

## **Bijlage 5 Trillingsonderzoek**

## Trillingsonderzoek Comeniuslaan, Naarden

### Onderzoek spoortrillingen

Status	definitief
Versie	003
Rapport	R001
Datum	8 september 2022



## Colofon

<b>Opdrachtgever</b>	Ten Brinke Vastgoed Ontwikkeling B.V.
<b>Contactpersoon opdrachtgever</b>	de heer T. Oosterhof
<b>Project</b>	Comeniuslaan, Naarden
<b>Betreft</b>	Trillingsonderzoek
<b>Uw kenmerk</b>	-
<b>Rapport</b>	R001
<b>Datum</b>	8 september 2022
<b>Versie</b>	003
<b>Status</b>	definitief
<b>Uitgevoerd door</b>	DGMR Bouw B.V. Weerdjesstraat 70 6811 JE Arnhem Postbus 153 6800 AD Arnhem
<b>Contactpersoon</b>	ing. R.G. (Reinoud) Fennema 088 346 76 33 rfe@dgmr.nl
<b>Auteur</b>	ir. B.J.H. (Beinte) Groen 088 346 76 43 bgr@dgmr.nl
<b>Projectadviseur</b>	ing. A.W.N. (Antwan) van Haaren 088 346 76 02 hr@dgmr.nl
<b>2e lezer/secr.</b>	RFE BDI

## Inhoud

<b>1. Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>2. Situatie</b>	<b>5</b>
2.1 Kavel	5
2.2 Spoor	5
<b>3. Toetsingskader</b>	<b>6</b>
<b>4. Metingen</b>	<b>7</b>
4.1 Meetomstandigheden	7
4.2 Meetpunten	7
4.3 Meetapparatuur	8
4.4 Verwerking meetresultaten	8
<b>5. Resultaten</b>	<b>9</b>
5.1 Trillingsmetingen	9
<b>6. Prognose</b>	<b>11</b>
6.1 Methode	11
6.2 Prognoseresultaten	11
<b>7. Maatregelen</b>	<b>14</b>
<b>8. Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>15</b>

## Bijlagen

Bijlage 1	Trillingsregistraties
Bijlage 2	Trillingsprognose woningen op 18 meter van het spoor
Bijlage 3	Trillingsprognose vrije sector woningen op 41 meter van het spoor

## 1. Inleiding

In opdracht van Ten Brinke Vastgoedontwikkeling heeft DGMR Bouw B.V. onderzoek gedaan naar spoortrillingen voor het nieuwbouwplan aan de Comeniuslaan in Naarden. De kavel grenst aan de spoorlijn Hilversum - Amsterdam en er staan woningen gepland vanaf circa 20 meter van het spoor. Recent is dit traject nabij station Naarden - Bussum aangepast, het aantal sporen is verminderd van vijf naar twee. Onderzocht is of trillingen afkomstig van het spoor het wooncomfort in de toekomstige woningbouw aantasten.

Om inzicht te krijgen in de trillingsrisico's zijn trillingsmetingen verricht op de kavel aan de Comeniuslaan. Op basis van de resultaten van deze metingen is een prognose gemaakt van de te verwachten trillingen in de nieuwbouw. Ook worden randvoorwaarden gegeven voor het ontwerp om te kunnen voldoen aan de SBR-richtlijn Trillingen, deel B.

Op de kavel komen vijftien vrije sector woningen te staan. De woningen worden verdeeld over vier blokken van minimaal twee tot maximaal vijf woningen. De minimale afstand tot het woonblok met de vijf smalle rijwoningen bedraagt 18 meter. De twee-onder-een-kap woningen staan op 19 meter afstand en de overige twee woonblokken op 28 en 29 meter afstand tot het spoor, zie figuur 1. Een al bestaande woning, Comeniuslaan 42A, bevindt zich vlak voor de kavel. Deze woning staat net als de geplande woningen op 18 meter afstand van het spoor en is geschikt om informatie over de overdracht bodemgebouw op deze locatie te bepalen.



5

### 3. Toetsingskader

Voor het project aan de Comeniuslaan zijn geen specifieke/aanvullende trillingseisen opgegeven. Als toetsingskader wordt aangehouden de SBR-richtlijn trillingen, deel B: 'Trillingshinder voor personen in gebouwen'. In deze richtlijn zijn de in tabel 1 weergegeven streefwaarden opgenomen.

**tabel 1: SBR-B - streefwaarden continue en herhaald voorkomende trillingen, nieuwe situaties**

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Onderwijs/kantoor/bijeenkomst	0,1	0,6	0,07	0,1	0,6	0,07

A1 = onderste streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{max}$ ; A2 = bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{max}$

A3 = streefwaarde voor de gemiddeld effectieve waarde over de beoordelingsperiode  $V_{per}$ , indien  $A1 < V_{max} < A2$

Nieuwe woongebouwen nabij een weg of spoorlijn voldoen aan de SBR-B als de maximale effectieve trillingssterkte  $V_{max}$  kleiner is dan 0,2 (nachtperiode) en de gemiddelde trillingssterkte  $V_{per}$  niet hoger dan 0,05. Als  $V_{max}$  kleiner is dan 0,1, komt de toetsing van de  $V_{per}$  te vervallen.

## 4. Metingen

### 4.1 Meetomstandigheden

In overeenstemming met de aanbevelingen in de SBR-B is een meetperiode van één week aangehouden, om variaties in spoorgebruik en materieel mee te nemen in de metingen. De metingen zijn uitgevoerd tussen 7 juni en 14 juni 2021. In deze meetperiode was er sprake van een normale dienstregeling en hierop zijn geen afwijkingen geconstateerd.

### 4.2 Meetpunten

Vanwege de onregelmatige vorm van de kavel is ervoor gekozen om de drie bodemmeetpunten in een driehoek te plaatsen, waarvan twee op gelijke afstand (18m) van het spoor en het derde punt 41 m van het spoor, zie figuur 2. Dit geeft informatie over zowel de variatie in trillingsopwekking langs het spoor alsook over de verzwakking met toenemende afstand tot het spoor. Het meetpunt aan de bestaande woning bevond zich evenals twee van de bodemmeetpunten op 18 meter van het spoor. Zo is de meest directe bodemgebouw overdracht te bepalen. De kavel bevindt zich nabij een spoorovergang. Eventuele trillingsverhoging door de overgang is met de gekozen spreiding in meetpunten meegenomen in de metingen.



figuur 2: meetposities



### 4.3 Meetapparatuur

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de gebruikte meetsystemen. De meetpunten Mp1 t/m Mp4 hebben gedurende een week trillingen gemeten. Verder is er over enkele uren een meetsysteem met hoge meetresolutie ingezet om de spectrale verdeling van treinpassages nauwkeurig te bepalen. Dit meetsysteem bevindt zich precies tussen Mp1 en Mp2 op 18 meter van het spoor. Dit meetsysteem is als Mp1\* opgenomen in de tabel.

