



## Autorisatieblad

### Maastricht Burgemeester Bauduinstraat

#### Verkennd onderzoek trillingen en laagfrequent geluid

	<b>Naam</b>	<b>Akkoord</b>	<b>Datum</b>
Opgesteld door	Noorlandt, RP		
Gecontroleerd door	<del>Boon, PM</del>		
Vrijgegeven door	<del>Wijnands, MNJH</del>		

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

#### Versie historie

<b>Versie</b>	<b>Naam</b>	<b>Datum</b>	<b>Korte toelichting</b>
0.6	Opgesteld door: <i>Rik Noorlandt</i> en <i>Wybo Gardien</i> . Gecontroleerd door: <i>Pieter Boon</i> . Vrijgegeven door: <i>Mark Wijnands</i> .	12-6-2020	Eerste conceptversie aan opdrachtgever.
0.8	Opgesteld door: <i>Rik Noorlandt</i>	26-8-2020	Tweede conceptversie aan opdrachtgever.

## Samenvatting

Maasvallei is bezig met een ontwikkeling van een sloop en nieuwbouwplan aan de Burgemeester Bauduinstraat / Groene Loper in Maastricht. De locatie is gelegen op 5 meter vanaf de fundering van de A2-tunnel. Deze kleine afstand is reden om te onderzoeken of er hinder van trillingen in de nieuw te bouwen woningen kan optreden.

Naast de trillingen is het hier ook van belang te kijken naar laagfrequent geluid. Dit is geluid dat ontstaat doordat trillende vloeren en wanden van een gebouw geluid afstralen.

In dit onderzoek zijn metingen en berekeningen uitgevoerd om de verwachte trillings- en laagfrequent geluid niveaus in de nieuw te bouwen gebouwen in Maastricht te bepalen. Deze verwachte waarden zijn getoetst aan de streefwaarden uit de SBR-B richtlijn en GWR-richtlijn. In de resultaten geven we een 50%-waarde (verwachtingswaarde) en een 95%-waarde (bovengrens).

### Trillingen

In alle woonblokken is de 50%-prognose lager dan de SBR-B streefwaarden. In enkele woonblokken is de 95%-prognose hoger dan de SBR-B streefwaarde. We verwachten dat er geen aanvullende maatregelen in de woningen nodig zijn om de trillingen te reduceren. Wel adviseren we bij het ontwerp rekening te houden met trillingen en adviseren we het nader uitgewerkte ontwerp te beoordelen op stijfheid van de constructie, om zo vast te stellen of men uit kan gaan van de 50% verwachtingswaarde.

De hoogste trillingsniveaus zijn afkomstig van het lokale verkeer rondom de gebouwen, en niet vanuit de tunnel. Vanuit de tunnel zijn er nauwelijks voelbare trillingen in de gebouwen te verwachten, en de intensiteit van het verkeer in de tunnel is niet of nauwelijks van invloed op eventuele trillingshinder in de gebouwen.

### Laagfrequent geluid

Voor alle woonblokken is het berekende laagfrequent geluidsniveau lager dan de GWR-referentiecurve. Op basis van de beschreven uitgangspunten is dan ook niet te verwachten dat er hinder van laagfrequent geluid veroorzaakt door verkeer in de tunnel zal optreden. Op basis hiervan zijn er geen aanvullende maatregelen in de woningen nodig om laagfrequent geluid te reduceren.

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
1.1	Aanleiding	3
1.2	Doel	3
1.3	Aanpak	3
1.4	Leeswijzer	3
<b>2</b>	<b>Situatiebeschrijving en uitgangspunten</b>	<b>4</b>
2.1	Omgeving	4
2.2	Verkeersintensiteit	5
2.3	Meetopstelling	5
2.4	Geplande bebouwing	7
<b>3</b>	<b>Beoordelingskader</b>	<b>9</b>
3.1	Algemeen	9
3.2	SBR-B	9
3.2.1.	<i>Nieuwe of bestaande situatie</i>	10
3.2.2.	<i>Periode gedurende de dag</i>	10
3.2.3.	<i>Gebouwfunctie</i>	10
3.3	Laagfrequent geluid	11
3.3.1.	<i>Werkwijze</i>	11
3.3.2.	<i>Beoordelingskader</i>	11
<b>4</b>	<b>Resultaten</b>	<b>13</b>
4.1	Inleiding	13
4.2	Meetresultaten	13
4.3	Prognosemethode	15
4.3.1.	<i>Overdracht in gebouwen</i>	16
4.4	Trillingsresultaten	17
4.5	Voorkomen van trillingshinder en afweging	18
4.6	Laagfrequent geluid	18
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>19</b>
	<b>Bijlage I Onderbouwing correctiefactoren in predicties</b>	<b>21</b>
	<b>Bijlage II Gegevens van de metingen</b>	<b>22</b>
	<b>Bijlage III Meetresultaten</b>	<b>23</b>
	Meetresultaten NW	23
	Meetresultaten ZW	24
	Meetresultaten NO	25
	Meetresultaten ZO	26
	<b>Bijlage IV Prognose laagfrequent geluid</b>	<b>27</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Maasvallei is bezig met een ontwikkeling van een sloop- en nieuwbouwplan aan de Burgemeester Bauduinstraat / Groene Loper in Maastricht. De locatie is gelegen op 5 meter vanaf de fundering van de A2-tunnel. Gezien enkele berichten onlangs over de Roertunnel A73 in Roermond is ons gevraagd om in kaart te brengen of er trillingen vanuit de A2-tunnel voor de planlocatie te verwachten zijn en of hier specifieke voorzieningen getroffen moeten worden. Uit onderzoeken van Avenue 2 (bouwer A2-tunnel) zelf blijkt dat de trillingen en laagfrequent geluid bij hun woningbouwprojecten bij de tunnel binnen bepaalde normen blijft en worden hier geen voorzieningen getroffen.

Naast de trillingen is het hier ook van belang te kijken naar laagfrequent geluid. Dit is geluid dat ontstaat doordat trillende vloeren en wanden van een gebouw geluid afstralen. Mensen in het gebouw kunnen dit ervaren als een onheilspellend geluid en daardoor als (zeer) hinderlijk beschouwen. Qua frequentie (toonhoogten) gaat laagfrequent geluid tot 125 Hz. De sterkten van het geluid zijn sterk afhankelijk van de eigenschappen (o.a. materialen) en afmetingen van de constructie.

## 1.2 Doel

Het doel van het onderzoek en deze rapportage is om antwoord te geven op de volgende vragen:

1. Is op deze locatie hinder door trillingen en/of laagfrequent geluid te verwachten?
2. Moeten daar specifieke voorzieningen voor worden getroffen?
3. Zo ja: welk(e) type(n) voorzieningen zullen dat naar verwachting zijn?

Schade aan de gebouwen is hier niet te verwachten en wordt daarom hier niet onderzocht.

## 1.3 Aanpak

Trillingen van verkeer zijn locatie specifiek. Wij hebben daarom de volgende aanpak gevolgd:

1. Meten van de trillingen ter plaatse van het plangebied
2. Prognose van de trillings-/ en laagfrequent geluidniveaus in de geplande gebouwen
3. Analyse en beoordeling van deze niveaus
4. Advies op basis van de analyse en beoordeling

## 1.4 Leeswijzer

De situatiebeschrijving en uitgangspunten voor het onderzoek is weergegeven in hoofdstuk 2. Het beoordelingskader is beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 zijn de meetresultaten weergegeven. Hoofdstuk 5 bevat een analyse van de meetresultaten. Het laatste hoofdstuk beschrijft de conclusies.

## 2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten

### 2.1 Omgeving

De onderzoekslocatie bevindt zich in Maastricht. Het gaat om een gebied ten oosten van de A2-tunnel met als grenzen in zuidelijke richting: Prof. Quixstraat, oostelijke richting: Burg. Bauduinstraat, en noordoostelijke richting: Burg. Pijlsstraat. Een overzicht van de huidige en toekomstige situatie zoals aangeleverd door de opdrachtgever is weergegeven in Figuur 2-1. Figuur 2-2 toont een luchtfoto waarbij de ingang van de tunnel zichtbaar is. Duidelijk is dat de nieuwbouw dichterbij de tunnel komt te staan dan de huidige bebouwing.



**Figuur 2-1** *Overzicht van het plangebied. Links de huidige situatie en rechts de toekomstige situatie. De tunnel bevindt zich onder de groenstrook aan de linkerkant in de figuren.*

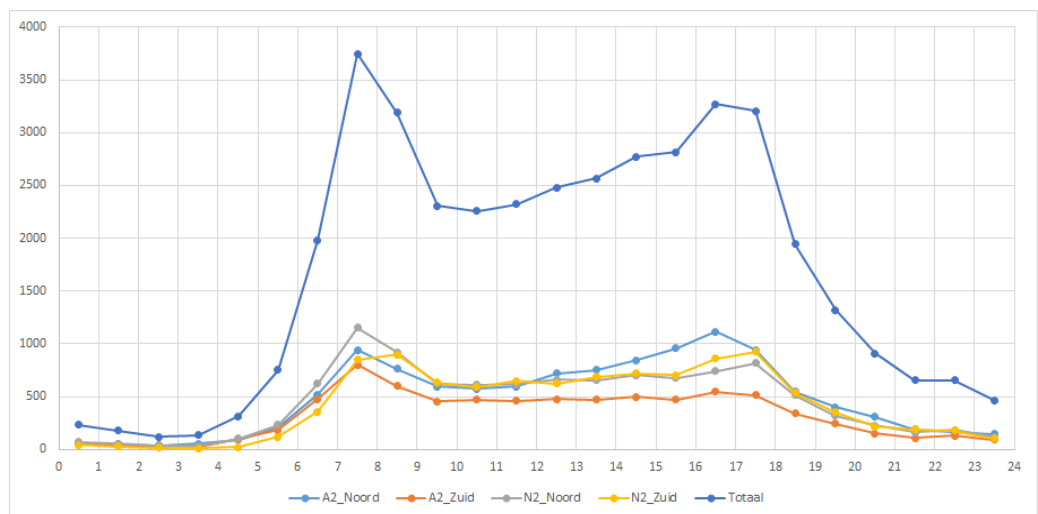


**Figuur 2-2** *Luchtfoto van de huidige situatie.*

## 2.2 Verkeersintensiteit

Naast de afstand tot de tunnel speelt ook de intensiteit van het verkeer gedurende de dag, avond en nacht en de toekomstige ontwikkeling een rol. Om te bepalen welke invloed de verkeersintensiteit heeft is de meting genormaliseerd voor de verkeersintensiteit gedurende de meetperiode, ten opzichte van een normale periode.

