprake van een overlapping van het 'draagkrachtgebied' met het 'verdichtingsgebied'. De kans dat de palen onder de bestaande brug gaan zakken, is aanwezig.

Bij het trillend aanbrengen van buispalen treden twee mechanismen op die gronddeformaties tot gevolg hebben. Enerzijds is dit door verdichting en anderzijds is dit door verdringing (verplaatsing van de grond).

Het draagkrachtgebied van de eerste palenrij bevindt zich binnen het verdichtingsgebied. Deze palenraai is bij het trillend aanbrengen van de funderingspalen van het geleidewerk, onderhevig aan deformaties. Om de grootte te kwantificeren, is met behulp van de module 'Settlement by vibration' in D-Sheet Piling hiervoor een predictie gemaakt. Deze module is gebaseerd op de theorie volgens Piet Meijers.

In Figuur 5-4 is de verticale gronddeformatie inzichtelijk gemaakt als functie van de afstand van de aan te brengen buispalen.



Figuur 5-4: Gronddeformaties op verschillende afstanden van de buispalen (NAP –14,25 m)

De grootste deformaties treden in de eerste meter van de buispaal op en bedraagt ongeveer 45 mm, deze dempen op 3 meter afstand uit. Op het paalpuntniveau van de bestaande palen (NAP –14,25 m) bedraagt de deformatie slechts 1 mm. Dit betekent echter niet dat de brug 1 mm gaat zakken. Namelijk bij een eventuele zakking zal door herverdeling van de naburige palen de zakking lager zijn. De uitkomsten zijn daarmee mogelijk aan de conservatieve kant. Wel dient te worden opgemerkt dat de modelonzekerheid een factor 3 bedraagt en dat daardoor de uitkomsten zowel een factor 3 hoger dan wel lager kunnen uitvallen. In het slechtste geval betekent dit dus dat palen van de 1^e palenrij lokaal 3 mm kunnen zakken.

Op basis van bovenstaande kan geconcludeerd worden dat zakkingen als gevolg van het trillend inbrengen van de stalen buispalen, als nihil verondersteld mag worden. De funderingspalen van het geleidewerk kunnen trillend op diepte gebracht, zonder verder maatregelen te nemen.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In voorliggende rapportage is onderzoek gedaan naar eventuele negatieve invloeden, als gevolg van het aanbrengen van de palen, op de bestaande bouwwerken. Het onderzoek betreft een verkenning of er sprake zal zijn van nadelige beïnvloeding, dit als gevolg van schade door:

1. Trillend aanbrengen van de palen
2. Zakkingen ten gevolge van trillingen

Op basis van praktijkervaringen is gebleken dat schade aan bouwwerken als gevolg van het trillen van stalen funderingselementen beperkt is tot op een afstand van 40 meter. Buiten een straal van 40 meter is het niet aannemelijk dat eventuele schade het gevolg is van trilwerkzaamheden.

Geconcludeerd wordt dat binnen een afstand van 40 meter van de aan te brengen buispalen, alleen de bestaande bruggen aanwezig zijn. Deze zijn dan ook aan een trillingsanalyse onderworpen.

Tijdens het aanbrengen van de palen door middel van trilblokken of heiblokken ontstaan trillingen in de ondergrond. Voor dit project is een (trillings)risicoanalyse opgesteld waarbij de bestaande bruggen worden beschouwd. Uitgangspunt is dat de palen door middel van een hoogfrequent trilblok op diepte worden gebracht. Andere methoden, zoals heien of drukken zijn voorsnog buiten beschouwing gelaten.

Het aangehouden bloktype is bepaald op basis van ervaring met vergelijkbare projecten. In de berekening van de trillingssnelheid is uitgegaan van een relatief zwaar trilblok met een slagkracht van 2.900 kN, bijvoorbeeld PVE 2350VM. Bij een 'zwaarder' blok (grotere slagkracht) zal de productiesnelheid weliswaar hoger komen te liggen, echter de trillingssnelheid zal ook inherent toenemen met daarbij een verhoogde kans op schade.

Een uitzondering op het gekozen trilblok, is locatie Spannenburg. De geregistreerde conusweerstand in het zand zijn dermate hoog dat een zwaarder trilblok nodig is. Voor locatie Spannenbrug is gekozen voor een trilblok met een slagkracht van 3.320 kN, bijvoorbeeld PTC 60HFV.

