

D79-CSM-KA-1700405

9 februari 2018- Versie 2.0

Autorisatieblad

Gebiedsontwikkeling Betondak Arkel

Trillingsonderzoek

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Sman, CG van der	✓	9-02-2018
Gecontroleerd door	Boon, PM	✓	9-02-2018
Vrijgegeven door	Boon, PM	✓	9-02-2018

Op dit autorisatieblad ontbreken de handtekeningen wegens de digitale verwerking van ons vrijgaveproces. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Versie historie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
1.0	Charley van der Sman	12-01-2018	Conceptrapportage ter review voor OG
2.0	Charley van der Sman	09-02-2018	Definitieve rapportage, incl. aanpassingen n.a.v. review opdrachtgever

Samenvatting

VN OG II B.V. ontwikkelt in Arkel een woon-, werk- en recreatiegebied op het voormalige terrein van Betondak Arkel, langs de spoorlijn Dordrecht-Geldermalsen. Op basis van de afstand tot het spoor en het spoorgebruik is trillingshinder in de bebouwing echter niet ondenkbaar. Doel van dit onderzoek is om de mogelijke trillingen in de geplande bebouwing te bepalen en, indien nodig, een advies te geven over de maatregelen waarmee trillingshinder en -schade voorkomen kan worden.

Om de mogelijke trillingen te bepalen zijn ter plaatse van de toekomstige bouwvlakken trillingsmetingen uitgevoerd. Op basis van de nieuwbouw, die door het (voorontwerp) omgevingsplan wordt mogelijk gemaakt, en de meetresultaten is een predictie gemaakt voor de trillingen op de fundering en op het midden van de vloer in het gebouw.

Uit de resultaten van deze predicties volgt dat zowel trillings schade- als hinder niet verwacht wordt in de te bouwen gebouwen. Op een afstand van 20 meter uit het spoor wordt voldaan aan de streef- en grenswaarden met betrekking tot schade en trillingen in alle beschouwde situaties. Verder van het spoor zullen de trillingswaarden nog lager uitvallen.

In elk van de drie richtingen blijft de V_{top} ruim onder de grenswaarde uit de SBR A-richtlijn, zie onderstaande tabel. In het plangebied is daarom geen schade aan bebouwing door trillingen te verwachten.

Beoordeling trillingswaarde volgens de SBR A-richtlijn

Parameter	Horizontaal loodrecht	Horizontaal parallel	Verticaal
Trillingswaarde V_{top}	0.11	0.11	0.11
Toetswaarde V_d	0.18	0.18	0.18
Grenswaarde V_r SBR-A	3.33	3.33	3.33

De waarden voor de trillingssterkte V_{max} zijn gegeven in onderstaande tabel. Alle berekende waarden zijn ruim lager dan de streefwaarde van 0.2 voor de V_{max} uit de SBR B-richtlijn.

Waarden voor de trillingssterkte V_{max} op een afstand van 20 meter van het spoor

Eigenfrequentie vloer	Verdieping drie		Verdieping vijf	
	Mediaan	95% waarde	Mediaan	95% waarde
8 Hz	0.10	0.16	0.10	0.16
10 Hz	0.07	0.10	0.08	0.16
12.6 Hz	0.06	0.10	0.08	0.16
16 Hz	0.05	0.10	0.08	0.16
20 Hz	0.05	0.10	0.08	0.16
25 Hz	0.05	0.10	0.08	0.16

De waarden voor de trillingsintensiteit V_{per} zijn gegeven in de volgende tabel. Ook deze waarden blijven onder de streefwaarde voor de V_{per} van 0.05 uit de SBR B-richtlijn.

Omdat zowel de V_{max} als de V_{per} onder de streefwaarden liggen is er geen hinder door trillingen te verwachten.

Waarden voor de trillingsintensiteit V_{per} op een afstand van 20 meter van het spoor

Eigenfrequentie vloer	Verdieping drie		Verdieping vijf	
	Mediaan	95% waarde	Mediaan	95% waarde
8 Hz	0.02	0.03	0.02	0.03
10 Hz	<0.01	0.02	<0.01	0.03
12.6 Hz	<0.01	0.02	<0.01	0.03
16 Hz	<0.01	0.02	<0.01	0.03
20 Hz	<0.01	0.02	<0.01	0.03
25 Hz	<0.01	0.02	<0.01	0.03

Op basis van de resultaten in dit rapport kan geconcludeerd worden dat er geen maatregelen nodig zijn om te voldoen aan het beoordelingskader. Daarbij moet in acht worden genomen dat hierbij geen rekening is gehouden met ontwerpkeuzes die sterk afwijken van normaal gangbare gebouwwontwerpen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1 Inleiding	5
1.1 Inleiding	5
1.2 Doel	5
1.3 Aanpak	5
1.4 Leeswijzer	5
2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten	6
2.1 Omgeving	6
2.2 Bouwlocatie	7
2.3 Geplande bebouwing	8
3 Beoordelingskader trillingen	9
3.1 Beoordeling schade	9
3.1.1. <i>Type bouwwerk</i>	9
3.1.2. <i>Type trillingen</i>	10
3.1.3. <i>Type meting</i>	10
3.1.4. <i>Beoordeling</i>	11
3.2 Beoordeling hinder	11
3.2.1. <i>Nieuwe of bestaande situatie</i>	11
3.2.2. <i>Periode gedurende de dag</i>	11
3.2.3. <i>Gebouwfunctie</i>	12
3.2.4. <i>Beoordeling in huidige onderzoek</i>	12
4 Meetresultaten	13
4.1 Inleiding	13
4.2 Meetresultaten	13
5 Analyse en berekeningen	15
5.1 Prognosemethode	15
5.1.1. <i>Afstandscorrectie</i>	15
5.1.2. <i>Overdracht maaiveld naar fundering</i>	15
5.1.3. <i>Overdracht fundering naar midden vloerveld</i>	16
5.2 Resultaten	17
5.2.1. <i>Trillingen op funderingsniveau – trillingsschade</i>	17
5.2.2. <i>Trillingen in gebouwen - trillingshinder</i>	17
5.3 Betrouwbaarheid	18
6 Conclusies	19
Colofon	20

Bijlage I Bodemopbouw

Bijlage II Detailresultaten

1 Inleiding

1.1 Inleiding

VN OG II B.V ontwikkelt in Arkel een woon-, werk- en recreatiegebied op het voormalige terrein van Betondak Arkel, langs de spoorlijn Dordrecht-Geldermalsen. Op basis van de afstand tot het spoor en het spoorgebruik is trillingshinder in de bebouwing niet op voorhand uit te sluiten. U heeft ons daarom gevraagd om een trillingsonderzoek uit te voeren, waarmee inzicht wordt gekregen in de volgende onderdelen:

- De invloed van grondtrillingen op het plangebied veroorzaakt door spoorinfrastructuur;
- De grootte en reikwijdte van grondtrillingen veroorzaakt door de spoorinfrastructuur;
- Een overzicht van (mogelijke) consequenties voor het plangebied veroorzaakt door deze grondtrillingen, zowel voor het te realiseren programma (woningen en/of bedrijven) als voor de bouwwerken op zich. Hieronder valt zowel hinder als schade door trillingen.