**tabel 2: meetlocaties en systemen**

Meetpunt	Locatie	Meetsysteem	Serienummer
Mp1	Bodem 18 m afstand	Profound Vibra SBR	VIB 00488
Mp1*	Bodem 18 m afstand (tijdelijk)	Menhir (AH0152)	191801113
Mp2	Bodem 18 m afstand	Profound Vibra SBR	VIB 00588
Mp3	Bodem 41 m afstand	Profound Vibra SBR	VIB 01044
Mp4	Gevel gebouw 18 m afstand	Profound Vibra SBR	VIB 01188

### 4.4 Verwerking meetresultaten

Om alleen treinpassages vrij van verstoring in beeld te brengen, zijn treinpassages en mogelijke verstoringen in de trillingsregistraties geïdentificeerd op basis van onderling vergelijk van de meetsystemen. Waar nodig zijn passages geverifieerd op basis van de camerabeelden. Verstoorde treinpassages zijn buiten beschouwing gelaten.

De meetsystemen meten de maximale trillingssterkte  $V_{top}$  en de voor trillingshinder maatgevende effectieve trillingssterkte  $V_{eff}$ . De  $V_{eff}$  wordt gemeten in 30 seconden intervallen overeenkomstig de SBR-B. Dit is voor identificatie van treinpassages of verstoringen te grof. Dit is daarom gedaan aan de hand van het trillingssignaal  $V_{top}$  dat per 3 seconden is vastgelegd en dus een 10x hogere resolutie heeft. Van geïdentificeerde treinpassages, die vrij zijn van verstoring, is vervolgens de bijbehorende effectieve trillingssterkte  $V_{eff,max}$  geselecteerd voor verdere analyse en prognose. De hoogste  $V_{eff,max}$  is de maatgevende  $V_{max}$  volgens de SBR-B richtlijn.

## 5. Resultaten

### 5.1 Trillingsmetingen

Bijlage 1 geeft een overzicht van de trillingsregistraties gedurende een week meten. Afgebeeld is de trillingssterkte  $V_{top}$  die, zoals in paragraaf 4.4 is omschreven, wordt gebruikt voor identificatie van treinpassages. Na identificatie zijn van de top-15 treinpassages de bijbehorende effectieve trillingssterkten  $V_{eff,max}$  geselecteerd en statistisch verwerkt volgens de in de SBR-B aangegeven methodiek. In tabel 3 staan de top-15 (effectieve) trillingssterkten  $V_{eff,max}$  vermeld voor de meetpunten Mp1 t/m Mp4. De passages zijn gerangschikt op Mp2 in de Z-richting.

**tabel 3: trillingssterkten  $V_{eff,max}$  (top-15) - Aflopend gesorteerd op Mp2-Z**

Top-15		Mp1 (18 m)			Mp2 (18 m)			Mp3 (41 m)			Mp4 (18 m, gevel)		
		X*	Y*	Z*	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	Tankertrein Zuid	0,40	0,29	0,58	0,51	0,27	0,55	0,32	0,11	0,30	0,37	0,18	0,67
2	Tankertrein Zuid	0,38	0,44	0,45	0,47	0,40	0,40	0,22	0,17	0,31	0,35	0,33	0,48
3	Tankertrein Zuid	0,37	0,39	0,36	0,41	0,39	0,40	0,18	0,23	0,40	0,33	0,34	0,45
4	-**	0,22	0,26	0,23	0,27	0,27	0,36	0,15	0,11	0,23	0,20	0,19	0,49
5	Ertstrein Zuid	0,17	0,18	0,21	0,22	0,18	0,35	0,17	0,13	0,19	0,21	0,16	0,34
6	-**	0,26	0,24	0,34	0,32	0,28	0,33	0,17	0,15	0,27	0,24	0,25	0,38
7	Tankertrein Zuid	0,23	0,24	0,20	0,30	0,24	0,28	0,11	0,11	0,18	0,19	0,23	0,48
8	-**	0,20	0,20	0,26	0,21	0,19	0,27	0,16	0,10	0,18	0,23	0,14	0,26
9	-**	0,24	0,38	0,32	0,34	0,36	0,26	0,13	0,18	0,32	0,28	0,25	0,37
10	-**	0,18	0,20	0,31	0,24	0,25	0,26	0,13	0,14	0,21	0,17	0,23	0,35
11	Tankertrein Zuid	0,24	0,23	0,25	0,26	0,21	0,24	0,12	0,18	0,22	0,24	0,22	0,31
12	-**	0,20	0,16	0,19	0,18	0,14	0,24	0,11	0,10	0,11	0,13	0,10	0,21
13	-**	0,17	0,15	0,22	0,29	0,17	0,23	0,15	0,13	0,19	0,14	0,17	0,33
14	Containtertrein	0,18	0,18	0,30	0,25	0,18	0,22	0,10	0,10	0,16	0,16	0,14	0,26
15	-**	0,17	0,15	0,17	0,21	0,15	0,22	0,12	0,10	0,14	0,16	0,10	0,19
Aantal passages (n)		15											
Gemiddelde ( $\mu$ )		0,24	0,25	0,29	0,30	0,25	0,31	0,16	0,14	0,23	0,23	0,20	0,37
Standaarddeviatie ( $\sigma$ )		0,08	0,09	0,11	0,10	0,08	0,09	0,06	0,04	0,08	0,08	0,07	0,13
$V_{eff,max,stat}$		0,43	0,47	0,57	0,53	0,45	0,52	0,29	0,23	0,42	0,41	0,38	0,68

\* X-richting  $\perp$  spoor, Y-richting // spoor en Z-richting verticaal

\*\* Geen beeld beschikbaar (op 10 juni om 15:40 is de camera door een passant onklaar gemaakt)

### Beschouwing

De goederentreinpassages in de top-15, waarvan ook camerabeeld beschikbaar is, blijken te rijden in zuidelijke richting, dus over het spoor dat het verst van de kavel afligt. De afstand van dit spoor tot het eerste meetpunt (Mp1 en Mp2) bedraagt daardoor niet 18 maar 22 meter. Evenzo bedraagt de afstand tot het meetpunt Mp3 dan niet 41 maar 45 meter.

Op de meetpunten Mp1 en Mp2 lagen de trillingssterkten van de top-15 in verticale richting een factor 5 tot 6 boven de voelbaarheidsgrens van de mens (0,1). In de horizontale richting haaks op het spoor zijn de trillingssterkten een factor 4 tot 5 hoger. Naar meetpunt Mp3 op 41 dan wel 45 meter van het spoor namen de niveaus verticaal met gemiddeld 25% af. Horizontaal is een grotere afname te zien van gemiddeld 30 tot 50%. Op korte afstand van het spoor is een snelle afname van horizontale trillingen met toenemende afstand niet ongebruikelijk. De beperkte afname van de verticale component komt door de treinlengte. De trillingsopwekking heeft het karakter van een lijnbron waarvoor geldt dat de trillingsafname met toenemende afstand zeer klein is.