De voorspelde trillingssnelheden (v_{max}) zijn gebaseerd op een overschrijdingskans van 1% (beoordeling kans op schade). De berekende trillingssnelheid bedraagt maximaal 3,5 mm/s en is daarmee kleiner dan de grenswaarde van 8,1 mm/s. De kans op schade is daarmee kleiner dan 1% en voldoet daarmee aan de vigerende wet- en regelgeving.

Als gevolg van verdichting bestaat er een kans op zakkingen en afname draagvermogen van de bestaande palen van de brug. De afstand tussen de nieuw aan te brengen palen tot de bestaande palen bedraagt 2 m. Het paalpuntniveau van de bestaande palen bedraagt NAP –14,25 m. Deze palen staan onder een helling van 1:6 (horizontaal:verticaal). De nieuw aan te brengen palen voor het nieuwe remmingwerk heeft een installatieniveau van NAP –18,0 m.

In dat geval is er (beperkt) sprake van een overlapping van het 'draagkrachtgebied' met het 'verdichtingsgebied'. De kans dat de palen onder de bestaande brug gaan zakken, is aanwezig. Om de grootte te kwantificeren, is met behulp van de module 'Settlement by vibration' in D-Sheet Piling hiervoor een predictie gemaakt. Deze module is gebaseerd op de theorie volgens Piet Meijers.

De grootste deformaties treden in de eerste meter van de buispaal op en bedraagt ongeveer 45 mm, deze dempen op 3 meter afstand uit. Op het paalpuntniveau van de bestaande palen (NAP –14,25 m) bedraagt de deformatie slechts 1 mm. Dit betekent echter niet dat de brug 1 mm gaat zakken. Namelijk bij een eventuele zakking zal door herverdeling van de naburige palen de zakking lager zijn. De uitkomsten zijn daarmee mogelijk aan de conservatieve kant. Wel dient te worden opgemerkt dat de modelonzekerheid een factor 3 bedraagt en dat daardoor de uitkomsten zowel een factor 3 hoger dan wel lager kunnen uitvallen. In het slechtste geval betekent dit dus dat palen van de 1^e palenrij lokaal 3 mm kunnen zakken.

Op basis van bovenstaande kan geconcludeerd worden dat zakkingen als gevolg van het trillend inbrengen van de stalen buispalen, als nihil verondersteld mag worden. De funderingspalen van het geleidewerk kunnen trillend op diepte gebracht, zonder verder maatregelen te nemen.

6.2 Monitoring

Op basis van de resultaten uit dit trillingsonderzoek, is een monitoring niet direct noodzakelijk. Eventueel kan overwogen worden om toch een trillingsmeter in de directe nabijheid van een bouwwerk/woning te plaatsen en deze te monitoren. Dit kan eventuele zorgen bij buurtbewoners wegnemen.

