



TRILLINGSONDERZOEK SPOORZONE DEURNE

FABRIEKSTRAAT

Arom Juridisch Adviesbureau

Project	Trillingsonderzoek Spoorzone Deurne Fabriekstraat
Titel rapport	Trillingsonderzoek Spoorzone Deurne Fabriekstraat
Referentie	CC-REP20220401
Opdrachtgever	Arom Juridisch Adviesbureau
Status	Definitief
Versie	2.0
Datum	12 april 2022
Opgemaakt door	ir. E.J. Vlijm
Gecontroleerd door	dr. ir. P. van der Male
Bestandsnaam	cc-rep20220401 trillingsonderzoek spoorzone deurne fabriekstraat definitief 2.0
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.

INHOUD

1	Inleiding	1
2	Uitvoering metingen	2
2.1	Metingen op maaiveld	2
2.2	Meetopstellingen	3
2.3	Meetperiodes	4
2.4	Specificaties meetapparatuur	4
2.5	Uitvoeringsaspecten.....	4
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 $V_{\text{eff,max}}$	8
4.2	Resultaten periodieke (gemiddelde) trillingsniveaus V_{per}	17
5	Quick Scan.....	18
5.1	Treinbeeld	18
5.2	Spooropbouw en onregelmatigheden	19
5.3	Bodemopbouw	21
6	Predictie toekomstige Nieuwbouw.....	22
6.1	Voorzien ontwerp.....	22
6.2	Predictie toekomstige niveaus	25
7	Conclusies en aanbevelingen	29
7.1	Conclusies.....	29
7.2	Aanbevelingen.....	30
	Referenties	32

1

INLEIDING

Voor het bestemmingsplan Spoorzone Deurne is een trillingsonderzoek uitgevoerd voor een plangebied aan de Fabrieksstraat. In het plangebied worden rijwoningen en appartementencomplexen voorzien alsook twee-onder-eenkapwoningen. Het gebied ligt echter naast een spoorlijn waar goederenverkeer passeert waardoor hinder als gevolg van spoortrillingen mogelijk kan optreden. Dit dient voorkomen te worden. Met het trillingsonderzoek is inzicht gekregen in welke trillingsniveaus in de omgeving optreden door het huidige spoorverkeer en is een doorkijk gegeven naar de toekomstige nieuwbouw met als doel mogelijke trillingshinder voor de toekomstige nieuwbouw te voorkomen.

Als onderdeel van het onderzoek zijn trillingsmetingen uitgevoerd en is een quick scan uitgevoerd naar de trillingsgevoeligheid van de locatie en de toekomstige nieuwbouw. Vervolgens is een predictie van verwachte trillingsniveaus gemaakt op basis van factoren uit literatuur en ervaring uit trillingsmetingen. Een gedetailleerde predictie op basis van het ontwerp en uitwerking van mitigerende maatregelen ligt buiten de scope van dit onderzoek. In voorliggende rapportage worden de resultaten beschreven.

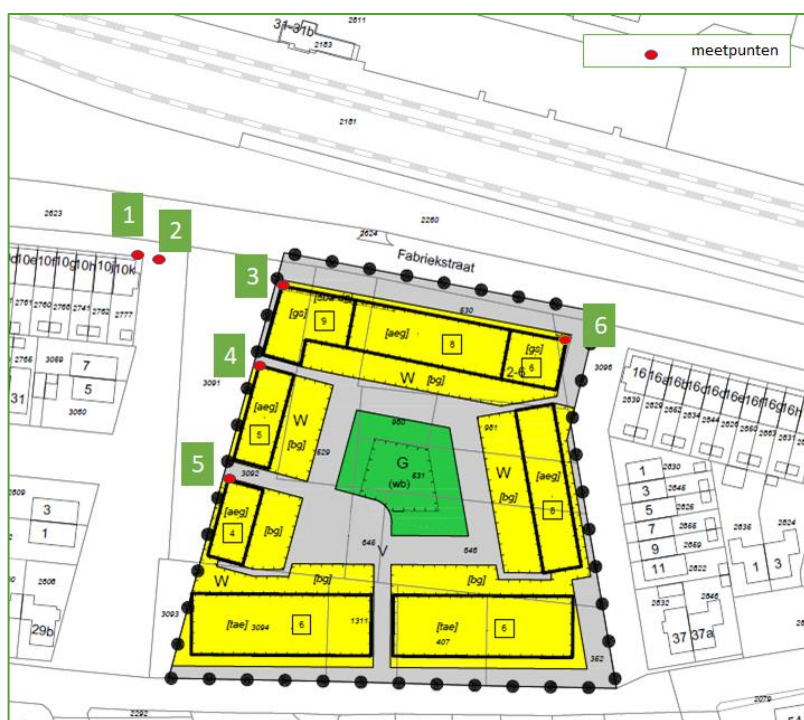
2

UITVOERING METINGEN

2.1 Metingen op maaiveld

In Figuur 1 wordt het plangebied weergegeven. Aan de zijde van het spoor worden op beide hoeken van het plangebied appartementencomplexen voorzien met tussen de twee complexen in rijwoningen. Vanaf de spoorzijde af komen achter beide appartementencomplexen rijwoningen te liggen die vrijwel haaks op het spoor staan. Er wordt een groene binnenplaats voorzien. De minimale afstand van de gevel van zowel de appartementencomplexen als de rijwoningen tot het spoor bedraagt ongeveer 40 meter. In Figuur 1 zijn de ook de zes meetpunten weergegeven waar in de volgende paragraaf op wordt ingegaan.

Figuur 1 Meetlocaties trillingsmetingen ten opzichte van de voorziene nieuwbouw



2.2 Meetopstellingen

Op zes meetpunten zijn over de periode van een week trillingsmetingen uitgevoerd. De meetpunten zijn onder te verdelen in meetpunten 1 en 2 welke aan en om de reeds bestaande nieuwbouwwoning aan de Fabrieksstraat 10k zijn gelegen. De overige vier meetpunten betreffen meetpunten op maaiveld op locaties van de toekomstige nieuwbouw:

- Meetlocatie 1: Fabrieksstraat 10k fundering;
- Meetlocatie 2: Fabrieksstraat 10k maaiveld;
- Meetlocatie 3: Noordwestelijke zijde dichtst op spoor (ca. 45 meter van doorgaand spoor);
- Meetlocatie 4: Noordwestelijke zijde verder van spoor (ca. 70 meter van doorgaand spoor);
- Meetlocatie 5: Noordwestelijke zijde verst van spoor (ca. 95 meter van doorgaand spoor);
- Meetlocatie 6: Noordoostelijke zijde dicht op spoor (ca. 45 meter van doorgaand spoor).

In Figuur 1 zijn de locaties in het plangebied weergegeven. In Figuur 2 t/m 4 worden foto's getoond van de geplaatste trillingsmeters.

Figuur 2 Meetpunten 1 en 2 bestaande (nieuwbouw) woning naast plangebied.



Figuur 3 Meetpunten 3,4 en 5.



Figuur 4 Meetpunt 6.



Bij de plaatsing van de meters is de bovenste bodemlaag van ongeveer 30 cm verwijderd en is dit aangevuld met zand waar bovenop de trillingsmeters zijn geplaatst. Het aanvulzand is daarbij aangestampt (zie Figuur 3 linker foto).

2.3 Meetperiodes

In Tabel 1 wordt de meetperiode weergegeven.

Tabel 1. Meetperiode trillingsmetingen.

Type meting	meetperiode
Weeklange meting	18 mei 12:00 – 25 mei 10:00 2021

2.4 Specificaties meetapparatuur

In Tabel 2 worden de specificaties van de ingezette meetapparatuur weergegeven.

Tabel 2. Type trillingsmeters.

Type meting	type
Weeklange meting meetpunten 1 en 2	Profound VIBRA+
Weeklange meting meetpunten 3,4,5 en 6	Omnidots Swarm

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 parallel aan het spoor;
- Y-richting: horizontaal loodrecht op het spoor;
- Z-richting: verticaal.

Tijdens het plaatsen van de trillingsmeters viel op dat er sprake was van wegverkeer over drempels nabij het plangebied. Daarbij geldt dat er een verkeersdrempel aanwezig is vlak naast het plangebied ter hoogte van de Fabrieksstraat 10k en op de noordoostelijke hoek nabij meetpunt 6, zie Figuur 5.

Figuur 5 Situatie wegverkeer nabij plangebied verkeersdrempel nabij fabrieksstraat 10k (links) en nabij meetpunt 6 (rechts).



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 6 geeft de toetsing schematisch weer.

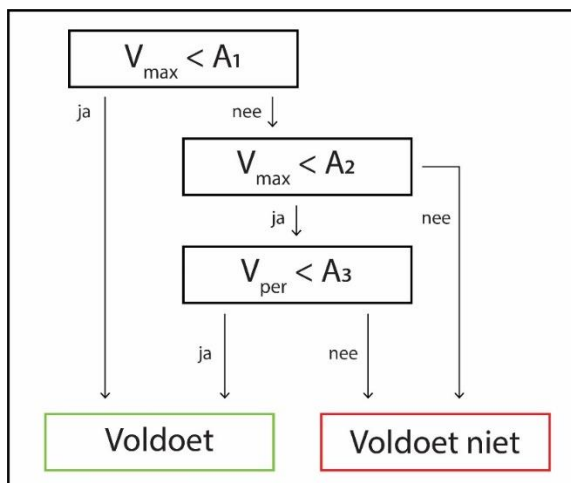
Tabel 3 Gehanteerde streefwaarden volgens uit de SBR B (nieuwbouw).

