

Trillingsonderzoek Snellerpoort

Actualisatie trillingsonderzoek woningbouw Snellerpoort Woerden

Status	definitief
Versie	002
Rapport	M.2019.0994.00.R001
Datum	8 juni 2020



Colofon

Opdrachtgever	Gemeente Woerden
Contactpersoon opdrachtgever	De heer H. Misset
Project Betreft Uw kenmerk	Woerden / Update trillingsonderzoek Snellerpoort Trillingsonderzoek -
Rapport Datum Versie Status	M.2019.0994.00.R001 8 juni 2020 002 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Van Pallandtstraat 9-11 6814 GM Arnhem Postbus 153 6800 AD Arnhem
Contactpersoon	ing. R.G. (Reinoud) Fennema 088 346 76 33 rfe@dgmr.nl
Auteur	ing. R.G. (Reinoud) Fennema 088 346 76 33 rfe@dgmr.nl
Projectadviseur	ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen 088 346 75 69 ln@dgmr.nl
2e lezer/secr.	JBY TMA

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Uitgangspunten	5
2.1 Toetsingskader	5
2.2 Situatie	5
3. Meting	7
3.1 Meetopstelling	7
3.2 Verwerking meetdata	7
4. Meetresultaten	8
5. Prognose	10
5.1 Methode	10
5.2 Resultaten	10
6. Conclusies en aanbevelingen	12

Bijlagen

Bijlage 1	Trillingsregistraties V_{top} op kavel
Bijlage 2	Trillingsprognoses - Afstand tot spoor 40m

1. Inleiding

Ten noordoosten van station Woerden ligt de kavel Snellerpoort, nu voornamelijk in gebruik als weide/grasland. Op deze kavel zal uitbreiding plaatsvinden van de woonwijk Snel en Polanen. De nieuwbouw zal bestaan uit grondgebonden woningen en appartementencomplexen en de minimale afstand van deze bebouwing tot het spoor bedraagt circa 40 meter. Vanwege de korte afstand van het bouwplan tot het spoor heeft DGMR, in opdracht van de gemeente Woerden, onderzoek gedaan naar de te verwachten trillingen in de nieuw te bouwen woningen.

In het jaar 2007 is ook al eens trillingsonderzoek uitgevoerd op deze kavel. De nu uitgevoerde actualisatie is gedaan vanwege mogelijke wijzigingen aan het spoor en in het spoorgebruik die van invloed zouden kunnen zijn op de te realiseren bebouwing.

Het onderzoek richt zich op de trillingen afkomstig van treinen op de spoorlijn Utrecht - Gouda/Alphen aan den Rijn. Op station Woerden passeren zowel stoptreinen als intercity's. Daarnaast komen er op deze lijn goederentreinen voor.

Om een goed beeld te krijgen van de trillingsrisico's zijn op zes punten op de kavel, verdeeld over twee meetlijnen langs het spoor, trillingsmetingen verricht. Op basis van de meetresultaten wordt een prognose gegeven van de te verwachten trillingen in de nieuwbouw en worden zo nodig randvoorwaarden gegeven voor het ontwerp om te kunnen voldoen aan de SBR-richtlijn Trillingen deel B 'Hinder voor personen in gebouwen'.

2. Uitgangspunten

2.1 Toetsingskader

Voor de nieuwbouw zijn geen (afwijkende) trillingseisen opgegeven. Optredende trillingen worden beoordeeld aan de hand van de in Nederland gebruikelijke SBR-richtlijn Trillingen deel B: 'Trillingshinder voor personen in gebouwen', uitgave 2002 (revisie 2006). In deze richtlijn zijn de in tabel 1 weergegeven streefwaarden opgenomen.

tabel 1: SBR-B - Streefwaarden herhaald voorkomende trillingen (railverkeer), 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

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 $A1 < V_{max} < A2$

Voor nieuwe woningen nabij een spoorlijn wordt voldaan aan de SBR-B als de maximale effectieve trillingssterkte V_{max} kleiner is dan 0,2 (A2/nacht) en de tijdgemiddelde trillingssterkte V_{per} niet hoger is dan 0,05 (A3). Als V_{max} lager is dan 0,1 dan komt de toetsing van de V_{per} te vervallen.