1.2 Doel

Doel van het huidige onderzoek is om de trillingen in de geplande bebouwing te bepalen en, indien nodig, een advies te geven over de maatregelen waarmee trillingshinder en -schade voorkomen kan worden.

1.3 Aanpak

Trillingen van spoorverkeer zijn locatiespecifiek. Wij hebben daarom de volgende aanpak gevolgd:

1. Uitvoeren van een trillingsmeting ter plaatse van de toekomstige bouwvlakken. Met deze meting stellen wij de uitdemping van de trillingen met de afstand vast (hoe verder van het spoor, hoe lager de trillingen). Op dit spoortraject rijden alleen treinen van het type SPURT. De trillingen van dit type treinen vertonen weinig variatie, daarom is een kortdurende meting voldoende om een representatief beeld te krijgen van optredende trillingsniveaus.
2. Op basis van enkele aannames over mogelijke bouwgegevens (bouwhoogte, eigenfrequentie van vloeren) en de resultaten van de metingen maken wij vervolgens predictie van de verwachte trillingen in de bebouwing en adviseren wij – indien nodig – hoe hinder of schade kan worden voorkomen.

1.4 Leeswijzer

De situatiebeschrijving is gegeven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 beschrijven we het beoordelingskader voor trillingsschade en trillingshinder. Vervolgens zijn in hoofdstuk 4 de meetresultaten weergegeven. Hoofdstuk 5 geeft de verwachte trillingswaarden op funderingsniveau en op het midden van de vloeren (de locatie waar de hoogste trillingen worden verwacht). Het laatste hoofdstuk van dit rapport beschrijft de conclusies en aanbevelingen.

2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten

Dit hoofdstuk bevat een beschrijving van de meetlocatie en de uitgangspunten voor het onderzoek.

2.1 Omgeving

De onderzoekslocatie bevindt zich in Arkel, ten noorden van de spoorlijn Dordrecht-Geldermalsen, zie Figuur 2-1. De spoorlijn wordt alleen door reizigersverkeer gebruikt: Arriva exploiteert de lijn en laat op het traject treinen rijden van het type SPURT. De kortste afstand van bebouwing tot het spoor is nog niet bekend, de kortste afstand van het spoor tot het plangebied (m.u.v. de vrijwaringszone) bedraagt ongeveer 20 meter.



Figuur 2-1 Plangebied gebiedsontwikkeling Betondak Arkel.

De rij snelheden van het treinverkeer zijn weergegeven in Tabel 2-1. De treinen stoppen op het nabijgelegen station Arkel en hebben daarom een lage rij snelheid.

Tabel 2-1 Rij snelheden treinverkeer

Corridor	Type trein	Snelheid
Dordrecht - Geldermalsen	Reizigerstreinen	40-80 km/h

Het aantal treinen gedurende dag, avond en nacht op de corridor Dordrecht - Geldermalsen is weergegeven in Tabel 2-2.

Tabel 2-2 Intensiteiten treinverkeer per uur (beide richtingen samen)

Type trein	Dag	Avond	Nacht
Reizigerstreinen	4.00	4.00	2.00

Nabij het onderzoeksgebied bevinden zich geen andere trillingsbronnen met een waarneembare trillingssterkte. Andere bronnen zijn daarom niet meegenomen in dit onderzoek.

De ligging van het spoor heeft invloed op de trillingen van het treinverkeer, deze spoorligging hangt samen met (onder meer) de onderhoudscyclus van het spoor. Naar verwachting zorgt deze variatie in spoorligging voor een variatie van +/- 25 procent in de trillingen.

2.2 Bouwlocatie

De metingen zijn uitgevoerd op maaiveld op de locatie van de geplande nieuwbouw. De te bouwen panden liggen op een afstand van minimaal 20 meter tot het spoor. Het spoor ligt hier op maaiveldniveau. Een luchtfoto van de locatie met daarop de meetlocaties is weergegeven in Figuur 2-2. De afstanden van de sensoren tot het dichtstbijzijnde spoor zijn gegeven in Tabel 2-3. Een foto van het meetgebied staat in Figuur 2-3. Er is voor gekozen om op een afstand groter dan 20 meter uit het spoor te meten door lokale omstandigheden.



Figuur 2-2 Luchtfoto van de meetlocatie, met de meetpunten daarin ingetekend.

Tabel 2-3 Afstanden sensoren tot het spoor

Sensornaam	Afstand tot spoor (m)
26_1	45
39_1	50
19_1	55
31_1	65
5_1	75
30_1	35
14_1	38
27_1	40
13_1	42



Figuur 2-3 Foto van de meetlocatie

2.3 Geplande bebouwing

De eigenschappen van de toekomstige bebouwing zijn nog niet bekend. Dit onderzoek houdt daarom rekening met een bouwhoogte van drie tot vijf bouwlagen. Er zijn daarnaast predicties gemaakt van trillingsniveaus voor bebouwing met verschillende eigenfrequenties van vloeren. Op die manier zijn verschillende combinaties van types vloeren en overspanningslengtes gedekt in dit onderzoek.

Gezien de bodemopbouw op de meetlocatie, zie Bijlage I, is gerekend met gebouwen die op palen zijn gefundeerd.