Gebouwfunctie	Streefwaarde dag- en avondperiode			Streefwaarde nachtperiode		
	$V_{\max}$ (A1)	$V_{\max}$ (A2)	V_{per} (A3)	$V_{\max}$ (A1)	$V_{\max}$ (A2)	V_{per} (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 volgens uit de SBR B (bestaande bouw).

Gebouwfunctie	Streefwaarde dag- en avondperiode			Streefwaarde nachtperiode		
	$V_{\max}$ (A1)	$V_{\max}$ (A2)	V_{per} (A3)	$V_{\max}$ (A1)	$V_{\max}$ (A2)	V_{per} (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 6 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

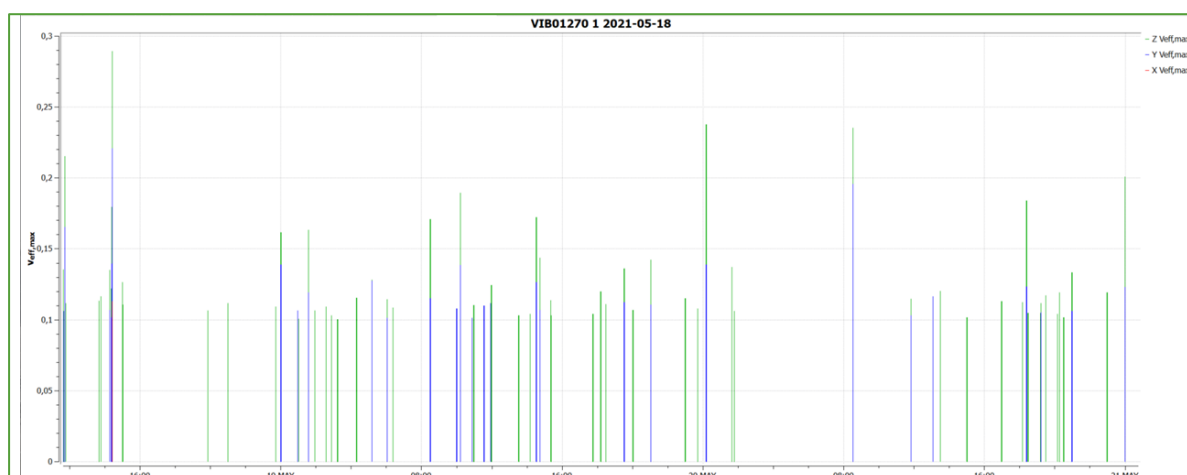
4.1 Resultaten maximale trillingsniveaus $V_{\text{eff,max}}$

In het plangebied is op zes locaties gemeten (zie hoofdstuk 2). De resultaten worden in dit hoofdstuk besproken. Eerst wordt ingegaan op de maximale trillingsniveaus $V_{\text{eff,max}}$ ¹ en vervolgens op de periodieke niveaus V_{per} en de frequentie-inhoud van de gemeten signalen waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de resultaten van meetpunten 1 en 2 en 3 t/m 6.

4.1.1 Meetpunten 1 en 2

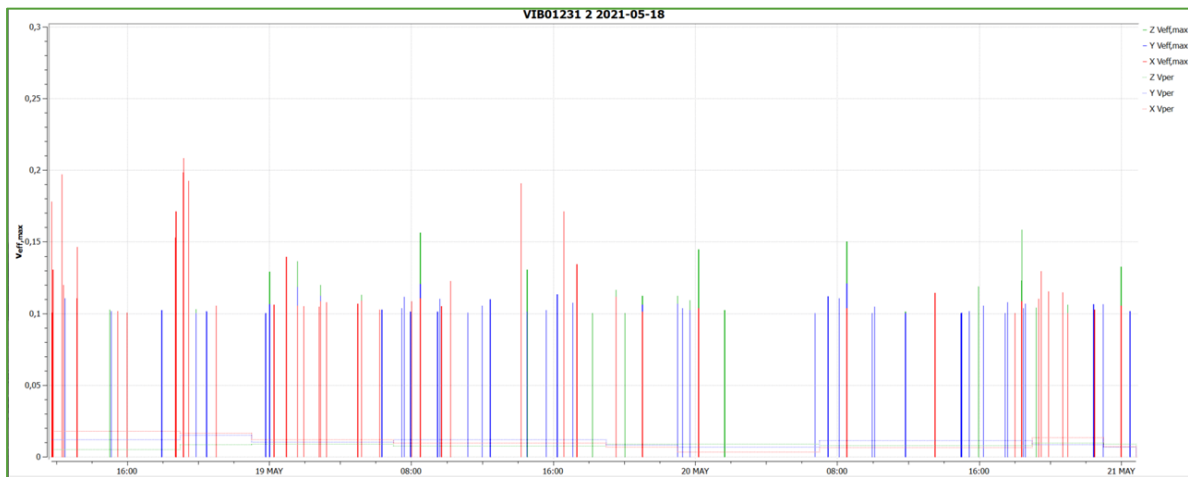
De trillingsmeters op meetpunten 1 en 2 hebben na 3 dagen een storing gekend waardoor van maar drie dagen meetgegevens beschikbaar zijn. Deze meetpunten waren gekozen in aanvulling op de meetpunten 3 t/m 6 om een beeld te krijgen van de overdracht van trillingen van bodem naar fundering van een reeds bestaande nieuwbouwwoning specifiek voor de locatie Fabrikstraat Deurne. Hoewel van enkel drie dagen meetgegevens beschikbaar zijn, is er een helder beeld gekregen van de overdracht. In Figuur 7 en 8 worden de gemeten $V_{\text{eff,max}}$ niveaus uitgezet tegen de tijd.

Figuur 7 Trillingsmeetdata $V_{\text{eff,max}}$ meetpunt 1 (fundering woning).



¹ De benaming $V_{\text{eff,max}}$ betreft individuele opgetreden trillingsniveaus, de benaming V_{max} betreft het overall hoogste niveau.

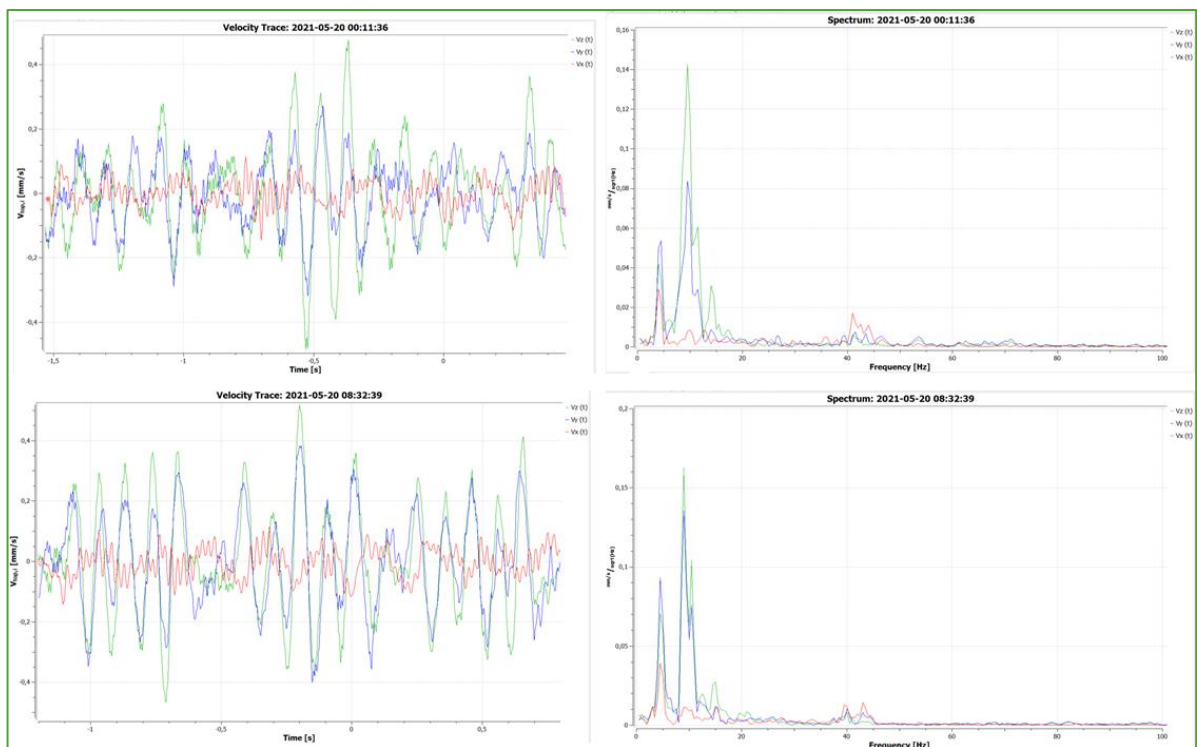
Figuur 8 Trillingsmeetdata $V_{\text{eff,max}}$ meetpunt 2 (maaiveld woning).



Worden Figuur 7 en 8 met elkaar vergeleken dan valt op dat aan de fundering niveaus zijn gemeten die gelijk dan wel hoger zijn dan de gemeten niveaus op maaiveld. Daarbij lijkt de verticale meetrichting aan de fundering maatgevend, terwijl op maaiveld de verticale meetrichting minder maatgevend lijkt te zijn.

