

TRILLINGSONDERZOEK TRAMSPOOR NIEUWBOUW MERCATORPARK

AMSTERDAM

Gemeente Amsterdam

Project	Trillingsonderzoek tramspoor Nieuwbouw Mercatorpark
Titel rapport	Trillingsonderzoek tramspoor nieuwbouw mercatorpark
Referentie	CC-REP20210901
Opdrachtgever	Gemeente Amsterdam
Status	Definitief
Versie	1.0
Datum	8 november 2021
Opgemaakt door	ir. E.J. Vlijm (Cohere Consultants)
Gecontroleerd door	ir. J. H. Dickhof/ing. L. Voortman (TAUW B.V.)
Bestandsnaam	cc-rep20211102 trillingsonderzoek tramspoor mercatorweg definitief 1.0
Paraaf	

Copyright © 2021 Cohere Consultants. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, in geautomatiseerde bestanden opgeslagen en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Cohere Consultants. In overeenstemming met artikel 15a van het Nederlandse auteursrecht is het toegestaan delen van deze publicatie te citeren, daarbij gebruik makend van een duidelijke referentie naar deze publicatie.

Cohere Consultants | www.cohereconsult.com | info@cohereconsult.com
Postadres: Postbus 1755, 3800 BT Amersfoort | Bezoekadres: Bergstraat 29, 3811 NE Amersfoort

INHOUD

1 Inleiding 1

2 Uitvoering metingen 2

2.1 Drie metingen gedurende een week 2

2.2 Meetopstellingen 3

2.3 Meetperiodes 5

2.4 Specificaties meetapparatuur 5

2.5 Uitvoeringsaspecten 5

3 Toetsingskader trillingen 6

3.1 Streefwaarden trillingsniveaus V_{max} (maximum) en V_{per} (periodiek) 6

3.2 Kwalificatie voor hinder door weg- en railverkeer 7

4 Meetresultaten 8

4.1 Resultaten maximale trillingsniveaus $V_{eff;max}$ 8

4.2 Resultaten periodieke (gemiddelde) trillingsniveaus V_{per} 12

5 Quick Scan 13

5.1 Huidige situatie en treinbeeld 13

5.2 Toekomstige situatie 14

5.3 Spooropbouw en onregelmatigheden 16

5.4 Bodemopbouw 16

6 Predictie toekomstige Nieuwbouw 18

6.1 Voorziene nieuwbouw Mercatorpark 18

6.2 Predictie toekomstige trillingsniveaus tramspoor 18

7 Conclusies en aanbevelingen 21

7.1 Conclusies 21

7.2 Aanbevelingen 21

Referenties 22

1

INLEIDING

Ten behoeve van een nieuw op te stellen bestemmingsplan voor het plangebied Mercatorpark in Amsterdam is een trillingsonderzoek uitgevoerd. Het gebied ligt namelijk naast een tramlijn waardoor hinder als gevolg van spoortrillingen niet op voorhand is uit te sluiten. Met het trillingsonderzoek is inzicht verkregen in welke trillingsniveaus in de omgeving optreden door het huidige tramverkeer en is een doorkijk gegeven naar de toekomstige situatie met als doel mogelijke trillingshinder voor de geplande nieuwbouw te voorkomen. Het trillingsonderzoek is uitgevoerd door een samenwerking van TAUW en Cohere Consultants.

2

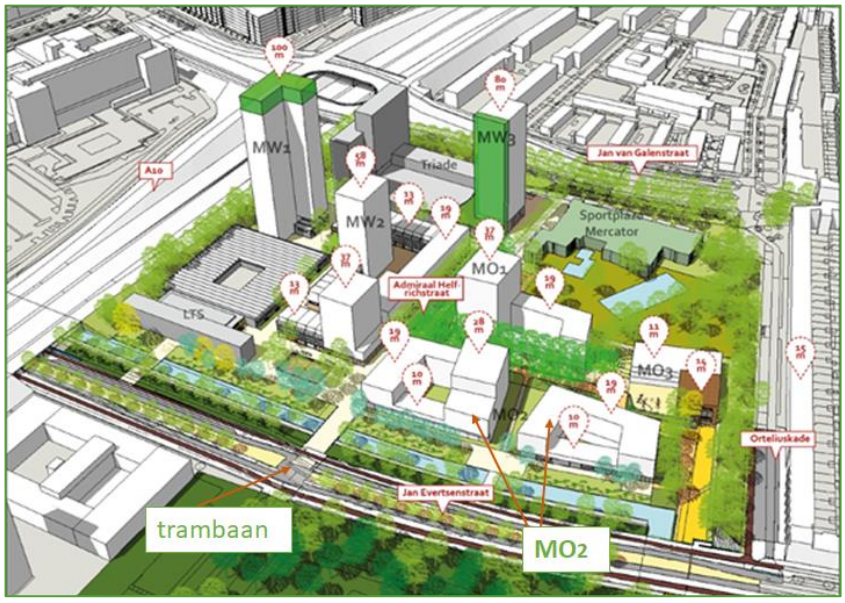
UITVOERING METINGEN

2.1 Drie metingen gedurende een week

Om een beeld te krijgen van de optredende trillingsniveaus als gevolg van tramverkeer in de huidige situatie zijn op drie locaties trillingsmetingen uitgevoerd. Bij de keuze van meetlocaties is gezocht naar meetpunten die een representatief beeld geven van verwachte trillingsniveaus door tramverkeer. Bij de keuze van meetlocaties is ook rekeningen gehouden met het doel om een beeld te krijgen hoe trillingsniveaus aan de fundering zich verhouden tot trillingsniveaus in de bodem.