De overdracht van bodem naar gebouw wordt niet alleen bepaald door de trillingen aan de oppervlakte, maar vooral ook door trillingen op het aanlegniveau van de fundatie. De horizontale component van oppervlaktegolven neemt snel af met toenemende diepte, terwijl de verticale component minder snel afneemt. Door dit effect en de grotere afname van horizontale trillingen met toenemende afstand tot het spoor zijn in de praktijk de verticale trillingen op een gebouwfundatie, veelal toch dominant. Dit is ook waarneembaar op Mp4 aan de woninggevel. Dit meetpunt toont echter ook dat er voor op staal gefundeerde woningen geen verzwakking valt te verwachten van bodem naar gebouwfundatie. Voor de zwaarste (maatgevende) treinpassages is er zelfs een versterking van 10 tot 20% zichtbaar (vergelijk Mp2-Z met Mp4-Z).

Opvallend is het grote verschil in trillingsopwekking tussen de zwaarste treinpassage, een zuidwaartse tankertrein op 8 juni om 08:22, en de overige passages. Deze trein noteerde 30% hogere trillingen. Dit soort uitschieters komt vaak voor en heeft behalve de onderhoudstoestand van treinen vermoedelijk ook te maken met de rijsnelheid. Een afwijkende rijsnelheid van treinen kan betekenen dat trillingsopwekking plaatsvindt bij frequenties waarvoor de bodem meer gevoelig is. De gemeten trillingssterkten op de woning (Mp4) vertonen eenzelfde beeld met fors hogere trillingssterkten voor deze ene passage.

## 6. Prognose

### 6.1 Methode

Voor een prognose van de te verwachten trillingssterkten in toekomstige bebouwing is een empirisch rekenmodel opgezet. Voor de overdracht van bodem naar gebouw is gebruikgemaakt van door TNO ontwikkelde overdrachtsfuncties, aangevuld met door DGMR verzamelde meetdata van de woning Comeniuslaan 42A.

Voor de trillingsversterking die kan optreden in vloeren wordt gerekend met overdrachtscurven waarbij de maximale trillingsversterking optreedt rond de laagste buig-eigenfrequentie van de vloer. De vloerversterking ligt doorgaans in de orde van een factor 1 tot 3 (tot 10 dB), afhankelijk van het gekozen vloertype en het al of niet samenvallen vloereigenfrequenties met dominante frequenties in het treinspectrum. Het is dus van belang om daarmee rekening te houden bij de vloerkeuze. Bij een betonvloer met een laagste buig-eigenfrequentie van 15 Hz of hoger is de versterking meestal lager dan een factor 2. In de prognose wordt rekening gehouden met een vloer met deze stijfheidseigenschappen.

Op verdiepingen kan de horizontale richting dominant zijn als een woningcasco in resonantie raakt op het funderingssysteem en een kantelbeweging ondergaat. Dit kan optreden bij (langere) goederentreinen en speelt zich af bij lage frequenties ( $\leq 10$  Hz), maar laat zich op voorhand vaak moeilijk voorspellen. Bij kortere en sneller rijdende reizigerstreinen is dit risico veel minder aanwezig. In de prognose wordt rekening gehouden met versterking naar hogere verdiepingen bij deze lage frequenties.

### 6.2 Prognoseresultaten

Bijlage 2 toont de prognoseberekningen voor de eerstelijns bebouwing, bestaande uit het blok met smalle rijwoningen op ongeveer 18 meter afstand, en de tweedelijns bebouwing bestaande uit grondgebonden (vrije sector) woningen op ongeveer 41 meter afstand van het dichtstbijzijnde spoor. De prognose is opgesteld voor de maatgevende goederentrein. Bij reizigerstreinen ligt de trillingsopwekking minstens een factor 2 lager en deze zijn voor de trillingsbeoordeling verder niet relevant. Voor de  $V_{\text{per}}$  berekening (gemiddelde trillingssterkte) is de verdelingsfunctie van het aantal treinen per passageniveau  $V_{\text{eff,max}}$  gebruikt. In tabel 4 is een overzicht gegeven van de prognosticeerde trillingssterkten gebaseerd op de zwaarste treinpassage.

**tabel 4: trillingsprognose ( $V_{\text{max}}/V_{\text{per}}$ ) nieuwbouw - maatgevende goederentrein**

Gebouwtype	Richting	Trillingssterkte $V_{\text{max}}$ ( $V_{\text{per}}$ )	
		18 m (1e lijn)	41 m (2e lijn)
Grondgebonden woningen - fundering op staal - op palen	Horizontaal	0,38 - 0,64 (0,01 - 0,04)	0,26 - 0,45 (0,00 - 0,02)
	Verticaal	0,99 (0,06)	0,72 (0,04)
	Verticaal	0,60 (0,04)	0,44 (0,01)

In de prognoses is uitgegaan van traditionele woningbouw met een betonnen draagconstructie, relatief stijve vloeren en voor wat betreft een paalfundering, palen met lengte van tenminste 8 meter. Voor zeer korte funderingspalen zullen de resultaten niet verschillen van een fundering op staal. Voor de vloeren is uitgegaan van vloeren met een laagste buig-eigenfrequentie van 15 Hz. Vloeren met een buig-eigenfrequentie in het frequentiegebied van 8 tot 12,5 Hz zullen meer gevoelig zijn voor de trillingsopwekking van treinen. Deze frequenties komen overeen met de omloopfrequenties van treinwielen en daarmee neemt de invloed van de onderhoudstoestand van treinwielen (vierkante wielen) op deze vloeren toe. Het advies is dus om dit frequentiegebied te mijden.

### Beschouwing resultaten

In tabel 4 is te zien dat woningen met een paalfundering aanmerkelijk beter presteren dan op staal gefundeerde woningen, althans in de verticale richting. In de horizontale richting maakt dit weinig verschil. Verwacht wordt dat in horizontale richting de trillingen naar hogere verdiepingen wat zullen toenemen ten opzichte van de fundatie door het verwachte trilgedrag van het woningcasco op deze fundatie. In dit geval bedraagt de toename ongeveer een factor 1,5. Ook vloeren vertonen in de regel een trillingsversterking ten opzichte van de fundatie. De mate waarin hangt af van de vloerconstructie en gekozen overspanning, maar voor nieuwbouwwoningen met betonnen vloeren en een beperkte overspanning wordt gerekend met een versterking van een factor 1,3 tot 1,5. Dit geldt als de laagste buig-eigenfrequentie van de vloer niet lager is dan 15 Hz. Als dit wel het geval is dan worden hogere versterkingen verwacht vanwege de dominante aanstootfrequenties in het treinspectrum.