3 Beoordelingskader trillingen

Treinverkeer kan aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen leiden tot hinder voor omwonenden of schade aan gebouwen. De Duitse DIN 4150-2 (1999) norm beschrijft criteria voor het meten en beoordelen van trillingen. De Nederlandse SBR-richtlijn (2002) is hierop gebaseerd. Deze SBR-richtlijn is in Nederland de meest gebruikte richtlijn voor het beoordelen van trillingen en bestaat uit 3 delen:

- Deel A: schade aan gebouwen;
- Deel B: hinder voor personen in gebouwen;
- Deel C: verstoring van apparatuur.

Verstoring van apparatuur (SBR C-richtlijn) is niet aan de orde in dit project, en nemen we daarom niet mee. Op basis van langdurige ervaring met trillingen langs het spoor achten wij schade onwaarschijnlijk in dit project. Voor de volledigheid – op verzoek van de opdrachtgever – voeren we in dit onderzoek wel een toetsing uit op de SBR A-richtlijn. Daarnaast wordt trillingshinder beoordeeld volgens de SBR B-richtlijn. In dit hoofdstuk beschrijven we achtereenvolgens het beoordelingskader voor schade door trillingen (SBR-A) en het beoordelingskader voor hinder door trillingen (SBR-B).

3.1 Beoordeling schade

De grenswaarden voor schade binnen de richtlijn SBR-A verschillen per situatie en zijn afhankelijk van drie factoren:

- Type bouwwerk
- Type trillingsbron
- Type meting

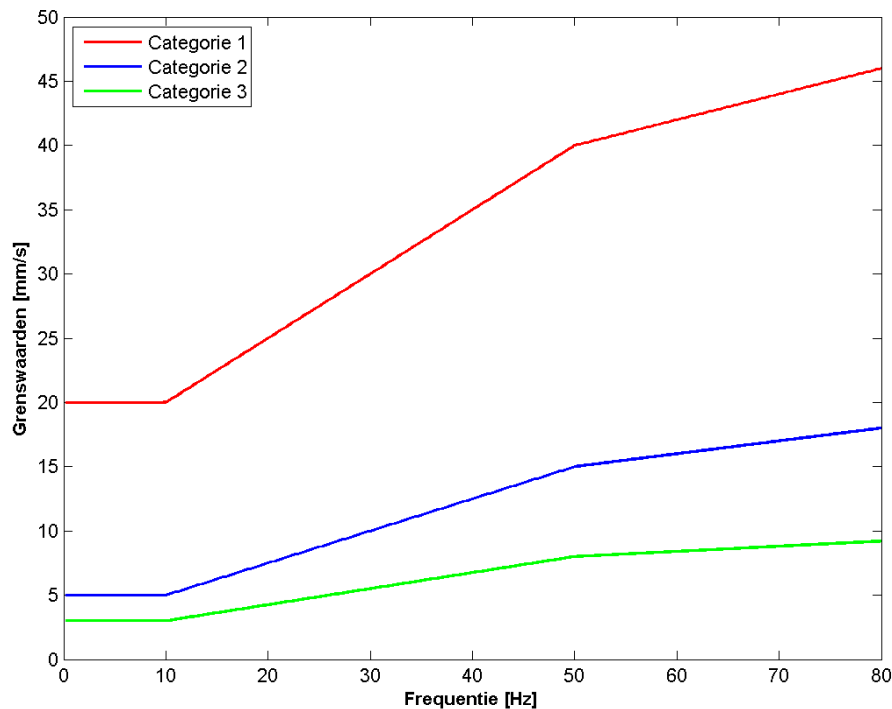
De verschillende factoren worden in de volgende paragrafen nader toegelicht.

3.1.1. Type bouwwerk

Er worden drie verschillende types bouwwerken onderscheiden:

- Categorie 1: in goede staat verkerende onderdelen van een draagconstructie indien deze bestaan uit gewapend beton of hout; onderdelen van een bouwwerk die geen deel uitmaken van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout en draagconstructies van bouwwerken die geen gebouw zijn en bestaan uit metselwerk zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke.
- Categorie 2: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk; in goede staat verkerende onderdelen van een gebouw die niet tot de draagconstructie behoren, zoals bijvoorbeeld scheidingsconstructies, welke bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen.
- Categorie 3: onderdelen van oude en monumentale gebouwen met grote cultuurhistorische waarde. In slechte staat verkerende gebouwen uit metselwerk of onderdelen daarvan.

De grenswaarden voor trillingssnelheden voor de verschillende types gebouwen zijn weergegeven in Figuur 3-1. Deze grenswaarden zijn afhankelijk van de dominante frequentie van de gemeten trillingen.



Figuur 3-1 Grenswaarden voor trillingssnelheden bij verschillende types gebouwen

3.1.2. Type trillingen

De SBR-A onderscheidt verder drie verschillende types trillingsbronnen. Elk type trillingsbron kent een bepaalde veiligheidsfactor. De grenswaarden van Figuur 3-1 moeten door deze veiligheidsfactor worden gedeeld.

- Bronnen die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken ten gevolge van een stootvormige excitatie. Het aantal malen dat het trillingsverschijnsel voorkomt is zo gering dat er geen rekening hoeft te worden gehouden met vermoeiingseffecten van constructiematerialen. Voorbeelden van dit type trillingen zijn explosies en botsingen. De veiligheidsfactor voor dit type trilling is 1.0.
- Bronnen die herhaalde kortdurende belastingen veroorzaken bij een stootvormige excitatie. Hieronder worden bronnen verstaan die zodanig vaak voorkomen dat met vermoeiingseffecten in materialen rekening moet worden gehouden. Treinen en verkeer vallen bijvoorbeeld binnen deze categorie. De veiligheidsfactor voor dit type trilling is 1.5.
- Bronnen die continue trillingen veroorzaken. Hieronder worden verstaan alle bronnen die niet onder de voorgaande twee categorieën kunnen worden ingedeeld. Resonanties en / of vermoeiingseffecten in de onderdelen van een gebouw kunnen optreden. Voorbeelden van dit type trillingen zijn machines met roterende onderdelen, vibratoren, verdichtingswerk d.m.v. trilwalsen en het inbrengen van damwanden d.m.v. trilblokken. De veiligheidsfactor voor dit type trilling is 2.5.