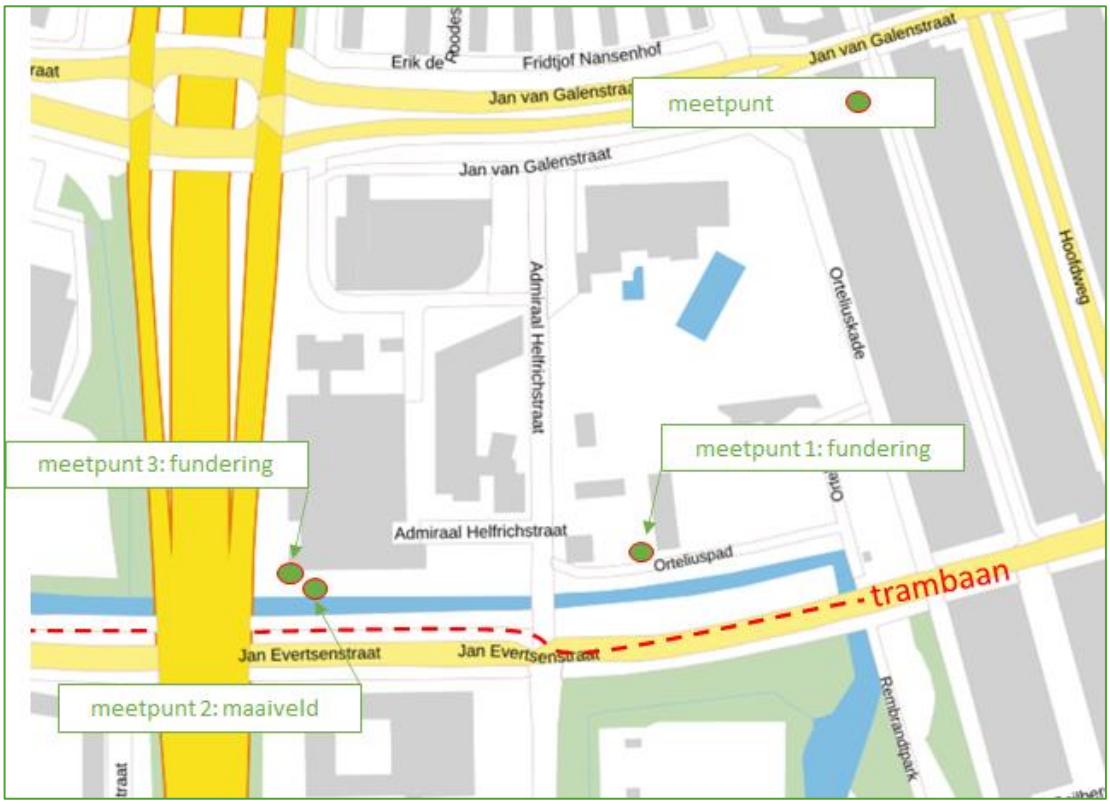
In Figuur 2.1 wordt schetsmatig weergegeven hoe de planontwikkeling van het gebied er uitziet en waar nieuwbouw wordt voorzien. Met het oog op tramtrillingen geldt dat de nieuwbouw aan de zijde van de Evertsenstraat maatgevend is. Aan deze zijde wordt ter plaatse van het Orteliuspad toekomstige nieuwbouw met een woonbestemming voorzien (Zie Figuur 2.2 blok MO_2). Eén meetpunt is daarom geplaatst aan de fundering van bebouwing ter plaatse van het Orteliuspad. Omdat het Orteliuspad een fiets/voetgangerspad betreft met mogelijk veel trillingen in de bodem als gevolg van passerende voetgangers en verkeer is een andere locatie gekozen voor het meetpunt op het maaiveld. Het meetpunt geeft echter wel een beeld wat voor trillingen aan de fundering mogelijk verwacht kunnen worden op deze locatie.

Figuur 2.1 Plangebied toekomstige ontwikkeling



Voor het meetpunt op maaiveld is uiteindelijk een punt aan de meest westelijke zijde van het gebied gekozen. Verwacht werd dat dit meetpunt relatief weinig stoorbronnen zou kennen. Het passerend tramverkeer kent ter plaatse van dit meetpunt een representatieve rijsnelheid (vergelijkbaar met voorziene nieuwbouw aan de oostzijde van het plangebied). Naast het meetpunt op maaiveld is een meetpunt aan de fundering aan het nabijgelegen gebouw gekozen om zodoende een beeld te krijgen hoe de niveaus aan de fundering zich verhouden tot de niveaus in de bodem. In Figuur 2.2 worden de drie locaties van de meetpunten schematisch weergegeven.

Figuur 2.2 Meetlocaties trillingsmetingen ten opzichte van de voorziene nieuwbouw



2.2 Meetopstellingen

De meters aan de fundering zijn geplaatst aan de buitenzijde van de gebouwen. De meters zijn bevestigd met een bevestigingsbeugel aan de onderzijde van de gevel is geschroefd. Voor de meter op maaiveld is de bovenste laag grond verwijderd, waarna is aangevuld met zand. Het zand is aangestampt waarop de meter met een voetplaat is gedrukt. Zodoende wordt de trillingsbeweging van de grond zo goed mogelijk gemeten. In Figuur 2.3, 2.4 en 2.5 worden foto's getoond van de geplaatste trillingsmeters.

Figuur 2.3 Foto geplaatste trillingsmeter meetpunt 1 (fundering)



Figuur 2.4 Foto geplaatste trillingsmeter meetpunt 2 (maaiveld)



Figuur 2.5 Foto's geplaatste trillingsmeter meetpunt 3 (fundering)



2.3 Meetperiodes

In Tabel 1 wordt de meetperiode weergegeven.

Tabel 1. Meetperiode trillingsmetingen.

Type meting	Meetperiode
Weeklange meting	10 augustus 18:00 – 19 augustus 09:00 2021

2.4 Specificaties meetapparatuur

In Tabel 2 wordt het type ingezette trillingsmeters weergegeven.

Tabel 2. Type trillingsmeters.

Type meting	Type trillingsmeter
Weeklange meting	Profound Vibra SBR+ (VIB1231, VIB1270 en VIB709)

2.5 Uitvoeringsaspecten

De metingen zijn uitgevoerd door TAUW B.V. De verwerking van de ruwe meetdata, de interpretatie en nadere verwerking is uitgevoerd door Cohere Consultants.

Voor de metingen geldt de volgende definitie van meetrichtingen:
- X-richting: horizontaal loodrecht op het tramspoor;
- Y-richting: horizontaal parallel aan het tramspoor;
- Z-richting: verticaal.

3 TOETSINGSKADER TRILLINGEN

Bij toetsing van hinder door trillingen wordt in Nederland doorgaans de SBR-richtlijn deel B gehanteerd, aangezien er momenteel geen wetgeving bestaat met daarin grenswaarden voor trillingshinder (zie [ref. 1]). De SBR-richtlijn deel B kent twee toetsingsgrootheden, namelijk V_{max} en V_{per}. De V_{max} representeert het maximale te verwachten trillingsniveau. De V_{per} is een periodiek trillingsniveau, wat wil zeggen een (energetisch) gemiddelde waarde over een beoordelingsperiode. Zie ook hoofdstuk 9 van de SBR-richtlijn.

3.1 Streefwaarden trillingsniveaus V_{max} (maximum) en V_{per} (periodiek)

De SBR-richtlijn maakt gebruik van streefwaarden. Over het algemeen is voor een mens een V_{max} groter dan 0,1 voelbaar. De richtlijn geeft aan dat er bij nieuwbouw wordt voldaan aan de richtlijn als de V_{max}-niveaus onder de streefwaarde A1 (0,1 voor woningen) liggen. Er wordt ook voldaan aan de richtlijn als de V_{max}-niveaus hoger zijn dan de streefwaarde A1, maar onder de streefwaarde A2 (0,2 voor woningen) én als V_{per} onder de streefwaarde A3 ligt (0,05 voor woningen). Tabel 3 geeft de streefwaarden weer voor een nieuwe situatie (waaronder nieuwbouw langs het spoor), Tabel 4 geeft de streefwaarden weer volgens de richtlijn voor een bestaande situatie. De streefwaarden voor een bestaande situatie zijn ruimer dan die voor nieuwbouw. Onderscheid wordt gemaakt tussen de dag-, avond- en nachtperiode, waarvoor geldt:

- Dagperiode: 07:00-19:00
- Avondperiode: 19:00-23:00
- Nachtperiode: 23:00-07:00

Figuur 3.1 geeft de toetsing schematisch weer.