Heerenveen, oktober 2020
Antea Group

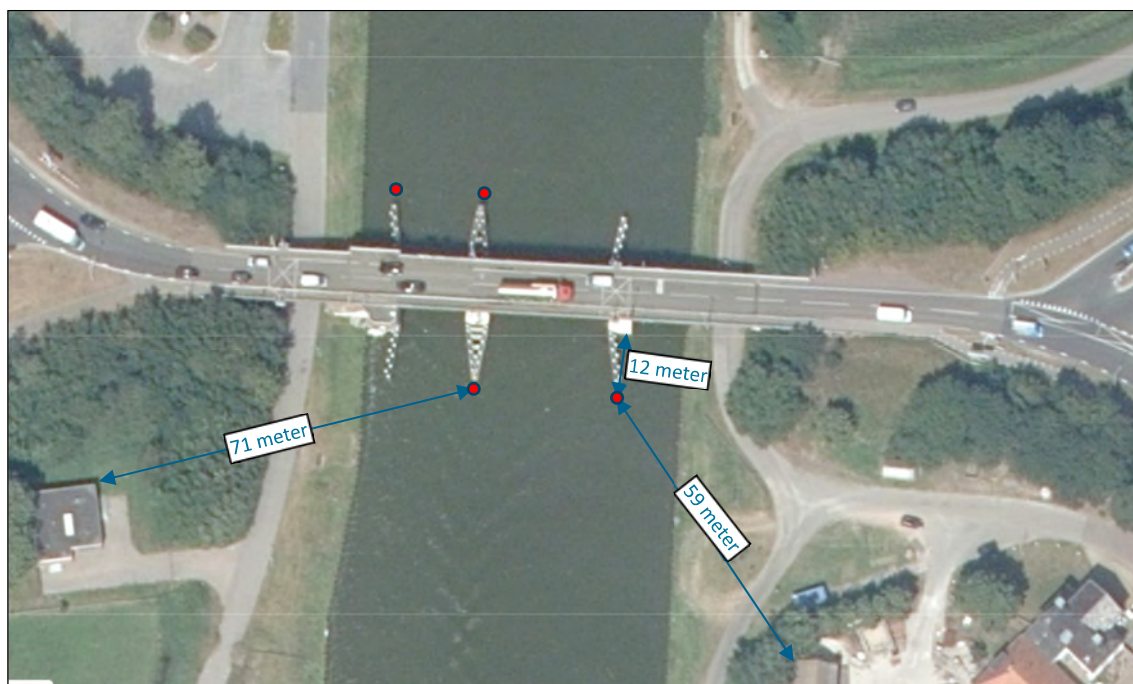
Literatuur

- [Lit. 1] Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels, NEN 9997-1+C2, november 2017, Nederlands Normalisatie-instituut te Delft;
- [Lit. 2] SBR Trillingsrichtlijn A: 'Schade aan bouwwerken', november 2017, SBRCURnet te Delft;
- [Lit. 3] CUR166, Damwandconstructies 6^e druk, deel 1 en 2, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Gouda, juli 2012;
- [Lit. 4] Invloed van de bouw van een nieuw aquaduct in de A4 op het bestaande aquaduct Ringvaart, N.H. Rövekamp et al, Geotechniek, december 2008, blz. 14-19

Bijlage 1 Inventarisatie bouwwerken

Bijlage 1 Inventarisatie bouwwerken

Locatie Spannenburg



Figuur B1-1: Situatie Spannenburg

Tabel B1-1: Inventarisatie bouwwerken

bouwwerk	minimale afstand tot buispalen [m]	SBR klasse
trafogebouw	71	2
woning en bedrijfsruimte Strjitwei 5, Tjerkgaast	59	2
Spannenburgerbrug	12	1

Locatie Uitwellingerga

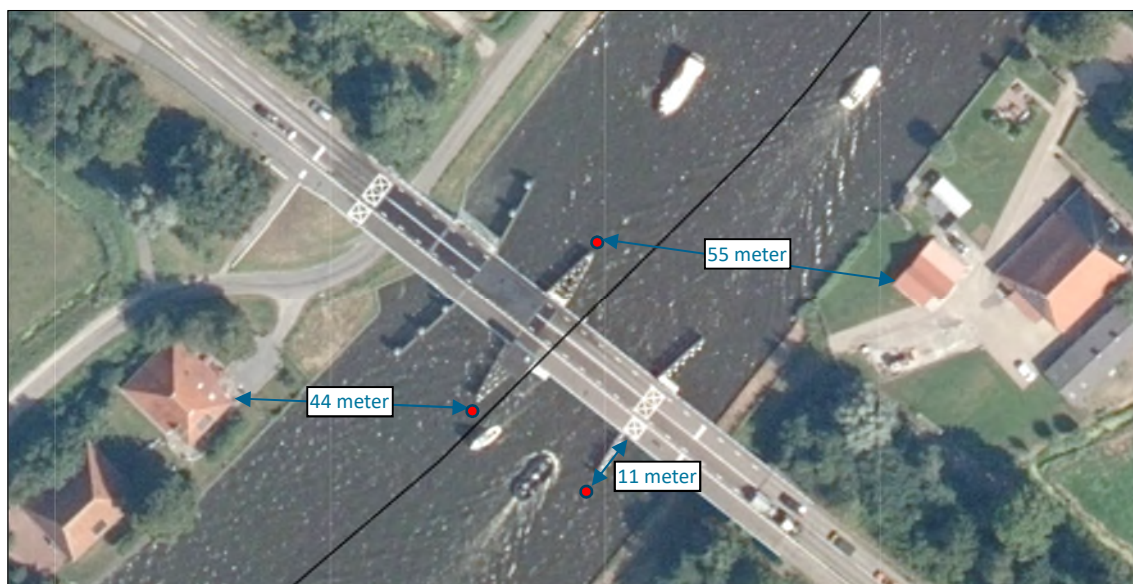


Figuur B1-2: Situatie Uitwellingerga

Tabel B1-2: Inventarisatie bouwwerken

bouwwerk	minimale afstand tot buispalen [m]	SBR klasse
Bedrijfspand Lytse Sudein 4, Uitwellingerga	63	2
Aquaduct	53	1
Woning Bregefinne 12, Uitwellingerga	151	2
Brug Nije Dyk	11	1