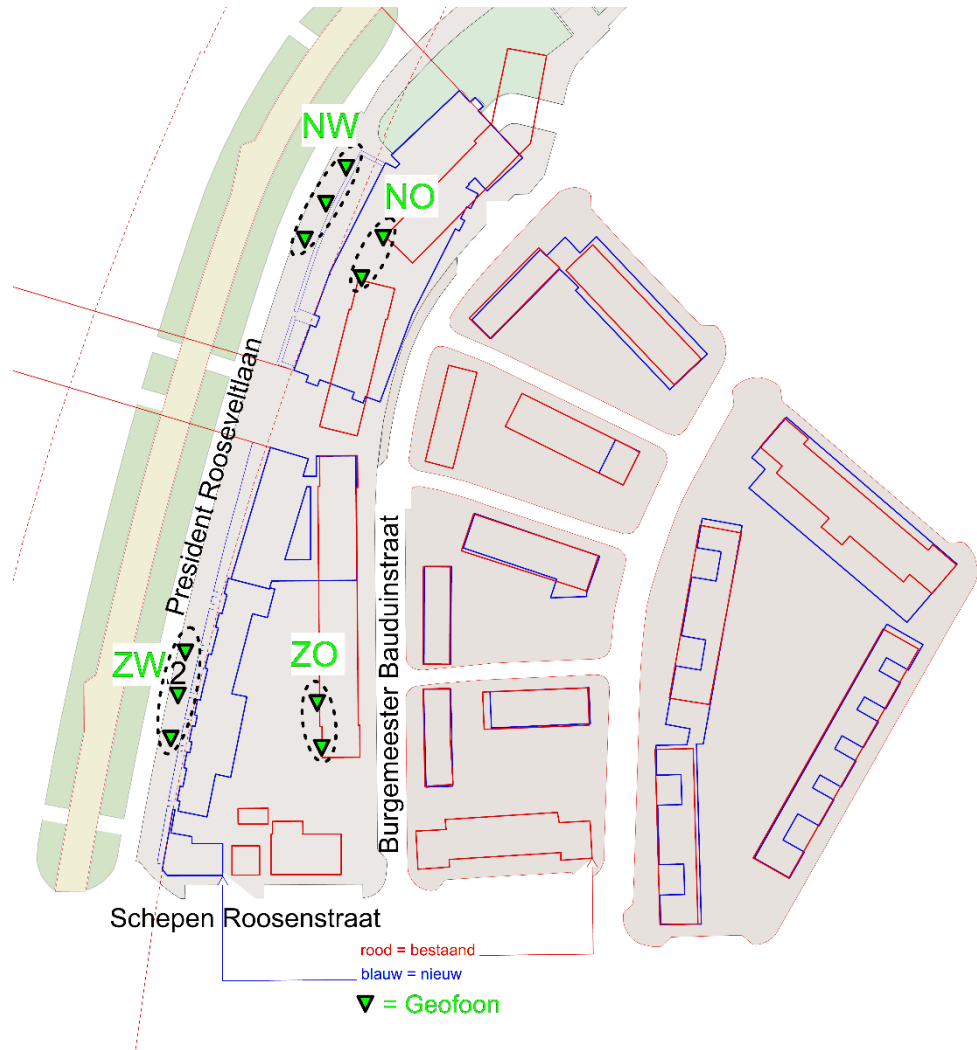
De verkeersintensiteiten van donderdag 07-05-2020 zijn verkregen door het raadplegen van de Nationale Databank Wegverkeersgegevens (NDW). De NDW verzamelt alle informatie afkomstig van de meetlussen in het asfalt van de Rijkswegen. Figuur 2-3 toont een overzicht van de verkeersintensiteit op donderdag 07-05-2020.



**Figuur 2-3** Verkeersintensiteit gedurende de dag op 07-05-2020

## 2.3 Meetopstelling

De trillingsmetingen zijn op 07-05-2020 uitgevoerd met 10 trillingssensoren die op vier plekken geïnstalleerd waren, zie Figuur 2-4. Twee groepen van 3 trillingssensoren stonden op de verharding (aangegeven met NW en SW in Figuur 2-4) boven de tunnel. Twee groepen van 2 trillingssensoren waren vastgemaakt aan de bestaande bebouwing (aangegeven met NO en SO in Figuur 2-4).



**Figuur 2-4** *Overzicht van bestaande en nieuwe situatie met daarop aangegeven de locaties waar trillingen gemeten zijn met behulp van trillingssensoren (gefoons). De westelijke trillingssensoren stonden op de verharding. De oostelijke trillingssensoren zijn vastgemaakt aan bestaande huizen.*



De eigenschappen van de toekomstige bebouwing zijn nog niet exact bekend. Op basis van de verstrekte plannen zoals die er nu liggen, is een inschatting gemaakt van de voor trillingen en laagfrequent geluid meest relevante eigenschappen.

Omdat een predictie altijd bepaalde onzekerheden met zich mee brengt (door onzekerheden in het predictiemodel, het gedrag van de te gebruiken materialen en verschillen tussen de uiteindelijke as-built situatie en de ontwerpsituatie), is zowel een verwachte trillingssituatie als een maximale trillingssituatie berekend per constructietype, op basis van de gegeven eigenschappen waarbij steeds de bovenste verdieping is beschouwd. Op deze bovenste verdieping zijn de trillingen namelijk maximaal.

In Tabel 2-1 zijn deze eigenschappen samengevat voor de verschillende bouwtypes zoals aangegeven op het kaartje in Figuur 2-5. Voor elke type gebouw zijn verschillende beukmaten doorgerekend. In dit stadium is het mogelijk dat beukmaten nog aangepast worden, maar zolang de waarden tussen de gekozen waarden in Tabel 2-1 blijven, zijn de uitkomsten representatief. Hoewel de gebouwen in werkelijkheid op palen zullen staan is in de berekening aangenomen dat de fundering op staal is. Met deze keuze wordt een mogelijke demping van de fundering genegeerd. De fundering op palen heeft een dempende werking voor trillingen aan het oppervlak, maar het is onduidelijk of dit in dezelfde mate geldt voor trillingen vanuit de tunnel op diepte.



**Figuur 2-5** Locatie van de verschillende bouwtype die doorgerekend zijn.

Tabel 2-1 *Eigenschappen bebouwing*

GEBOUW	VERDIEPING	HOOGTE	BEUKMAAT	VLOER	FUNDERING
A1_4_lagen_Bauduin	4	11.2	3.5	Breedplaatvloer	Staal
A1_4_lagen_Bauduin	4	11.2	5.5	Breedplaatvloer	Staal
A1_4_lagen_Bauduin	4	11.2	9.0	Breedplaatvloer	Staal
A1_4_lagen_Laan	4	11.2	3.5	Breedplaatvloer	Staal
A1_4_lagen_Laan	4	11.2	5.5	Breedplaatvloer	Staal
A1_4_lagen_Laan	4	11.2	9.0	Breedplaatvloer	Staal
A2_3_lagen	3	8.4	5.5	Breedplaatvloer	Staal
B_4_lagen	5	14.0	3.0	Breedplaatvloer	Staal
B_4_lagen	5	14.0	6.5	Breedplaatvloer	Staal
B_4_lagen	5	14.0	8.0	Breedplaatvloer	Staal
B_6_lagen	7	19.6	2.5	Breedplaatvloer	Staal
B_6_lagen	7	19.6	3.5	Breedplaatvloer	Staal
B_6_lagen	7	19.6	5.5	Breedplaatvloer	Staal
B_6_lagen	7	19.6	9.0	Breedplaatvloer	Staal

## 3 Beoordelingskader

### 3.1 Algemeen

Verkeer kan leiden tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen hinder voor omwonenden veroorzaken. 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.

Op basis van eerdere projecten verwachten wij geen onaanvaardbaar schaderisico aan een gebouw op deze locatie. Daarom is er niet beoordeeld op de SBR A-richtlijn. Ook verstoring van apparatuur (SBR C-richtlijn) is niet aan de orde. In dit onderzoek is daarom alleen beoordeeld op de SBR B-richtlijn.

De SBR B-richtlijn heeft geen wettelijke status. Daarom bevat de richtlijnen 'streefwaarden'.