3.1.3. Type meting

Daarnaast kent de SBR-A een veiligheidsfactor, die op de gemeten trillingen wordt toegepast voordat deze aan de grenswaarde getoetst worden. De veiligheidsfactor is afhankelijk van het aantal punten in een gebouw waarop de trillingen bepaald (gemeten) worden. De drie types metingen met bijbehorende veiligheidsfactoren zijn:

- Indicatieve meting. Bij een indicatieve meting wordt slechts op één meetpunt in drie richtingen gemeten. Dit meetpunt wordt gemonteerd op een stijf punt aan de

fundering. De gekozen horizontale richtingen worden zoveel mogelijk gekozen overeen komend met de hoofdasen van het gebouw. De veiligheidsfactor is 1.6.

- Beperkte meting. Bij een beperkte meting wordt ten minste in één meetpunt op het begane grondniveau en ten minste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw gemeten. De veiligheidsfactor is 1.4.
- Uitgebreide meting. Bij een uitgebreide meting dient een groter aantal meetpunten te worden gemeten, als aanvulling op de beperkte meting. (een uitgebreide beschrijving is in de SBR-A gegeven). De veiligheidsfactor is 1.0.

3.1.4. Beoordeling

De bebouwing in Arkel is nieuw en wordt, op basis van de gebouwenkenmerken, daarom als categorie 2 beoordeeld. De trillingen in de bebouwing worden veroorzaakt door treinen, daarmee is het type trillingen kortdurend herhaald. Omdat over de toekomstige bebouwing nog weinig bekend is, kijken we in dit onderzoek naar de trillingen op funderingsniveau om het risico op schade te beoordelen.

Hierbij wordt de berekende trillingswaarde, V_{top} , vermenigvuldigd met de veiligheidsfactor 1.6. Deze toetswaarde V_d wordt getoetst aan de grenswaarde uit Figuur 3-1 voor categorie 2-woningen, gedeeld door de veiligheidsfactor van 1.5 voor het type trillingsbron (dit is de zogenaamde V_r -waarde).

3.2 Beoordeling hinder

Binnen de SBR B-richtlijn voor trillingshinder worden twee grootheden voor toetsing bepaald:

1. De trillingssterkte V_{max} . Dit is een dimensieloze indicatie van de maximaal ervaren trillingen gedurende de meetperiode, de zogenaamde pieksterkte van de trillingen.
2. De trillingsintensiteit V_{per} , een dimensieloze indicatie van het tijdsgemiddelde van de trillingen.

De SBR B-richtlijn kent drie types streefwaarden:

1. A1, de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}
2. A2, de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}
3. A3, de streefwaarde voor de trillingsintensiteit V_{per}

De hoogte van de streefwaarden is afhankelijk van een aantal criteria:

1. Of er sprake is van een nieuwe of bestaande situatie
2. Periode gedurende de dag
3. Gebouwfunctie

De verschillende criteria worden hieronder toegelicht.

3.2.1. Nieuwe of bestaande situatie

In de SBR B-richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen nieuwe en bestaande situaties, waarbij de streefwaarden voor nieuwe situaties strenger zijn dan voor bestaande situaties. Omdat het om nieuwe gebouwen gaat langs een bestaande spoorlijn, wordt het onderzoeksgebied beoordeeld als nieuwe situatie, zie par. 10.3 van de SBR B-richtlijn.

3.2.2. Periode gedurende de dag

De SBR B-richtlijn maakt daarnaast onderscheid tussen dag, avond en nacht. Hierbij geldt dat de streefwaarden van de trillingssterktes gedurende de nacht strenger zijn dan die gedurende de dag en avond. De SBR B-richtlijn kent de volgende periodes: dag (7.00 – 19.00 uur), avond (19.00 – 23.00 uur) en nacht (23.00 – 7.00 uur). De streefwaarden voor dag en avond zijn aan elkaar gelijk. Bij metingen aan treinverkeer worden gewoonlijk de streefwaarden voor de nacht gehanteerd, omdat deze strenger

zijn dan die van de dag. Deze keuze is gerechtvaardigd omdat het treinverkeer 's nachts doorgaans vergelijkbare trillingen geeft als het treinverkeer overdag.

3.2.3. Gebouwfunctie

Als derde criterium wordt onderscheid gemaakt naar de functie van een gebouw. De SBR B-richtlijn kent de gebouwfuncties *Gezondheidszorg*, *Wonen*, *Kantoor*, *Bijeenkomsten* en *Kritische werkruimte*. Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane trillingssterktes. Op basis van deze drie criteria zijn de streefwaarden voor A1, A2 en A3 weergegeven in Tabel 3-1 voor nieuwe situaties. De huidige onderzoekslocatie heeft bestemming *wonen* of *kantoor*, zie de omkaderde waarden in Tabel 3-1.

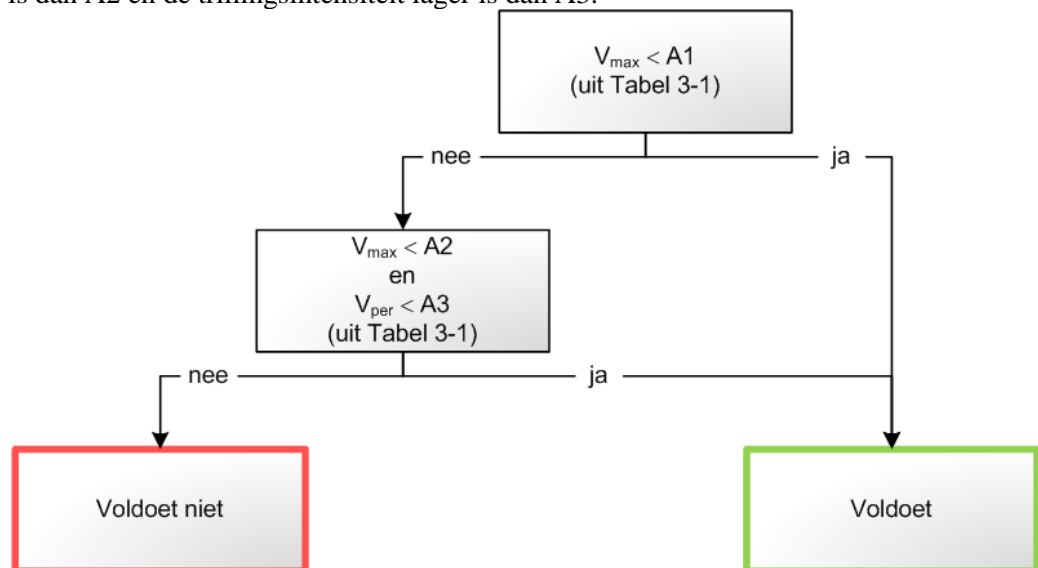
Tabel 3-1 Streefwaarden nieuwe situatie volgens SBR B-richtlijn

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
<i>Gezondheidszorg</i>	0.1 ¹⁾	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
<i>Wonen</i>	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
<i>Kantoor</i>	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
<i>Bijeenkomsten</i>	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
<i>Kritische werkruimte</i>	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

¹⁾ Een streefwaarde van 0.1 betekent een waarde kleiner dan 0.15

3.2.4. Beoordeling in huidige onderzoek

Om te beoordelen of een situatie voldoet, dient het schema in Figuur 3-2 te worden doorlopen. Een locatie voldoet aan het beoordelingskader wanneer de trillingssterkte lager is dan A1. Een tweede mogelijkheid om te voldoen is als de trillingssterkte lager is dan A2 en de trillingsintensiteit lager is dan A3.