Locatie Ald Skou

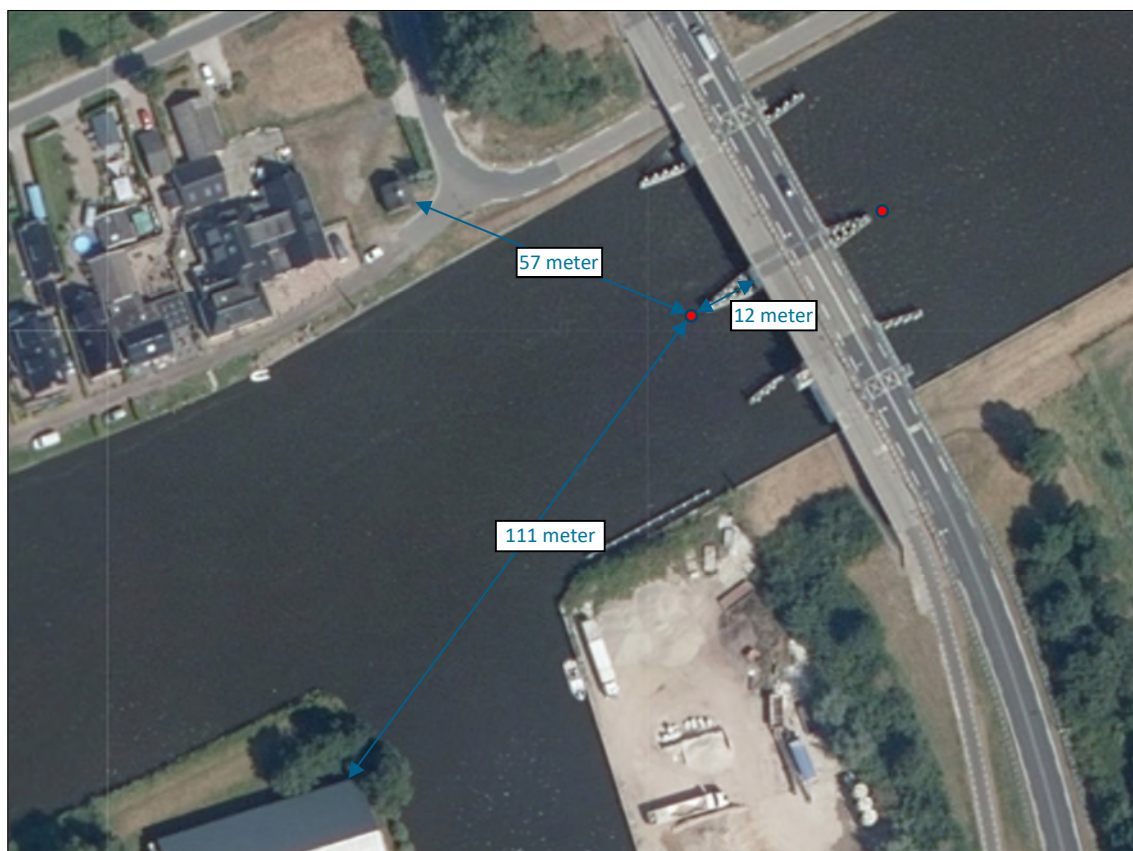


Figuur B1-3: Situatie Ald Skou

Tabel B1-3: Inventarisatie bouwwerken

bouwwerk	minimale afstand tot buispalen [m]	SBR klasse
Woning Wjitteringswei 17, Irnsum	44	2
Opstal Oudeschouw 11, Akkrum	55	2
Brug Ald Skou	11	1