### 3.2 SBR-B

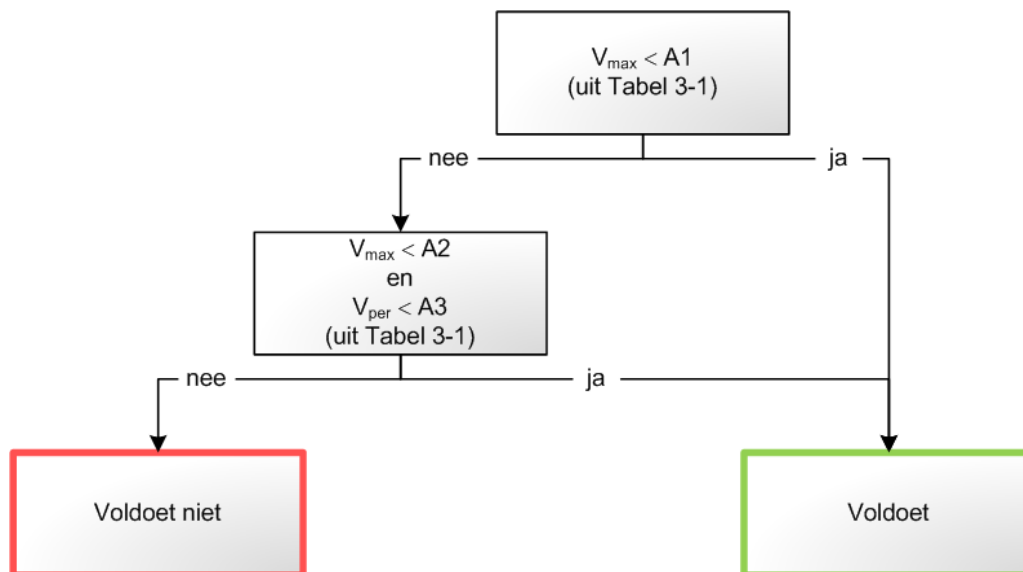
Conform de SBR B-richtlijn worden twee grootheden bepaald:

1. De trillingssterkte  $V_{max}$ . Dit is een dimensieloze indicatie van de maximaal ervaren trillingen gedurende de meetperiode, de zogenaamde pieksterkte van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald per 30 seconden; zie par. 9.2 en 9.3 van de SBR B-richtlijn. Van al deze maximale waarden per 30 seconden wordt de maximale waarde bepaald, de  $v_{eff, max}$ . Vervolgens wordt, op basis van de vijftien hoogst gemeten waarden een statistische berekening uitgevoerd met als resultaat de trillingssterkte die niet wordt overschreden door 95 procent van de gevallen, de  $V_{max}$ . Deze trillingssterkte is beoordeeld op de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn;
2. De trillingsintensiteit  $V_{per}$ , een dimensieloze indicatie van het tijdsgemiddelde van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald door het kwadratisch gemiddelde te nemen van de maximale trillingssterkte per 30 seconden indien deze boven de drempelwaarde van 0.1 uitkomt. Trillingssnelheden onder de 0.1 zijn niet of nauwelijks voelbaar en worden niet meegenomen in de bepaling van  $V_{per}$ . Het kwadratisch gemiddelde wordt vervolgens gecorrigeerd voor de tijd waarin de trillingssnelheden boven de 0.1 uitkomen, zie ook par. 9.8 van de SBR B-richtlijn.

De SBR B-richtlijn kent drie typen 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  $V_{per}$ .

Om te beoordelen of een situatie voldoet, dient het schema in Figuur 3-1 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 3-1** Stroomschema beoordeling nieuwe situatie in SBR B-richtlijn

De hoogte van de streefwaarden zelf 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. Hoewel dit project nieuwbouw betreft, geven we voor de volledigheid ook een beoordeling tegen de streefwaarden voor bestaande bouw. De praktijk in Nederland laat namelijk zien dat overheden bij nieuwbouwprojecten soms de streefwaarden voor bestaande bouw van toepassing verklaren, om de ingrijpendheid en kosten van maatregelen beperkt te houden. Dit is een beleidsmatige keus. Wij ondersteunen het proces van maken van deze keus door inzicht in beide varianten te geven, 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. Voor bijvoorbeeld de gebouwfunctie ‘Kantoor’ zijn de streefwaarden voor dag, avond en nacht gelijk aan elkaar. Voor de gebouwfunctie ‘Wonen’ zijn er wel verschillen.

### 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. Voor bestaande situaties wordt voor alle gebouwfuncties, op kritische werkruimte na, uitgegaan van een twee keer zo grote waarde. In de beoordeling voor dit project is gekeken naar gebouwen met bestemming wonen, zie de 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
Gezondheidszorg	0.1 <sup>1)</sup>	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
<i>Wonen</i>	<b>0.1</b>	<b>0.4</b>	<b>0.05</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.05</b>
Kantoor	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	-.--

<sup>1)</sup> Een streefwaarde van 0.1 betekent een waarde kleiner dan 0.15

### 3.3 Laagfrequent geluid

Naast trillingen kan ook laag-frequent geluid hinder veroorzaken. Laagfrequent geluid ontstaat doordat de vloeren en wanden van gebouwen dichtbij een trillingsbron in trilling worden gebracht. Het trillen van de wanden en vloeren van het gebouw kan hoorbaar geluid veroorzaken, zogenaamd laagfrequent geluid. Doorgaans treedt hinder ten gevolge van laagfrequent geluid op in de buurt van tunnels en andere ondergrondse constructies. Laagfrequent geluid wordt doorgaans niet beoordeeld bij bovengrondse infra, omdat het gewone, directe geluid het laagfrequent geluid daar maskeert.

#### 3.3.1. Werkwijze

In het huidige onderzoek wordt de hinder ten gevolge van laagfrequent geluid bepaald aan de hand van het trillingsspectrum in de gebouwen. Dit spectrum is bepaald met het empirische rekenmodel wat ook voor trillingen wordt gebruikt. Echter worden er voor trillingen en voor laagfrequent geluid andere frequenties beschouwd. Voor laag frequent geluid worden frequenties tussen de 10 en 125 Hz beschouwd, terwijl bij trillingshinder wordt gekeken naar trillingen tussen de 1 en 80 Hz. Meer informatie over het gebruikte rekenmodel is opgenomen in bijlage I.

#### 3.3.2. Beoordelingskader

Ook voor laagfrequent geluid ontbreekt een wettelijk kader. Bovendien is er in Nederland geen uniforme beoordelingsrichtlijn beschikbaar. Er zijn verschillende methodes in omloop om de hinder ten gevolge van laagfrequent geluid te beoordelen, zoals de NSG-methode, de Vercammen curve en de Gemeentewerken Rotterdam (GWR) richtlijn. Elke van de methoden vergelijkt het waargenomen of voorspelde equivalente geluidsniveau met een referentiecure. In Tabel 3-2, Tabel 3-3 en Tabel 3-4 zijn de waarden van de verschillende referentiecuren weergegeven. De curve die de NSG-methode hanteert is vrij streng. Deze grenswaarde is gebaseerd op een geluidsniveau dat slechts 10% van de bevolking kan horen. De GWR richtlijn is specifiek bedoeld voor geluidhinder van (ondergrondse) (rail)infra en toetst naast een referentie curve ook het A-gewogen geluidsniveau (max 35dB). De Vercammen curve zit tussen beide richtlijnen in. Voor het geluid dat wordt veroorzaakt door de tunnel in Maastricht is de GWR-richtlijn het meest relevant en de uitkomsten zullen dan ook aan deze richtlijn getoetst worden.

**Tabel 3-2 Referentiecure uit de NSG-richtlijn.**

FREQUENTIE [HZ]	$L_{EQ}$							
	20	25	31.5	40	50	63	80	100
Referentiecure [dB]	74	62	55	46	39	33	27	22

**Tabel 3-3** *Vercammen referentiecurve*

FREQUENTIE [HZ]	$L_{EQ}$											
	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125
Referentiecurve [dB]	86	82	76.7	70.5	64.7	59.4	54.6	50.2	46.2	42.5	39.1	36.1

**Tabel 3-4** *GWR referentiecurve*

FREQUENTIE [HZ]	$L_{EQ}$				
	16	31.5	63	125	10-250
Referentiecurve [dB]	80	68	55	45	35 [dB (A)]

## 4 Resultaten

### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de metingen beschreven.

### 4.2 Meetresultaten

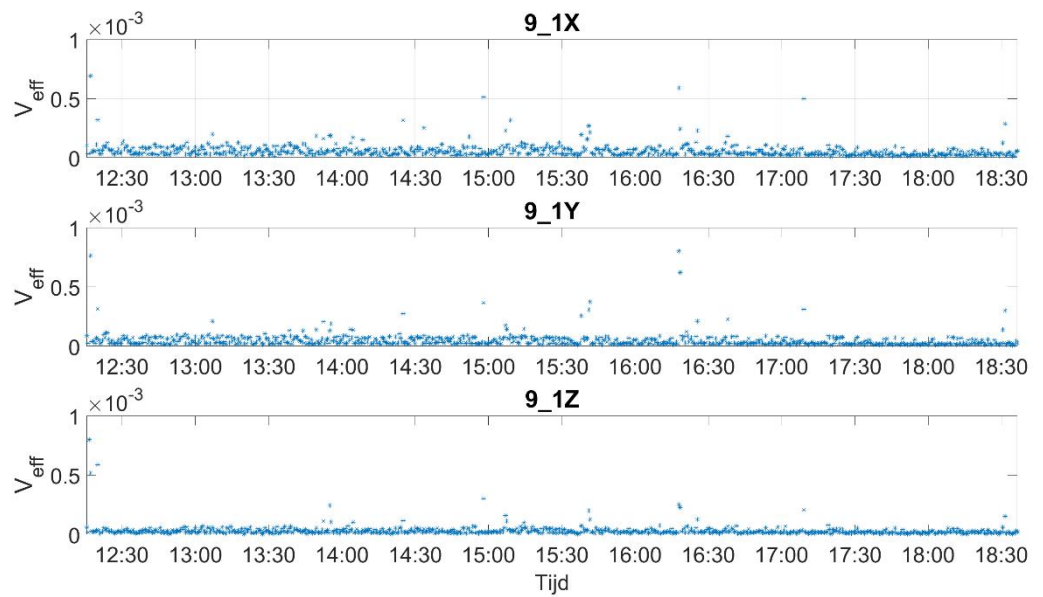
Als voorbeeld is de trillingssterkte van een van de trillingsensor van de NW meetlocatie weergegeven in Figuur 4-1. De trillingen zijn weergegeven in drie richtingen:

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

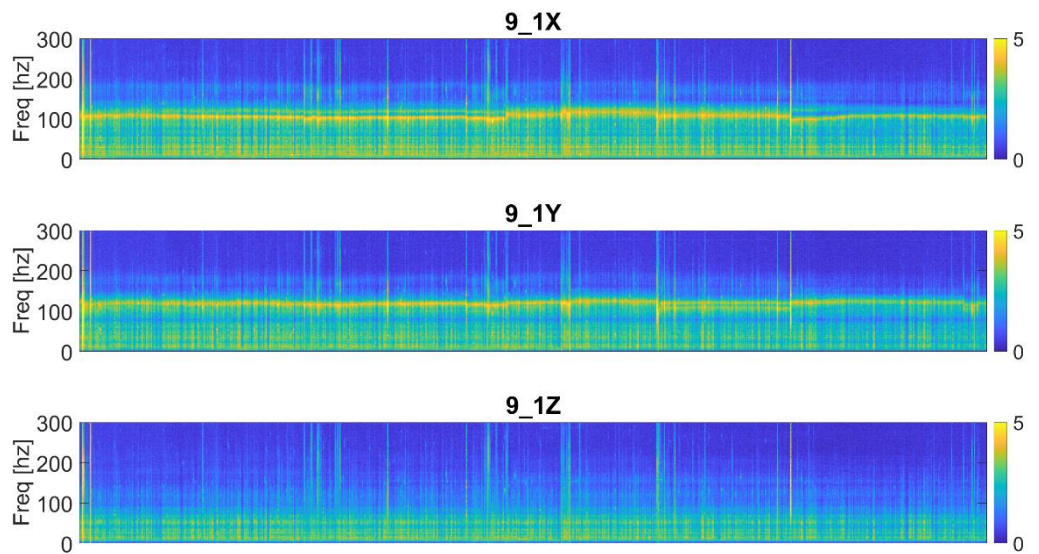
De gemeten trillingssterktes zijn gemiddeld genomen in de verticale richting het grootste, maar de hoogste trillingswaarden zijn in de horizontale richting gemeten. Gedurende de hele periode zijn er ook af en toe stoorsignalen gemeten. Deze worden vaak veroorzaakt door bronnen dicht bij de sensoren, zoals langslopende personen. In de verwerking zijn deze metingen niet meegenomen. Daarnaast is er steeds een min of meer continu achtergrondniveau van de trillingen aanwezig, en treden er zo nu en dan hogere niveaus op. De hogere niveaus die zo nu en dan optreden zijn afkomstig van lokaal verkeer, zoals passerende tractors. Het achtergrondniveau is waarschijnlijk afkomstig van verkeer in de tunnel.

Het trillingspectrum dat hoort bij Figuur 4-1 is weergegeven in Figuur 4-2. Op de horizontale as staat de tijd en op de verticale as de frequentie. De kleuren geven aan in welke mate een bepaalde frequente waargenomen wordt op dat moment. Uit de figuur blijkt duidelijk dat de trillingsamplitude afneemt met de frequentie en dat er een aantal verschillende dominante frequenties aanwezig zijn. Het is onduidelijk waarom deze dominante frequenties variëren met de tijd.

Voor elk van de overige locaties is een figuur opgenomen in Bijlage III



**Figuur 4-1** Trillingssterktes op maaiveldniveau als functie van de tijd voor de NW locatie



**Figuur 4-2** X- Y- en Z-richting spectrogrammen van de metingen getoond in **Figuur 4-1**.

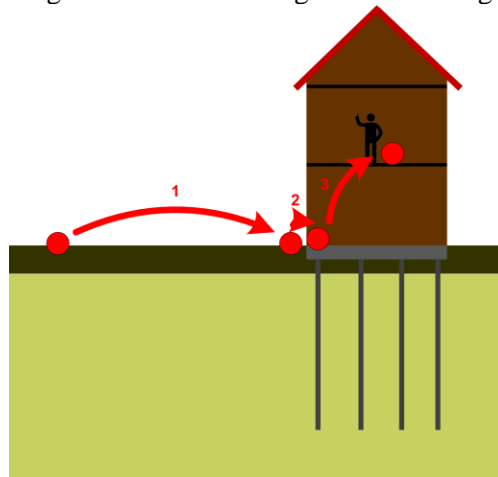


#### 4.3 Prognosemethode

De resultaten van de metingen zijn gecombineerd met informatie over de geplande bebouwing. Hiermee is een prognose gemaakt van de trillingssterktes aan de fundering en op de vloeren van de gebouwen. Daarnaast brengen we de onzekerheid van de predicties (onder meer veroorzaakt door onzekerheid in exacte dimensionering, materiaalkeuze en constructiewijze) in rekening door een 50%-waarde en een 95%-waarde te onderscheiden:

- 50%-waarde: De kans dat de trillingssterktes lager zijn dan deze waarde is 50%. Deze waarde representeert daarmee de verwachtingswaarde voor trillingssterktes in de gebouwen en geldt voor gebouwen met gemiddelde constructieve eigenschappen.
- 95%-waarde: De kans dat de trillingssterktes 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 trillingssterktes en geldt voor gebouwen met ongunstige constructieve eigenschappen. Een voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld dat de vloeren erg slap worden geconstrueerd (grote vloeroverspanningen, dunne vloeren).

De prognoses van trillingen op funderingsniveau en op midden vloerveld wordt gedaan volgens de methode die getoond is in Figuur 4-3.



**Figuur 4-3** Methode voor het vaststellen van de trillingen in een gebouw

Onze methode werkt als volgt:

1. De trillingssterktes van de meting worden indien nodig vertaald naar een meetpunt op maaiveld ter plaatse van het bouwblok. (Voor dit project niet nodig)
2. De trillingssterktes op maaiveld worden indien nodig vertaald naar een meetpunt op de fundering van het gebouw, op basis van de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type fundering).
3. De trillingssterktes op de fundering worden vertaald naar een meetpunt op de hoogste vloer van het gebouw, op basis van de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type constructie).

Resultaat van deze berekening is een predictie van de trillingssterktes in het gebouw, waarbij voor elke 30 seconden gemeten trilling vertaald is naar een trillingssterkte in het gebouw. Aan de hand van deze trillingssterktes wordt het verwachte laagfrequent

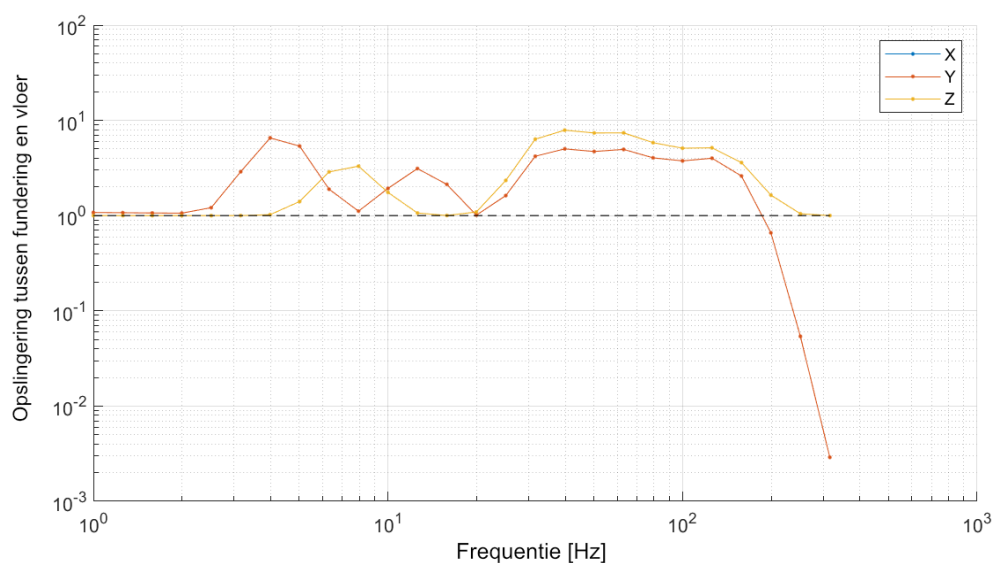
#### 4.3.1. Overdracht in gebouwen

geluidniveau en de trillingsparameters  $V_{max}$  en  $V_{per}$  bepaald, waarna deze worden beoordeeld op de NSG en Vercammencurve resp. SBR B-richtlijn.

Een document van VROM geeft indicatieve richtlijnen voor het bepalen van de overdracht van trillingssterktes van maaiveld naar fundering<sup>1</sup>. Deze theoretische waarden komen voor gebouwen met een hoogte tot ca. 12 meter goed overeen met praktijkwaarden uit metingen. Voor grotere gebouwen is uit metingen gebleken dat de fundering de trillingen anders dempen dan in het VROM document staat. De funderingsoverdracht is voor deze grotere gebouwen daarom deels gebaseerd op metingen die Movares in het verleden heeft uitgevoerd.

De overdracht van fundering naar midden vloerveld is afhankelijk van de bouwconstructie, gebouwafmetingen, 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 meetresultaten in vergelijkbare gebouwen en analytische formules die het gedrag van gebouwen en vloeren beschrijven. Een voorbeeld van deze resultaten is weergegeven in Figuur 4-4.

Wat opvalt is dat er bij meerdere frequenties opslingingering binnen de constructie optreedt. De opslingingering betreft ook frequenties die duidelijk aanwezig zijn in de metingen, zoals zichtbare in het vorige hoofdstuk.



**Figuur 4-4** Voorbeeld van de maximale overdracht van fundering naar midden vloerveld. Let op dat de opslingingering van de horizontale richtingen (X&Y) gelijk zijn en deze curven dus over elkaar vallen.

<sup>1</sup> Rekenmodel voor de bepaling van trillingsniveau, Ministerie VROM, mei 1995, distributienummer 12462/164.

#### 4.4 Trillingsresultaten

De resultaten van de trillingsberekeningen zijn weergegeven in Tabel 4-1. Hierin is te zien dat de waarde van  $V_{per}$  steeds ruim lager zijn dan de streefwaarde (0.05 voor nieuwbouw), de waarde van  $V_{max}$  is in een deel van de bebouwing hoger dan de streefwaarde situatie voor de nacht (0.2 voor nieuwbouw), maar wel lager dan de streefwaarde voor overdag (0.4 voor nieuwbouw).