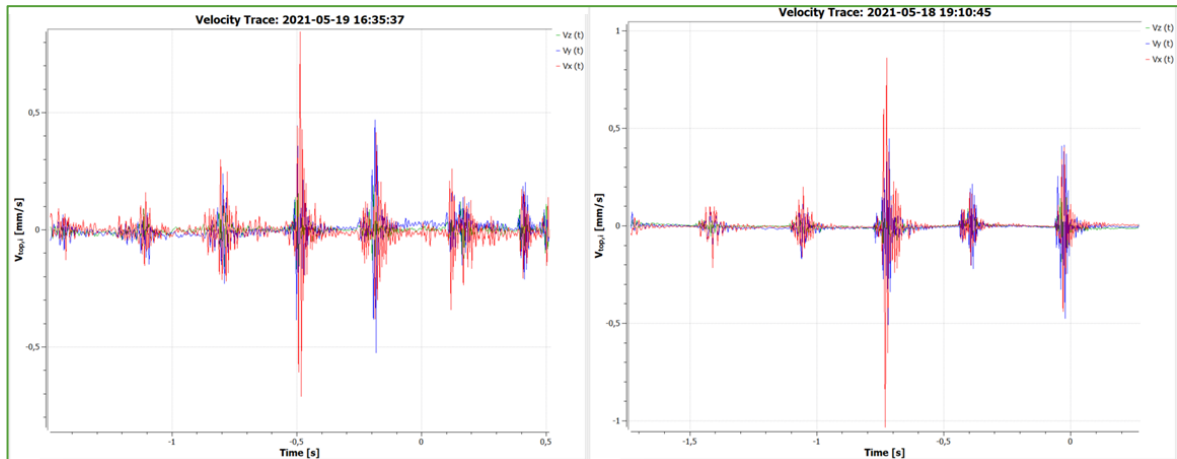
Uit nader onderzoek van de signaalkarakteristieken blijkt dat de gemeten trillingsniveaus op de fundering naar verwachting afkomstig zijn van treinpassages (waarschijnlijk goederentreinen). In Figuur 9 wordt van twee signalen de karakteristieken weergegeven. De signalen tonen duidelijke dominerende frequenties rond de 10 Hz, met een wat kleinere piek rond de 5 Hz.

Figuur 9 Twee trillingssignalen met relatief hoge niveaus op fundering.



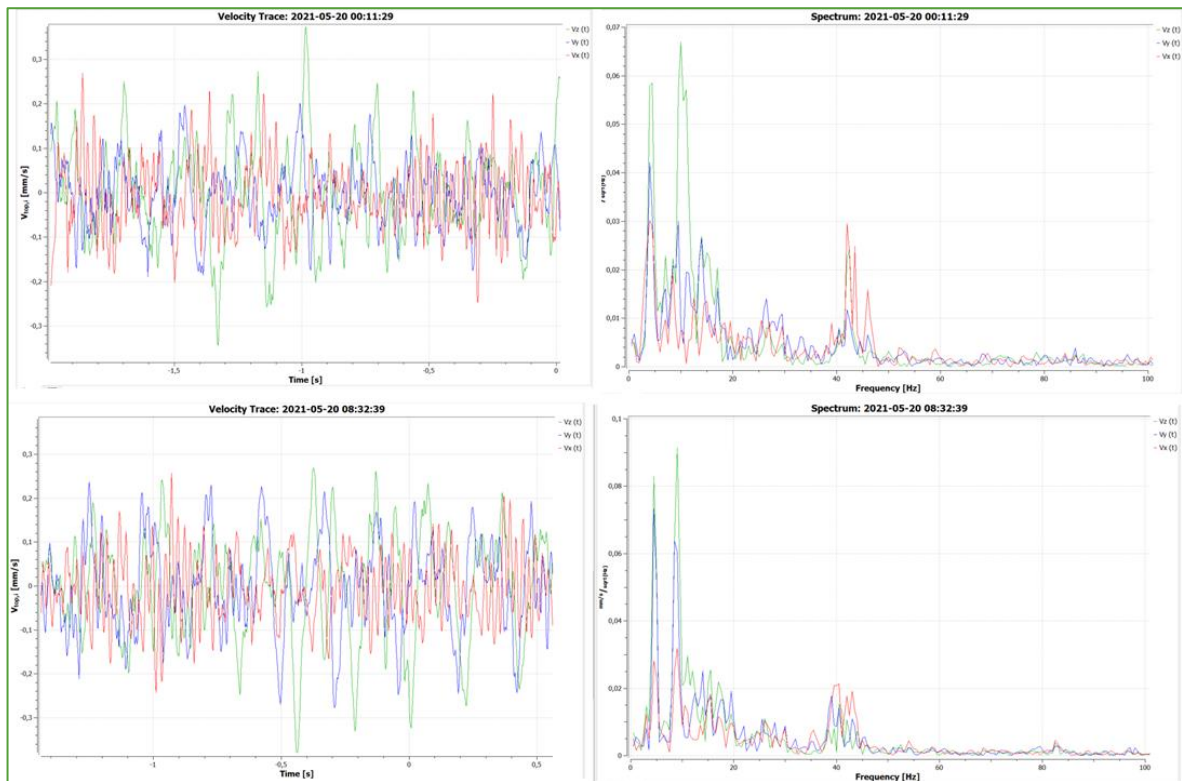
Voor het meetpunt op maaiveld blijkt dat de hoogst gemeten niveaus signaalkarakteristieken kennen die naar verwachting niet een goederentreinpassage als bron hebben. In Figuur 10 worden twee van deze signalen weergegeven. Verwacht wordt dat deze signalen het gevolg zijn van passerende voetgangers. Van passerende voetgangers geldt dat de stappen duidelijk zichtbaar zijn met een frequentie rond de 2-3 Hz. Deze frequentie is karakteristiek voor voetgangers.

Figuur 10 Gemeten signalen op maaiveld met hoge trillingsniveaus (verwachte bron lopen van personen).



Van de signalen op maaiveld waarvan wel wordt verwacht dat deze het gevolg zijn van passerende goederentreinen, worden in Figuur 11 twee maatgevende signalen weergegeven. De signalen zijn op dezelfde tijdstippen opgetreden als de signalen in Figuur 9 waardoor wordt verwacht dat het om dezelfde goederentreinpassages gaat. Uit een vergelijking met de signalen uit Figuur 9 volgt dat de frequentie-inhoud op maaiveld vergelijkbaar is met de frequentie-inhoud van de signalen aan de fundering. De signalen aan de fundering laten echter minder hoge frequentie-inhoud zien dan de signalen op maaiveld. Dit is in lijn met de verwachting, de fundering werkt als een soort filter die alleen lage frequenties doorlaat.

Figuur 11 Twee signalen met relatief hoge trillingsniveaus meetpunt 2 maaiveld (tijdsignaal links, frequentie-inhoud rechts).



Van zowel het meetpunt op maaiveld als aan de fundering zijn de vijf hoogst gemeten signalen met karakteristieken die naar verwachting het gevolg zijn van goederentreinen weergegeven in Tabel 6 en 7. Dikgedrukt zijn passages weergegeven die qua tijdstip overeenkomen en daarom waarschijnlijk het gevolg zijn van dezelfde passage.

Tabel 6 Top 5 hoogst gemeten niveaus locatie 1 fundering.

Datum*	Tijdstip*	$V_{\text{eff,max X}}$	$V_{\text{eff,max Y}}$	$V_{\text{eff,max Z}}$
20/05/2021	00:12:00	0,12	0,22	0,24
20/05/2021	08:33:00	0,11	0,2	0,23
18/05/2021	11:45:00	0,09	0,17	0,21
20/05/2021	00:11:30	0,08	0,14	0,2
19/05/2021	10:13:30	0,07	0,14	0,19

Tabel 7 Top 5 hoogst gemeten niveaus locatie 2 maaiveld.

Datum*	Tijdstip*	$V_{\text{eff,max X}}$	$V_{\text{eff,max Y}}$	$V_{\text{eff,max Z}}$
19/05/2021	08:31:00	0,14	0,15	0,16
20/05/2021	18:24:30	0,13	0,12	0,16
20/05/2021	08:33:00	0,13	0,12	0,15
19/05/2021	01:35:30	0,13	0,12	0,14
20/05/2021	00:11:30	0,13	0,11	0,14

*Tijdstip hoort bij z-richting.

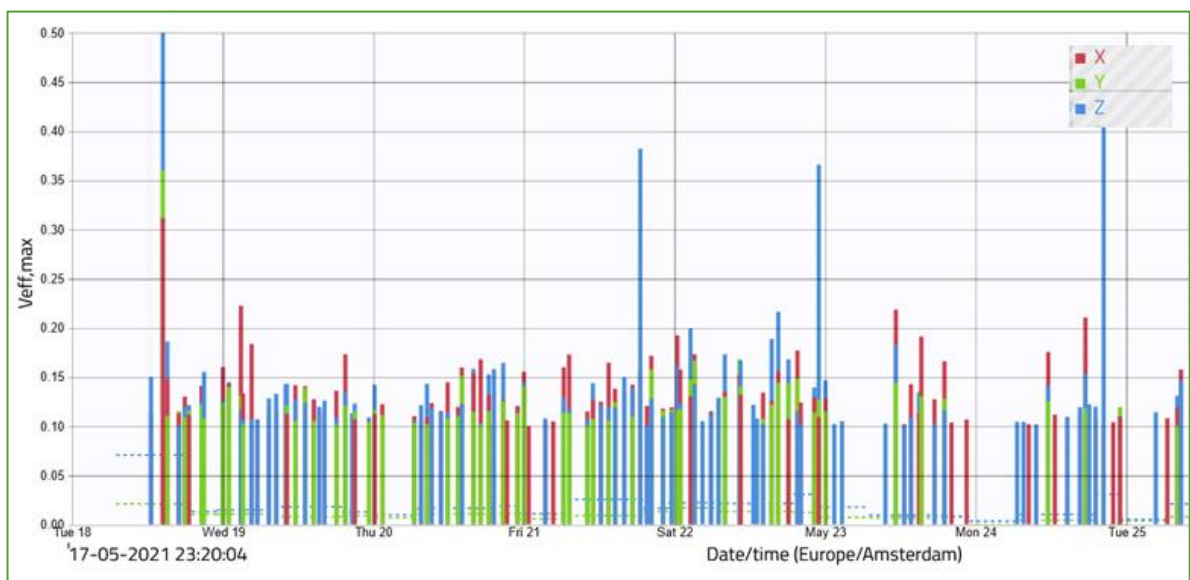
Uit Tabel 6 en 7 blijkt dat het gemeten trillingsniveau aan fundering hoger ligt dan op maaiveld. Wordt gekeken naar dezelfde passages dan ligt het gemeten niveau aan fundering een factor 1,5 – 1,7 hoger. Deze uitkomst is enigszins opmerkelijk omdat over het algemeen juist een afname in trillingsniveau wordt verwacht wanneer trillingen zich via maaiveld voortplanten de fundering in. Dit is dus voor de fabrieksstraat 10k niet gemeten, wat mogelijk duidt op een relatief slappe woning-en funderingsconstructie. Aangezien de trillingsgolven een lange golflengte kennen, zou dit betekenen dat het gebouw weinig weerstand biedt tegen de inkomende trillingsgolven. In hoofdstuk 6 wordt hier nader op ingegaan.