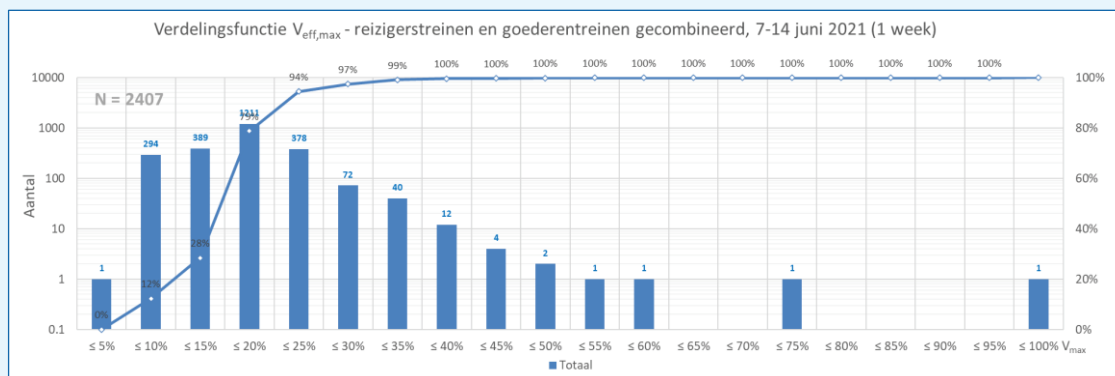
Tabel 4 toont dat zowel in de eerste lijn (18m) alsook de tweede lijn (41 m) overschrijdingen van zowel de streefwaarde A2 van 0,2 voor de nachtperiode alsook de streefwaarde van 0,4 voor de dagperiode optreden. Ook voor de bestaande woning Comeniuslaan 42A wordt verwacht dat deze niet voldoet aan dit toetsingskader voor nieuwbouw, maar voor bestaande bouw gelden een factor 2 hogere streefwaarden. De gemiddelde trillingssterkte  $V_{per}$  voldoet alleen niet aan de streefwaarde A3 van 0,05 voor de nachtperiode, als de rijwoningen in de eerste lijn worden gefundeerd op staal. Bij een fundering op palen zal deze wel voldoen en dit is ook het geval voor de woningen in de tweede lijn. Dat de gemiddelde trillingssterkte  $V_{per}$  wel voldoet heeft te maken met het feit dat slechts een fractie van de passerende treinen hoge trillingssterkten opwekt.

Zoals tabel 3 laat zien is de trillingsopwekking van de maatgevende treinpassage ongeveer 25% hoger dan die van de tweede opvolgende passage qua trillingsopwekking. Wanneer overschrijding van het toetsingskader door één trein per week is toegelaten, dan zou de tweede trein qua trillingssterkte als maatgevend kunnen worden beschouwd. Gerekend met de trillingsopwekking van deze (tweede) trein zou de trillingssterkte op vloeren van de eerstelijns bebouwing (rijwoningen) dan uitkomen op 0,44 en van de tweedelijns bebouwing op 0,32. Beide waarden gelden voor de verticale meetrichting. In de horizontale meetrichting dalen de waarden echter maar een fractie, met zo'n 5 à 10% waardoor de horizontale richting dan maatgevend wordt. Dit alles betekent dat ook na uitsluiting van één extreem per week de streefwaarde voor nieuwbouw nog ruimschoots wordt overschreden tijdens de nachtperiode.

### Nadere beschouwing overschrijdingen op basis van verdeling treinpassages

In figuur 3 wordt de verdelingsfunctie van alle gemeten trillingssterkten  $V_{eff,max}$  per passage in verticale richting getoond, geldend voor meetpunt Mp1 op 18 meter van het dichtstbijzijnde spoor. Deze verdelingsfunctie laat zien dat van alle verwerkte 2.407 treinpassages gedurende één week er maar vijf passages een trillingssterkte opwekten van meer dan 50% van het gemeten maximum van 0,6. Slechts tien treinen wekten meer dan 40% van het maximum op. Volgens de prognose zullen in de eerstelijns bebouwing dus ongeveer tien goederentreinen per week de streefwaarde van 0,2 geldend voor de nachtperiode overschrijden, tenminste als gekozen wordt voor woningen met een paalfundering. Goederentreinen rijden ongeveer gelijk verdeeld over de dag-, avond- en nachtperiode. Dit betekent dat het aantal daadwerkelijke overschrijdingen van de streefwaarde in de nachtperiode (23-7u) beperkt zal zijn tot hooguit drie à vier per week. In de tweedelijns bebouwing zal het aantal overschrijdingen in de nachtperiode dan beperkt zijn tot één à twee per week.

Hoewel het treffen van aanvullende maatregelen de impact van alle treinen verlaagt, gaat het in het kader van het voldoen aan de richtlijn (SBR-B) dus om het verlagen van de trillingsbijdrage van ongeveer vier nachtelijke goederentreinen in de eerstelijns bebouwing en ongeveer twee nachtelijke treinen in de tweede lijn.



figuur 3: verdelingsfunctie maximale trillingssterkte  $V_{eff,max}$  per passage - Mp1 (18m) verticaal

## 7. Maatregelen

Om te kunnen voldoen aan de streefwaarden voor nieuwbouw zijn aanvullende maatregelen nodig om trillingen te beperken. Als voor de nieuwbouwwoningen een paalfundatie (lengte minstens 8 meter) wordt toegepast dan is voor de eerstelijns bebouwing nog een factor 2,5 reductie nodig ten opzichte van de in tabel 4 geprognosticeerde trillingssterkten. Dit om zonder uitzonderingen te kunnen voldoen aan de streefwaarde voor nieuwbouw in de nachtperiode. Voor de tweedelijns bebouwing op 41 meter van het spoor is dan nog een factor 1,8 reductie nodig. Als twee nachtelijke overschrijdingen per week als acceptabel worden beschouwd dan is zouden voor de tweedelijnsbebouwing geen aanvullende maatregelen op het treffen van een paalfundatie en het realiseren van stijve vloeren (buigfrequentie  $\geq 15$  Hz) nodig zijn. Voor de eerstelijns bebouwing is een aanvullende maatregel boven op deze bouwkundige zaken echter noodzakelijk. Gezien de zeer korte afstand van de eerstelijns bebouwing tot het spoor liggen hier twee mogelijkheden voor:

- Een ondergrondse trillingskerende constructie tussen spoor en woningen.
- Trillingsisolatie onder de fundatie van de woningen.


De eerste mogelijkheid behoeft nadere analyse met een rekenmodel om de effectiviteit te bepalen en wanneer deze maatregel ingrijpt op de spoorzone (11 m) zal ook medewerking van de spoorbeheerder nodig zijn. Deze maatregel is voor bouwprojecten ook nog zelden als doelmatig aangemerkt. De tweede maatregel, het treffen van trillingsisolatie onder de woningfundatie is echter al in meerdere woningbouwprojecten toegepast en is qua effectiviteit ook de meest zekere van de twee. Deze maatregel wordt dan ook voorgesteld voor tenminste het blok smalle rijwoningen en de 2-onder-1 kap woningen in de eerste lijn. Om effectief trillingen te isoleren zijn veren nodig met een afveerfrequentie van ongeveer 2,5 à 3 Hz. Dit geeft dan bij de gemeten dominante frequenties van 6,3 tot 10 Hz tenminste een factor 3 trillingsreductie, waarmee voldaan wordt aan de streefwaarde uit de SBR-B.