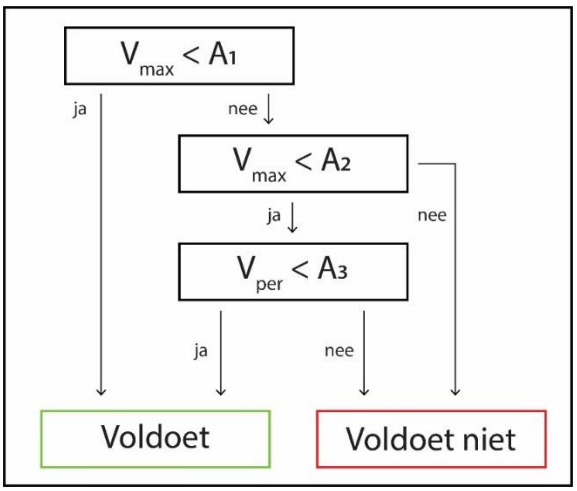
Tabel 3 Gehanteerde streefwaarden volgend uit de SBR B (nieuwbouw).

Gebouwfunctie	Streefwaarde dag- en avondperiode			Streefwaarde nachtperiode		
	Vmax (A1)	Vmax (A2)	Vper (A3)	Vmax (A1)	Vmax (A2)	Vper (A3)
gezondheidszorg	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
kantoor en onderwijs	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
bijeenkomsten	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

Tabel 4 Gehanteerde streefwaarden volgend uit de SBR B (bestaande bouw).

Gebouwfunctie	Streefwaarde dag- en avondperiode			Streefwaarde nachtperiode		
	Vmax (A1)	Vmax (A2)	Vper (A3)	Vmax (A1)	Vmax (A2)	Vper (A3)
gezondheidszorg	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
wonen	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
kantoor en onderwijs	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
bijeenkomsten	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

Figuur 3.1 Toetsingsschema trillingshinder SBR-richtlijn deel B.



3.2 Kwalificatie voor hinder door weg- en railverkeer

De SBR-richtlijn geeft ter aanvulling in bijlage V waarden voor de kwalificatie van hinder voor weg- en railverkeer. Deze waarden zijn gegeven in Tabel 5. Bij de afweging van maatregelen kan hier rekening mee worden gehouden.

Tabel 5. Hinderkwalificatie voor weg- en railverkeer volgens SBR B bijlage V

V_{max}	Hinderkwalificatie
< 0,1	geen hinder
0,1 – 0,2	weinig hinder (bestaande situaties)
0,2 – 0,8	matige hinder
0,8 – 3,2	hinder
> 3,2	ernstige hinder

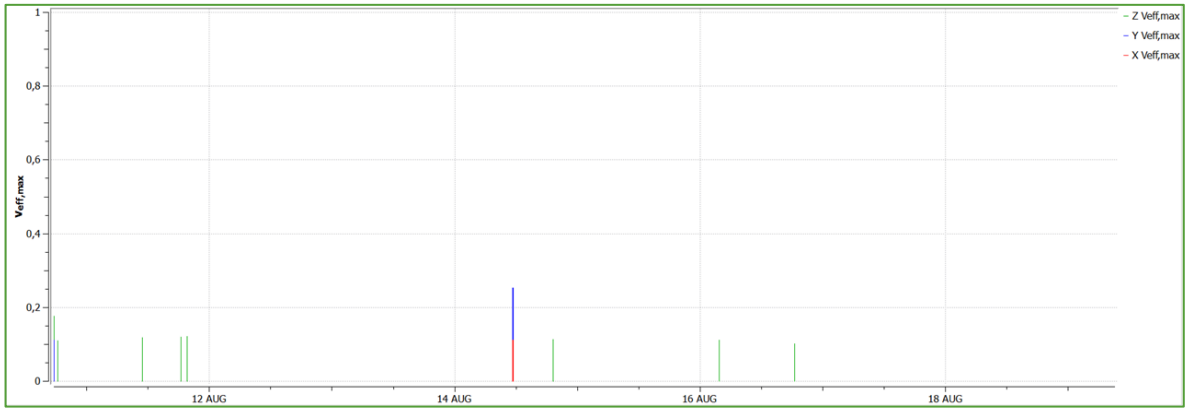
4

MEETRESULTATEN

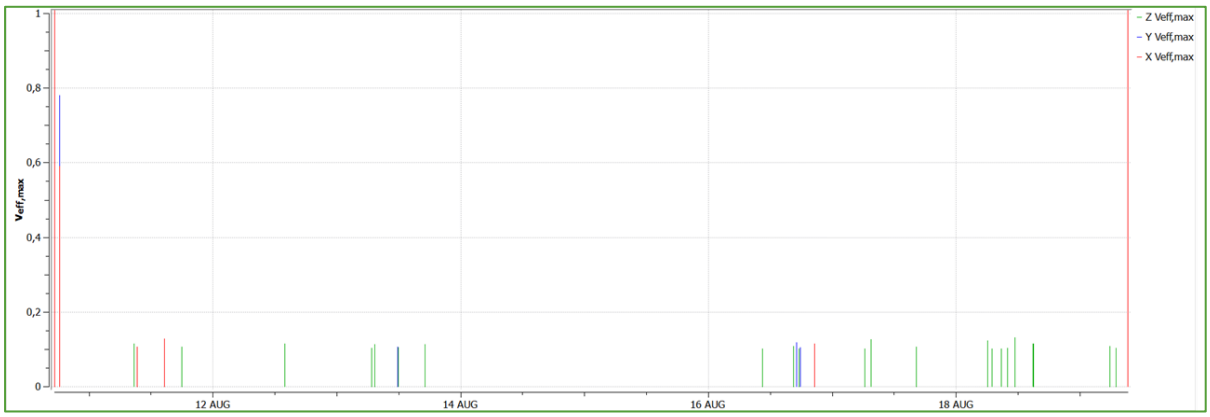
4.1 Resultaten maximale trillingsniveaus $V_{eff;max}$

Er zijn op drie locaties metingen verricht gedurende een week (zie hoofdstuk 2). In Figuur 4.1 t/m 4.3 worden de resultaten van de metingen weergegeven. Hier worden de gemeten trillingsniveaus $V_{eff,max}$ uitgezet tegen de tijd.

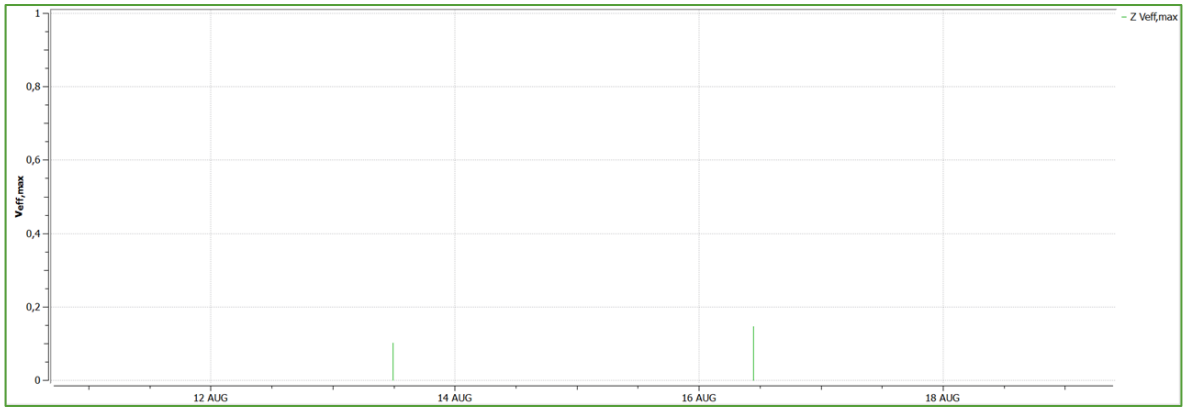
Figuur 4.1 Trillingsmeetdata $V_{eff,max}$ locatie 1 (fundering).