4.1.2 Meetpunten 3 t/m 6

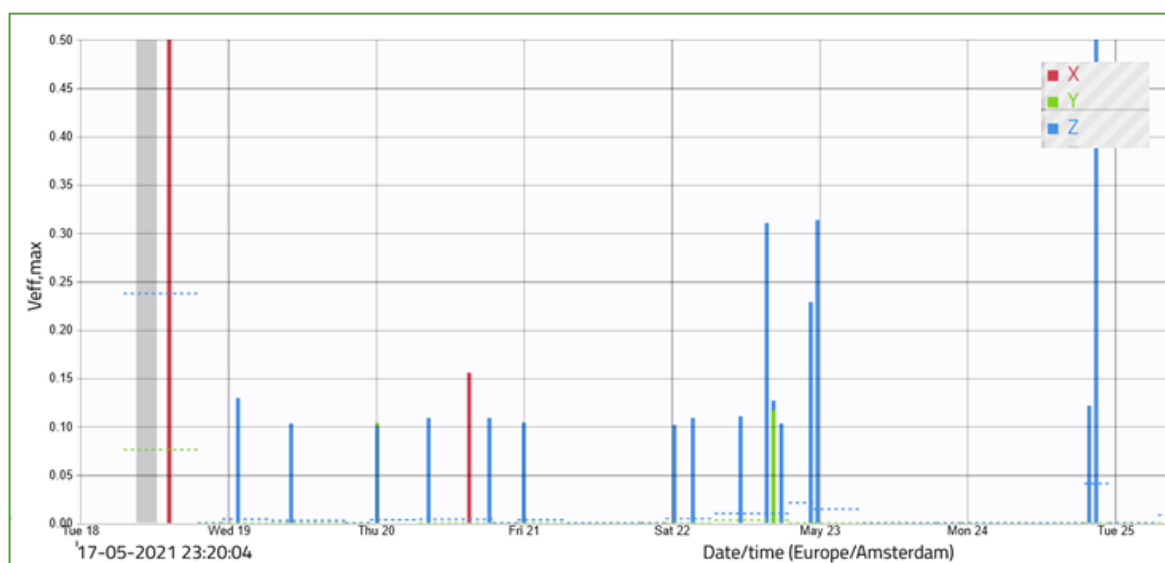
In Figuur 12 t/m 16 worden de gemeten $V_{eff,max}$ niveaus uitgezet tegen de tijd voor meetlocaties 3 t/m 6 welke in het plangebied liggen (zie Figuur 1). Uit de figuren blijken enkele opvallende punten:

- Op de meetpunten 3 en 4 worden enkele uitschieters gevonden in met name de verticale meetrichting;
- Op meetpunt 5 blijkt de horizontale Y-richting te domineren, wat opmerkelijk is. Dit is het meetpunt dat het verste weg van het spoor ligt. Mogelijk dat de meetresultaten zijn beïnvloed door andere bronnen (de planlocatie was aantrekkelijk om rond te hangen en kon gemakkelijk betreden worden);
- Meetpunt 6 laat gemiddeld de hoogste niveaus zijn. Wanneer dit meetpunt vergeleken wordt met meetpunt 3 zou een enigszins vergelijkbaar beeld verwacht worden omdat de punten vrijwel even ver van het spoor liggen. Dit blijkt niet het geval. Mogelijk heeft de verkeersdrempel gelegen vlak naast meetpunt 6 de meetresultaten beïnvloed en zijn de relatief hoog gemeten niveaus niet het resultaat van passerende goederentreinen.

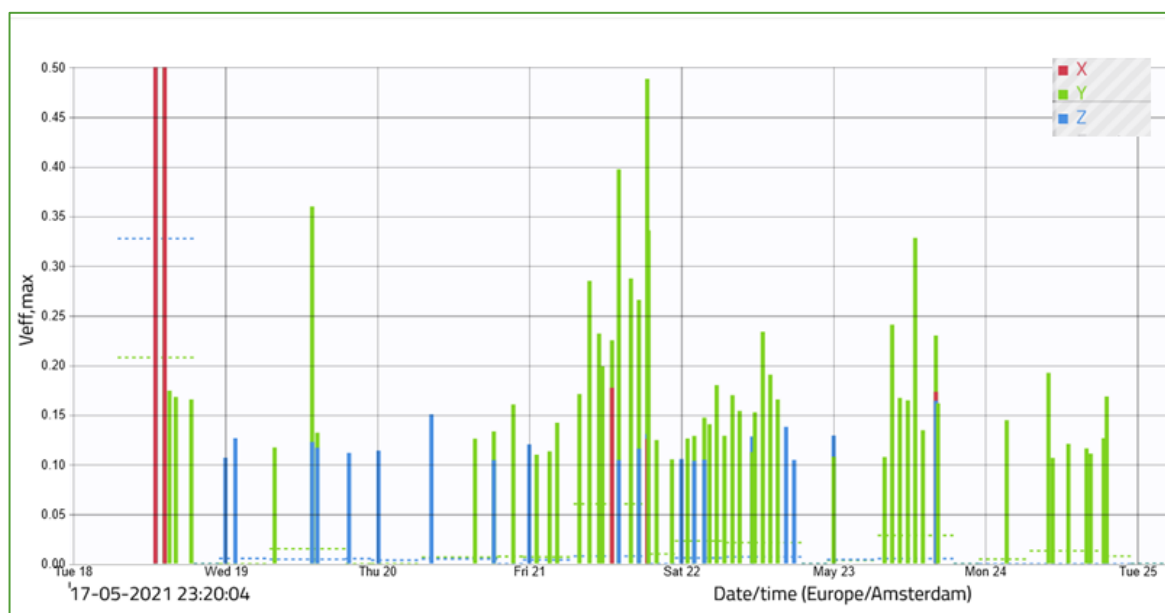
Figuur 12 $V_{eff,max}$ tegen de tijd meetpunt 3.



Figuur 13 $V_{eff,max}$ tegen de tijd meetpunt 4.



Figuur 14 $V_{eff,max}$ tegen de tijd meetpunt 5.



Figuur 15 $V_{\text{eff,max}}$ tegen de tijd meetpunt 6.



Filtering van stoorsignalen

Van de meetpunten 3 t/m 6 zijn geen karakteristieken van de trillingssignalen beschikbaar. Alleen het gemeten $V_{\text{eff,max}}$ -niveau is door de meetunits opgeslagen. Van de hoogst gemeten niveaus kan daarom niet op basis van de trillingskarakteristiek worden bepaald of het gemeten niveau het gevolg is van de treinpassage of dat een andere bron de oorzaak is.

Door de meetpunten met elkaar te vergelijken kunnen andere bronnen echter wel grotendeels uit de meetdata worden verwijderd. Wanneer het gemeten trillingsniveau het gevolg is van een goederentrein zou namelijk in ieder geval op de meetpunten 3 en 6 op hetzelfde tijdstip (30-secondeinterval) een registratie moeten zijn geweest. Een tweede criteria dat is gehanteerd, is om specifiek naar de nachtperiode te kijken. Deze periode is voor de toetsing volgens de SBR-richtlijn maatgevend en voor de nachtperiode (van 23:00-07:00) wordt verwacht dat er veel minder invloed is van andere bronnen zoals wegverkeer en passerende personen, terwijl goederenvervoer ook 's nachts passeert. Als derde criterium voor trillingen als gevolg van treinpassages is gesteld dat op maaiveld gemeten trillingsniveaus in verticale richting boven een bepaald niveau (0,18) ook tot trillingsniveaus in horizontale richting boven de $V_{\text{eff,max}}=0,1$ moeten leiden. Dit blijkt namelijk ook uit de meetpunten 1 en 2 voor de maatgevende goederentreinpassages.

Samengevat zijn de volgende criteria gehanteerd om een goed beeld van de gemeten trillingsniveaus als gevolg van enkel treinpassages (goederentreinen) te krijgen:

- Koppelen van andere meetlocaties aan tijdstippen gemeten niveaus meetpunt 3;
- Koppelen van verticale en horizontale meetrichtingen: Gemeten trillingsniveau in verticale richting boven 0,18? Dan in x- en y- richting boven de 0,1;
- Uitsluitend beoordelen van gemeten niveaus in nachtperiode.