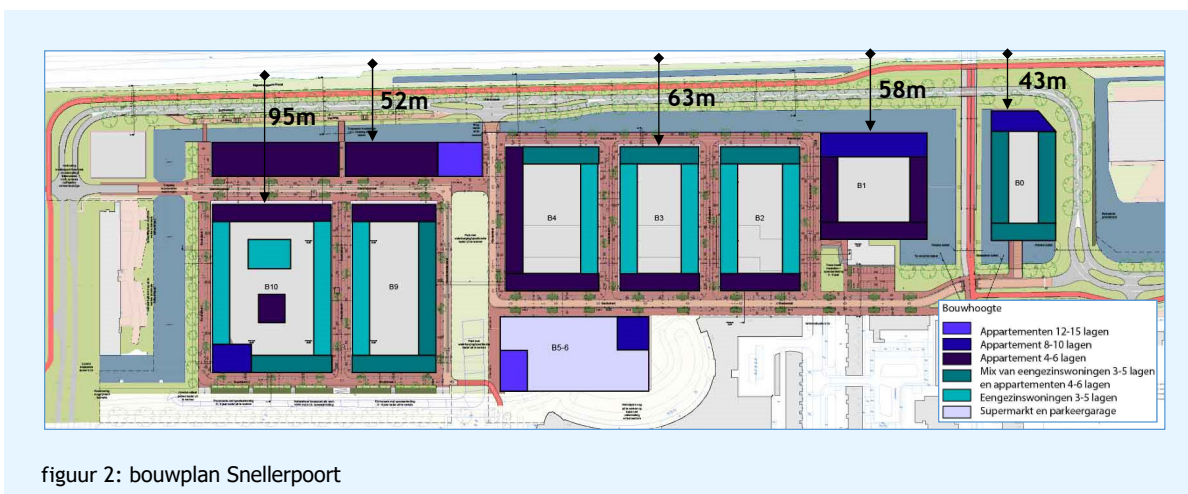
2.2 Situatie

Snellerpoort ligt ten zuiden van de spoorlijn Utrecht - Gouda en ten noorden van de Steinhagenseweg. In figuur 1 is een luchtfoto en in figuur 2 het bouwplan weergegeven. De afstand tussen het spoor en de eerstelijns bebouwing bedraagt circa 40 meter. De bouwwijze (constructie) van de nieuwbouw is nog niet nader ingevuld.



figuur 1: luchtfoto met meetpunten

Bron: Google Maps



figuur 2: bouwplan Snellerpoort

De spoorlijn Utrecht - Gouda bestaat uit vier tot zes sporen en wordt hoofdzakelijk gebruikt door (personen)vervoersbedrijf NS. Tijdens de metingen zijn merendeels stoptreinen en intercity's van het type NID en VIRM waargenomen. In basis doen ten minste veertien treinen per uur station Woerden aan. De rijksnelheden ter hoogte van de bouwkavel zijn zeer uiteenlopend, van bijna stilstaand tot doorgaande treinen met een snelheid van 140 km/u.

Naast personenvervoer wordt dit spoor ook gebruikt voor goederenvervoer. Uit de jaarrapportage van ProRail is op te maken dat het om circa acht goederenpassages per dag gaat.

3. Meting

De metingen zijn uitgevoerd tussen 16 en 23 september 2019. In deze week zijn er geen afwijkingen geconstateerd in de bedrijfsvoering op het spoor. Treinen reden met de gebruikelijke snelheden op de gebruikelijke sporen.

3.1 Meetopstelling

In figuur 1 zijn de meetposities weergegeven. De horizontale X-richting is haaks op het spoor en de Y-richting is parallel aan het spoor. Voor de metingen is gebruik gemaakt van meetsystemen van het merk en type Profound Vibra-sbr. Deze systemen worden jaarlijks gekalibreerd. De sensoren zijn ingegraven op een diepte van circa 30 cm om goed contact met de bodem te verkrijgen. Tabel 2 geeft een overzicht van de gebruikte meetapparatuur.

tabel 2: meetsystemen

Meetlijn	Meetpunt	Afstand tot spoor	DGMR id.	Serienummer
Meetlijn west	Mp1	25 m	AH0071	VIB00485
	Mp2	50 m	AH0073	VIB00488
	Mp3	75 m	AH0088	VIB01045
Meetlijn oost	Mp4	25 m	AH0087	VIB01044
	Mp5	50 m	AH0101	VIB01187
	Mp6	75 m	AH0102	VIB01188

3.2 Verwerking meetdata

Voor de prognose van te verwachten trillingen in de bebouwing zijn de top-15 zwaarste treinen qua trillingen geselecteerd en verwerkt. De prognose wordt gebaseerd op het statistisch maximum van de top-15 zwaarste treinpassages met een betrouwbaarheid van 95%, overeenstemmend met de SBR-B-richtlijn. De overdrachtsverzwakking tussen de meetpunten wordt eveneens bepaald op de statistische maxima.

De meetsystemen meten de maximale trillingssterkte V_{top} en de voor trillinghinder maatgevende effectieve trillingssterkte V_{eff} . De V_{eff} wordt gemeten in 30 seconden intervallen volgens de SBR-B. Met behulp van een spoorgerichte camera zijn treinen (en treintype) geïdentificeerd in de meetdata. Deze treinpassages zijn gecontroleerd op eventuele verstoringen aan de hand van de registraties van de overige meetsystemen. Daarvoor is gebruik gemaakt van het trillingssignaal V_{top} , dat in tegenstelling tot de V_{eff} op kortere meetintervallen ingesteld kan worden en daardoor meer geschikt is om verstoringen te herkennen. Hiervoor is een interval van 3 seconden aangehouden. Van de geïdentificeerde treinpassages, die vrij zijn van verstoring, is vervolgens de bijbehorende effectieve trillingssterkte $V_{eff,max}$ geselecteerd voor verdere analyse en prognose.

4. Meetresultaten

Bijlage 1 geeft een overzicht van treinpassages en eventuele verstoringen gedurende een week meten op de kavel. Afgebeeld is de trillingssterkte V_{top} , die, zoals in paragraaf 3.2 is omschreven, wordt gebruikt voor identificatie van de treinpassages. Uit de onderliggende registraties van de V_{eff} is vervolgens de top-15 treinpassages geselecteerd en statistisch verwerkt conform de in de SBR-B aangegeven methodiek.