Figuur 4.2 Trillingsmeetdata $V_{eff,max}$ locatie 2 (maaiveld).



Figuur 4.3 Trillingsmeetdata $V_{eff,max}$ locatie 3 (fundering) *



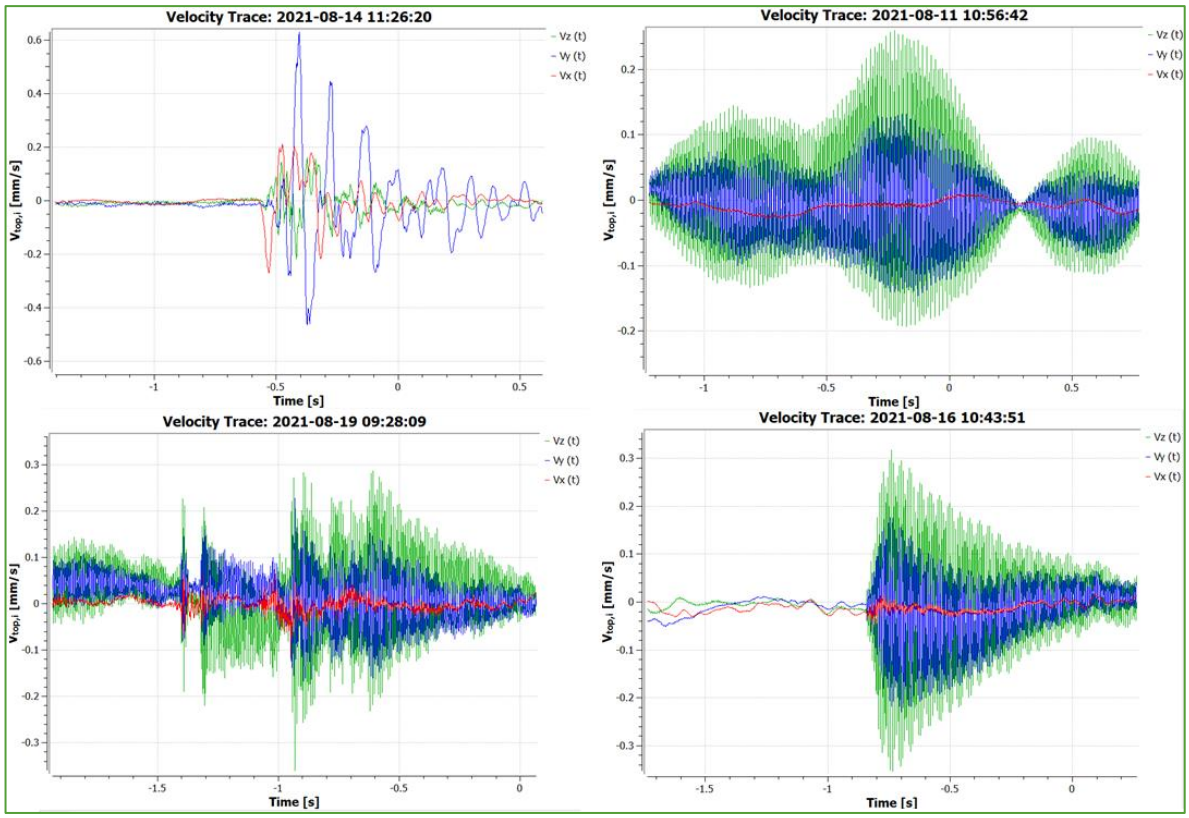
*Er zijn alleen waarden >0,1 in Z-richting gemeten waardoor alleen de Z-richting wordt gepresenteerd

Uit Figuren 4.1, 4.2 en 4.3 blijkt dat de gemeten niveaus laag liggen. Op de twee meetpunten aan de fundering (meetpunten 1 en 3) zijn enkele niveaus gemeten die net boven de Veff,max=0,1 uitkomen. Op het maaiveldpunt geldt eveneens dat de gemeten niveaus juist boven de Veff,max=0,1 uitkomen, maar voor dit punt geldt dat dit iets vaker is voorgekomen. Van de keren dat een niveau boven de Veff,max=0,1 is uitgekomen is gekeken naar de karakteristieken van het trillingssignaal om te bepalen of de opgetreden niveaus al dan niet het gevolg waren van tramverkeer. De hoge niveaus aan het begin en eind zijn het gevolg van het plaatsen dan wel ophalen en zijn niet verder meegenomen in de analyse. In de volgende paragraaf wordt hierop ingegaan.

Signaalkarakteristieken

Van de hoogstgemeten niveaus is op basis van de signaalkarakteristiek gekeken of er mogelijk sprake is van een trampassage of dat er sprake is van een andere bron. Van de beide meetpunten aan de fundering volgt de conclusie dat de signalen die behoren bij trillingsniveaus Veff,max>0,1 niet het gevolg waren van tramverkeer. In Figuur 4.4 worden voor beide meetpunten de twee hoogstgemeten signalen weergegeven. De karakteristiek van de signalen komt niet overeen met een signaal verwacht voor tramverkeer. Voor tramverkeer wordt namelijk een aanzwellend en afnemend signaal verwacht van 5 – 10 seconden die meestal in alle drie de meetrichtingen terug te vinden is. De gemeten signalen op meetpunten 1 en 3 tonen kortere duur signalen met grote verschillen tussen de meetrichtingen.