In Tabel 8 t/m 11 worden de resultaten weergegeven van de 15 hoogst gemeten niveaus voor alle vier de meetpunten waarbij de drie bovenstaande criteria zijn toegepast. In de tabellen worden de 15 hoogst gemeten niveaus weergegeven en ook de statistisch bepaalde waarde op basis van deze 15 niveaus zoals omschreven in paragraaf 9.6 van de SBR-richtlijn deel B.

Tabel 8 Top 15 hoogst gemeten niveaus meetpunt 3 nachtperiode.

Datum*	Tijdstip*	V _{eff,max} X	V _{eff,max} Y	V _{eff,max} Z
22/05	02:32	0,22	0,17	0,20
22/05	02:33	0,19	0,15	0,20
22/05	02:52	0,18	0,14	0,18
22/05	02:28	0,17	0,14	0,18
22/05	23:32	0,16	0,14	0,17
22/05	00:26	0,16	0,13	0,16
23/05	00:30	0,16	0,13	0,15
22/05	23:32	0,16	0,13	0,15
20/05	23:59	0,16	0,12	0,15
19/05	00:58	0,16	0,12	0,14
22/05	03:10	0,16	0,12	0,14
20/05	00:11	0,15	0,12	0,14
19/05	01:35	0,15	0,12	0,14
22/05	03:32	0,14	0,12	0,14
22/05	03:27	0,14	0,12	0,13
V_{eff,max,stat}*		0,21	0,16	0,20

*Tijdstip hoort bij z-richting. De waarden van x- en y-meetrichtingen betreffen ook de hoogste waarden en kunnen op andere tijdstippen zijn opgetreden.

*V_{eff,max} na statistische bewerking.

Tabel 9 Top 15 hoogst gemeten niveaus meetpunt 4 nachtperiode.

Datum	Tijdstip*	V _{eff,max} X	V _{eff,max} Y	V _{eff,max} Z
22/05	23:01	0,00	0,10	0,14
19/05	01:35	0,00	0,00	0,13
23/05	00:03	0,00	0,00	0,11
22/05	03:27	0,00	0,00	0,11
22/05	23:00	0,00	0,00	0,11
22/05	23:00	0,00	0,00	0,11
22/05	23:01	0,00	0,00	0,11
20/05	23:59	0,00	0,00	0,10
22/05	00:27	0,00	0,00	0,10
20/05	00:11	0,00	0,00	0,10
18/05	22:19	0,00	0,00	0,00
18/05	22:20	0,00	0,00	0,00
18/05	22:20	0,00	0,00	0,00
18/05	22:21	0,00	0,00	0,00
18/05	22:21	0,00	0,00	0,00
V_{eff,max,stat}*		<0,1	0,1	0,13

*Tijdstip hoort bij z-richting. De waarden van x- en y-meetrichtingen betreffen ook de hoogste waarden en kunnen op andere tijdstippen zijn opgetreden.

*V_{eff,max} na statistische bewerking.

Tabel 10 Top 15 hoogst gemeten niveaus meetpunt 5 nachtperiode.

Datum	Tijdstip*	V _{eff,max} X	V _{eff,max} Y	V _{eff,max} Z
23/05	00:03	0,00	0,18	0,13
19/05	01:35	0,00	0,17	0,13
20/05	23:59	0,00	0,15	0,12
20/05	00:11	0,00	0,14	0,11
19/05	00:01	0,00	0,14	0,11
22/05	00:01	0,00	0,14	0,11
22/05	03:38	0,00	0,13	0,10
22/05	02:03	0,00	0,13	0,10
18/05	22:19	0,00	0,13	0,00
18/05	22:20	0,00	0,12	0,00
18/05	22:20	0,00	0,12	0,00
18/05	22:21	0,00	0,12	0,00
18/05	22:21	0,00	0,12	0,00
18/05	22:22	0,00	0,12	0,00
18/05	22:22	0,00	0,12	0,00
V_{eff,max,stat}⁺		<0,1	0,17	0,13

*Tijdstip hoort bij z-richting. De waarden van x- en y-meetrichtingen betreffen ook de hoogste waarden en kunnen op andere tijdstippen zijn opgetreden.

⁺V_{eff,max} na statistische bewerking.

Tabel 11 Top 15 hoogst gemeten niveaus meetpunt 6 nachtperiode.

Datum	Tijdstip*	V _{eff,max} X	V _{eff,max} Y	V _{eff,max} Z
24/05	23:00	0,43	0,47	0,19
19/05	02:53	0,37	0,40	0,19
21/05	06:20	0,37	0,32	0,17
25/05	00:06	0,36	0,30	0,17
19/05	05:12	0,33	0,29	0,16
19/05	06:03	0,32	0,28	0,16
19/05	02:35	0,32	0,27	0,16
22/05	23:32	0,31	0,26	0,15
24/05	23:15	0,30	0,25	0,15
22/05	05:49	0,28	0,25	0,14
20/05	06:31	0,28	0,24	0,14
22/05	02:52	0,27	0,24	0,14
25/05	06:03	0,27	0,24	0,14
19/05	00:01	0,27	0,23	0,14
19/05	00:45	0,27	0,23	0,14
V_{eff,max,stat}⁺		0,41	0,44	0,19

*Tijdstip hoort bij y-richting. De waarden van x- en y-meetrichtingen betreffen ook de hoogste waarden en kunnen op andere tijdstippen zijn opgetreden.

⁺V_{eff,max} na statistische bewerking.

Worden de resultaten in Tabel 8 t/m 11 vergeleken met elkaar en met de resultaten van meetpunten 1 en 2, dan blijkt dat meetpunt 3 een vergelijkbaar beeld geeft als meetpunt 2. Zo worden enkele tijdstippen waarop hoge niveaus zijn gemeten op meetpunt 2 (en ook 1) ook teruggevonden in meetpunt 3 (bijvoorbeeld op 20/05

00:11 en 19/05 01:35). Ook de gemeten niveaus zijn orde grootte hetzelfde. Op meetpunten 4 en 5 worden lagere niveaus gevonden wat in lijn is met de verwachting omdat deze punten verder van het spoor liggen. Daarbij blijft voor meetpunt 5 de Y-richting enigszins opmerkelijk gezien de hogere niveaus ten opzichte van meetpunt 4. Meetpunt 6 toont in verticale richting een vergelijkbaar beeld met meetpunten 3 en 2, maar in beide horizontale richtingen worden aanmerkelijk hogere niveaus gevonden. De hogere horizontale niveaus zijn opmerkelijk en wijken af van het totale beeld van de andere meters. Daarbij geldt dat de verhouding tussen horizontale en verticale niveaus dermate groot is dat dit afwijkt van wat we normaliter bij spoortrillingen meten.²

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 aantal opgetreden $V_{eff,max}$ -niveaus binnen de periode met een waarde boven de $V_{eff,max} = 0,1$. De resultaten van de hoogst gemeten V_{per} -niveaus worden weergegeven in Tabel 12. Dit zijn niveaus waarin geen filtercriterium is toegepast, behalve dat de perioden waarin de meters zijn geplaatst buiten beschouwing zijn gelaten. Voor de gemeten V_{per} -niveaus geldt gelijk aan de gemeten $V_{eff,max}$ niveaus dat meetpunt 6 opvalt in X- en Y-richting. De streefwaarde voor V_{per} bedraagt 0,05 en wordt niet overschreden.

Tabel 12 Hoogst gemeten niveaus V_{per} meetlocaties 1 t/m 3.

Datum	V_{per} X	V_{per} Y	V_{per} Z
Meetpunt 3	0,02	0,02	0,03
Meetpunt 4	0,00	0,00	0,01
Meetpunt 5	0,01	0,03	0,01
Meetpunt 6	0,05	0,04	0,03

² Bij spoortrillingen kan zowel de horizontale als de verticale meetrichting maatgevend zijn. Dit is sterk situatie afhankelijk. Wel wordt doorgaans bij een uitwijking in horizontale richting ook een uitwijking in verticale richting gevonden die in dezelfde orde grootte ligt. In dit geval blijkt voor meetpunt 6 dat de horizontale richting een factor 3-4 hoger ligt dan de verticale richting (wanneer voor dezelfde passages gekeken wordt naar de verschillende meetrichtingen). Dat is een bijzonder groot verschil.