Figuur 3-2 Stroomschema beoordeling nieuwe situatie in SBR B-richtlijn

4 Meetresultaten

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de meting beschreven. Bij deze meting is gebruik gemaakt van een groot aantal sensoren om de uitdemping van de trillingen met de afstand vast te stellen, en om de spreiding in de trillingen over het onderzoeksgebied te bepalen.

4.2 Meetresultaten

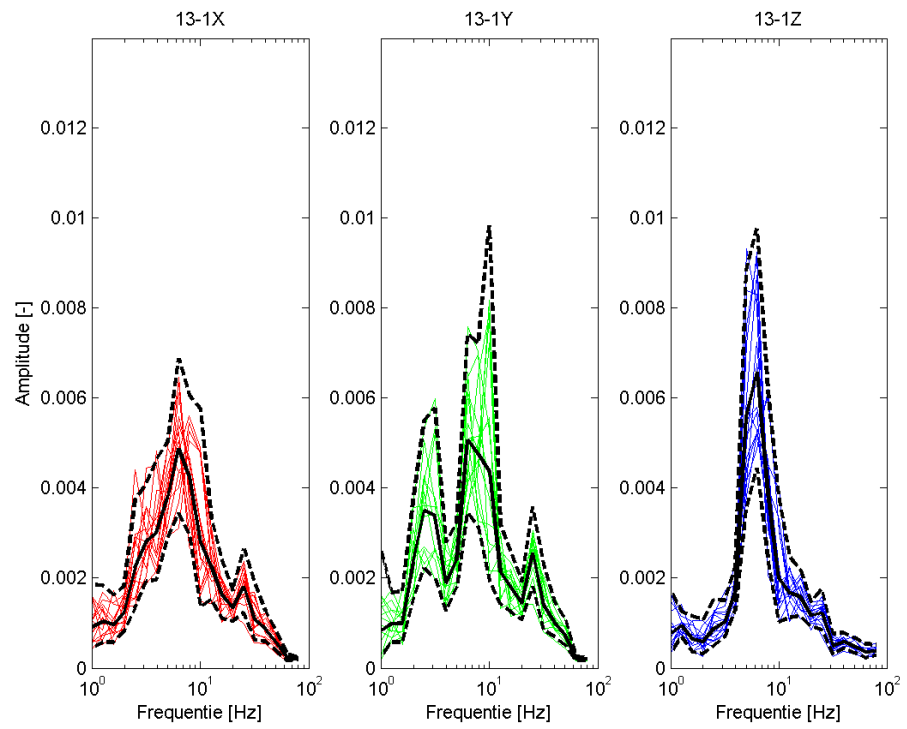
In Tabel 4-1 zijn de resultaten van de trillingsmeting weergegeven. Per sensor is de V_{max} gegeven. Er wordt daarbij onderscheidt gemaakt in de volgende drie richtingen:

1. Horizontaal, loodrecht op het spoor (ook wel X genoemd);
2. Horizontaal, parallel aan het spoor (ook wel Y genoemd);
3. Verticaal (ook wel Z genoemd).

Tabel 4-1 $V_{eff,stat}$ per sensor per richting

Sensornaam	Horizontaal loodrecht	Horizontaal parallel	Verticaal	Afstand tot spoor (m)
26_1	0.01	0.01	0.01	45
39_1	<0.01	<0.01	0.01	50
19_1	0.01	<0.01	0.01	55
31_1	0.01	<0.01	0.01	65
5_1	0.01	0.01	0.01	75
30_1	<0.01	0.01	0.02	35
14_1	0.02	0.01	0.02	38
27_1	0.01	0.01	0.01	40
13_1	0.03	0.04	0.03	42

In Figuur 4-1 zijn de trillingsspectra weergegeven van de gemeten treinpassages voor sensor 13. Dit is de sensor met de hoogst gemeten waarden. De richtingen verticaal en horizontaal evenwijdig geven vergelijkbare trillingswaarden. In verticale richting ligt de dominante frequentie van de trillingen rond de 6 Hz. In horizontale richting ligt deze rond de 8 tot 10 Hz.



Figuur 4-1 *Trillingsspectra van treinpassages*

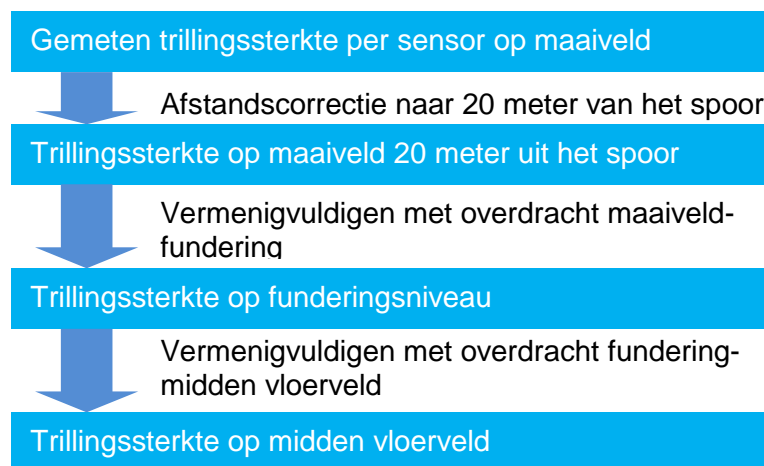
5 Analyse en berekeningen

5.1 Prognosemethode

De resultaten van de meting zijn gecombineerd met informatie over de geplande bebouwing. Hiermee is een prognose gemaakt van de trillingen op de fundering en op de vloeren van de gebouwen, op de locatie van elk meetpunt. Daarnaast brengen we variatie in gebouwen in rekening door een 50%-waarde en een 95%-waarde te onderscheiden:

- 50%-waarde: De kans dat de trillingen lager zijn dan deze waarde is 50%. Deze waarde representeert daarmee de verwachtingswaarde voor trillingen in de gebouwen en geldt voor gebouwen met gemiddelde constructieve eigenschappen.
- 95%-waarde: De kans dat de trillingen lager zijn dan deze waarde is 95%. De kans op voorkomen is klein, maar niet verwaarloosbaar. De 95%-waarde wordt gebruikt als redelijkerwijs maximaal te verwachten trillingssterkte en geldt voor gebouwen met ongunstige constructieve eigenschappen.