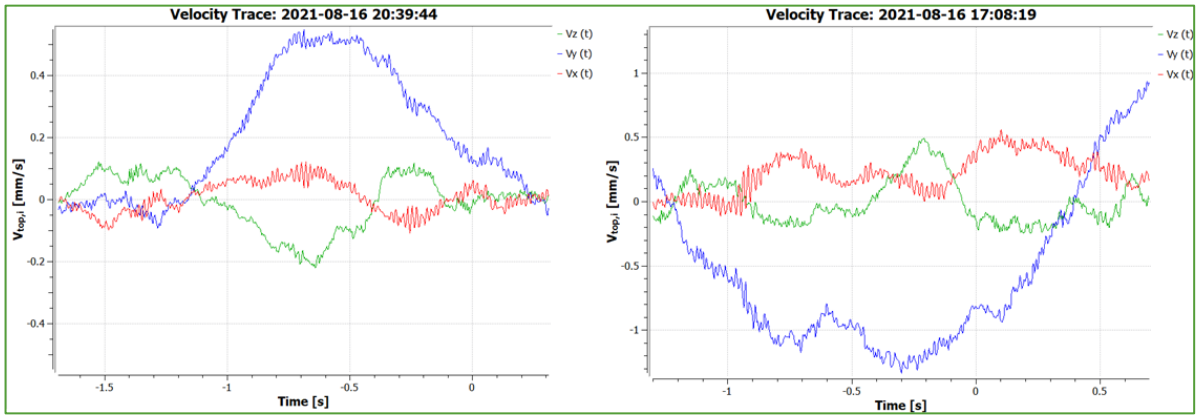
Figuur 4.4 Signalen twee hoogst gemeten niveaus locatie 1 (bovenste rij) locatie 3 (onderste rij)



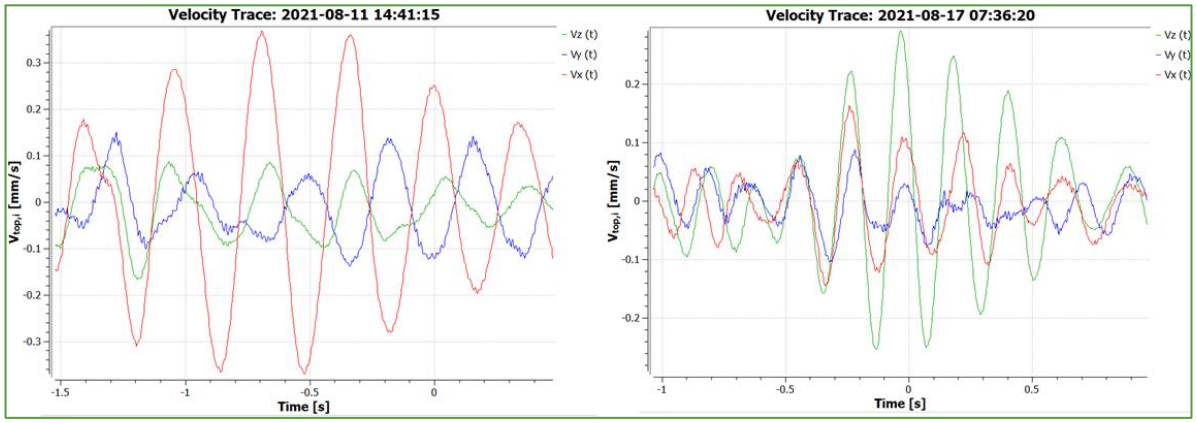
Wordt gekeken naar het meetpunt op maaiveld, dan blijkt dat voor een deel van de hoogst gemeten niveaus de signaalkarakteristieken niet overeenkomen met die van trillingskaraktistieken van tramspoortrillingen (zie Figuur 4.5). Van enkele signalen valt niet uit te sluiten dat het niet als gevolg is van passerende trams[1] (zie Figuur 4.6). Het hoogstgemeten niveau waarvoor dit geldt is Veff,max =0,13. De resultaten voor alle drie de locaties zijn in tabelvorm weergegeven in Tabellen 6,7 en 8.

[1] De signalen laten een dominante lage frequentie zien rond de 5 Hz of lager, terwijl voor tramspoor juist meer hoogfrequentere inhoud (10-30 Hz of hoger) wordt verwacht. Het valt echter niet uit te sluiten dat de gemeten signalen het gevolg zijn van tramverkeer en daarom zijn de niveaus meegenomen in de verdere beoordeling.

Figuur 4.5 Signalen twee hoogst gemeten niveaus locatie 2 (Andere bron dan tramtrillingen)



Figuur 4.6 Voorbeeld signalen locatie 2 waarvan niet met zekerheid gezegd kan worden dat het niet om tramtrillingen gaat



Tabel 6 Top 10 hoogst gemeten niveaus locatie 1

Datum	Tijdstip*	$V_{eff;max}$ X	$V_{eff;max}$ Y	$V_{eff;max}$ Z	Check op basis van signaalkarakteristiek
14/08/2021	11:26:30	0.11	0.25	0.03	Andere bron dan tramtrilling
11/08/2021	10:57:00	0.02	0.03	0.12	Andere bron dan tramtrilling
11/08/2021	18:32:00	0.03	0.02	0.12	Andere bron dan tramtrilling
11/08/2021	19:39:30	0.02	0.09	0.12	Andere bron dan tramtrilling
10/08/2021	18:21:30	0.02	0.02	0.11	Andere bron dan tramtrilling
14/08/2021	19:18:30	0.02	0.02	0.11	Andere bron dan tramtrilling
16/08/2021	03:44:30	0.02	0.02	0.11	Andere bron dan tramtrilling
16/08/2021	18:35:00	0.02	0.04	0.1	Andere bron dan tramtrilling
		<0.1	<0.1	<0.1	

Tabel 7 Top 15 hoogst gemeten niveaus locatie 2

Datum	Tijdstip*	$V_{eff;max}$ X	$V_{eff;max}$ Y	$V_{eff;max}$ Z	Check op basis van signaalkarakteristiek
16/08/2021	20:39:00	0.11	0.26	0.15	Andere bron dan tramtrilling
16/08/2021	17:08:30	0.18	0.12	0.17	Andere bron dan tramtrilling
16/08/2021	16:31:30	0.11	0.14	0.11	Andere bron dan tramtrilling
16/08/2021	17:34:30	0.08	0.14	0.1	Andere bron dan tramtrilling
10/08/2021	18:19:00	0.02	0.13	0.03	Andere bron dan tramtrilling
11/08/2021	14:41:30	0.13	0.04	0.03	Valt niet uit te sluiten
17/08/2021	07:36:30	0.03	0.04	0.13	Valt niet uit te sluiten
18/08/2021	11:29:00	0.03	0.03	0.13	Valt niet uit te sluiten
18/08/2021	06:09:00	0.02	0.03	0.12	Valt niet uit te sluiten
11/08/2021	08:46:00	0.03	0.03	0.11	Valt niet uit te sluiten
11/08/2021	09:19:30	0.11	0.05	0.03	Valt niet uit te sluiten
12/08/2021	14:00:30	0.04	0.04	0.11	Valt niet uit te sluiten
13/08/2021	07:26:30	0.04	0.03	0.11	Valt niet uit te sluiten
13/08/2021	11:52:30	0.07	0.11	0.09	Onbekend*
13/08/2021	17:06:00	0.04	0.08	0.11	Onbekend*

* Van dit tijdstip was geen signaal beschikbaar in de dataset

Tabel 8 Top 2 hoogst gemeten niveaus locatie 3

Datum	Tijdstip*	$V_{eff;max}$ X	$V_{eff;max}$ Y	$V_{eff;max}$ Z	Check op basis van signaalkarakteristiek
16/08/2021	10:44:00	0.02	0.01	0.15	Andere bron dan tramtrilling
13/08/2021	11:52:30	0.06	0.04	0.1	Andere bron dan tramtrilling
		<0.1	<0.1	<0.1	

Als resultaat volgt dat voor het maximale trillingsniveau V_{max} als gevolg van tramtrillingen aan de fundering een niveau wordt gevonden dat lager ligt dan de onderste streefwaarde A1 =0,1 (A1 is de voelbaarheidsgrens). In de bodem ligt het niveau waarvoor niet met zekerheid kan worden uitgesloten dat het om tramtrillingen gaat op Veff,max = 0,13. Dit niveau is laag te noemen.