5

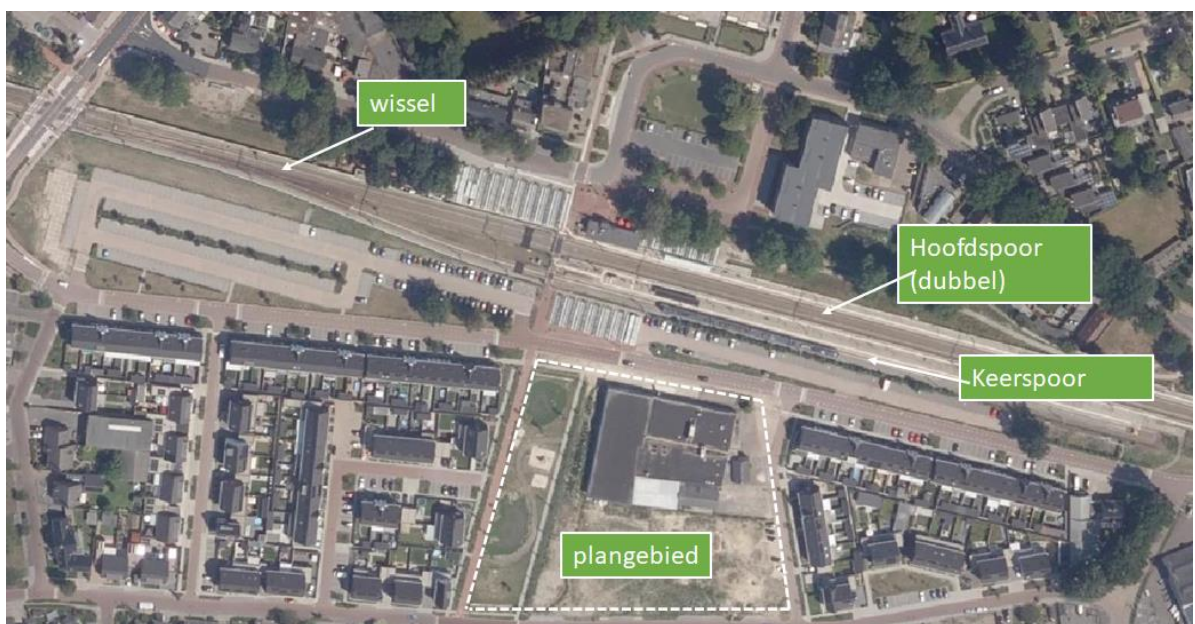
QUICK SCAN

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 Treinbeeld

Figuur 16 geeft een overzicht van het spoor nabij het plangebied. Het spoor naast het plangebied betreft de spoorlijn van Eindhoven richting Helmond/Venlo. Op deze corridor vindt veel personen- en goederenvervoer plaats. Er rijden vier sprinters en vier intercity's per uur per richting in de spitsuren. De sprinters keren op station Deurne. Figuur 17 geeft van beide typen treinen een voorbeeld. Daarbij geldt dat het spoor ter plaatse van het plangebied onderdeel uitmaakt van de Brabanthoroute. Dit betreft goederenvervoer dat vanuit Rotterdam via Eindhoven naar het oosten richting Duitsland rijdt. De intensiteit van het goederenvervoer varieert per week, maar er is vrijwel altijd sprake van meerdere goederentreinpassages per dag. In Figuur 18 wordt een passerende goederentrein getoond.

Figuur 16 Situatie spoor nabij plangebied.



Figuur 17 Passerende treinen richting (links type VIRM op hoofdspoor, rechts type SLT op keerspoor).



Figuur 18 Passage goederentrein op hoofdspoor.



Toekomstige situatie goederenvervoer

In verband met werk aan het spoor van de Betuweroute juist over de grens in Duitsland wordt regelmatig goederenvervoer omgeleid via de Brabantroute. Dit maakt dat het aantal goederentreinpassages varieert per week. In de toekomst wordt verwacht dat de omleiding over de Brabantroute niet meer nodig is wanneer het werk aan de Betuweroute afgerond is. Uit de trillingsmetingen blijkt dat een behoorlijk aantal goederentreinen is gemeten (tientallen). De trillingsmetingen geven naar verwachting daarom een goed beeld van de huidige situatie. Wat betreft aantallen goederentreinpassages is dit mogelijk conservatief met het oog op de toekomst, al is niet duidelijk of er ten tijde van de trillingsmetingen ook sprake was van omgeleid goederenvervoer.

5.2 Spooropbouw en onregelmatigheden

Het spoor ter plaatse van station Deurne kent een doorgaand dubbel hoofdspoor. Daarnaast is er een keerspoor aanwezig. In Figuur 19 worden beiden weergegeven. Ter plaatse van station Deurne is een voetgangersovergang, zie Figuur 20. Er zijn ter plaatse van het station verschillende ES-lassen aanwezig in het spoor (zie ook Figuur 19). Het keerspoor sluit met een wissel ten westen van het station aan op het hoofdspoor (zie Figuur 21). Zowel wissels als ES-lassen betreffen onregelmatigheden in het spoor en kunnen lokaal tot een

verhoogd trillingsniveau leiden. Het invloedsgebied van een dergelijk onregelmatigheid bedraagt 50-100 meter. Er wordt een mogelijk beperkte invloed verwacht op het plangebied.

Figuur 19 Spoorbaan ter plaatse van station Deurne: keerspoor (links), doorgaand hoofdspoor (rechts).



Figuur 20 Voetgangersovergang station Deurne (hoofdspoor).



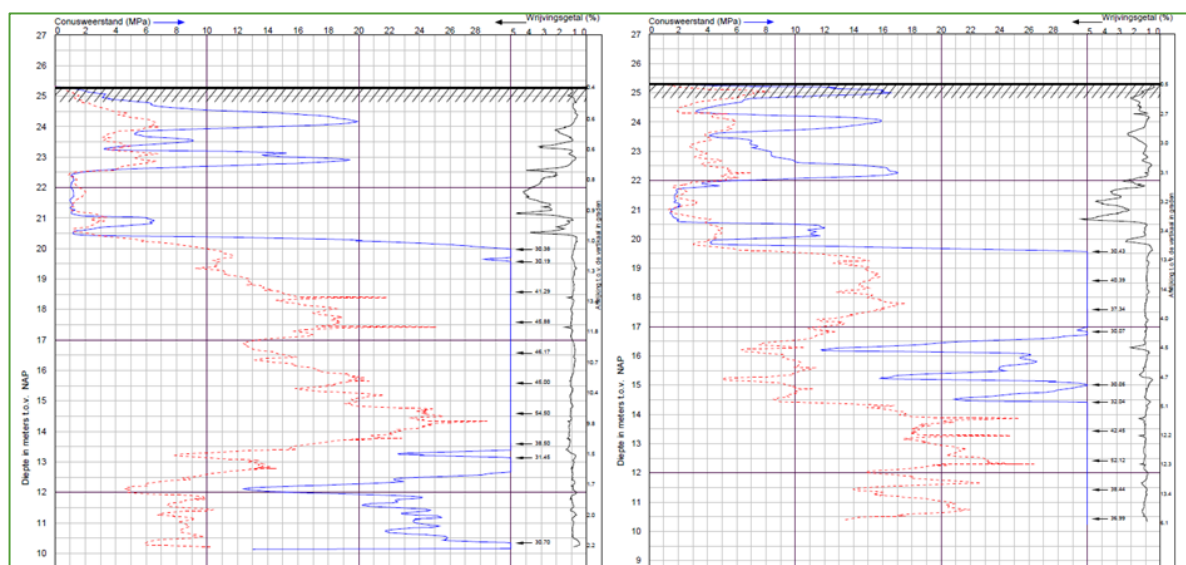
Figuur 21 Passage goederentrein over hoofdspoor nabij station (links) en wissel in spoor gezien vanaf station (rechts).



5.3 Bodemopbouw

Door Lankelma B.V. is grondonderzoek uitgevoerd in het plangebied. Twee sonderingen worden getoond in Figuur 22. De sonderingen zijn genomen ter plaatse van het noordwestelijke appartementencomplex (links) en het noordoostelijke complex (rechts). De sonderingen laten een vergelijkbaar beeld zien, namelijk dat een zeer stijve zandlaag ongeveer 5 meter onder maaiveld aanwezig is en daarboven een pakket van ongeveer 5 meter dik met losser zand en een wat slappere 2 meter dikke laag. Op basis van de sondeergegevens valt een paalfundering van ongeveer 7 meter diep te verwachten.

Figuur 22 Twee sonderingen zijde spoor ter plaatse van beide appartementencomplexen (bron: grondonderzoek van Lankelma)



6

PREDICTIE TOEKOMSTIGE NIEUWBOUW

6.1 Voorzien ontwerp

In Figuur 23 wordt een beeld gegeven van de voorziene nieuwbouw vanuit Zuidwestelijke en Noordoostelijke zijde. Het spoor ligt aan de Noordoostelijke zijde waaraan op beide hoeken een appartementencomplex is voorzien. Het Noordoostelijke appartementencomplex kent 6 wooneenheden, het Noordwestelijke complex 9 wooneenheden. Tussen de twee complexen worden 8 rijwoningen voorzien. Het constructie ontwerp van de toekomstige nieuwbouw is in conceptvorm uitgewerkt door Bolwerk Weekers adviesbureau voor bouwconstructies.

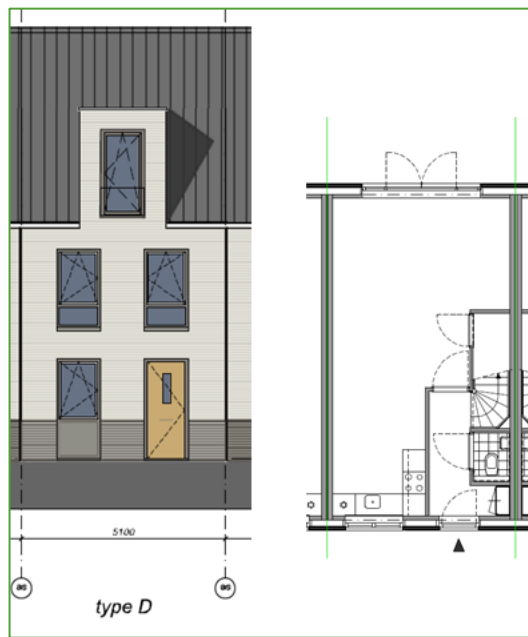
Figuur 23 Indeling plangebied (zijde spoor betreft de Noord-Oostzijde).



Figuur 24 Vooraanzicht spoorzijde van de nieuwbouw.



Figuur 28 Vooraanzicht en plattegrond rijwoningen.