Tabellen 3 en 4 tonen de top-15 (effectieve) trillingssterkten $V_{eff,max}$. De passages zijn gerangschikt op aflopende trillingssterkte in verticale richting, geldend voor het eerste meetpunt per meetlijn.

tabel 3: trillingssterkten $V_{eff,max}$ (top-15) in de bodem - meetlijn west: Mp1, Mp2 en Mp3

Top		Mp1 (25 m)			Mp2 (50 m)			Mp3 (75 m)		
		X*	Y*	Z*	X	Y	Z	X	Y	Z
1	21/9/19 01:14	0,28	0,27	0,73	0,28	0,2	0,47	0,17	0,28	0,42
2	17/9/19 11:48	0,34	0,30	0,68	0,14	0,18	0,32	0,14	0,17	0,25
3	23/9/19 10:17	0,33	0,27	0,66	0,14	0,18	0,28	0,17	0,18	0,31
4	16/9/19 21:40	0,33	0,17	0,66	0,13	0,13	0,28	0,14	0,14	0,23
5	19/9/19 11:15	0,25	0,20	0,59	0,17	0,14	0,26	0,15	0,14	0,2
6	17/9/19 13:44	0,27	0,21	0,53	0,16	0,12	0,27	0,14	0,14	0,23
7	20/9/19 11:57	0,22	0,15	0,52	0,14	0,12	0,34	0,16	0,16	0,22
8	17/9/19 13:50	0,16	0,13	0,51	0,16	0,10	0,32	0,17	0,19	0,32
9	19/9/19 23:52	0,17	0,16	0,50	0,16	0,14	0,32	0,16	0,18	0,20
10	19/9/19 05:15	0,18	0,15	0,48	0,16	0,10	0,23	0,17	0,13	0,24
11	19/9/19 15:13	0,23	0,20	0,47	0,18	0,12	0,28	0,14	0,12	0,20
12	21/9/19 15:47	0,17	0,15	0,47	0,16	0,11	0,34	0,14	0,14	0,22
13	17/9/19 22:46	0,16	0,15	0,47	0,14	0,13	0,38	0,15	0,15	0,21
14	19/9/19 20:47	0,22	0,17	0,46	0,16	0,14	0,29	0,26	0,19	0,34
15	19/9/19 21:44	0,29	0,15	0,45	0,15	0,11	0,22	0,11	0,12	0,17
Aantal passages (n)		15								
Gemiddelde (μ)		0,24	0,19	0,55	0,16	0,13	0,31	0,16	0,16	0,25
Standaarddeviatie (σ)		0,06	0,05	0,09	0,04	0,03	0,06	0,03	0,04	0,07
$V_{eff,max,stat}$		0,39	0,31	0,74	0,24	0,20	0,44	0,23	0,25	0,40

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

tabel 4: trillingssterkten $V_{eff,max}$ (top-15) in de bodem, meetlijn oost: Mp4, Mp5 en Mp6

Top		Mp4 (40 m)			Mp5 (65 m)			Mp6 (90 m)		
		X*	Y*	Z*	X	Y	Z	X	Y	Z
1	19/9/19 05:15	0,23	0,15	0,47	0,14	0,15	0,24	0,11	0,12	0,23
2	20/9/19 11:57	0,19	0,13	0,45	0,10	0,10	0,23	0,10	0,08	0,15
3	19/9/19 03:31	0,21	0,17	0,43	0,16	0,12	0,38	0,11	0,10	0,17
4	17/9/19 13:44	0,28	0,15	0,41	0,20	0,14	0,32	0,12	0,14	0,18
5	19/9/19 15:13	0,27	0,17	0,41	0,21	0,15	0,29	0,13	0,14	0,19
6	21/9/19 00:37	0,21	0,13	0,40	0,10	0,11	0,17	0,10	0,10	0,13
7	21/9/19 00:38	0,21	0,13	0,40	0,10	0,11	0,17	0,10	0,10	0,13
8	17/9/19 11:48	0,23	0,18	0,39	0,12	0,12	0,25	0,13	0,10	0,19
9	21/9/19 04:07	0,18	0,12	0,39	0,11	0,10	0,19	0,10	0,10	0,18
10	23/9/19 10:17	0,21	0,19	0,38	0,13	0,11	0,27	0,11	0,13	0,19
11	19/9/19 17:20	0,18	0,14	0,35	0,10	0,10	0,18	0,10	0,10	0,14
12	21/9/19 01:14	0,16	0,11	0,33	0,10	0,10	0,15	0,10	0,10	0,15
13	19/9/19 11:15	0,14	0,12	0,33	0,10	0,10	0,18	0,10	0,10	0,19
14	19/9/19 06:07	0,15	0,13	0,33	0,10	0,10	0,16	0,08	0,09	0,11
15	19/9/19 09:54	0,16	0,13	0,33	0,10	0,10	0,14	0,10	0,10	0,10
Aantal passages (n)		15								
Gemiddelde (μ)		0,20	0,14	0,39	0,12	0,11	0,22	0,11	0,11	0,16
Standaarddeviatie (σ)		0,04	0,02	0,05	0,04	0,02	0,07	0,01	0,02	0,04
$V_{eff,max,stat}$		0,29	0,19	0,47	0,21	0,15	0,39	0,13	0,14	0,24

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

Over de tabellen 3 en 4 is op te merken dat:

- De top-15 alleen bestaat uit goederentreinen. Dit is te zien aan de trillingsniveaus en de camerabeelden.
- Op alle meetlocaties de Z-richting (verticaal) dominant is.
- De trillingssterkten op meetlijn west een stuk hoger zijn dan op meetlijn oost;
- De trillingsafname in verticale richting van Mp2 naar Mp3 klein is (meer kleigrond), terwijl de afname van Mp5 naar Mp6 een stuk groter is (meer veengrond).