**Tabel 4-1** *Uitkomst van de trillingsberekeningen voor de verschillende constructievarianten.*

Gebouw	Verdieping	Hoogte	Beukmaat	Vloertype	Fundering	95%		50%	
						$V_{max}$	$V_{per}$	$V_{max}$	$V_{per}$
A1_4_lagen_Bauduin	4	11.2	3.5	Breedplaatvloer	Staal	0.10	0.00	0.05	0.00
A1_4_lagen_Bauduin	4	11.2	5.5	Breedplaatvloer	Staal	0.10	0.00	0.04	0.00
A1_4_lagen_Bauduin	4	11.2	9	Breedplaatvloer	Staal	0.19	0.00	0.07	0.00
A1_4_lagen_Laan	4	11.2	3.5	Breedplaatvloer	Staal	0.26	0.02	0.17	0.01
A1_4_lagen_Laan	4	11.2	5.5	Breedplaatvloer	Staal	0.30	0.02	0.16	0.01
A1_4_lagen_Laan	4	11.2	9	Breedplaatvloer	Staal	0.38	0.02	0.17	0.00
A2_3_lagen	3	8.4	5.5	Breedplaatvloer	Staal	0.30	0.02	0.16	0.01
B_4_lagen	5	14	3	Breedplaatvloer	Staal	0.21	0.01	0.15	0.01
B_4_lagen	5	14	6.5	Breedplaatvloer	Staal	0.27	0.01	0.15	0.00
B_4_lagen	5	14	8	Breedplaatvloer	Staal	0.25	0.01	0.14	0.00
B_6_lagen	7	19.6	2.5	Breedplaatvloer	Staal	0.17	0.01	0.13	0.01
B_6_lagen	7	19.6	3.5	Breedplaatvloer	Staal	0.26	0.01	0.17	0.01
B_6_lagen	7	19.6	5.5	Breedplaatvloer	Staal	0.26	0.01	0.15	0.01
B_6_lagen	7	19.6	9	Breedplaatvloer	Staal	0.24	0.01	0.12	0.00

De hierboven genoemde uitkomsten zijn de verwachtingswaarde van de trillingssterktes. Met de 95%-waarde wordt een bovengrens voor de verwachte trillingssterktes gegeven, deze 95%-waarde correspondeert met de bovengrens aan de opslinging van trillingssterktes in constructies zoals wij die tegenkomen in praktijkmetingen. Concreet correspondeert deze 95%-bovengrenswaarde met een situatie waarin gebouwen relatief kaal zijn ingericht (weinig demping, relatief slappe constructie). De 50%-waarde correspondeert meer met de meest voorkomende situaties en is naar verwachting meer representatief voor de te bouwen gebouwen.

In dit geval is te zien dat de 50%-waarde in alle gevallen voldoet. De verwachting is dus dat de te bouwen gebouwen zullen voldoen aan de norm.

Echter mochten de gebouwen uit een relatieve slappe constructie bestaan, grote vloeroverspanningen, dunne vloeren, dan geldt de 95%-waarde. Als men vervolgens uitgaat van de normen voor “bestaanden situatie” voldoet de constructie nog steeds. Maar mocht de constructie slap zijn en men gaat uit van de normen voor “nieuwe situatie” voldoet deze niet aan de norm. De nachtelijke criteria worden overschreden (Oranje in de tabel).

De prognoses zijn gebaseerd op de meest recente inzichten en de uitgangspunten zoals opgenomen in hoofdstuk 2. Desondanks zijn er een aantal parameters die kunnen leiden tot andere uitkomsten dan zoals hierboven beschreven:

1. Wijzigingen in het wegverkeer (intensiteit, type verkeer, snelheid).
2. Slijtage van wegdek/tunnelvoegen
3. Omdat de exacte detaillering van de bebouwing nog niet bekend is, is de spreiding in te verwachten opslingering in het gebouw nog vrij hoog. Te verwachten is dat deze in orde van grootte is van de 50%-waarde, maar in een ongunstige situatie moet men uitgaan van de 95%-waarde.

#### 4.5 Voorkomen van trillingshinder en afweging

Uit de rekenresultaten volgt voor welke gebouwen/situaties er een overschrijding van de SBR-B streefwaarden te verwachten is.

- Indien de 50% verwachtingswaarde hoger is dan de streefwaarden, dan adviseren we een afweging van maatregelen om trillingen te reduceren. Dit is hier niet het geval.
- Indien alleen de 95% bovengrens van de verwachtingswaarde de streefwaarden overschrijden voor een bepaalde constructievariant, dan adviseren we het nader uitgewerkte ontwerp te beoordelen op stijfheid van de constructie, om zo vast te stellen of men uit kan gaan van de 50% verwachtingswaarde.
- Indien de 95% bovengrens van de verwachtingswaarde lager is dan de streefwaarden, dan wordt naar alle waarschijnlijkheid in het gebouw voldaan aan de streefwaarde en is verdere actie niet nodig.

Hierbij is uitgegaan van de streefwaarden voor de gebouwfunctie “wonen”.

#### 4.6 Laagfrequent geluid

Het te verwachte laagfrequent geluid wordt bepaald vanuit de berekend trillingsniveaus aan de hand van een model. In Bijlage I wordt het model nader toegelicht.

De berekeningen kennen een aantal keuzes/aannamen en heeft daardoor een bepaalde mate van onzekerheid. Om een zo goed mogelijke prognose te maken is gebruik gemaakt van de ervaring uit een ander project waar zowel de trillingsniveaus als ook het aanwezige laag frequent geluid gemeten is. Op basis daarvan schatten wij in dat de restonzekerheid ongeveer +/- 6dB is.

Per gebouw is het te verwachten laagfrequent geluid berekend en zijn in grafieken opgenomen in Bijlage IV. De prognose is uitgevoerd voor verschillende verkeersintensiteiten (2019, 2020 tijdens Corona maatregelen, 2030 en 2040), maar dat heeft slechts een zeer beperkte invloed op de resultaten. Tevens is ook de onzekerheidsmarge aangegeven.

Voor alle woonblokken is het berekende laagfrequent geluidsniveau lager dan de GWR-referentiecurve. Op basis van de beschreven uitgangspunten is dan ook niet te verwachten dat er hinder van laagfrequent geluid veroorzaakt door verkeer in de tunnel zal optreden.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

In dit onderzoek zijn metingen en berekeningen uitgevoerd om de verwachte trillings- en laagfrequent geluid niveaus in nieuw te bouwen gebouwen in Maastricht te bepalen. Deze verwachte waarden zijn getoetst aan de streefwaarden uit de SBR-B-richtlijn (trillingen) en GWR-richtlijn (laagfrequent geluid).

In de berekeningen geven we een 50%-waarde (verwachtingswaarde) en een 95%-waarde (bovengrens). Als de 95%-waarde hoger is dan de streefwaarden, dan adviseren we het ontwerp te toetsen als dat nader is uitgewerkt. Als de 50%-waarde hoger is dan de streefwaarden, dan zijn er waarschijnlijk maatregelen nodig om aan de streefwaarden te kunnen voldoen.

### Trillingen

In alle woonblokken is de 50%-prognose lager dan de SBR-B streefwaarden. In enkele woonblokken is de 95%-prognose hoger dan de SBR-B streefwaarde. We verwachten dat er geen aanvullende maatregelen in de woningen nodig zijn om de trillingen te reduceren. Wel adviseren we bij het ontwerp rekening te houden met trillingen en adviseren we het nader uitgewerkte ontwerp te beoordelen op stijfheid van de constructie, om zo vast te stellen of men uit kan gaan van de 50% verwachtingswaarde.

De hoogste trillingsniveaus zijn afkomstig van het lokale verkeer rondom de gebouwen, en niet vanuit de tunnel. Vanuit de tunnel zijn er nauwelijks voelbare trillingen in de gebouwen te verwachten, en de intensiteit van het verkeer in de tunnel is niet of nauwelijks van invloed op eventuele trillingshinder in de gebouwen.

### Laagfrequent geluid

Voor alle woonblokken is het berekende laagfrequent geluidsniveau lager dan de GWR-referentiecurve. Op basis van de beschreven uitgangspunten is dan ook niet te verwachten dat er hinder van laagfrequent geluid veroorzaakt door verkeer in de tunnel zal optreden. Op basis hiervan zijn er geen aanvullende maatregelen in de woningen nodig om laagfrequent geluid te reduceren.

## Colofon

Opdrachtgever Woningstichting Maasvallei Maastric  
Mevrouw W. Frijns

Uitgave Movares Nederland B.V.

Kennislijn Gebouwen en Infra  
groep Lijninfra en Geotechniek:Lijninfra en Geotechniek

Daalseplein 100  
Postbus 2855  
3500 GW Utrecht

Telefoon 030 265 55 55

Ondertekenaar

Projectnummer MN001417

Kenmerk D79-RNO-KA-2000018

© 2020, Movares Nederland B.V.

*Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, 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 Onderbouwing correctiefactoren in predicties

In het huidige onderzoek wordt de hinder ten gevolge van laagfrequent bepaald aan de hand van het trillingsspectrum in de gebouwen. Dit spectrum is bepaald met het empirische rekenmodel wat ook voor trillingen wordt gebruikt, maar omdat laagfrequent geluidhinder optreedt bij andere frequenties, wordt nu een frequentieafhankelijk rekenmodel gebruikt waarbij alleen trillingen tussen de 10 en 250 Hz worden beschouwd (bij trillingshinder wordt gekeken naar trillingen tussen de 1 en 80 Hz). Het geluiddrukkniveau wordt vervolgens berekend met vergelijking (8)<sup>2</sup>:

$$L_p = 10 \log_{10} \left( \frac{rc\sigma Sv(f)^2}{W_0} \right) - 10 \log_{10} \left( \frac{aA}{4} \right) + 10 \log_{10} \left( \left( \frac{4}{\pi^2} \right)^2 \right) \quad (8)$$

De eerste term is een weergave van het geluiddrukkniveau ten gevolge van de trillingen, de tweede term is een correctiefactor voor de absorptie in de ruimte en de derde term dient alleen toegepast te worden indien het vlak wat beschouwd wordt trilt rond de eerste eigenfrequentie. In dat geval mag deze term met een grootte van -7.84 dB, bij het totaal worden opgeteld. Bij hogere frequenties mag deze correctie niet worden toegepast. De parameters in deze formule worden hieronder toegelicht.