In Figuur 24 t/m 28 worden impressies gegeven van de twee appartementencomplexen en rijwoningen. Voor beide appartementencomplexen geldt dat de dragende muren kalkzandstenen binnenmuren betreffen met een dikte van 214 mm. Voor de rijwoningen is de dragende kalkzandstenen binnenmuur enkel 120 mm dik. Voor de rijwoningen geldt dat er ankerloze spouwmuren worden voorzien als binnenmuur. Ankerloze spouwmuren worden toegepast om akoestische ont koppeling te realiseren maar zorgen ook voor constructieve ont koppeling tussen de rijwoningen wat maakt dat de rijwoningen geen constructieve stijfheid van hun 'buurman' ondervinden. De rijwoningen kennen in vergelijking tot de appartementencomplexen relatief weinig stijfheid. In Tabel 13 wordt een samenvatting van de constructieve eigenschappen gegeven, zoals die worden voorzien.

Tabel 13. Constructieve eigenschappen rijwoningen en appartementencomplexen.

Eigenschap	Beschrijving
Type materiaal	Kalkzandsteen en metselwerk
Hoofddraagconstructie	Dragende binnenmuren van kalkzandsteen (120 mm dik). Ankerloze spouwmuren. Buitenmuren metselwerk.
Type dak	Scharnierkap met dragende knieschotten op 2 ^e verdieping
Type vloer	Beganegrond: ribcasette vloer, verdiepingen: breedplaatvoeren 250 mm dik
Type fundering	Paalfundering (betonstroken met relatief korte palen eronder waarschijnlijk avegaar palen ongeveer 7 meter lang) Balkenrooster 40x50 cm.

Tabel 14. Informatie woningeigenschappen appartementencomplexen.

Eigenschap	Beschrijving
Type materiaal	Kalkzandsteen en metselwerk
Hoofddraagconstructie	Dragende binnenmuren kalkzandsteen (214 mm dik). Muren en vloeren ont koppeld (akoestisch) Buitenmuren metselwerk.
Type dak	Stalen spanten op betonvloer met houten gordingen
Type vloer	Beganegrond: kanaalplaatvloer, verdiepingen breedplaatvloeren 280 mm (met voorspanning)
Type fundering	Paalfundering (betonstroken met palen eronder, waarschijnlijk avegaar palen). Balkenrooster.

Fundering

Het funderingsontwerp is nog niet geheel uitgewerkt, maar voorzien wordt een strokenfundering met palen. De palen zullen een relatief korte lengte hebben (mogelijk een lengte van ongeveer 7 meter) waardoor verwacht wordt dat de overdacht van trillingsgolven in de bovenste grondlaag³ naar de fundering beperkt wordt beïnvloedt door de aanwezigheid van palen. Dat wil zeggen dat de palen waarschijnlijk weinig stijfheid toevoegen ten opzichte van de strokenfundering, als wordt gekeken naar hoe trillingsgolven zich voortplanten⁴. De funderingen van de appartementencomplexen zullen naar verwachting iets zwaarder worden uitgevoerd dan voor de rijwoningen vanwege de grotere bovenbelasting. In de volgende paragraaf wordt hierop ingegaan.

Vergelijking met woning waaraan is gemeten

Aan de woning op de hoek naast het plangebied met adres Fabriekstraat 10k (Figuur 29) is aan de fundering en op maaiveld gemeten. Deze woning heeft naar verwachting een vergelijkbaar ontwerp als de voorziene nieuwbouwwoningen in het plangebied. Er is niet bekend of de woning aan de Fabriekstraat 10k een ankerloze spouwmuur als binnenmuur heeft, maar opvallend aan de meetresultaten is dat het trillingsniveau op fundering hoger ligt dan op maaiveld. Dit wijst mogelijk op het feit dat de woningconstructie (inclusief fundering) weinig stijfheid kent met het oog op inkomende trillingsgolven in de bodem vanuit het spoor. Om te bewerkstellingen dat de trillingsniveaus in de woning juist afnemen ten opzichte van maaiveld, is het zaak om voldoende stijfheid en massa te realiseren.

Figuur 29 Woning aan de Fabriekstraat 10k.



6.2 Predictie toekomstige niveaus

Voor het bepalen van het verwachte trillingsniveau binnenin de woning midden op de vloer 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.

³ Rayleigh-golven, of oppervlaktegolven.

⁴ Het doel van de palen is om draagkracht te verhogen.

Op de verschillende onderdelen wordt kort ingegaan.

Overdracht van bodem naar fundering

Over het algemeen kan gesteld worden dat het trillingsniveau op 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. 5].

Uit de meting aan de nieuwbouwwoning aan Fabrieksstraat 10k blijkt dat voor de rijwoning het niveau van fundering ten op zichte van maaiveld niet is afgenomen maar juist is toegenomen. Een verklaring kan gevonden worden in enerzijds de relatief lage frequentie-inhoud van de trillingsignalen door goederentreinen (pieken hoofdzakelijk bij 10 Hz en ook bij 5 Hz) en de stijve zandondergrond wat leidt tot lange golflengtes en anderzijds de relatief beperkte stijfheid die de rijwoningen mogelijk bezitten⁵.

Aangezien de verwachting is dat de voorziene nieuwe rijwoningen een vergelijkbaar karakter kennen als de nieuwbouwwoningen aan de Fabrieksstraat 10k waaraan is gemeten, wordt gerekend met een mogelijke toenamefactor in trillingsniveau van maaiveld naar fundering van 1,5-1,7 voor de rijwoningen. Voor de appartementencomplexen geldt dat er sprake is van een massievere fundering en bovenliggende constructie en wordt een factor 0,7 gehanteerd.

Met het oog op de voorziene nieuwbouw is het vooral van belang dat zoveel mogelijk stijfheid en massa in de fundering en gebouwconstructie wordt gecreëerd.

De overdracht van trillingen in de bodem naar fundering kan worden gereduceerd door een stijve massieve fundering te realiseren.

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 damping. 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 opslinging in het midden van de vloer.

De appartementencomplexen kennen dragende binnenmuren van kalkzandsteen 214 mm dik, de rijwoningen kennen dragende binnenmuren van kalkzandsteen van enkel 120 mm dik. De appartementencomplexen kennen naar verwachting daarom een behoorlijk hogere stijfheid dan de rijwoningen.

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 opslinging hangt vervolgens af van hoeveel

⁵ Van de nieuwbouwwoning aan de Fabrieksstraat 10k is niet bekend of er sprake is van ankerloze spouwmuren maar in ieder geval dient er bij de nieuwe rijwoningen zoveel mogelijk stijfheid en massa te worden gerealiseerd.

damping 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 2⁶.

Opslingering vindt plaats wanneer de eigenfrequentie van een vloer vrijwel gelijk is aan de dominante frequentie van een trillingssignaal als gevolg van treinverkeer. Op basis van de gegevens van de breedplaatvloeren is een inschatting gemaakt van de eigenfrequentie van de verdiepingsvloeren van zowel de rijwoningen als de appartementencomplexen. In Tabel 15 wordt het resultaat gegeven. Opgemerkt moet worden dat het om een schatting gaat.

Tabel 15. Schatting eigenfrequenties verdiepingsvloeren⁷.

Veff,max maaiveld	eigenfrequenties
Appartement	8 - 10 Hz
Grondgebonden woningen	8 - 10 Hz

Uit Tabel 15 blijkt dat de eigenfrequenties van de vloeren naar verwachting tussen de 8 en 10 Hz liggen. Wordt gekeken naar de frequentie-inhoud van de maatgevende signalen in verticale richting (Figuur 9 en 10) dan werd geconcludeerd dat de meeste frequentie-inhoud rond de 10 Hz ligt. Oftewel, opslingering van vloeren kan optreden.

Op basis van de voorgaande constructieve eigenschappen is een prognose van trillingsniveaus gemaakt voor zowel de appartementencomplexen als de rijwoningen. Hierbij is rekening gehouden met het feit dat breedplaatvloeren massief zijn, in tegenstelling tot kanaalplaatvloeren, wat enigszins gunstig werkt. Het feit dat de binnenmuren opgetrokken worden uit kalkzandsteen resulteert naar verwachting in iets meer damping dan bijvoorbeeld prefab betonnen platen. De voorgestelde opslingeringsfactoren zijn samengevat in Tabel 16.

Tabel 16. Opslinderingsfactoren per woningtype.

Veff,max maaiveld	Woningen	Appartementencomplex
Voorgestelde opslingeringsfactor ten op zichte van fundering	a.g.v. verticale meetrichting factor 1,0-1,5 a.g.v. horizontale meetrichting* factor 1,0 – 1,5	a.g.v. verticale meetrichting factor 1,0-1,5 a.g.v. horizontale meetrichting* factor 1,0 – 1,5

* Er wordt gerekend met een opslingeringsfactor 1,5 in plaats van 2,0 in verticale richting vanwege het feit dat er sprake is van breedplaatvloeren.

Resultaten van de predictie

Worden de factoren zoals voorgesteld voor de overdracht en opslingering toegepast op de gemeten trillingsniveaus in de bodem, dan volgt een predictie van trillingsniveau op vloerniveau zoals weergegeven in

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

⁷ De vloeren op begane grond van zowel het appartementencomplex als de grondgebonden woningen kennen breedplaatvloeren. De eigenfrequenties voor de begane grond zullen mogelijk verschillen van de verdiepingsvloeren omdat op begane grond ribcassettevloeren worden toegepast.

Tabel 17. De resultaten voor de nachtperiode worden getoond omdat voor de nachtperiode strengere streefwaarden gelden (zie Tabel 3)⁸.

Tabel 17. Predictie van verwachte niveaus $V_{\max}^*$.