## 8. Conclusies en aanbevelingen

Uit de gedane trillingsmetingen en daarop gebaseerde prognose blijkt dat er in de rijwoningen en 2-onder-1 kapwoningen op ongeveer 18 meter afstand van het spoor (eerstelijns bebouwing) niet wordt voldaan aan de streefwaarde A2 van 0,2 uit de SBR-B, geldend voor nieuwbouw met een woonfunctie in de nachtperiode. Ook in de woningen op 41 meter (tweede lijn) wordt niet onvoorwaardelijk voldaan aan deze streefwaarde.

Als de woningen worden voorzien van een paalfundatie met palen van tenminste 8 meter lengte, stijve vloeren met een laagste buig-eigenfrequentie van tenminste 15 Hz en er worden twee overschrijdingen per week van de streefwaarde A2 voor de nachtperiode geaccepteerd, dan zouden de woningen in de tweede lijn geen verdere maatregelen behoeven. De maximale trillingssterkte in de nachtperiode voldoet dan weliswaar niet aan de streefwaarde voor nieuwe situaties (nieuwbouw) maar blijft of wel binnen de kaders voor bestaande woningbouw.

Voor de woningen in de eerste lijn, het blok rijwoningen en de 2-onder-1 kap woningen, is bovenop genoemde constructieve maatregelen (zie hierboven) een aanvullende maatregel ter reductie van trillingen noodzakelijk. Gezien de gewenste trillingsreductie is hier het treffen van trillingsisolatie onder de woningfundatie de meest geschikte maatregel. Hier zou dan trillingsisolatie met een afveerfrequentie van ongeveer 2,5 à 3 Hz nodig zijn, in te vullen door een groot aantal stalen schroefveren. Dit betekent dat hiervoor een dragend kader of betonplaat moet worden aangelegd onder de reguliere betonnen randbalken.

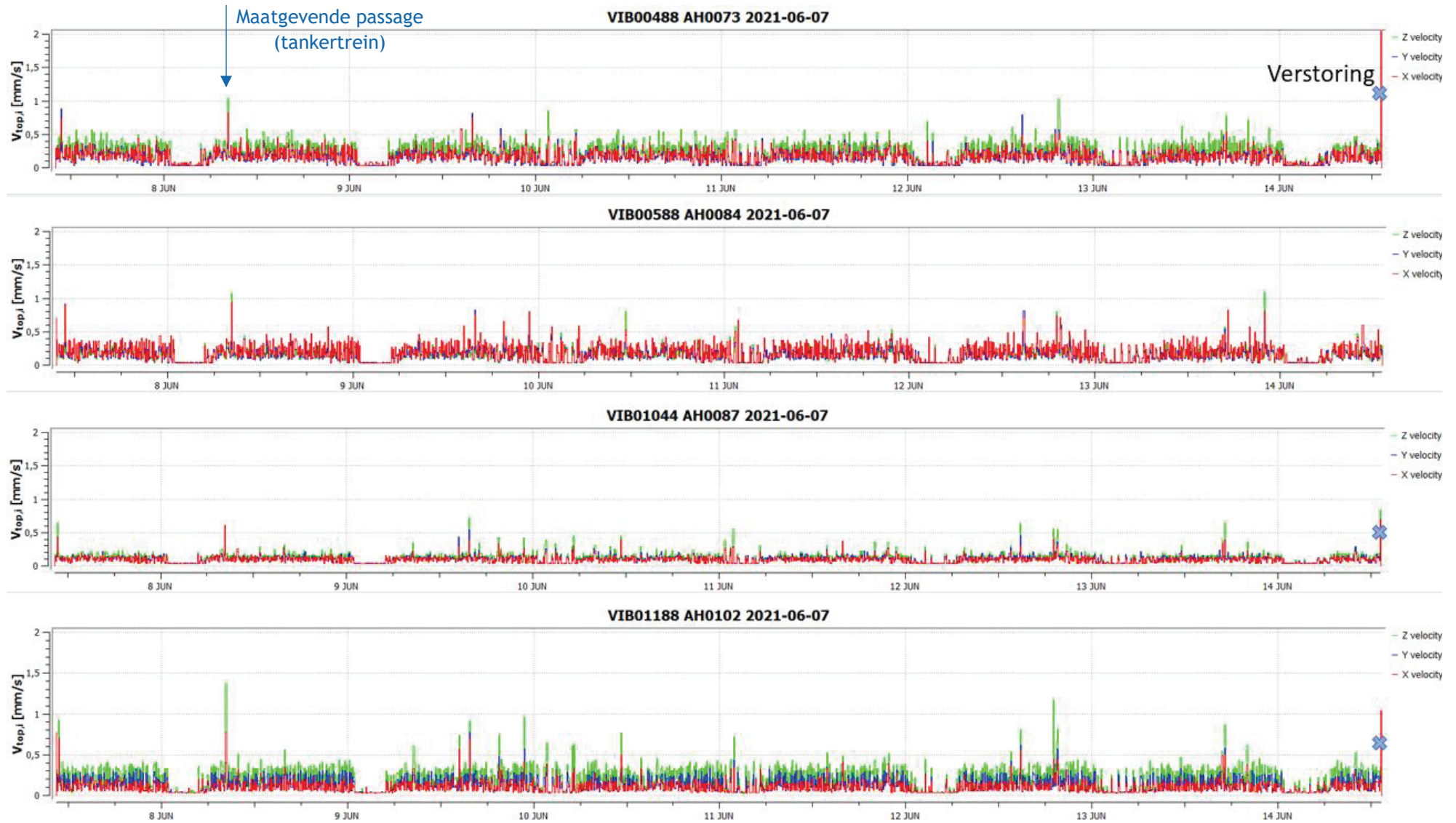


ing. A.W.N. (Antwan) van Haaren  
DGMR Bouw B.V.