Parameter	Betekenis
$L_p$	geluiddrukkniveau [dB]
$v(f)$	effectieve trillingsspectrum in m/s op het midden van de vloer, in de vorm van tertsbandspectra (1/3 octaafbandspectra)
$r$	Dichtheid van lucht, bij kamertemperatuur, 1,29 kg/m <sup>3</sup>
$c$	geluidsnelheid in lucht, bij kamertemperatuur en normale druk 344 m/s
$\sigma$	afstraalcoëfficiënt van de kamer, die afneemt van ongeveer 1 (bij frequenties rond 10 Hz) tot 0.1 tot 0.3 (bij frequenties rond 50 Hz) en vervolgens weer toeneemt tot 1 (voor frequentie rond en boven 100 Hz), afhankelijk van de eigenschappen van de materialen in de ruimte
$S$	trillende oppervlak [m <sup>2</sup> ]
$W_0$	referentievermogen [pW]
$a$	absorptiecoëfficiënt die varieert tussen de 0.01 en 0.20 voor de meeste materialen
$A$	totale oppervlak van wanden, plafond en vloeren in de ruimte [m <sup>2</sup> ]

Met behulp van deze gegevens kan vergelijking (9) worden omgeschreven tot:

$$L_p = 10 \log_{10} \left( \frac{443.76\sigma Sv(f)^2}{W_0} \right) - 10 \log_{10} \left( \frac{aA}{4} \right) - 7.84 \quad (9)$$

De toeslagfactoren variëren dus met de grootte van de ruimte, de frequentie en de materialen die worden toegepast. In Molenaar, et al. is de variatie in toeslagfactor (met de frequentie) weergegeven voor verschillende afmetingen van ruimtes en verschillende absorptiecoëfficiënten. Grofweg kan gesteld worden dat de laagfrequent geluidniveaus hoger zijn in kleinere ruimtes met weinig absorptie (beton, steen) en een lage aanstootfrequentie van het trillende vlak.

<sup>2</sup> Zie Molenaar, ir. D.J., et al., *Prognoses van trillingen en laagfrequent geluid als gevolg van de TBM passage in en om de woning Patrimoniumpark 26 in Leiderdorp*, TNO Bouw, 16 mei 2003, 2002-C1-R2129

## Bijlage II Gegevens van de metingen

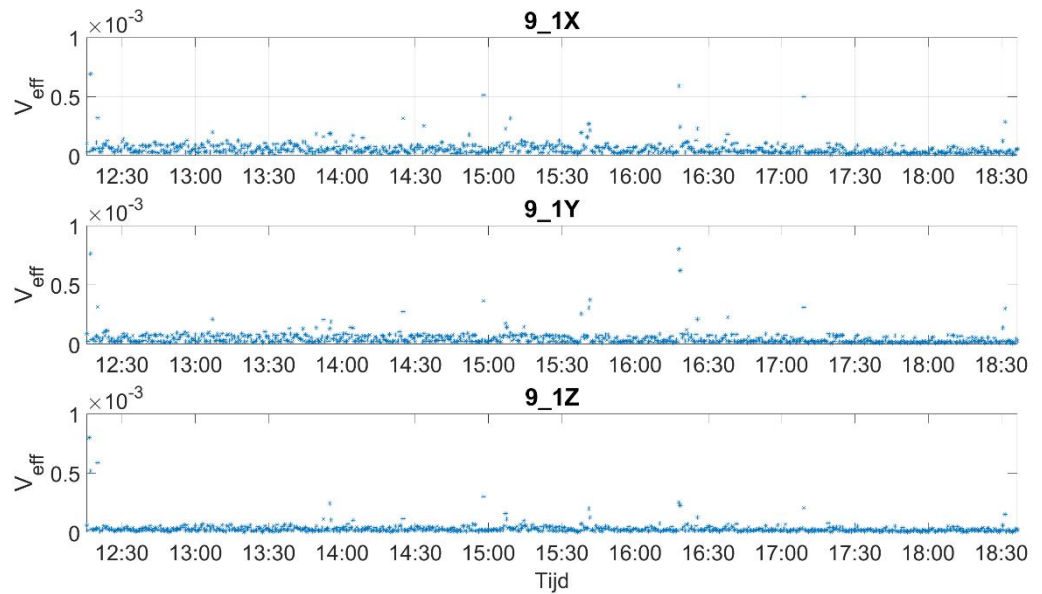
Conform de eisen in de SBR B-richtlijn, hoofdstuk 11, bevat deze bijlage de gegevens van de metingen.

1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V. Daalseplein 101 3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Mark Wijnands e-mail: <a href="mailto:mark.wijnands@movares.nl">mark.wijnands@movares.nl</a> tel.: 06 - 51 62 44 37</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>Sybren van Klaarbergen en André Fredriksz</i>
3	Tijdperiode meting	<i>07-05-2020</i>
4	Type trillingsbron	<i>Verkeer.</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>n.v.t.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie plattegrond in hoofdstuk 2</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>n.v.t.</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in hoofdstuk 2</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>tien 3D-geofoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Raspberry Pi met USB-DUX. Meetcomputers leggen zowel de trillingssterkte per 30 seconden als het tijdssignaal vast.</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie figuren in hoofdstuk 4</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Zie hoofdstuk 2</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Zie hoofdstuk 2</i>