Nadere beschouwing

Spectrale analyse laat zien dat het trillingsbeeld op meetlijn west voornamelijk bepaald wordt door een piek bij 5 Hz. Dit in tegenstelling tot meetlijn oost, waar er ook duidelijke bijdragen zijn in het frequentiegebied tussen 5 Hz en 10 Hz.

Spectrale analyse laat verder zien dat de geringe trillingsafname met toenemende afstand tot het spoor vooral betrekking heeft op trillingen met een dominante frequentie van 5 Hz. Deze 5 Hz trilling heeft het karakter van een lijnbron, waarvoor geldt dat de trillingen (oppervlaktegolven) slechts afnemen door demping maar niet door geometrisch afname (verspreiding). Gevolg is dat er op relatief grote afstand van het spoor nog goed voelbare trillingen in de bodem optreden. Het prognosemodel is afgestemd op dit karakteristieke trillingsverloop.

5. Prognose

5.1 Methode

Om inzicht te krijgen in de te verwachten trillingssterkten in toekomstige bebouwing is een empirisch rekenmodel opgezet dat aansluit bij de op de kavel gemeten trillingssterkten. Een belangrijke schakel in de prognoseketen betreft de overdrachtsverzwakking die optreedt op de overgang van de bodem naar een gebouwfundatie. Deze parameter is sterk afhankelijk van de gebouwmassa, het funderingssysteem en de bodemopbouw ter plaatse. In de praktijk worden dan ook sterk uiteenlopende waarden gemeten qua overdracht. Het doen van overdrachtsmetingen aan al gerealiseerde bebouwing in het projectgebied verhoogd dan ook de betrouwbaarheid van prognoses.

Voor de trillingsoverdracht van bodem naar de gebouwfundatie is uitgegaan van de in eerder onderzoek (2007) gemeten trillingsoverdrachten aan woningen ten noorden van het spoor (Colijnstraat en Savornin Lohmanstraat) en aan het kantoorgebouw van Roche. Daaruit is gebleken dat er voor panden met een paalfundering, op relatief korte afstand tot het spoor, er bij lage frequenties al een aanzienlijke overdrachtsverzwakking optreedt als gevolg van de blokkerende werking van de funderingspalen.

Voor de mogelijke trillingsversterking van vloeren, wordt gerekend met overdrachtscurven waarbij de maximum trillingsversterking optreedt rond de laagste buig-eigenfrequentie van de vloer. Deze maximale versterking ligt in de orde van een factor 2,5 tot 3 (8 tot 10 dB), afhankelijk van het vloertype. In de praktijk ligt de versterking (vloermidden) veelal in een bandbreedte van een factor 1 tot 3 (0 tot 10 dB). Dit hangt af van de ligging van vloereigenfrequenties ten opzichte van de dominante frequenties in het treinspectrum. Omdat de kavelmetingen uitwijzen dat de meeste trillingsenergie zit bij frequenties tot 10 Hz, is het aan te bevelen te kiezen voor vloertypen met een laagste (buig)eigenfrequentie van tenminste 13 Hz. Dit om grote trillingsversterking in vloeren te voorkomen. In de prognoseberekeringen wordt dit als uitgangspunt aangenomen.

Omdat het aanlegniveau van de fundatie lager ligt dan het maaiveld en trillingen in horizontale richting snel afnemen met de diepte, mag worden verwacht dat het trillingsniveau in verticale richting maatgevend is. De mogelijk optredende trillingsversterking van het vloerveld in verticale richting is hiervoor de belangrijkste reden.

Op hogere verdiepingen kan wel enige trillingsversterking optreden in horizontale richtingen maar dit treedt dan op bij zeer lage frequentie en zal door de weegfunctie van de SBR-B bij lage frequenties niet gauw tot hinder leiden. Bovendien betreft dit een trilvorm met grote modale massa die bij korte en snel rijdende treinen meestal maar gedeeltelijk tot ontwikkeling komt.

5.2 Resultaten

Bijlage 2 toont de prognoseberekeringen voor vier typen op palen gefundeerde gebouwen:

- grondgebonden woningen 3-5 lagen;
- appartementen 4-6 lagen;
- appartementen 6-10 lagen;
- en appartementen 10-15 lagen (hoogbouw).

Resultaten voor de overige gebouwvarianten, zie figuur 2, zijn te bepalen door interpolatie. De in bijlage 2 opgenomen prognoses gelden voor een bebouwingsafstand van 40 meter. Dit is de minimum bebouwingafstand op de verstrekte invullingsvarianten van de kavel. Met deze modellen zijn ook de resultaten voor de overige afstanden verkregen, zie [tabel 5](#).

tabel 5: trillingsprognose ($V_{\max}/V_{\text{per}}$) nieuwbouw, laagste vloereigenfrequentie ≥ 13 Hz

Gebouwtype	Bouwlagen	Richting	Trillingssterkte $V_{\max}$ (V_{per})				
			40 m	50 m	60 m	75 m	100 m
Grondgebonden woningen	3-5	Verticaal	0,33 (0,02)	0,28 (0,02)	0,23 (0,02)	0,19 (0,02)	0,12 (0,01)
Appartementen	4-6		0,28 (0,02)	0,24 (0,02)	0,20 (0,01)	0,17 (0,01)	0,11 (0,01)
Appartementen	6-10		0,25 (0,02)	0,21 (0,01)	0,18 (0,01)	0,15 (0,01)	0,09 (--)
Hoogbouw	10-15		0,23 (0,01)	0,19 (0,02)	0,16 (0,01)	0,13 (0,01)	0,08 (--)