De prognoses van trillingen op funderingsniveau en op midden vloerveld wordt gedaan volgens het stroomschema in Figuur 5-1.



Figuur 5-1 Methode voor bepalen van trillingssterktes aan fundering en op midden vloerveld

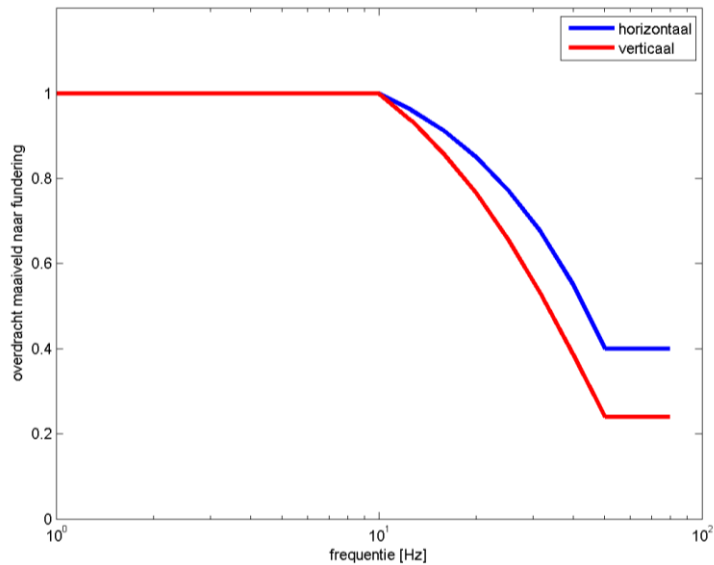
5.1.1. Afstandscorrectie

Met behulp van de rij sensoren loodrecht op het spoor zijn parameters bepaald die de uitdamping van de trillingen met de afstand beschrijven. Met behulp van deze parameters is een correctie gedaan voor de afstand van spoor tot sensor. De meetresultaten zijn hiermee vertaald naar een afstand van 20 meter uit het spoor. Dit is de grens van het onderzoeksgebied.

5.1.2. Overdracht maaiveld naar fundering

Een document van VROM geeft indicatieve richtlijnen voor het bepalen van de overdracht van trillingen van maaiveld naar fundering en van fundering naar midden vloerveld¹. Voor een fundering op palen is de overdracht van het maaiveld naar de fundering weergegeven in Figuur 5-2. Deze theoretische waarden komen goed overeen met praktijkwaarden uit metingen en zijn daarom in dit onderzoek aangehouden.

¹ Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte, Ministerie VROM, mei 1995, distributienummer 12462/164.



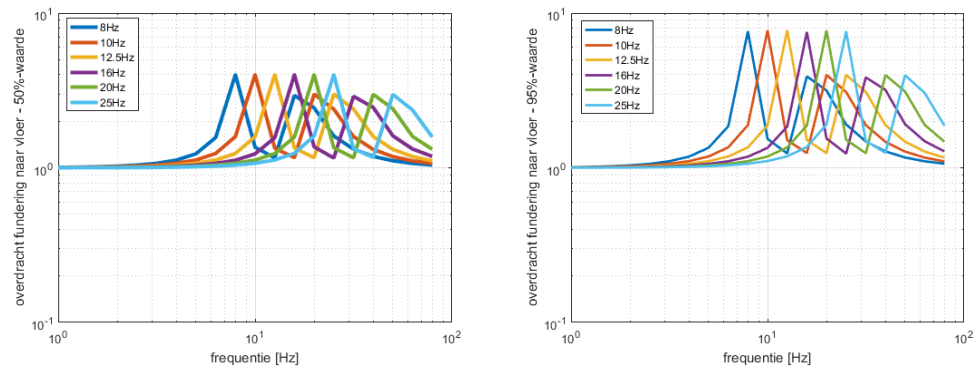
Figuur 5-2 Overdracht van de trillingssterkte van maaiveld naar de fundering.

5.1.3. Overdracht fundering naar midden vloerveld

De overdracht van fundering naar midden vloerveld is afhankelijk van het type vloer en de eigenfrequentie van de vloer. Het document van VROM geeft voor deze overdrachten een beeld dat niet geheel met praktijkmetingen overeenkomt. De gebruikte overdrachten van fundering naar midden vloerveld in dit onderzoek zijn daarom gebaseerd op een combinatie van de theoretische curves van VROM en daadwerkelijk gemeten overdrachten in gebouwen met vergelijkbare eigenschappen (bouwjaar, bouwhoogte, fundatietype) als de geplande bebouwing.

De gebruikte gemiddelde overdracht (50%-waarde) van fundering naar midden vloerveld in verticale richting voor vloeren met een eigenfrequentie van 8 Hz, 10 Hz, 12.5 Hz, 16 Hz, 20 Hz en 25 Hz is weergegeven links in Figuur 5-3. De 95%-waarde voor de overdrachten van vloeren met deze eigenfrequenties is rechts in Figuur 5-3 weergegeven. De piek van de overdracht van fundering naar midden vloerveld ligt op de eigenfrequentie van de vloer. De trillingen in verticale richting nemen over het algemeen niet significant toe met grotere bouwhoogten. Deze overdrachten worden daarom zowel voor de drielaagse als vijf-laagse gebouwen gebruikt.