## Bijlage 1

Titel	Trillingsregistraties
-------	-----------------------



## Bijlage 2

Titel	Trillingsprognose woningen op 18 meter van het spoor
Omvang	1+2 bladen (1x Horizontaal-X + 2x Verticaal-Z)
Toelichting	--

**Trillingsprognose railverkeer**

project **Comeniuslaan Naarden** bronspectrum **Tankertrein Zuid, 8/6 - 08:22**  
 gebouwtype **Woningen** vormfactor  $C_p$  **0.67** (verhouding  $v_{rms}/v_{top}$ )  
 gebouwfstand (tot spoor) **22 m** referentieafstand **22 m** **spoor 2**

passages per uur **1** (voelbaar  $V_{eff} > 0,1$ )  
 peiljaar **2021**  
 rijsnelheid **90** km/u  
 referentie snelheid **90** km/u

**X****Bodemtrillingen**

<b>1/3-octaf</b>	<b>1</b>	<b>1.25</b>	<b>1.6</b>	<b>2</b>	<b>2.5</b>	<b>3.15</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6.3</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12.5</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>31.5</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>63</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>160</b>	<b>200</b>	<b>som</b>
bronspectrum (rms, gem)	76	76	77	80	86	89	86	90	107	110	102	93	87	87	84	87	89	75	73	76	68				112
spreiding	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0				
bronspectrum (rms, max)	79	79	80	83	89	92	89	93	110	113	105	96	90	90	87	90	92	78	76	79	71				115
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie																									
$L_v$ [dB]	79	79	80	83	89	92	89	93	110	113	105	96	90	90	87	90	92	78	76	79	71				115
$v_{rms}$ [mm/s]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.05	0.31	0.46	0.18	0.06	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00				0.59
																									0.88

**SBR-A / Gebouwschade**

Stijf punt fundatie	gebouwtype: User defined 1 - horizontaal										Gemeten Comeniuslaan 12A														
H <sub>v,1</sub> [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.7	-2.2	-2.7	-5.1	-6.4	-7.1	-8.6	-9.8	-11.6	-11.3	-14.0	-15.0	-16.0				
L <sub>v</sub> [dB]	79	79	80	83	89	92	89	93	109	111	103	91	83	82	78	80	80	67	62	64	55	114			
v <sub>rms</sub> [mm/s]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.05	0.28	0.35	0.13	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48			
																						v <sub>top</sub>	0.71		

**SBR-C / Verstoring van apparatuur ( $v_{rms}$ )**

Begane grond		vloer type: user defined																									
H <sub>v,vloer</sub>		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
L <sub>v</sub> [dB]		79	79	80	83	89	92	89	93	109	111	103	91	83	82	78	80	80	67	62	64	55				114	
v <sub>rms</sub> [mm/s]		0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.05	0.28	0.35	0.13	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				0.48	
																										V <sub>top</sub>	0.71

1e verdieping	vloer type: user defined																						v_top		0.90		
H <sub>v,3</sub> [dB]	0.1	0.2	0.4	0.6	1.0	1.7	3.1	6.0	4.1	0.0	0.0	-0.2	-0.3	-0.5	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8			
H <sub>v,vloer</sub> [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
L <sub>v</sub> [dB]	79	80	80	84	90	94	92	99	113	111	102	91	83	82	77	80	79	66	62	64	54					116	
v <sub>rms</sub> [mm/s]	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.04	0.09	0.45	0.35	0.13	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.60	
																										v <sub>top</sub>	0.90

2e verdieping	vloer type: user defined																									
H <sub>v,3</sub> [dB]	0.3	0.5	0.8	1.2	2.0	3.3	6.1	12.0	8.2	0.0	-0.3	-0.6	-0.9	-1.2	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5	-1.5			
H <sub>v,vloer</sub> [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
L <sub>v</sub> [dB]	80	80	80	84	91	96	95	105	117	111	102	90	83	81	77	79	79	65	61	63	54				119	
v <sub>rms</sub> [mm/s]	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06	0.06	0.18	0.72	0.35	0.13	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.84	
																									V <sub>top</sub>	1.26

**SBR-B / Hinder voor personen ( $v_{eff}$ )**

Begane grond		gebouwtype:									User defined 1 - horizontaal																						
SBR-weging		-15.1	-13.2	-11.2	-9.5	-7.8	-6.1	-4.7	-3.5	-2.5	-1.7	-1.2	-0.8	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0										
L <sub>v</sub> [dB]		64	66	68	74	81	86	85	90	106	109	101	90	83	82	78	80	80	67	62	64	55				112							
v <sub>eff,max</sub> [mm/s]		0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.21	0.29	0.12	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				0.38							
																										V <sub>pe</sub> <sup>*</sup>	0.010						

1e verdieping																											
L <sub>v</sub> [dB]	64	66	69	74	82	88	88	96	111	109	101	90	82	81	77	80	79	66	62	64	54					113	
v <sub>eff,max</sub> [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.02	0.06	0.34	0.29	0.11	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00					0.46	
																										V <sub>pe</sub> <sup>*</sup>	0.019

2e verdieping																										
$L_v$ [dB]	64	67	69	75	83	90	91	102	115	109	101	89	82	81	76	79	79	65	61	63	54				116	
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.03	0.12	0.54	0.29	0.11	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				0.64	
																									$V_{pr}^*$	0.038

**Trillingsprognose railverkeer**

project	Comeniuslaan Naarden	bronspectrum	Tankertrein Zuid, 8/6 - 08:22	passages per uur	13 (voelbaar $V_{eff} > 0,1$ )
gebouwtype	Woningen	vormfactor $C_p$	0.67 (verhouding $v_{rms}/v_{top}$ )	peiljaar	2021
gebouwafstand (tot spoor)	22 m	referentieafstand	22 m spoor 2	rijnsnelheid	90 km/u
				referentie snelheid	90 km/u

Z

**Bodemtrillingen**

1/3-octaf	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (rms, gem)	74	71	67	73	73	82	84	89	106	112	100	92	88	87	85	87	87	76	73	74	73				114
spreiding	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0				
bronspectrum (rms, max)	77	74	70	76	76	85	87	92	109	115	103	95	91	90	88	90	90	79	76	77	76				117
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie																									
$L_v$ [dB]	77	74	70	76	76	85	87	92	109	115	103	95	91	90	88	90	90	79	76	77	76				117
$v_{rms}$ [mm/s]	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.30	0.59	0.13	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01				0.68
																						$v_{top}$			1.02

**SBR-A / Gebouwschade**

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	User defined 2 - verticaal										Gemeten Comeniuslaan 12A													
$H_{v,1}$ [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.5	3.1	2.1	2.1	4.9	4.0	0.1	-1.5	-3.6	-7.1	-7.3	-9.0	-11.0	-12.0				
$L_v$ [dB]	77	74	70	76	76	85	87	94	112	118	105	100	95	90	86	87	83	72	67	66	64				119
$v_{rms}$ [mm/s]	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.05	0.42	0.75	0.17	0.10	0.06	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				0.89
																						$v_{top}$			1.33

**SBR-C / Verstoring van apparatuur ( $v_{rms}$ )**

Begane grond	vloertype:	vloertype 3 ( $f_0 = 10-20$ Hz)																							
$H_{v,vloer}$	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.2	1.8	2.7	4.2	6.4	7.4	7.1	6.5	6.0	5.4	4.7	3.8	3.0	2.1				
$L_v$ [dB]	77	74	71	77	76	86	88	95	114	120	109	107	103	97	93	93	89	77	71	69	66				122
$v_{rms}$ [mm/s]	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.06	0.52	1.02	0.28	0.21	0.14	0.07	0.04	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00				1.21
																						$v_{top}$			1.81