Beschouwing

Tabel 5 laat zien dat grondgebonden woningen (3 tot 5 bouwlagen) op meer dan ca. 70 meter afstand voldoen aan de SBR-B. Op het oostelijk deel van de kavel (velden B2-B4) staan dergelijke wooneenheden echter gepland op een afstand van minimaal 63 meter, dus net binnen deze contour. Het rekenmodel houdt geen rekening met uitmiddeling van trillingen over de gebouwdiepte noch met uitmiddeling met naastliggende en verbonden hogere gebouwen. Ook is het in trillingsonderzoeken voor de spoorbeheerder (ProRail) tegenwoordig gebruikelijk de trillingssterkte $V_{\max}$ af te ronden op 1 decimaal alvorens te toetsen. In dat geval wordt al op 60 meter voldaan. Verwacht wordt dat er in deze wooneenheden geen hinder zal optreden.

In appartementenbouw van tenminste 8 bouwlagen wordt al op 50 meter afstand van het spoor voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-B. Binnen deze afstand staat alleen op veld B0 nog bebouwing gepland. Het spoorgerichte deel van dit cluster bestaat uit appartementenbouw van 8 tot 10 bouwlagen. Door interpolatie van bouwhoogte en afstand in tabel 5 wordt voor deze bebouwing een $V_{\max}$ van 0,23 geprognoseerd. Afgerond op 1 decimaal, net als bij de grondgebonden woningen op veld B2 t/m B4, voldoet dit aan de SBR-B. De geprognoseerde $V_{\max}$ komt ook overeen met die voor de grondgebonden woningen op veld B2 t/m B4. Ook voor de appartementen op veld B0 wordt geen hinder verwacht.

Iets verder van het spoor worden op veld B0 ook eengezinswoningen (3-5 lagen) gerealiseerd. De minimum afstand van deze wooneenheden tot het spoor bedraagt 60 meter. Op deze afstand geldt eveneens een geprognoseerde $V_{\max}$ van 0,23 en afgerond 0,2. Ook voor deze wooneenheden wordt geen hinder verwacht.

Het voldoen aan de SBR-B wordt nu geheel bepaald door de slechts af en toe passerende goederentreinen (hooguit 8 per etmaal). De reizigerstreinen veroorzaken geen voelbare trillingen. Vanwege het zeer geringe aantal treinen dat mogelijk tot voelbare trillingen leidt, is de langtijdgemiddelde trillingssterkte V_{per} nergens hoger dan 0,02. De V_{per} voldoet daarmee voor alle bouwclusters ruimschoots aan de SBR-B.

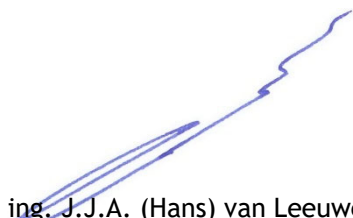
6. Conclusies en aanbevelingen

Uit het trillingsonderzoek blijkt dat de geprojecteerde nieuwbouw op de kavel Snellerpoort in Woerden voldoet aan de streefwaarden uit de SBR-B ten aanzien van trillingshinder.

De hoogte van de voorgenomen bouwclusters in combinatie met de door de bodemopbouw noodzakelijke paalfundering geeft een voldoende hoge weerstand tegen trillingen, waardoor trillingshinder niet is te verwachten.

Qua trillingen zijn de slechts af en toe voorkomende goederentreinen bepalend. De reizigers-treinen veroorzaken geen voelbare trillingen.

Geadviseerd wordt wel om woningvloeren zo te dimensioneren dat de laagste buig-eigenfrequentie niet samenvalt met het voor treinpassages bepalende frequentiegebied van 0 - 10 Hz. Dit komt erop neer dat voor de laagste eigenfrequentie een ondergrens van 13 Hz is aan te houden.