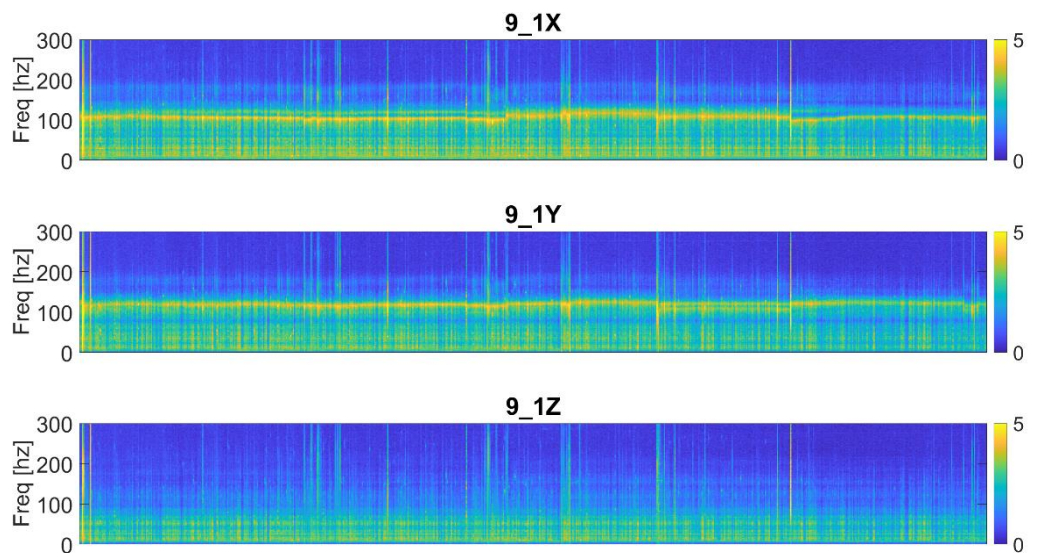


## Bijlage III Meetresultaten

Meetresultaten NW

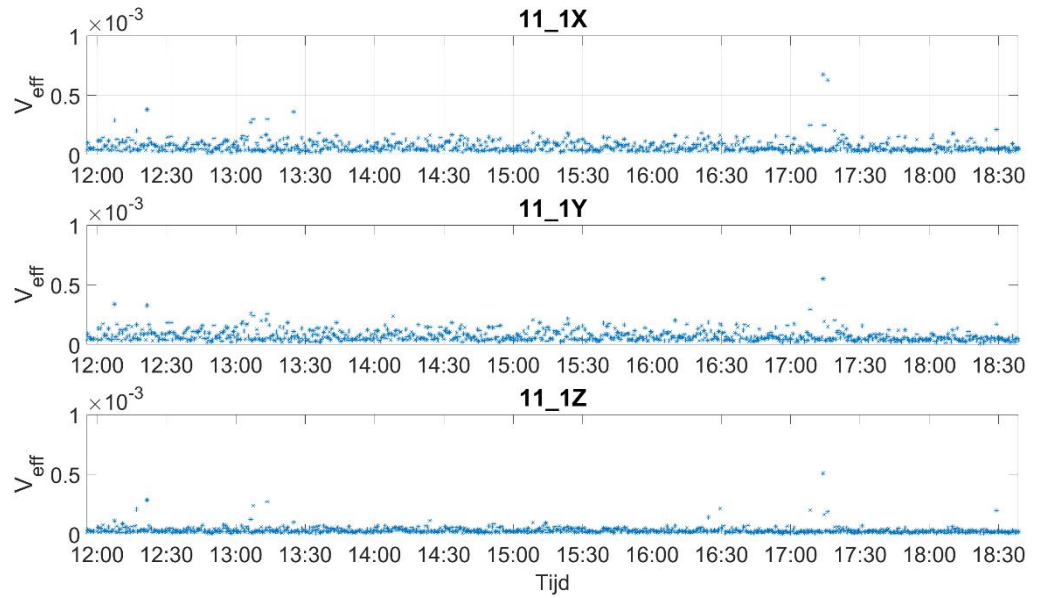


**Figuur 1** Trillingssterktes op maaiveldniveau als functie van de tijd voor de NW locatie

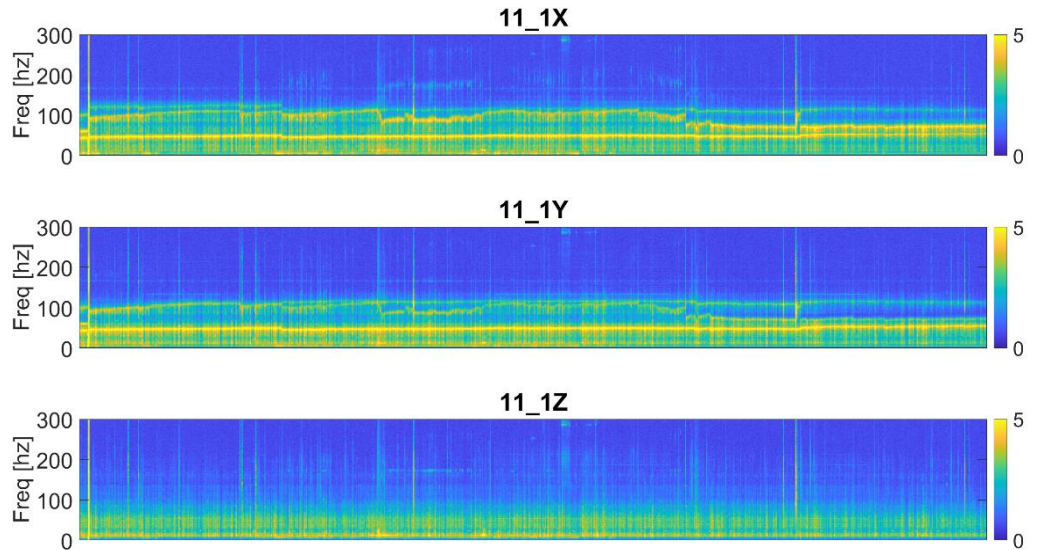


**Figuur 2** X- Y- en Z-richting spectrogrammen van de metingen hierboven.

Meetresultaten ZW



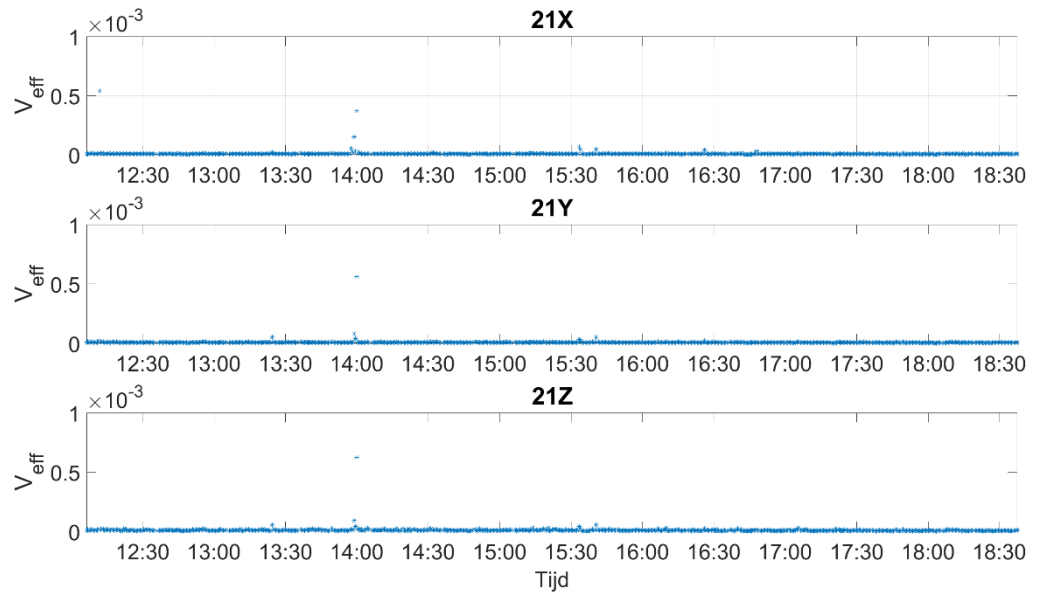
**Figuur 3** Trillingssterktes op maaiveldniveau als functie van de tijd voor de ZW locatie



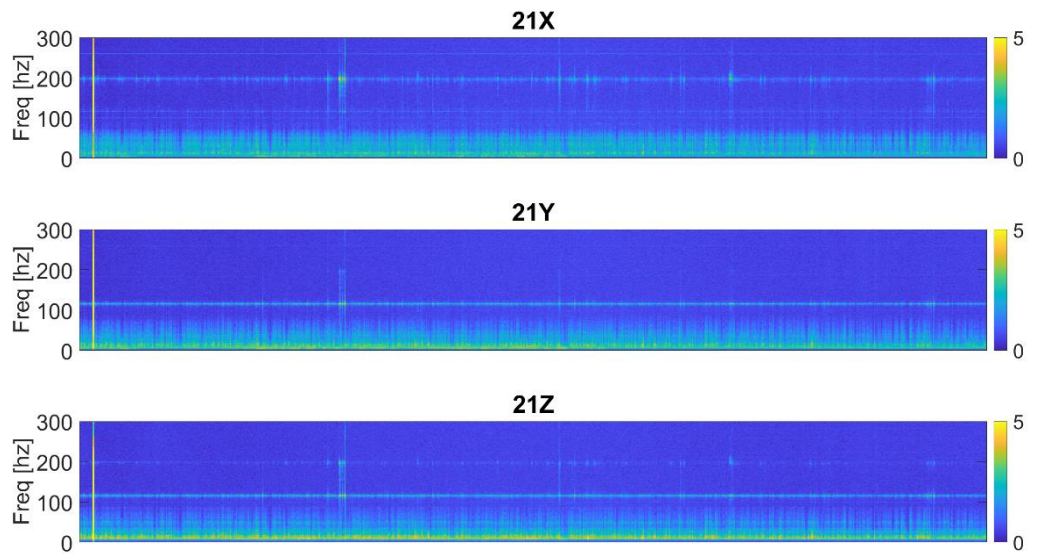
**Figuur 4** X- Y- en Z-richting spectrogrammen van de metingen hierboven.

De metingen van het ZW meetpunt laten vergelijkbare resultaten zien als voor het NW meetpunt.

Meetresultaten NO



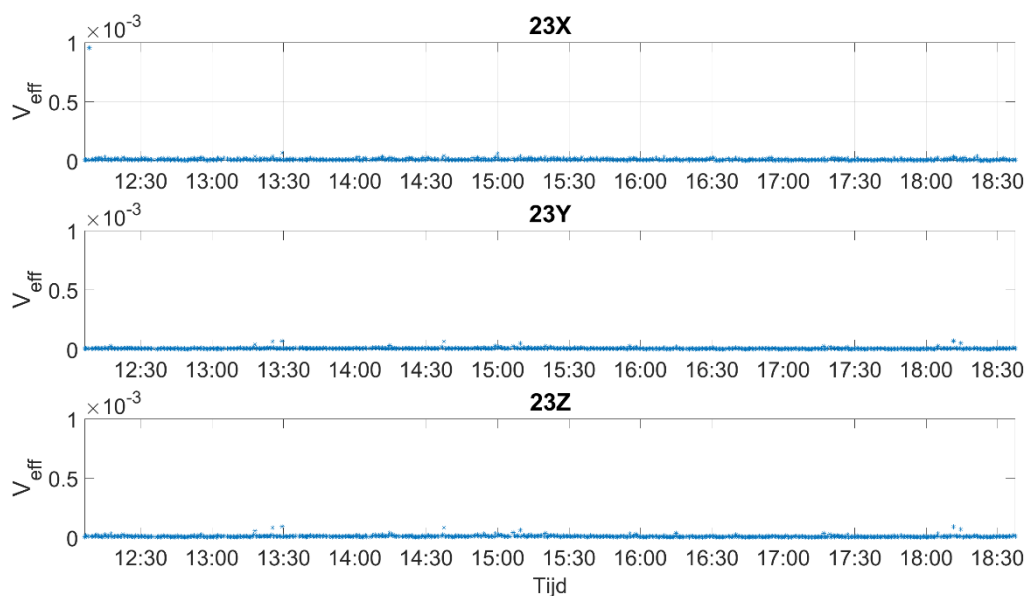
**Figuur 5** Trillingssterktes aan de woningen als functie van de tijd voor de NO locatie



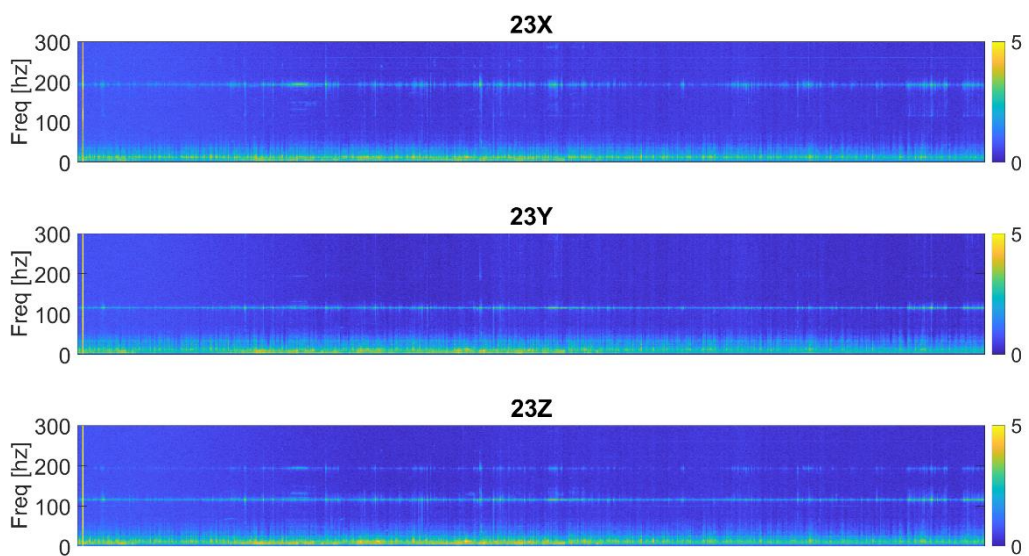
**Figuur 6** X- Y- en Z-richting spectrogrammen van de metingen hierboven.