Blauwverlaat

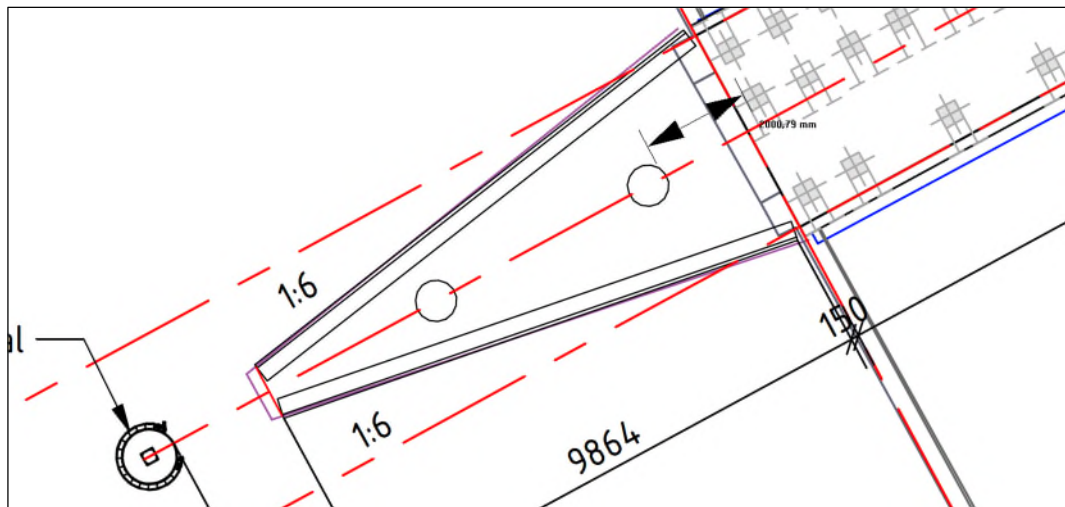


Figuur B1-4: Situatie Blauwverlaat

Tabel B1-4: Inventarisatie bouwwerken

bouwwerk	minimale afstand tot buispalen [m]	SBR klasse
Trafohuis Blauforlaet 2a, Augustinusga	57	2
Bedrijfspannd Uterwei 5, Augustinusga	111	2
Brug Blauwverlaat	12	1
Brug Blauwverlaat (tbv palen nieuw geleidewerk)	2	1

Ten behoeve van de palen van het nieuwe geleidewerk bedraagt de minimale afstand tot de brug 2 meter, zie figuur B1-5.



Figuur B1-5: Definitief ontwerp locatie Blauwverlaat (bron: [7])

Bijlage 2 Berekeningsrapporten VP-Damwand

Bijlage 2 Berekeningsrapporten VP-Damwand

Invoergegevens
In-trillen van damwandplanken

Trilblok:	PTC 60HFV
specificaties: - excentrisch moment (variabel)	54 kgm
- massa	15595 kg
- slagkracht	3320 kN
- toerental/draaifrequentie	38 Hz
Damwandprofiel:	1420*40.0 (S)
specificaties: - volumieke massa	1293.0 kg/m
- oppervlakte doorsnede	1482.8 cm ²
- omtrek doorsnede	3.8 m
- intrildiepte	18 m
Bodemprofiel:	Eindhoven
Afstand trilwerk tot gebouw	12 m
Gebouw - diepte	0 m
- fundatie	betonnen palen
- stijf gebouw	horizontaal ja
	verticaal ja
- vloeren	massief beton
- vloer overspanning	0 m
Normering volgens de SBR-richtlijn A schade	
- gebouwfunctie	
- gebouwcategorie	1 (beton/staal)
Beoordeling volgens SBR-richtlijn B hinder	
- tijdsduur	5 dagen
- periode	6 uur/dag
- heiwerkzaamheden 's nachts	nee

Voorspelling van trillingen

Berekend zijn de verwachte topwaarde en voortschrijdende effectieve waarde van de trillingssnelheid met een overschrijdingskans van 1 %
De dominante frequentie van de trilling op de fundering is: 38 Hz.

Trillingsschade

aspect	v_rep (mm/s)	gamma	v_d (mm/s)	max volgens SBR-1
-----	-----	-----	-----	-----
gebouw v_top verticaal	0.2	3.1	0.8	13.7
gebouw v_top horizontaal	0.5	4.3	2.2	13.7
onderdelen v_top	0.0	4.4	0.0	16.0
-----	-----	-----	-----	-----

Trillingshinder

aspect	v_rep (mm/s)	gamma	v_d (mm/s)	max volgens SBR-2
-----	-----	-----	-----	-----
vloer v_eff,max dag	0.58	3.3	1.89	0.00
vloer v_eff,max avond	0.58	3.3	1.89	0.00
-----	-----	-----	-----	-----

Conclusie

Uit de berekening blijkt dat er geen schade aan het gebouw optreedt.