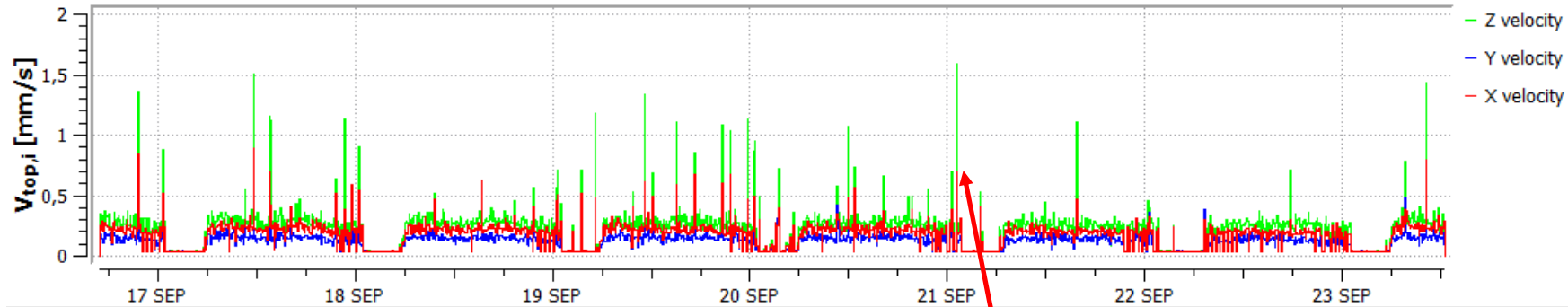


ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

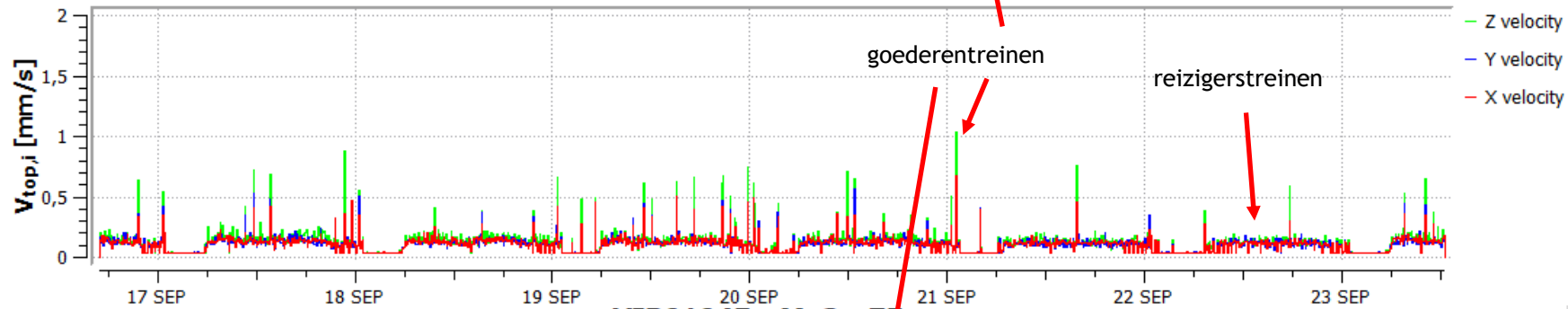
Bijlage 1

Titel	Trillingsregistraties V_{top} op kavel
-------	---

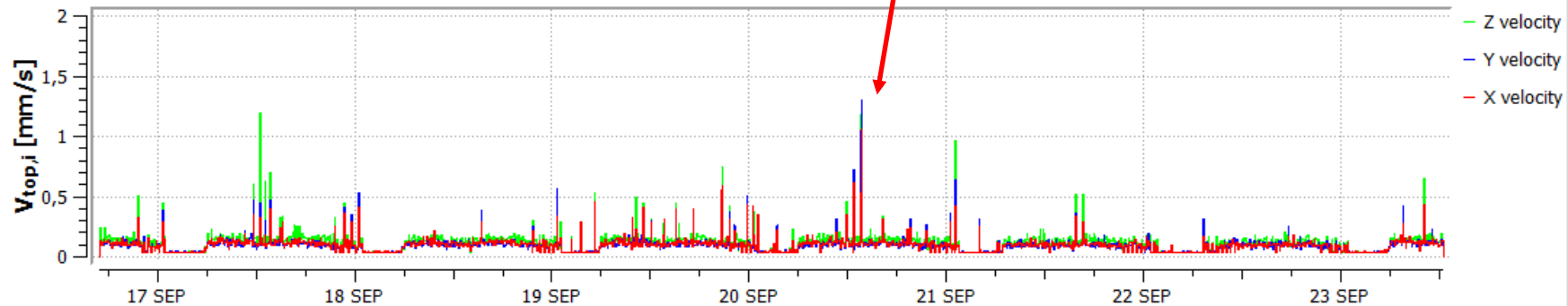
VIB00485 - Mp1 - 25m



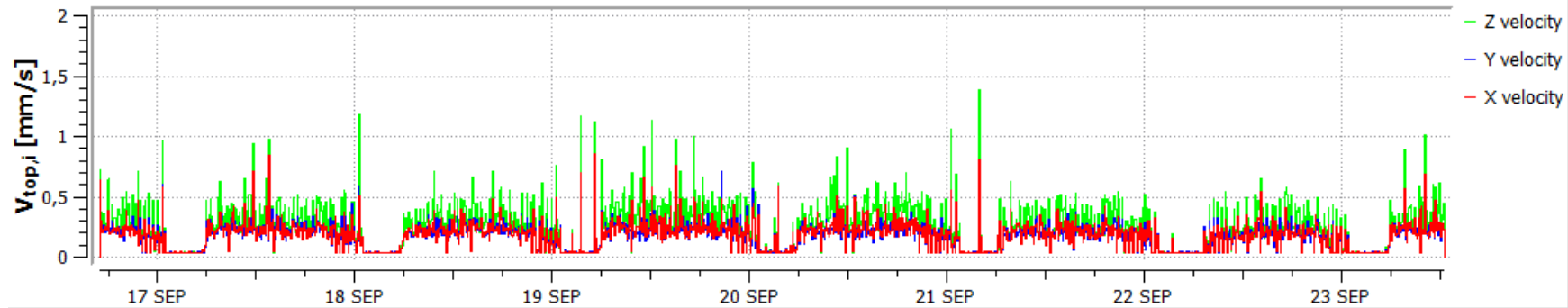
VIB00488 - Mp2 - 50m



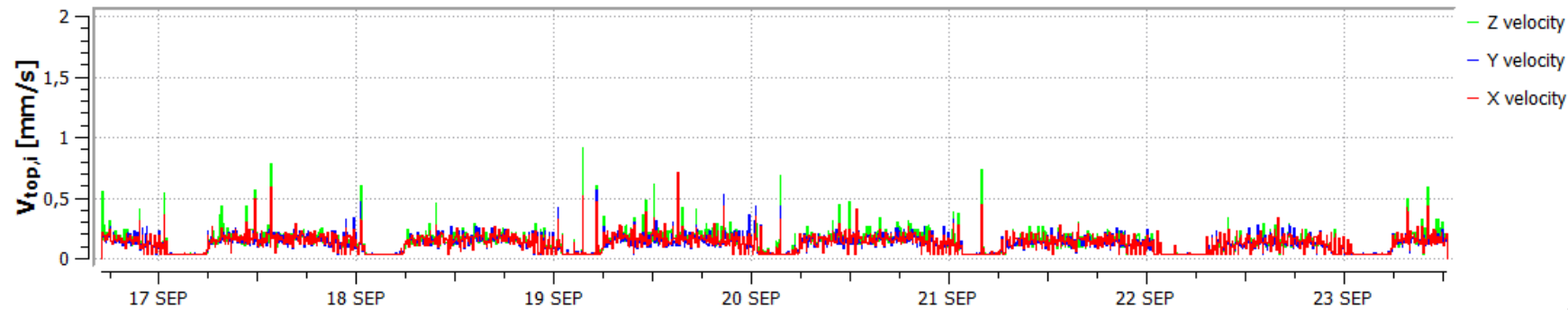
VIB01045 - Mp3 - 75m



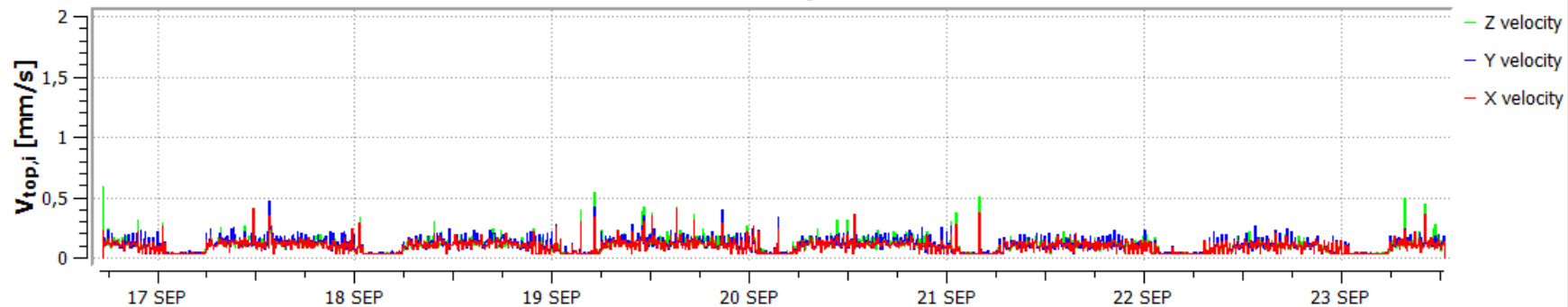
VIB01044 - Mp4 - 25m



VIB01187 - Mp5 - 50m



VIB01188 - Mp6 - 75m



Bijlage 2

Titel	Trillingsprognoses - Afstand tot spoor 40m
Omvang	4

Trillingsprognose railverkeer

passages per uur	1	(alleen $V_{\text{eff}} > 0,1$)
peiljaar	2019	
rijksnelheid	85	km/u
referentie snelheid	85	km/u

Z

Trillingsprognose railverkeer

project	Snellerpoort, Woerden	bronspectrum	Mp1 - 21/9/2019 01:14, Goederentrein	passages per uur	1	(alleen $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtype	Appartementen 4-6 lagen	vormfactor C_F	0,679	peiljaar	2019	
gebouwafstand (tot spoor)	40 m	referentieafstand	25 m	rijksnelheid	85	km/u
				referentie snelheid	85	km/u

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)					82	98	107	117	97	95	104	86	86	77	76	76	74	75	75	76	74				118
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				
bronspectrum (rms, max)					85	101	110	120	100	98	107	89	89	80	79	79	77	78	78	79	77				121
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie					-2,9	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,9	-3,5	-4,3	-5,3	-6,5	-6,9	-6,9	-6,9				
L_v [dB]					83	99	108	118	98	95	104	86	87	77	75	75	72	71	71	72	70				118
v_{rms} [mm/s]					0,01	0,09	0,24	0,76	0,08	0,06	0,17	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,83
																									1,22