1e verdieping	vloertype:	vloertype 3 ( $f_0 = 10-20$ Hz)																							
$H_{v,3}$ [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
$H_{v,vloer}$ [dB]	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.2	1.8	2.7	4.2	6.4	7.4	7.1	6.5	6.0	5.4	4.7	3.8	3.0	2.1				
$L_v$ [dB]	77	74	71	77	76	86	88	95	114	120	109	107	103	97	93	93	89	77	71	69	66				122
$v_{rms}$ [mm/s]	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.06	0.52	1.02	0.28	0.21	0.14	0.07	0.04	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00				1.21
																						$v_{top}$			1.81

2e verdieping	vloertype:	vloertype 3 ( $f_0 = 10-20$ Hz)																							
$H_{v,3}$ [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
$H_{v,vloer}$ [dB]	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.2	1.8	2.7	4.2	6.4	7.4	7.1	6.5	6.0	5.4	4.7	3.8	3.0	2.1				
$L_v$ [dB]	77	74	71	77	76	86	88	95	114	120	109	107	103	97	93	93	89	77	71	69	66				122
$v_{rms}$ [mm/s]	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.06	0.52	1.02	0.28	0.21	0.14	0.07	0.04	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00				1.21
																						$v_{top}$			1.81

**SBR-B / Hinder voor personen ( $v_{eff}$ )**

Begane grond	gebouwtype:	User defined 2 - verticaal																							
SBR-weging	-15.1	-13.2	-11.2	-9.5	-7.8	-6.1	-4.7	-3.5	-2.5	-1.7	-1.2	-0.8	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0			
$L_v$ [dB]	61	61	59	67	69	80	84	92	112	118	108	106	102	97	93	93	89	77	71	69	66				120
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.39	0.84	0.24	0.19	0.13	0.07	0.04	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00				0.99
																						$v_{per}^*$			0.061

1e verdieping																								
L <sub>v</sub> [dB]	61	61	59	67	69	80	84	92	112	118	108	106	102	97	93	93	89	77	71	69	66			120
v <sub>eff,max</sub> [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.39	0.84	0.24	0.19	0.13	0.07	0.04	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00			0.99
																						v <sub>pe</sub> <sup>*</sup>		0.061

2e verdieping																									
$L_v$ [dB]	61	61	59	67	69	80	84	92	112	118	108	106	102	97	93	93	89	77	71	69	66			120	
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.39	0.84	0.24	0.19	0.13	0.07	0.04	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00			0.99	
																						$v_{pe}^*$		0.061	

passages per uur	10	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$ )
peiljaar	2021	
rij snelheid	90	km/u
referentie snelheid	90	km/u

2e verdieping																							
L <sub>v</sub> [dB]	60	59	57	65	67	78	81	88	107	114	104	98	95	93	89	90	87	72	67	67	66	116	
v <sub>eff,max</sub> [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.22	0.52	0.15	0.08	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.60</b>	
																						v <sub>ps</sub> <sup>*</sup>	0.036

### Bijlage 3

Titel	Trillingsprognose vrije sector woningen op 41 meter van het spoor
Omvang	1+2 bladen (1x Horizontaal-X + 2x Verticaal-Z)
Toelichting	--

passages per uur	0	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$ )
peiljaar	2021	
rij snelheid	90	km/u
referentie snelheid	90	km/u

2e verdieping																						
L <sub>v</sub> [dB]	61	63	66	71	80	87	88	99	112	106	97	85	76	73	67	67	64	48	39	41	31	113
v <sub>eff,max</sub> [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.09	0.39	0.19	0.07	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45
																				v <sub>pe</sub> <sup>*</sup>		0.019



**Trillingsprognose railverkeer**

project	Comeniuslaan Naarden	bronspectrum	Tankertrein Zuid, 8/6 - 08:22	passages per uur	10 (voelbaar $V_{eff} > 0,1$ )
gebouwtype	Woningen	vormfactor $C_p$	0.67 (verhouding $v_{rms}/v_{top}$ )	peiljaar	2021
gebouwafstand (tot spoor)	45 m	referentieafstand	22 m spoor 2	rijnsnelheid	90 km/u
				referentie snelheid	90 km/u

Z

**Bodemtrillingen**

1/3-octaf	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (rms, gem)	74	71	67	73	73	82	84	89	106	112	100	92	88	87	85	87	87	76	73	74	73				114
spreiding	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0				
bronspectrum (rms, max)	77	74	70	76	76	85	87	92	109	115	103	95	91	90	88	90	90	79	76	77	76				117
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie	-3.8	-3.7	-3.5	-3.2	-2.7	-2.3	-2.0	-2.0	-2.3	-2.8	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9				
$L_v$ [dB]	73	70	67	73	73	83	85	90	107	113	100	92	88	87	85	88	88	77	73	74	73				114
$v_{rms}$ [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.23	0.43	0.10	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00				0.50
																						$v_{top}$			0.75

**SBR-A / Gebouwschade**

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	User defined 2 - verticaal										Gemeten Comeniuslaan 12A													
$H_{v,1}$ [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.5	3.1	2.1	2.1	4.9	4.0	0.1	-1.5	-3.6	-7.1	-7.3	-9.0	-11.0	-12.0				
$L_v$ [dB]	73	70	67	73	73	83	85	92	110	115	102	97	92	87	83	84	80	69	64	63	61				116
$v_{rms}$ [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.32	0.55	0.12	0.07	0.04	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				0.65
																						$v_{top}$			0.98

**SBR-C / Verstoring van apparatuur ( $v_{rms}$ )**

Begane grond	vloertype:	vloertype 3 ( $f_0 = 10-20$ Hz)																							
$H_{v,vloer}$	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.2	1.8	2.7	4.2	6.4	7.4	7.1	6.5	6.0	5.4	4.7	3.8	3.0	2.1				
$L_v$ [dB]	73	70	67	73	74	84	86	93	112	117	106	104	100	94	90	90	86	74	68	66	63				119
$v_{rms}$ [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.05	0.39	0.74	0.20	0.15	0.10	0.05	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00				0.89
																						$v_{top}$			1.33

1e verdieping	vloertype:	vloertype 3 ( $f_0 = 10-20$ Hz)																							
$H_{v,3}$ [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
$H_{v,vloer}$ [dB]	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.2	1.8	2.7	4.2	6.4	7.4	7.1	6.5	6.0	5.4	4.7	3.8	3.0	2.1				
$L_v$ [dB]	73	70	67	73	74	84	86	93	112	117	106	104	100	94	90	90	86	74	68	66	63				119
$v_{rms}$ [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.05	0.39	0.74	0.20	0.15	0.10	0.05	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00				0.89
																						$v_{top}$			1.33