4.2 Resultaten periodieke (gemiddelde) trillingsniveaus V_{per}

Volgens de SBR-richtlijn deel B moet per beoordelingsperiode een V_{per}-niveau worden berekend op basis van het aantal opgetreden $V_{eff;max}$-niveaus binnen de periode met een waarde boven de $V_{eff;max}$ = 0,1. De uiteindelijk gemeten V_{per}-niveaus liggen onder de te hanteren streefwaarde. In Tabel 9 worden de maximaal gemeten niveaus weergegeven. De waarden voor V_{per} betreffen 0,01 of lager.

Tabel 9 Hoogst gemeten niveaus V_{per} meetlocaties 1 t/m 3

Datum	V_{per} X	V_{per} Y	V_{per} Z
Meetpunt 1	< 0,01	< 0,01	0,01
Meetpunt 2	< 0,01	< 0,01	0,01
Meetpunt 3	< 0,01	< 0,01	0,01

5

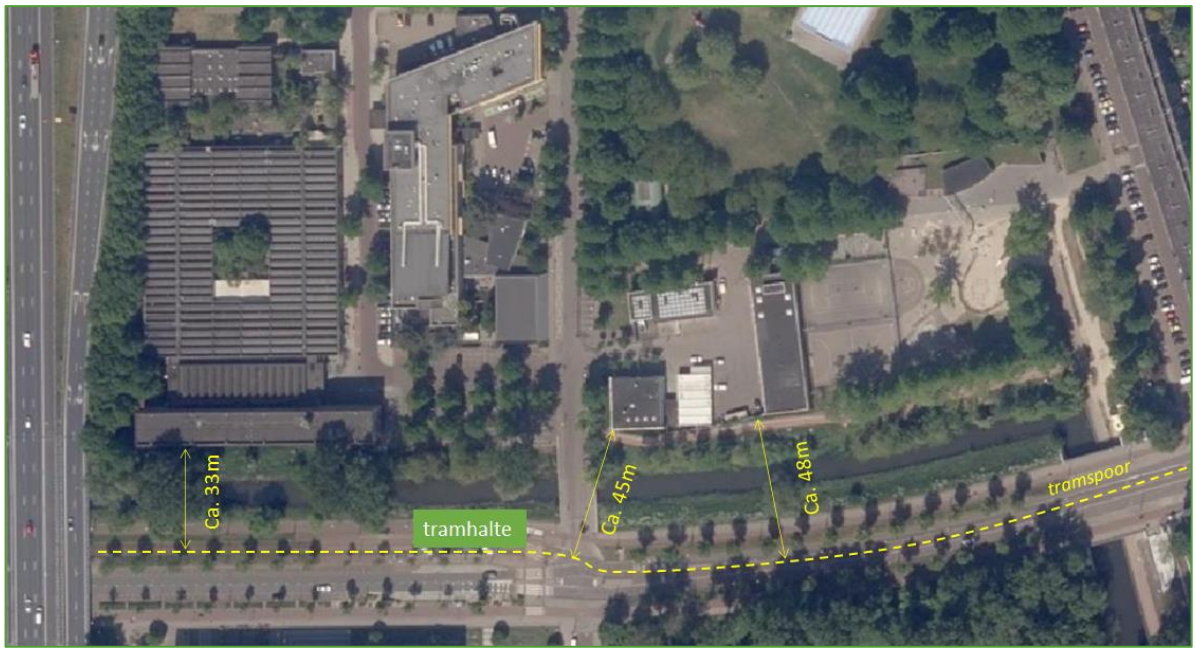
QUICK SCAN

Naast het uitvoeren van trillingsmetingen is ook een quick scan uitgevoerd naar de trillingsgevoeligheid van de locatie en de toekomstige nieuwbouw. Hierbij is in overeenstemming met de handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen [ref. 3] gekeken naar het treinbeeld, de spooropbouw en de bodemgesteldheid en zijn de eigenschappen van de toekomstige voorziene nieuwbouw beschouwd.

5.1 Huidige situatie en treinbeeld

Het tramspoor ter plaatse van de Evertsenstraat ligt op 33-48 meter afstand tot de gevel van de verschillende gebouwen. In Figuur 5.1 wordt dit weergegeven. Er is een tramhalte aanwezig juist ten westen van brug 658 (Adm. Helfrichstraat).

Figuur 5.1 Huidige situatie WTC Amsterdam (bron: PDOKviewer luchtfoto 25 cm)



Wordt gekeken naar het trein-/trambeeld, dan volgt dat er sprake is van een constant type trammaterieel dat passeert. In Figuur 5.2 worden enkele voorbeelden gegeven van passerende trams. Dit zijn vrijwel allemaal trams van het type Combino.

Figuur 5.2 Tramverkeer nabij het mercatorpark op lijn 13



5.2 Toekomstige situatie

Voor de toekomstige gebiedsontwikkeling wordt in hoofdstuk 2 (Figuur 2.1) een schematische weergave gegeven. Met het oog op mogelijk hinder door tramtrillingen zijn de ontwikkelingen MO_2 aan de zijde van de Evertsenstraat het meest bepalend.

In Figuur 5.3 wordt een indruk gegeven van de voorziene ontwikkeling vanuit zuidelijke richting op de Evertsenstraat en zodoende op de voor tramtrillingen meest bepalende bebouwing. In de figuur wordt de huidige en toekomstige situatie gegeven. Ondanks dat de nieuwbouw schetsmatig en zonder detail is weergegeven kan worden gezien dat de toekomstige bebouwing een grotere afmeting kent dan de huidige bebouwing. De toekomstige bebouwing is daarom naar verwachting massiever dan de huidige bebouwing.

Figuur 5.3 Huidige situatie (boven), Schetsmatige toekomstige situatie (beneden) bron:www.theimagineers.com



5.3 Spooropbouw en onregelmatigheden

In Figuur 5.4 wordt een weergave gegeven van de trambaan langs het plangebied. Vanaf de A10 tot aan de tramhalte is het tramspoor gelegen in een groenstrook (zie foto 1). Het betreft een recht stuk spoor. Juist ten westen van de tramhalte is er een S-bocht in het spoor aanwezig (foto's 2 en 3) waarbij de trambaan in het wegdek gelegen is. Het wegdek bestaat uit betonplaten. De trambaan naast het oostelijke deel van het plangebied is gelegen in het wegdek wat deels bestaat uit betonplaten en deels uit asfalt (zie foto 4). De kwaliteit van het trampspoor wordt als redelijk ingedeeld.