Uit de berekening blijkt dat er hinder bestaat.

De streefwaarde voor v_eff dag/avond/nacht wordt overschreden.

Verklaring gehanteerde symbolen:

v_eff,max is de voortschrijdend effectieve waarde van de trillingsgrootheid
v_per is de effectieve waarde van v_eff,max
bepaald per beoordelingsperiode
v_rep is de representatieve waarde van de trillingsgrootheid
gamma is de veiligheidscoëfficiënt
v_d is de rekenwaarde van de trillingsgrootheid
(v_d = gamma * v_rep)

Invoergegevens
In-trillen van damwandplanken

Trilblok:	PVE 2350VM
specificaties: - excentrisch moment (variabel)	50 kgm
- massa	6600 kg
- slagkracht	2900 kN
- toerental/draaifrequentie	48 Hz
Damwandprofiel:	1220*40.0
specificaties: - volumieke massa	1164.0 kg/m
- oppervlakte doorsnede	1482.8 cm ²
- omtrek doorsnede	3.8 m
- intrildiepte	22 m
Bodemprofiel:	Groningen
Afstand trilwerk tot gebouw	11 m
Gebouw - diepte	0 m
- fundatie	betonnen palen
- stijf gebouw	horizontaal ja
	verticaal ja
- vloeren	massief beton
- vloer overspanning	0 m
Normering volgens de SBR-richtlijn A schade	
- gebouwfunctie	
- gebouwcategorie	1 (beton/staal)
Beoordeling volgens SBR-richtlijn B hinder	
- tijdsduur	5 dagen
- periode	6 uur/dag
- heiwerkzaamheden 's nachts	nee

Voorspelling van trillingen

Berekend zijn de verwachte topwaarde en voortschrijdende effectieve waarde van de trillingssnelheid met een overschrijdingskans van 1 %
De dominante frequentie van de trilling op de fundering is: 48 Hz.

Trillingsschade

aspect	v_rep (mm/s)	gamma	v_d (mm/s)	max volgens SBR-1
-----	-----	-----	-----	-----
gebouw v_top verticaal	0.1	3.1	0.3	15.7
gebouw v_top horizontaal	0.1	4.3	0.4	15.7
onderdelen v_top	0.0	4.4	0.0	16.0
-----	-----	-----	-----	-----

Trillingshinder

aspect	v_rep (mm/s)	gamma	v_d (mm/s)	max volgens SBR-2
-----	-----	-----	-----	-----
vloer v_eff,max dag	0.20	3.3	0.65	0.00
vloer v_eff,max avond	0.20	3.3	0.65	0.00
-----	-----	-----	-----	-----

Conclusie

Uit de berekening blijkt dat er geen schade aan het gebouw optreedt.

Uit de berekening blijkt dat er hinder bestaat.

De streefwaarde voor v_eff dag/avond/nacht wordt overschreden.

Verklaring gehanteerde symbolen:

v_eff,max is de voortschrijdend effectieve waarde van de trillingsgrootheid
v_per is de effectieve waarde van v_eff,max
bepaald per beoordelingsperiode
v_rep is de representatieve waarde van de trillingsgrootheid
gamma is de veiligheidscoëfficiënt
v_d is de rekenwaarde van de trillingsgrootheid
(v_d = gamma * v_rep)

Invoergegevens
In-trillen van damwandplanken

Trilblok:	PVE 2350VM
specificaties: - excentrisch moment (variabel)	50 kgm
- massa	6600 kg
- slagkracht	2900 kN
- toerental/draaifrequentie	48 Hz
Damwandprofiel:	1220*40.0
specificaties: - volumieke massa	1164.0 kg/m
- oppervlakte doorsnede	1482.8 cm ²
- omtrek doorsnede	3.8 m
- intrildiepte	19 m
Bodemprofiel:	Scheveningen
Afstand trilwerk tot gebouw	11 m
Gebouw - diepte	0 m
- fundatie	betonnen palen
- stijf gebouw	horizontaal ja
	verticaal ja
- vloeren	massief beton
- vloer overspanning	0 m
Normering volgens de SBR-richtlijn A schade	
- gebouwfunctie	
- gebouwcategorie	1 (beton/staal)
Beoordeling volgens SBR-richtlijn B hinder	
- tijdsduur	5 dagen
- periode	6 uur/dag
- heiwerkzaamheden 's nachts	nee

Voorspelling van trillingen

Berekend zijn de verwachte topwaarde en voortschrijdende effectieve waarde van de trillingssnelheid met een overschrijdingskans van 1 %
De dominante frequentie van de trilling op de fundering is: 48 Hz.