2e verdieping	vloertype:	vloertype 3 ( $f_0 = 10-20$ Hz)																							
$H_{v,3}$ [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
$H_{v,vloer}$ [dB]	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.2	1.8	2.7	4.2	6.4	7.4	7.1	6.5	6.0	5.4	4.7	3.8	3.0	2.1				
$L_v$ [dB]	73	70	67	73	74	84	86	93	112	117	106	104	100	94	90	90	86	74	68	66	63				119
$v_{rms}$ [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.05	0.39	0.74	0.20	0.15	0.10	0.05	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00				0.89
																						$v_{top}$			1.33

**SBR-B / Hinder voor personen ( $v_{eff}$ )**

Begane grond	gebouwtype:	User defined 2 - verticaal																							
SBR-weging	-15.1	-13.2	-11.2	-9.5	-7.8	-6.1	-4.7	-3.5	-2.5	-1.7	-1.2	-0.8	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0			
$L_v$ [dB]	58	57	56	64	66	78	82	90	109	116	105	103	99	94	90	90	86	74	68	66	63				117
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.29	0.61	0.17	0.14	0.09	0.05	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00				0.72
																						$v_{per}^*$			0.043

1e verdieping																									
L <sub>v</sub> [dB]	58	57	56	64	66	78	82	90	109	116	105	103	99	94	90	90	86	74	68	66	63			117	
V <sub>eff,max</sub> [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.29	0.61	0.17	0.14	0.09	0.05	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00			0.72	
																						V <sub>pe</sub> <sup>*</sup>		0.043	

2e verdieping																									
L <sub>v</sub> [dB]	58	57	56	64	66	78	82	90	109	116	105	103	99	94	90	90	86	74	68	66	63	117			
V <sub>eff,max</sub> [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.29	0.61	0.17	0.14	0.09	0.05	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72			
																						V <sub>pe</sub> * 0.043			

**Trillingsprognose railverkeer**

project	Comeniuslaan Naarden	bronspectrum	Tankertrein Zuid, 8/6 - 08:22	passages per uur	1 (voelbaar $V_{eff} > 0,1$ )
gebouwtype	Woningen	vormfactor $C_p$	0.67 (verhouding $v_{rms}/v_{top}$ )	peiljaar	2021
gebouwafstand (tot spoor)	45 m	referentieafstand	22 m spoor 2	rijnsnelheid	90 km/u
				referentie snelheid	90 km/u

Z

**Bodemtrillingen**

1/3-octaf	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	som			
bronspectrum (rms, gem)	74	71	67	73	73	82	84	89	106	112	100	92	88	87	85	87	87	76	73	74	73					114		
spreiding	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0							
bronspectrum (rms, max)	77	74	70	76	76	85	87	92	109	115	103	95	91	90	88	90	90	79	76	77	76					117		
snelheidscorrectie																												
afstandscorrectie	-3.8	-3.7	-3.5	-3.2	-2.7	-2.3	-2.0	-2.0	-2.3	-2.8	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9	-2.9							
L <sub>v</sub> [dB]	73	70	67	73	73	83	85	90	107	113	100	92	88	87	85	88	88	77	73	74	73					114		
v <sub>rms</sub> [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.23	0.43	0.10	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00					0.50		
																					v <sub>top</sub>							0.75

**SBR-A / Gebouwschade**

Stijf punt fundatie	gebouwtype: Laagbouw op palen (samenwerking)																							
H <sub>v,1</sub> [dB]	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-2.4	-3.1	-3.9	-5.0	-6.6	-8.9	-12.4	-12.4	-12.4	-12.4			
L <sub>v</sub> [dB]	71	68	65	71	71	81	83	88	105	111	98	90	85	83	80	81	79	64	61	61			112	
v <sub>rms</sub> [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.18	0.34	0.08	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00		0.40	
																				v <sub>top</sub>			0.60	

**SBR-C / Verstoring van apparatuur ( $v_{rms}$ )**

Basis 1: Versterking van oppervlakte (v <sub>rms</sub> )																							
Begane grond	vloertype: vloertype 3 (f <sub>0</sub> = 10-20 Hz)																						
H <sub>v,vloer</sub>	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.2	1.8	2.7	4.2	6.4	7.4	7.1	6.5	6.0	5.4	4.7	3.8	3.0	2.1		
L <sub>v</sub> [dB]	71	69	65	71	72	82	84	89	107	113	102	96	93	90	86	87	84	69	64	64	63	115	
v <sub>rms</sub> [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.22	0.47	0.13	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	
																				v <sub>top</sub>		0.81	

1e verdieping	vloertype: vloertype 3 (fo = 10-20 Hz)																				v_top				0.81
Hv,3 [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
Hv,vloer [dB]	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.2	1.8	2.7	4.2	6.4	7.4	7.1	6.5	6.0	5.4	4.7	3.8	3.0	2.1				
Lv [dB]	71	69	65	71	72	82	84	89	107	113	102	96	93	90	86	87	84	69	64	64	63		115		
v_rms [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.22	0.47	0.13	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00		0.54		
	v_top																							0.81	

2e verdieping	vloertype: vloertype 3 (fo = 10-20 Hz)																				v_top		0.81	
Hv,3 [dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Hv,vloer [dB]	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.2	1.8	2.7	4.2	6.4	7.4	7.1	6.5	6.0	5.4	4.7	3.8	3.0	2.1			
Lv [dB]	71	69	65	71	72	82	84	89	107	113	102	96	93	90	86	87	84	69	64	64	63		115	
v_rms [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.22	0.47	0.13	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00		0.54	
															V_top							0.81		

**SBR-B / Hinder voor personen ( $v_{eff}$ )**

SBR 17: reken voor personen (ver)																															
Begane grond	gebouwtype: Laagbouw op palen (samenwerking)																														
SBR-weging	-15.1	-13.2	-11.2	-9.5	-7.8	-6.1	-4.7	-3.5	-2.5	-1.7	-1.2	-0.8	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0									
L <sub>v</sub> [dB]	56	55	54	62	64	76	79	86	104	112	101	96	92	90	86	87	84	69	64	64	63		113								
v <sub>eff,max</sub> [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.17	0.38	0.11	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00		0.44								
																				v <sub>pe</sub> *											0.012

1e verdieping																									0.022	
$L_v$ [dB]	56	55	54	62	64	76	79	86	104	112	101	96	92	90	86	87	84	69	64	64	63	113				
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.17	0.38	0.11	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44				
	$v_{pe}^*$																						0.012			

2e verdieping																							
L <sub>v</sub> [dB]	56	55	54	62	64	76	79	86	104	112	101	96	92	90	86	87	84	69	64	64	63	113	
v <sub>eff,max</sub> [mm/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.17	0.38	0.11	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	
	v <sub>pe</sub> <sup>*</sup>																				0.012		

## **Bijlage 6 Verkennend bodemonderzoek**