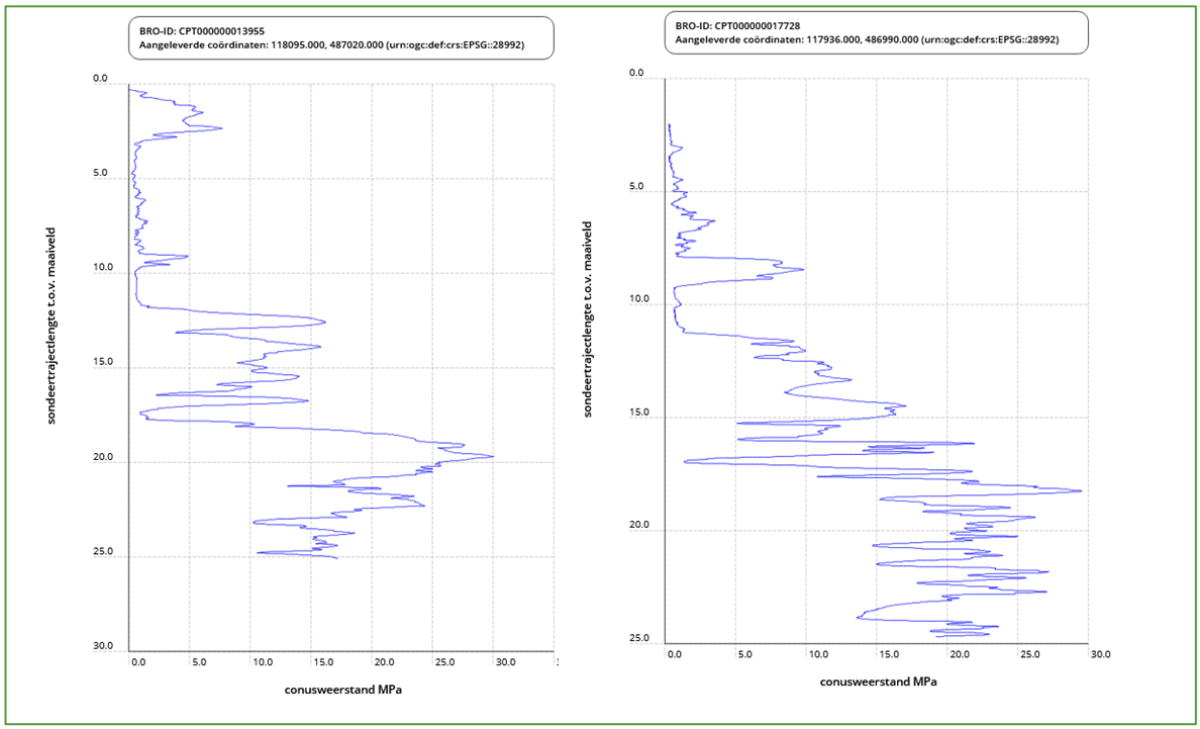
Figuur 5.4 Fotoweergave van trambaan langs het plangebied



5.4 Bodemopbouw

Op basis van openbaar beschikbare sondeergegevens is een indruk gekregen van de grondopbouw ter plaatse van het plangebied Evertsenstraat. In Figuur 5.5 worden twee sonderingen weergegeven. Hieruit blijkt (zoals verwacht voor Amsterdam) dat de bovenste ongeveer 20 meter bestaat uit wisselende slappere klei/veenlagen met een eerste zandlaag. Daaronder worden stijve zandlagen gevonden. Een paalfundering wordt daarom verwacht voor toekomstige nieuwbouw.

Figuur 5.5 Twee sonderingen plangebied (links nabij brug 658, rechts vlak naast A10) (bron: Basis Registratie Ondergrond)



6 PREDICTIE TOEKOMSTIGE NIEUWBOUW

6.1 Voorziene nieuwbouw Mercatorpark

In de huidige fase van de ontwikkeling waarin het onderzoek is uitgevoerd, namelijk in de voorbereiding op het bestemmingsplan, is er relatief weinig detailinformatie bekend over de toekomstige gebouwontwerpen. Er zijn daarom in het huidige onderzoek een aantal uitgangspunten gehanteerd.

Voor de toekomstige situatie geldt dat de bebouwing het dichtst op de tramlijn aangeduid wordt met MO_2 (zie Figuur 5.3). Voor deze bebouwing wordt uitgegaan van een woonbestemming. Voor de LTS (meest westelijk gebouw, gelegen naast de A10) geldt een kantoor/onderwijs functie. Dit gebouw wordt mogelijk uitgebreid, maar de nadruk ligt op MO_2.

Wat betreft constructieve eigenschappen wordt voor alle gebouwen uitgegaan van een paalfundering met een massieve betonnen fundering. Voor de bovenbouw wordt uitgegaan van betonbouw, dat wil zeggen zowel de dragende elementen worden opgebouwd uit beton (oftewel betonnen wanden en vloeren). De toekomstige gebouwen zullen wat betreft afmetingen groter zijn (o.a. meer verdiepingen) dan de huidig aanwezige gebouwen. De toekomstige gebouwen zullen daarom naar verwachting massiever en gunstiger reageren op trillingen vanuit het tramspoor dan de huidige gebouwen. In Tabel 10 worden de uitgangspunten voor de toekomstige nieuwbouw samengevat.

Tabel 10 Uitgangspunten toekomstige nieuwbouw

gebouw	Type fundering	Kenmerken gebouwconstructie	Functie
Nieuwbouw MO_2 aan zijde Evertsenstraat	Paalfundering	Dragende constructie van beton	Woon
LTS	Paalfundering	Dragende constructie van beton	Onderwijs/kantoor

6.2 Predictie toekomstige trillingsniveaus tramspoor

Voor het bepalen van het verwachte trillingsniveau binnenin de toekomstige nieuwbouw zijn een aantal aspecten van belang:

- De overdracht van trillingen in de bodem naar fundering;
- De voortplanting van trillingen vanuit fundering de gebouwconstructie in;
- Eigenfrequentie van vloeren en eventuele opslingering hiervan.

Op de verschillende onderdelen wordt kort ingegaan.

Overdracht van bodem naar fundering

Over het algemeen kan gesteld worden dat het trillingsniveau aan de fundering lager ligt dan in de bodem. Hoeveel het trillingsniveau afneemt is afhankelijk van de stijfheid en de massa van de fundering ten opzichte

van de stijfheid- en massa-eigenschappen van de bodem. Daarbij speelt een belangrijke rol welke golflengtes in de bodem optreden en hoe deze zich verhouden tot de geometrie van de constructie.

Een algemene factor die in de CUR166 wordt gehanteerd voor de overdracht van bodem naar fundering betreft een factor van 0,7. Oftewel, het niveau in de fundering bedraagt ongeveer 0,7 maal het niveau in de bodem [ref. 4].

Met het oog op de voorziene nieuwbouw MO_2 is het vooral van belang dat zoveel mogelijk stijfheid en massa in de fundering wordt gecreëerd. In het geval van een 'standaard' strokenfundering wordt gerekend met een factor 0,7. Ingeval van de voorziene nieuwbouw MO_2 wordt een massievere fundering verwacht, namelijk paalfundering met een massieve betonnen elementen. Voor dergelijke type funderingen is meer reductie ten opzichte van maaiveld te verwachten die mogelijk in de orde ligt van 0,2-0,5.[2]

De overdracht van trillingen in de bodem naar fundering kan worden gereduceerd door o.a:

- Een stijve massieve fundering te realiseren;
- Een diepe sloot tussen bron en ontvanger;
- Stijve massieve elementen in de bodem te plaatsen die voortplanting van trillingsgolven verhinderen/beperken.