Trillingsschade

aspect	v_rep (mm/s)	gamma	v_d (mm/s)	max volgens SBR-1
-----	-----	-----	-----	-----
gebouw v_top verticaal	0.1	3.1	0.4	15.7
gebouw v_top horizontaal	0.2	4.3	0.9	15.7
onderdelen v_top	0.0	4.4	0.0	16.0
-----	-----	-----	-----	-----

Trillingshinder

aspect	v_rep (mm/s)	gamma	v_d (mm/s)	max volgens SBR-2
-----	-----	-----	-----	-----
vloer v_eff,max dag	0.32	3.3	1.04	0.00
vloer v_eff,max avond	0.32	3.3	1.04	0.00
-----	-----	-----	-----	-----

Conclusie

Uit de berekening blijkt dat er geen schade aan het gebouw optreedt.

Uit de berekening blijkt dat er hinder bestaat.

De streefwaarde voor v_eff dag/avond/nacht wordt overschreden.

Verklaring gehanteerde symbolen:

v_eff,max is de voortschrijdend effectieve waarde van de trillingsgrootheid
v_per is de effectieve waarde van v_eff,max
bepaald per beoordelingsperiode
v_rep is de representatieve waarde van de trillingsgrootheid
gamma is de veiligheidscoëfficiënt
v_d is de rekenwaarde van de trillingsgrootheid
(v_d = gamma * v_rep)

Invoergegevens
In-trillen van damwandplanken

Trilblok:	PVE 2350VM
specificaties: - excentrisch moment (variabel)	50 kgm
- massa	6600 kg
- slagkracht	2900 kN
- toerental/draaifrequentie	48 Hz
Damwandprofiel:	1420*40.0
specificaties: - volumieke massa	1381.0 kg/m
- oppervlakte doorsnede	1759.3 cm2
- omtrek doorsnede	4.5 m
- intrildiepte	22 m
Bodemprofiel:	Maasvlakte
Afstand trilwerk tot gebouw	12 m
Gebouw - diepte	0 m
- fundatie	betonnen palen
- stijf gebouw	horizontaal ja
	verticaal ja
- vloeren	massief beton
- vloer overspanning	0 m
Normering volgens de SBR-richtlijn A schade	
- gebouwfunctie	
- gebouwcategorie	1 (beton/staal)
Beoordeling volgens SBR-richtlijn B hinder	
- tijdsduur	5 dagen
- periode	6 uur/dag
- heiwerkzaamheden 's nachts	nee

Voorspelling van trillingen

Berekend zijn de verwachte topwaarde en voortschrijdende effectieve waarde van de trillingssnelheid met een overschrijdingskans van 1 %
De dominante frequentie van de trilling op de fundering is: 48 Hz.

Trillingsschade

aspect	v_rep (mm/s)	gamma	v_d (mm/s)	max volgens SBR-1
-----	-----	-----	-----	-----
gebouw v_top verticaal	0.2	3.1	0.6	15.7
gebouw v_top horizontaal	0.2	4.3	0.7	15.7
onderdelen v_top	0.0	4.4	0.0	16.0
-----	-----	-----	-----	-----

Trillingshinder

aspect	v_rep (mm/s)	gamma	v_d (mm/s)	max volgens SBR-2
-----	-----	-----	-----	-----
vloer v_eff,max dag	0.46	3.3	1.50	0.00
vloer v_eff,max avond	0.46	3.3	1.50	0.00
-----	-----	-----	-----	-----

Conclusie

Uit de berekening blijkt dat er geen schade aan het gebouw optreedt.

Uit de berekening blijkt dat er hinder bestaat.

De streefwaarde voor v_eff dag/avond/nacht wordt overschreden.