De metingen van het NO meetpunt hebben een lagere amplitude dan de NW en ZW meetpunten. Dit komt door de grotere afstand ten opzichte van de tunnel, maar vooral doordat hier aan de woning gemeten is in plaats van op het maaiveld.

Meetresultaten ZO



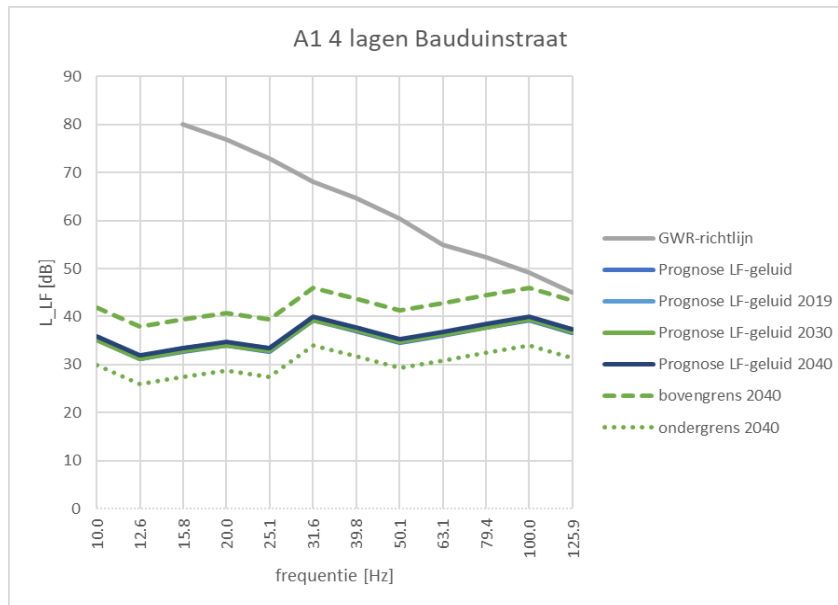
**Figuur 7** Trillingssterktes aan de woningen als functie van de tijd voor de ZO locatie



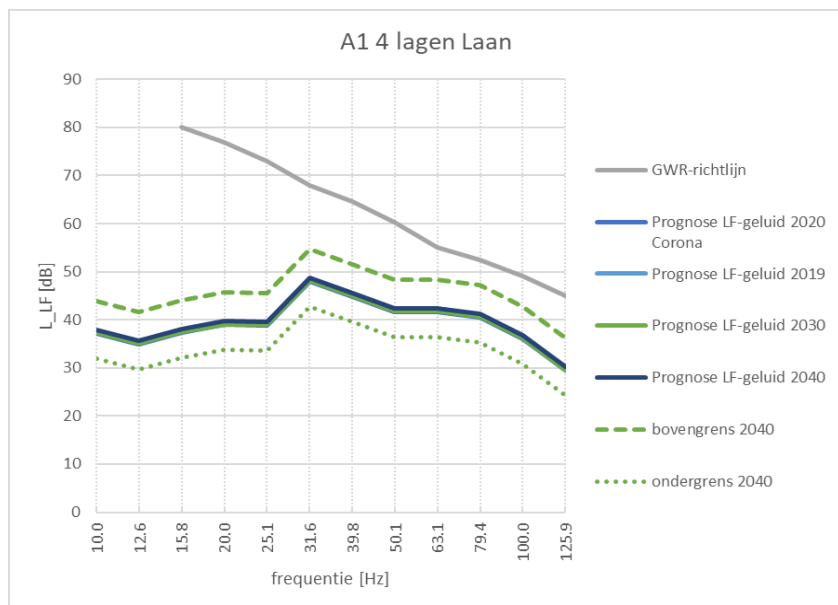
**Figuur 8** X- Y- en Z-richting spectrogrammen van de metingen hierboven.

Ook de metingen van het ZO meetpunt laten lagere amplitudes dan de NW en ZW meetpunten zien en komen goed overeen met het NO meetpunt.

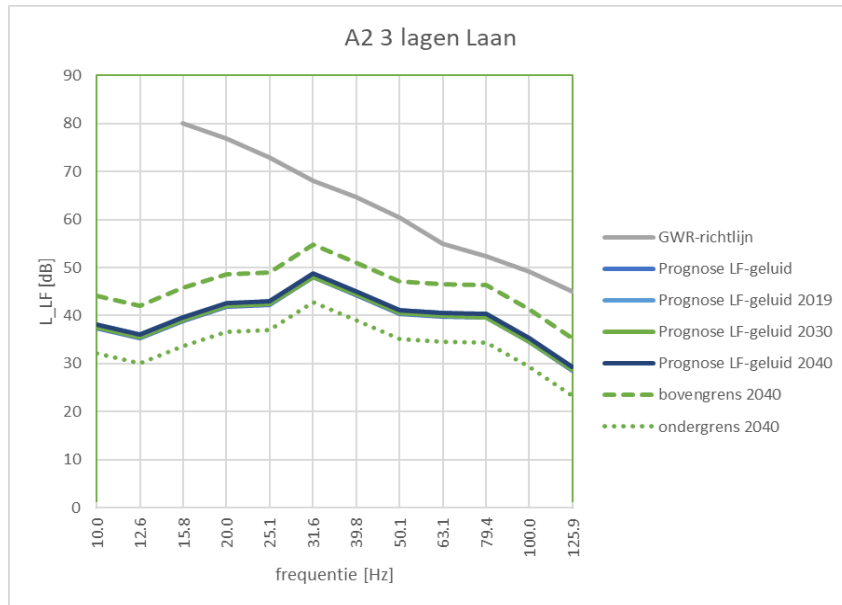
## Bijlage IV Prognose laagfrequent geluid



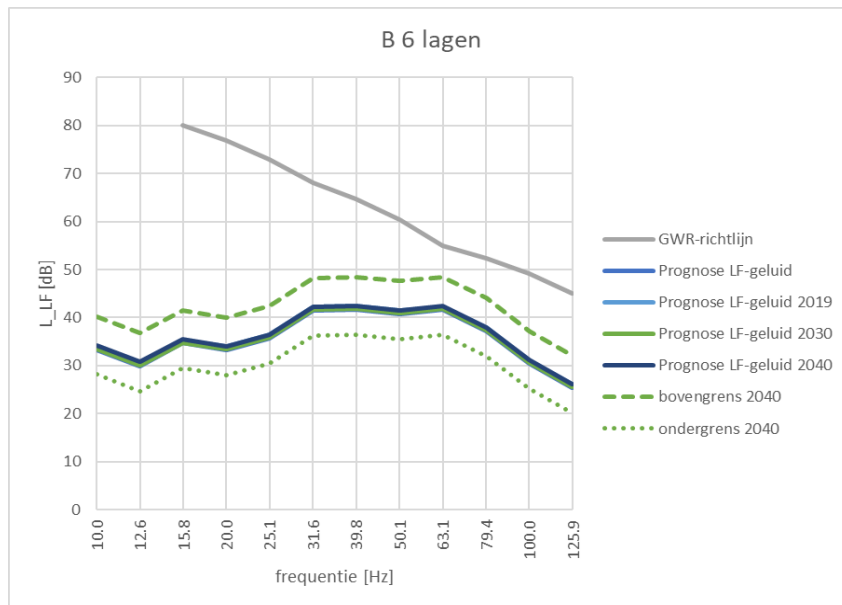
**Figuur IV-1 Prognose laagfrequent geluid voor woningen A1 met 4 lagen aan de Bauduinstraat**



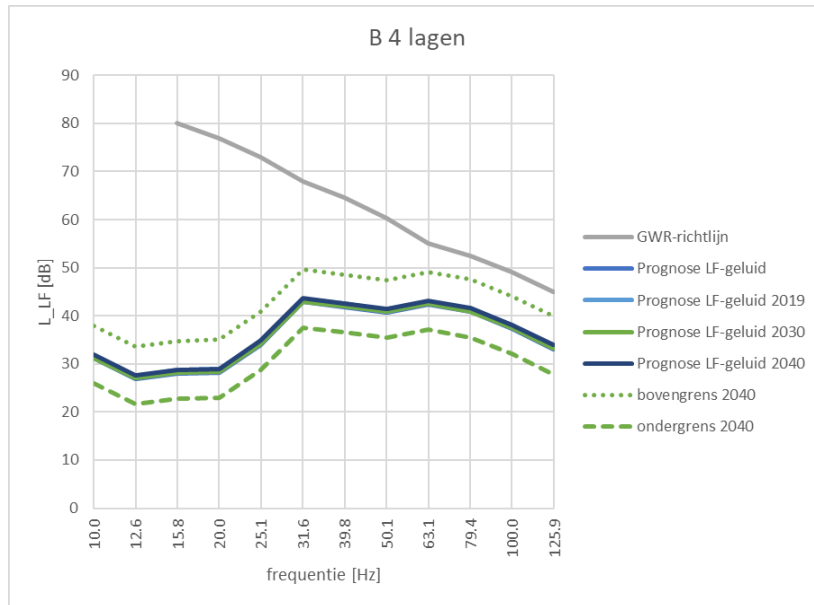
**Figuur IV-2 Prognose laagfrequent geluid voor woningen A1 met 4 lagen aan de Laan**



**Figuur IV-3 Prognose laagfrequent geluid voor woningen A2 met 3 lagen aan de Laan**



**Figuur IV-4 Prognose laagfrequent geluid voor woningen B met 6 lagen aan de Laan**



**Figuur IV-5 Prognose laagfrequent geluid voor woningen B met 4 lagen aan de Laan**