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	User defined 2	appartementen 4-6 lagen																						
$H_{v,3}$ [dB]					-15,9	-14,3	-11,0	-8,0	-6,0	-5,3	-6,0	-6,4	-6,8	-7,4	-8,2	-9,4	-11,2	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0				
L_v [dB]					67	84	97	110	92	90	98	80	80	69	67	65	61	57	58	59	56				110
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,02	0,07	0,30	0,04	0,03	0,08	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,33
																									0,48

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

Begane grond	vloertype:	vloertype 3	($f_0 = 10-20$ Hz)																						
$H_{v,vloer}$					0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3				
L_v [dB]					67	85	98	111	94	93	104	87	88	77	74	72	67	62	62	62	59				112
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,02	0,08	0,36	0,05	0,05	0,15	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,41
																									0,60

3e 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				
$H_{v,vloer}$ [dB]					0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3				
L_v [dB]					67	85	98	111	94	93	104	87	88	77	74	72	67	62	62	62	59				112
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,02	0,08	0,36	0,05	0,05	0,15	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,41
																									0,60

6e 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				
$H_{v,vloer}$ [dB]					0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3				
L_v [dB]					67	85	98	111	94	93	104	87	88	77	74	72	67	62	62	62	59				112
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,02	0,08	0,36	0,05	0,05	0,15	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,41
																									0,60