Ingeval van de toekomstige bebouwing geldt dat van de eerste twee punten sprake is. Uitgangspunt is dat de voorziene bebouwing naar verwachting een paalfundering kent met massieve elementen en er is in de huidige en toekomstige situatie sprake van een brede sloot tussen de trambaan en de bebouwing.

Voortplanting van trillingen vanuit fundering de gebouwconstructie in

Hoe trillingen zich via de fundering voortplanten in de gebouwconstructie hangt af van het type constructie, de massa- en stijfheidsverdeling en de mate van demping. Daarbij is van belang in welke richting de trilling optreedt en van welke frequenties en golflengtes er sprake is. Verschillende vormen van gebouwbewegingen kunnen optreden. Zo kan een verticale beweging van de fundering leiden tot een horizontale beweging van de vloer met name op de hoogste verdieping. Een verticale beweging ter plaatse van de oplegging van de vloer kan leiden tot opslingering in het midden van de vloer. De optredende trillingen moeten echter wel voldoende energie bezitten om de gebouwconstructie in beweging te kunnen brengen. Uit de trillingsmetingen blijkt dat dit niet het geval is.

Opslingering van vloeren

Opslingering van vloeren kan optreden wanneer de dominante frequentie-inhoud van de trillingsignalen overeenkomt met de eigenfrequentie van de vloer. De mate van opslingering hangt vervolgens af van hoeveel demping er optreedt. Dit hangt weer samen met de massa van de vloer. Over het algemeen geldt dat hoe meer massa, hoe gunstiger. De ervaring leert dat in sommige gevallen een opslingeringsfactor van rond de 3 kan optreden. Hierbij is meestal sprake van houten vloeren. Voor betonnen vloeren hanteren wij een maximale factor van 2.[3]

[2] Voor multi story buildings (metselwerk) geeft de Amerikaanse richtlijn van de FTA een invoegverlies van 10-13 dB wat zich vertaalt in een factor van 0,2-0,3. [ref. 4].

[3] Een factor 2 komt overeen met 6dB 'floor resonance' die in de Amerikaanse richtlijn van de FTA wordt genoemd [ref. 4]

Resultaten van de predictie

Uit de meetresultaten blijkt dat er aan de fundering geen trillingen zijn gemeten die afkomstig zijn van trampassages (zie vorige hoofdstuk). In de bodem naast de fundering zijn er nauwelijks passages gemeten. Verwacht wordt dat toekomstige gebouwen massiever zijn dan de huidige gebouwen waardoor aan de fundering lagere niveaus worden verwacht dan de huidige situatie (dit geldt voor meetpunt 1). De gemeten trillingsniveaus aan de fundering liggen echter al onder de voelbaarheidsgrens van Veff,max=0,1. Verwacht wordt daarom dan de toekomstige trillingsniveaus als gevolg van tramverkeer onder de voelbaarheidsgrens liggen en dat hinder als gevolg van tramtrillingen in de gebouwen niet wordt verwacht[4].

Omdat de V_{max}-niveaus onder de 0,1 liggen wordt voldaan aan de SBR-richtlijn. Toetsing van V_{per}-niveaus is dan ook niet nodig omdat automatisch wordt voldaan.

In de huidige situatie liggen de niveaus aan de fundering van bestaande bebouwing onder de V_{max}=0,1. Voor de toekomstige situatie wordt een gunstigere situatie voorzien dan de huidige situatie. De niveaus liggen daarom onder de onderste streefwaarde A1=0,1 waardoor hinder als gevolg van tramtrillingen niet wordt verwacht.

[4] Mocht er onverhoopt toch sprake zijn van een vorm van opslingering van een factor 2,0 ten opzichte van de fundering, dan wordt alsnog voldaan aan de SBR-richtlijn.

7

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusies

Uit de resultaten van het trillingsonderzoek zijn de volgende conclusies te trekken:

- Op drie meetpunten zijn over een periode van een week trillingsmetingen verricht. Twee meetpunten zijn gekozen aan de fundering van bestaande bebouwing. Het derde meetpunt betreft een meetpunt in de bodem. De gemeten trillingsniveaus zijn laag te noemen. Aan de fundering is geen trillingsniveau als gevolg van trampassages gemeten boven de Veff,max=0,1, wat de voelbaarheidsgrens betreft. Voor het meetpunt in de bodem is een maximaal niveau van Veff,max=0,13 gemeten waarvoor niet zeker is of het gemeten niveau het gevolg is van een trampassage. Geconcludeerd wordt dat de metingen in lijn zijn met de verwachting, namelijk dat niveaus aan de fundering lager liggen dan in de bodem;
- De planontwikkeling Mercatorpark voorziet in toekomstige nieuwbouw die naar verwachting massiever is dan de huidige bebouwing daar waar de huidige bebouwing wordt geamoveerd. Met het oog op tramtrillingen is de voorziene nieuwbouw ter plaatse van MO_2 maatgevend. Meetpunt 1 aan de fundering is op deze locatie gekozen. Geconcludeerd wordt dat op basis van de huidige gegevens de toekomstige nieuwbouw eerder gunstiger zal zijn met het oog op tramtrillingen dan de huidige bebouwing dan ongunstiger;
- Omdat de gemeten niveaus aan de fundering onder de voelbaarheidsgrens liggen en de toekomstige nieuwbouw naar verwachting gunstiger zal zijn met het oog op tramtrillingen, wordt er geen hinder als gevolg van tramtrillingen verwacht.

7.2 Aanbevelingen

Hinder als gevolg van tramtrillingen in nieuwbouwontwikkeling van het plangebied naast de Evertsenstraat wordt niet verwacht onder de aanname dat de nieuwe bebouwing paalfunderingen kennen en draagconstructies van beton. De huidig gemeten niveaus aan de fundering van de huidige bebouwing liggen laag (onder de voelbaarheidsgrens) en nemen naar verwachting niet toe in de toekomstige situatie zolang de nieuwbouw geen ongunstige kenmerken kent waardoor het gebouw trillingsgevoelig wordt[5]. Er worden daarom ten behoeve van het voorkomen van hinder door tramtrillingen geen maatregelen nodig geacht.

[5] Een gebouw kan trillingsgevoelig worden als er sprake is van lichte bouw zoals bij houtbouw het geval is. Ook geldt dat trillingsgevoelige apparatuur tot strengere eisen kan leiden dan de in dit onderzoek gehanteerde hindereisen van de SBR-richtlijn deel B.

REFERENTIES

1. Stichting Bouw Research (2006). SBR-richtlijn deel B: Hinder voor personen in gebouwen.
2. Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen (2019). Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
3. Federal Transit Administration (2006). Transit Noise and Vibration Impact Assessment.
4. CUR Bouw en Infra (2012). 166 Damwandconstructies, 6^{e} herziene druk.