In horizontale richting is in dit onderzoek een frequentieonafhankelijke overdracht aangehouden met een waarde van 1 (50%-waarde) en 2 (95%-waarde) voor gebouwen met een bouwhoogte van drie verdiepingen. In horizontale richting nemen de trillingsniveaus in het algemeen toe met toenemende bouwhoogte. Voor een gebouw met vijf verdiepingen zijn deze waarden vermenigvuldigd met een factor 1,5. Deze waarden zijn gebaseerd op meetresultaten in vergelijkbare panden.



Figuur 5-3 50%-waarde en 95%-waarde van de overdracht van trillingen van de fundering naar midden vloerveld in verticale richting, voor vloeren met een eigenfrequentie van 8 Hz, 10 Hz, 12.5 Hz, 16 Hz, 20 Hz en 25 Hz

5.2 Resultaten

Met behulp van de hierboven omschreven methode is een prognose gemaakt voor de trillingssterktes op funderingsniveau en op het midden van de vloeren, waar conform de SBR B-richtlijn moet worden beoordeeld. Alle waarden zijn gegeven op een afstand van 20 meter uit het spoor. Hier valt ongeveer de grens van het projectgebied. Op grotere afstand van het spoor nemen de trillingswaarden verder af. De resultaten zijn opgenomen in de hierna volgende paragrafen.

5.2.1. Trillingen op funderingsniveau – trillingsshade

De resultaten voor de trillingsnelheid V_{top} op funderingsniveau op 20 m afstand van het spoor zijn gegeven in Tabel 5-1. Deze waarden voor V_{top} zijn maatgevend, op grotere afstanden van het spoor zijn trillingsniveaus aan de fundering lager. Per richting is de maximale waarde van alle sensoren genomen. Uit deze trillingswaarde volgt, na vermenigvuldiging met de veiligheidsfactor 1.6, een toetswaarde V_d die vergeleken kan worden met de grenswaarde uit de SBR A-richtlijn.

In elk van de drie richtingen blijft de toetswaarde ruim (meer dan een factor 15) onder de grenswaarde. In het plangebied is daarom geen schade aan bebouwing door trillingen te verwachten.

Tabel 5-1 Beoordeling op SBR A-richtlijn

Parameter	Horizontaal loodrecht	Horizontaal parallel	Verticaal
Trillingswaarde V_{top}	0.11	0.11	0.11
Toetswaarde V_d	0.18	0.18	0.18
Grenswaarde V_r SBR-A	3.33	3.33	3.33

5.2.2. Trillingen in gebouwen – trillingshinder

Vervolgens zijn de trillingssterktes op het midden van de vloer berekend in bebouwing op 20m afstand van het spoor. De resultaten voor de trillingssterkte V_{max} zijn gegeven in Tabel 5-2. Voor beide verdiepingen is de mediaan en de 95%-waarde gegeven per eigenfrequentie van de vloer. Alle berekende waarden zijn ruim lager dan de streefwaarde van 0.2 voor de V_{max} uit de SBR-B. Uitgebreidere resultaten (uitgesplitst naar richting) zijn weergegeven in Bijlage II.

Tabel 5-2 Waarden voor de trillingssterkte V_{max} op een afstand van 20 meter van het spoor

Eigenfrequentie vloer	Verdieping drie		Verdieping vijf	
	Mediaan	95% waarde	Mediaan	95% waarde
8 Hz	0.10	0.16	0.10	0.16
10 Hz	0.07	0.10	0.08	0.16
12.6 Hz	0.06	0.10	0.08	0.16
16 Hz	0.05	0.10	0.08	0.16
20 Hz	0.05	0.10	0.08	0.16
25 Hz	0.05	0.10	0.08	0.16

De waarden voor de trillingsintensiteit V_{per} zijn gegeven in Tabel 5-3. Ook deze waarden blijven onder de streefwaarde voor de V_{per} van 0.05.

Tabel 5-3 Waarden voor de trillingsintensiteit V_{per} op een afstand van 20 meter van het spoor

Eigenfrequentie vloer	Verdieping drie		Verdieping vijf	
	Mediaan	95% waarde	Mediaan	95% waarde
8 Hz	0.02	0.03	0.02	0.03
10 Hz	<0.01	0.02	<0.01	0.03
12.6 Hz	<0.01	0.02	<0.01	0.03
16 Hz	<0.01	0.02	<0.01	0.03
20 Hz	<0.01	0.02	<0.01	0.03
25 Hz	<0.01	0.02	<0.01	0.03

Op grotere afstand van het spoor nemen de trillingsniveaus verder af. In het gehele plangebied blijven dus zowel V_{max} als V_{per} onder de streefwaarden uit de SBR-B. Op basis van deze prognoses is in het plangebied geen trillingshinder te verwachten.

5.3 Betrouwbaarheid

De prognoses zijn gebaseerd op de meest recente inzichten en de uitgangspunten zoals opgenomen in hoofdstuk 2.

6 Conclusies

In dit onderzoek zijn metingen en berekeningen uitgevoerd om de verwachte trillingsniveaus in geplande bebouwing in Arkel op het voormalige terrein van Betondak Arkel te bepalen. De resultaten van deze prognoses zijn getoetst aan de streefwaarden voor nieuwbouw uit de richtlijnen SBR-B (hinder) en SBR-A (schade).

Zowel trillingsschade- als hinder worden niet verwacht in de geplande bebouwing. Op een afstand van 20 meter uit het spoor wordt voldaan aan de streef- en grenswaarden met betrekking tot schade en trillingen in alle beschouwde situaties. Verder van het spoor zullen de trillingswaarden nog lager uitvallen.

Op basis van de resultaten in dit rapport kan geconcludeerd worden dat er geen maatregelen nodig zijn om te voldoen aan het beoordelingskader. Daarbij moet in acht worden genomen dat hierbij geen rekening is gehouden met ontwerpkeuzes die sterk afwijken van normaal gangbare gebouwoptwerpen.

Colofon

Opdrachtgever VN OG II B.V ABC Nova
dhr. P.J.W. Smit

Uitgave Movares Nederland B.V.