Verklaring gehanteerde symbolen:

v_eff,max is de voortschrijdend effectieve waarde van de trillingsgrootheid
v_per is de effectieve waarde van v_eff,max
bepaald per beoordelingsperiode
v_rep is de representatieve waarde van de trillingsgrootheid
gamma is de veiligheidscoëfficiënt
v_d is de rekenwaarde van de trillingsgrootheid
(v_d = gamma * v_rep)

Programma : VP-Damwand
Licentiehouder : Antea Nederland

Versie:2.02 2004
dd: 7/10/2020

Invoergegevens
In-trillen van damwandplanken

Trilblok:	PVE 2350VM
specificaties: - excentrisch moment (variabel)	50 kgm
- massa	6600 kg
- slagkracht	2900 kN
- toerental/draaifrequentie	48 Hz
Damwandprofiel:	762*36.0
specificaties: - volumieke massa	664.5 kg/m
- oppervlakte doorsnede	821.1 cm ²
- omtrek doorsnede	2.4 m
- intrildiepte	19 m
Bodemprofiel:	Maasvlakte
Afstand trilwerk tot gebouw	2 m
Gebouw - diepte	0 m
- fundatie	betonnen palen
- stijf gebouw	horizontaal ja
	verticaal ja
- vloeren	massief beton
- vloer overspanning	0 m
Normering volgens de SBR-richtlijn A schade	
- gebouwfunctie	
- gebouwcategorie	1 (beton/staal)
Beoordeling volgens SBR-richtlijn B hinder	
- tijdsduur	5 dagen
- periode	6 uur/dag
- heiwerkzaamheden 's nachts	nee

Programma : VP-Damwand
 Licentiehouder : Antea Nederland

Versie:2.02 2004
 dd: 7/10/2020

Voorspelling van trillingen

Berekend zijn de verwachte topwaarde en voortschrijdende effectieve waarde van de trillingssnelheid met een overschrijdingskans van 1 %
 De dominante frequentie van de trilling op de fundering is: 48 Hz.

Trillingsschade

aspect	v_rep (mm/s)	gamma	v_d (mm/s)	max volgens SBR-1
-----	-----	-----	-----	-----
gebouw v_top verticaal	0.7	3.1	2.3	15.7
gebouw v_top horizontaal	0.8	4.3	3.5	15.7
onderdelen v_top	0.0	4.4	0.0	16.0
-----	-----	-----	-----	-----

Trillingshinder

aspect	v_rep (mm/s)	gamma	v_d (mm/s)	max volgens SBR-2
-----	-----	-----	-----	-----
vloer v_eff,max dag	1.45	3.3	4.74	0.00
vloer v_eff,max avond	1.45	3.3	4.74	0.00
-----	-----	-----	-----	-----

Conclusie

Uit de berekening blijkt dat er geen schade aan het gebouw optreedt.

Uit de berekening blijkt dat er hinder bestaat.

De streefwaarde voor v_eff dag/avond/nacht wordt overschreden.

Verklaring gehanteerde symbolen:

v_eff,max is de voortschrijdend effectieve waarde van de trillingsgrootheid
 v_per is de effectieve waarde van v_eff,max bepaald per beoordelingsperiode
 v_rep is de representatieve waarde van de trillingsgrootheid
 gamma is de veiligheidscoëfficiënt
 v_d is de rekenwaarde van de trillingsgrootheid
 (v_d = gamma * v_rep)

□

Over Antea Group

Van stad tot land, van water tot lucht; de adviseurs en ingenieurs van Antea Group dragen in Nederland sinds jaar en dag bij aan onze leefomgeving. We ontwerpen bruggen en wegen, realiseren woonwijken en waterwerken. Maar we zijn ook betrokken bij thema's zoals milieu, veiligheid, assetmanagement en energie. Onder de naam Oranjewoud groeiden we uit tot een allround en onafhankelijk partner voor bedrijfsleven en overheden. Als Antea Group zetten we deze expertise ook mondiaal in. Door hoogwaardige kennis te combineren met een pragmatische aanpak maken we oplossingen haalbaar én uitvoerbaar. Doelgericht, met oog voor duurzaamheid. Op deze manier anticiperen we op de vragen van vandaag en de oplossingen van de toekomst. Al meer dan 60 jaar.

Contactgegevens

Tolhuisweg 57
8443 DV HEERENVEEN
Postbus 24
8440 AA HEERENVEEN

E. info@anteagroup.com

www.anteagroup.nl

Copyright © 2020

Niets uit deze uitgave mag worden
verveelvoudigd en/of openbaar worden
gemaakt door middel van druk, fotokopie,
elektronisch of op welke wijze dan ook,
zonder schriftelijke toestemming van de
auteurs.