Maximaal gemeten $V_{\text{eff,max}}$ maaiveld	Prognose trillingsniveaus $V_{\max}$
Rijwoningen Maaiveld verticaal: 0,20	0,30-0,50
Rijwoningen Maaiveld horizontaal: 0,21	0,30-0,50
Appartementencomplexen Maaiveld verticaal: 0,20	0,14-0,21
Appartementencomplexen Maaiveld horizontaal: 0,21	0,15-0,22

*De predictie van trillingsniveaus kent altijd een mate van onzekerheid. De spreiding in de voorziene trillingsniveaus resulteert o.a. uit het wel of niet optreden van opslinging.

De predictie van trillingsniveaus in Tabel 17 betreffen waarden die geschat zijn op basis van ervaring met meetresultaten en factoren zoals deze in literatuur worden gegeven. Met een project-specifieke modelberekening met een eindige-elementenmodel kan een nauwkeurigere schatting worden verkregen.

In de predictie is alleen ingegaan op $V_{\max}$ -niveaus omdat de toetsing van $V_{\max}$ maatgevend is. Wordt de prognose van trillingsniveaus vergeleken met de streefwaarden voor nieuwbouw (zie Tabel 3), dan blijkt dat een overschrijding van de streefwaarde voor wonen voor zowel de dag-/avond- als de nachtperiode wordt gevonden. De nachtperiode is bij de toetsing maatgevend waarvoor de streefwaarde $A_2=0,2$ bedraagt. De verwachte overschrijding voor de appartementencomplexen is beperkt te noemen, maar de overschrijding voor de rijwoningen is behoorlijk wanneer er sprake is van opslinging.

Tweedelijsbebouwing

Voor de tweedelijsbebouwing zijn meetpunten 4 en 5 representatief. De gemeten niveaus liggen lager vanwege de grotere afstand tot het spoor. Het hoogst gemeten verticale trillingsniveau van de meetpunten 4 en 5 bedraagt $V_{\text{eff,max}}=0,13$ ($V_{\text{eff,max,stat}}$) ten op zichte van 0,20 op meetpunt 3. In de prognose voor de eerstelijsbebouwing is uitgegaan van opslinging én een verhoging tussen maaiveld en fundering. De tweedelijsbebouwing ligt haaks georiënteerd op het spoor wat gunstiger is t.o.v. de eerstelijsbebouwing. Van een verhoging tussen maaiveld en fundering is daarom naar verwachting geen sprake. In dat geval is er geen sprake van een overschrijding. Dit dient echter bij nader onderzoek uitgewerkt te worden.

⁸ Het verschil tussen gemeten trillingsniveaus $V_{\text{eff,max}}$ voor de dag-/avond- en nachtperiodes blijkt beperkt te zijn. De nachtperiode is daarom maatgevend. In Bijlage I worden de resultaten voor zowel de dag-/avond- als nachtperiode voor meetpunten 2 en 3 weergegeven.

7

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusies

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

- Op zes locaties zijn trillingsmetingen uitgevoerd. De meetpunten 1 en 2 zijn gekozen om een indruk te krijgen van een vergelijkbare rijwoning naast het plangebied met adres Fabriekstraat 10k. De meetpunten 3 t/m 6 zijn gekozen om de optredende niveaus als gevolg van treinverkeer op maaiveld in het plangebied te bepalen. De meetpunten laten in verticale meetrichting een consistent beeld zien. In de horizontale meetrichting wijken meetpunt 5 en 6 af omdat relatief hoge uitslagen zijn gemeten;
- Op de meetlocaties 2 t/m 6 zijn naast treintrillingen ook andere bronnen gemeten waaronder het lopen van personen en wegverkeer over nabijgelegen verkeersdrempels. Om andere bronnen zoveel mogelijk uit de meetdata te filteren zijn enkele criteria toegepast waaronder dat enkel naar de nachtperiode is gekeken;
- Uit de meting aan de fundering van de Fabrieksstraat 10k en op maaiveld er vlak naast blijkt dat de hoogst gemeten niveaus van treinpassages (goederentreinen) op de fundering hoger lijken te liggen dan op maaiveld, met een factor maximaal 1,5-1,7. Doorgaans liggen de niveaus aan de fundering juist lager dan op maaiveld. Verondersteld wordt dat deze hoge factoren het gevolg zijn van de beperkte stijfheid van de woningen, als gevolg van ankerloze spouwmuren, in combinatie met een lichte constructie;
- De frequentie-inhoud van de signalen laat een consistent beeld zien waarbij de maatgevende piek rond 10 Hz ligt en ook een piek gevonden wordt rond 5 Hz;
- Op maaiveld wordt in verticale richting op de meetpunten 3 en 6 een maximaal trillingsniveau gevonden als gevolg van goederentreinpassages van $V_{\max} = 0,2$ en $0,19$ respectievelijk. Op meetpunt 2 (vlak naast de Fabriekstraat 10k) is over een periode van 3 dagen⁹ een maximaal niveau van $0,16$ gemeten. De waarde van $0,2$ is gehanteerd als uitgangspunt voor de prognose;
- Voor de horizontale meetrichting is meetpunt 6 uiteindelijk buiten beschouwing gelaten vanwege de hoge niveaus die afwijken van het beeld van de andere meetpunten. Waarschijnlijk heeft een andere bron (bijvoorbeeld de verkeersdrempel met putten erin) de horizontale meetresultaten beïnvloedt. Voor de prognose is de horizontale meetrichting op meetpunt 3 gehanteerd waarvoor een $V_{\max}$ niveau van $0,21$ is gevonden;
- Uit de prognose van trillingsniveaus voor de rijwoningen en appartementencomplexen volgt dat mogelijk een overschrijding van de streefwaarde A2 voor nieuwbouw volgens de SBR-richtlijn wordt verwacht. De overschrijding voor de appartementencomplexen is beperkt te noemen, namelijk $V_{\max}$

⁹ De twee meters nabij de Fabrieksstraat 10k toonden na drie dagen een storing waardoor van drie dagen meetdata beschikbaar is. De meetdata is voldoende om een goed beeld te krijgen.

=0,22 daar waar de streefwaarde A2(voor de nachtperiode) 0,2 bedraagt. Voor de rijwoningen wordt een grotere overschrijding verwacht, met een maximale $V_{\max}$ van 0,5.

- De overschrijding voor de rijwoningen is het gevolg van de beperkte stijfheid die de woningen kennen¹⁰ in combinatie met de verwachte relatief lange golflengtes van trillingsgolven als gevolg van spoortrillingen. De lange golflengtes komen door de lage frequentie-inhoud en relatief stijve ondergrond;
- Op basis van de huidige resultaten valt hinder als gevolg van spoortrillingen niet uit te sluiten voor met name de rijwoningen.

7.2 Aanbevelingen

Hinder als gevolg van spoortrillingen valt op basis van de huidige resultaten niet uit te sluiten voor met name de rijwoningen. Voor de appartementencomplexen wordt een overschrijding gevonden die beperkt te noemen is. Om hinder als gevolg van spoortrillingen te voorkomen wordt aanbevolen nader onderzoek te doen. Aanbevolen wordt het toepassen van mitigerende maatregelen uit te werken.

Bij mitigerende maatregelen kan gekeken worden naar de gebouwconstructie (ontvanger), de bodem (overdracht) en het spoor (de bron). Aangezien het spoor reeds aanwezig is, is de bron een gegeven. Bij maatregelen aan de bodem kan gedacht worden aan:

- Diepe sloot tussen woningen en spoor;
- Een betonnen wand (scherm) in de bodem tussen woningen en spoor;
- Damwanden in de bodem tussen woningen en spoor;
- Andere stijve massieve elementen in de bodem tussen woningen en het spoor.

Gezien de locatie is er beperkte ruimte voor dergelijke maatregelen en daarbij geldt dat de maatregelen erg kostbaar zijn. Aanbevolen wordt te zoeken naar maatregelen aan het gebouw zelf. Hierbij kan gedacht worden aan:

- Verstijven van de fundering door bijvoorbeeld plaatfundering;
- Fundering inpakken;
- Gebouwconstructie stijver maken door dikkere wanden en/of koppeling van binnenmuren;
- Opslingering van vloeren voorkomen;
- Afveren van woningen: ontkoppelen van bovenbouw met fundering middels trillingsisolatoren.

Niet elke maatregel heeft altijd effect. Dit heeft te maken met de situatie, zoals de maatgevende golflengtes ten opzichte van de geometrie en massa- en stijfheidsverdeling van het gebouw en de dominante frequenties in het trillingsignaal. Aanbevolen wordt om vervolgonderzoek te doen alvorens een maatregel uitgewerkt kan worden.

Als vervolgstappen bevelen wij u aan:

1. Modelmatige analyse van de verwachte gebouwresponsie van de rijwoningen en mogelijk het appartementencomplex;
2. Met constructeur bespreken welke mogelijkheden tot verstijven van de gebouwconstructies er zijn en het effect hiervan bepalen met rekenmodellen uit stap 1;
3. Inschatting van kosten en het verwachte reducerende effect overzichtelijk maken.

¹⁰ Hierbij dient aangemerkt te worden dat verondersteld is dat ook de hoge overdrachtsfactor van de ondergrond naar de fundering voor Fabrikstraat 10k ook het gevolg is van een relatief lage gebouwstijfheid.

Op basis van bovenstaande drie stappen kan een keuze gemaakt worden welke toe te passen maatregelen als doelmatig worden beschouwd en kunnen worden toegepast.

REFERENTIES

1. Stichting Bouw Research (2006). SBR-richtlijn deel B: Hinder voor personen in gebouwen.
2. Tekeningen VO Spoorzone Deurne, EAA Architectuur en stedenbouw (2021).
3. Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen (2019). Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
4. Federal Transit Administration (2006). Transit Noise and Vibration Impact Assessment.
5. CUR Bouw en Infra (2012). 166 Damwandconstructies, 6^e herziene druk.