Divisie Ruimte, Mobiliteit en Infra
Afdeling Infrastructuur: Waterbouw, Geotechniek en Dynamica

Utrecht

Telefoon

Ondertekenaar
adviseur

Projectnummer RM005586

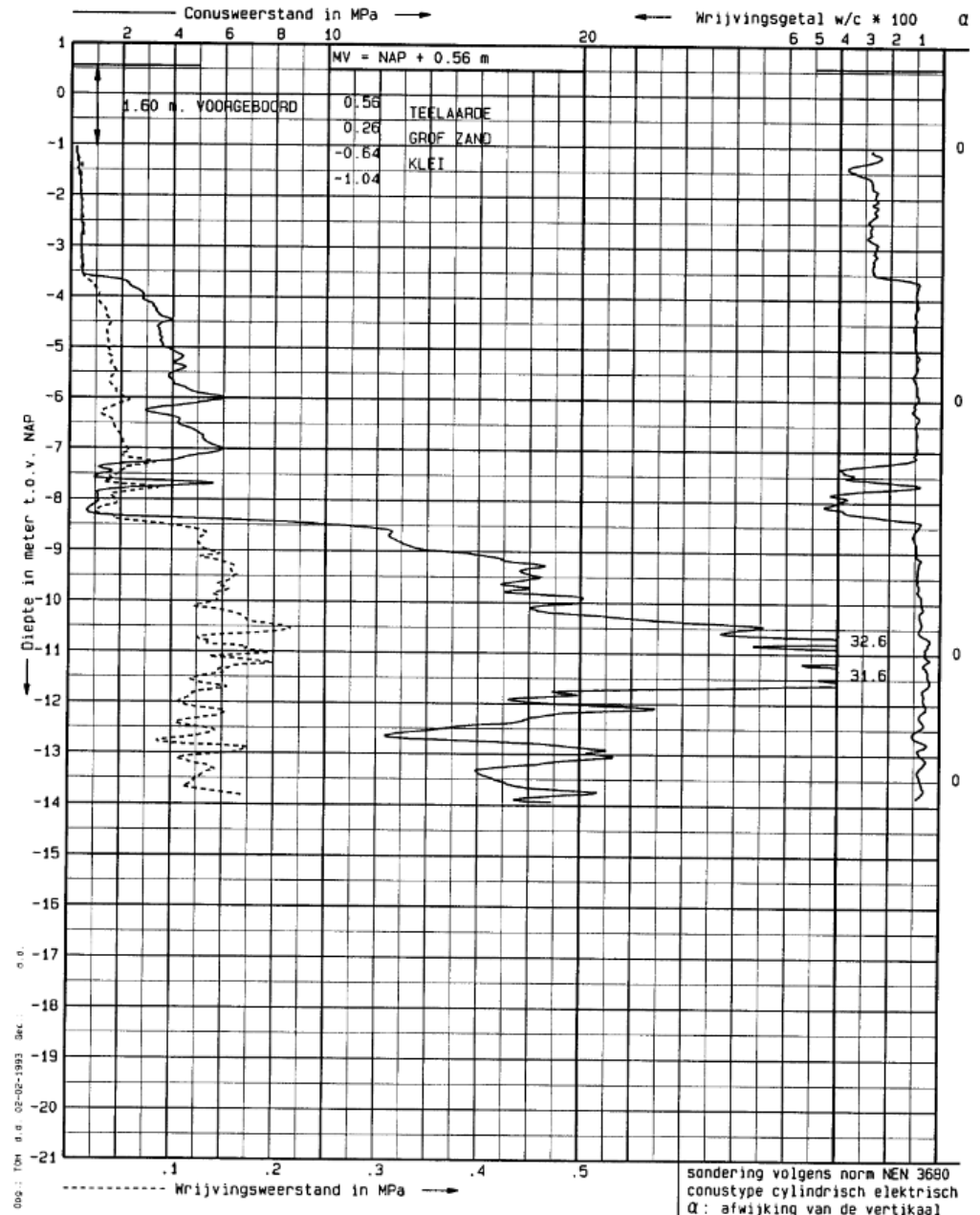
Kenmerk D79-CSM-KA-1700405

© 2017, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.

Bijlage I Bodemopbouw

Een representatieve sondering voor het gebied is weergegeven in Figuur I - 1. In de figuur is zichtbaar dat de bovenste 10 meter van de grond bestaan uit slappere lagen, waardoor de trillingen snel uitdempen.



Figuur I - 1 Sondering in de buurt van de meetlocatie, S38G00079_00

Bijlage II Detailresultaten

In deze bijlage zijn de resultaten voor de V_{max} op het midden van de vloer op 20 meter uit het spoor gegeven per richting voor de beschouwde situaties.

Tabel II- 1 Resultaten voor de V_{max} op de derde verdieping met de mediaan van de midden vloerveld overdrachten

	Vredieping drie mediaan		
Eigenfrequentie vloer	X-richting	Y-richting	Z-richting
8 Hz	0.05	0.05	0.10
10 Hz	0.05	0.05	0.07
12.6 Hz	0.05	0.05	0.06
16 Hz	0.05	0.05	0.05
20 Hz	0.05	0.05	0.05
25 Hz	0.05	0.05	0.05

Tabel II- 2 Resultaten voor de V_{max} op de derde verdieping met de 95%-waarde van de midden vloerveld overdrachten

	Vredieping drie 95% waarde		
Eigenfrequentie vloer	X-richting	Y-richting	Z-richting
8 Hz	0.10	0.09	0.16
10 Hz	0.10	0.09	0.10
12.6 Hz	0.10	0.09	0.07
16 Hz	0.10	0.09	0.05
20 Hz	0.10	0.09	0.05
25 Hz	0.10	0.09	0.05

Tabel II- 3 Resultaten voor de V_{max} op de vijfde verdieping met de mediaan van de midden vloerveld overdrachten

	Vredieping vijf mediaan		
Eigenfrequentie vloer	X-richting	Y-richting	Z-richting
8 Hz	0.08	0.07	0.10
10 Hz	0.08	0.07	0.07
12.6 Hz	0.08	0.07	0.06
16 Hz	0.08	0.07	0.05
20 Hz	0.08	0.07	0.05
25 Hz	0.08	0.07	0.05

Tabel II- 4 Resultaten voor de V_{max} op de vijfde verdieping met de 95%-waarde van de middenvloerveld overdrachten

	Vredieping vijf 95% waarde		
Eigenfrequentie vloer	X-richting	Y-richting	Z-richting
8 Hz	0.16	0.14	0.16

10 Hz	0.16	0.14	0.10
12.6 Hz	0.16	0.14	0.07
16 Hz	0.16	0.14	0.05
20 Hz	0.16	0.14	0.05
25 Hz	0.16	0.14	0.05