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

Begane grond																									
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]					59	79	93	108	92	92	102	86	87	77	74	72	67	62	62	62	59				109
$v_{eff,max}$ [mm/s]					0,00	0,01	0,05	0,24	0,04	0,04	0,13	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,28
																									0,018

3e verdieping																									
L_v [dB]					59	79	93	108	92	92	102	86	87	77	74	72	67	62	62	62	59				109
$v_{eff,max}$ [mm/s]					0,00	0,01	0,05	0,24	0,04	0,04	0,13	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,28
																									0,018

6e verdieping																									
L_v [dB]					59	79	93	108	92	92	102	86	87	77	74	72	67	62	62	62	59				109
$v_{eff,max}$ [mm/s]					0,00	0,01	0,05	0,24	0,04	0,04	0,13	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,28
																									0,018

Trillingsprognose railverkeer

project Snellerpoort Woerden, veld B0
 gebouwtype Appartementen 6-10 lagen
 gebouwafstand (tot spoor) 40 m

bronspectrum Mp1 - 21/9/2019 01:14, Goederentrein
 vormfactor C_F 0,679
 referentieafstand 25 m
 (verhouding v_{rms}/v_{too})

passages per uur 1 (alleen $V_{eff} > 0,1$)
 peiljaar 2019
 rijksnelheid 85 km/u
 referentie snelheid 85 km/u

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)					82	98	107	117	97	95	104	86	86	77	76	76	74	75	75	76	74				118
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				
bronspectrum (rms, max)					85	101	110	120	100	98	107	89	89	80	79	79	77	78	78	79	77				121
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie					-2,9	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,9	-3,5	-4,3	-5,3	-6,5	-6,9	-6,9	-6,9				
L_v [dB]					83	99	108	118	98	95	104	86	87	77	75	75	72	71	71	72	70				118
v_{rms} [mm/s]					0,01	0,09	0,24	0,76	0,08	0,06	0,17	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,83
																									v_{top} 1,22

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	User defined 3	appartementen 6-10 lagen																						
$H_{v,1}$ [dB]					-17,0	-15,0	-12,0	-9,0	-7,0	-6,0	-7,0	-7,0	-7,5	-8,0	-9,0	-10,0	-12,5	-16,0	-16,0	-16,0	-16,0				
L_v [dB]					66	84	96	109	91	89	97	79	79	69	66	65	60	55	55	56	54				109
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,02	0,06	0,27	0,04	0,03	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,29
																									v_{top} 0,43

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

Begane grond	vloertype:	vloertype 3	($f_0 = 10-20$ Hz)																						
$H_{v,yloer}$					0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3				
L_v [dB]					66	85	97	110	93	93	103	86	87	76	73	71	65	60	60	60	57				111
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,02	0,07	0,32	0,05	0,04	0,13	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,36
																									v_{top} 0,53

3e 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				
$H_{v,yloer}$ [dB]					0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3				
L_v [dB]					66	85	97	110	93	93	103	86	87	76	73	71	65	60	60	60	57				111
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,02	0,07	0,32	0,05	0,04	0,13	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,36
																									v_{top} 0,53

6e 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				
$H_{v,yloer}$ [dB]					0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3				
L_v [dB]					66	85	97	110	93	93	103	86	87	76	73	71	65	60	60	60	57				111
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,02	0,07	0,32	0,05	0,04	0,13	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,36
																									v_{top} 0,53

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

Begane grond																									
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	78	92	107	91	91	101	85	87	76	73	71	65	60	60	60	57				108
$v_{eff,max}$ [mm/s]					0,00	0,01	0,04	0,21	0,03	0,04	0,12	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,25
																									v_{per}^* 0,016

3e verdieping																									
L_v [dB]					58	78	92	107	91	91	101	85	87	76	73	71	65	60	60	60	57				108
$v_{eff,max}$ [mm/s]					0,00	0,01	0,04	0,21	0,03	0,04	0,12	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,25
																									v_{per}^* 0,016

6e verdieping																									
L_v [dB]					58	78	92	107	91	91	101	85	87	76	73	71	65	60	60	60	57				108
$v_{eff,max}$ [mm/s]					0,00	0,01	0,04	0,21	0,03	0,04	0,12	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,25
																									v_{per}^* 0,016

Trillingsprognose railverkeer

project **Snellerpoort, Woerden**
 gebouwtype **Appartementen 10-15 lagen**
 gebouwafstand (tot spoor) **40 m**

bronspectrum **Mp1 - 21/9/2019 01:14, Goederentrein**
 vormfactor C_F **0,679**
 referentieafstand **25 m**
 (verhouding v_{rms}/v_{top})

passages per uur **1** (alleen $V_{eff} > 0,1$)
 peiljaar **2019**
 rijsnelheid **85** km/u
 referentie snelheid **85** km/u

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)					82	98	107	117	97	95	104	86	86	77	76	76	74	75	75	76	74				118
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				
bronspectrum (rms, max)					85	101	110	120	100	98	107	89	89	80	79	79	77	78	78	79	77				121
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie					-2,9	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,9	-3,5	-4,3	-5,3	-6,5	-6,9	-6,9	-6,9				
L_v [dB]					83	99	108	118	98	95	104	86	87	77	75	75	72	71	71	72	70				118
v_{rms} [mm/s]					0,01	0,09	0,24	0,76	0,08	0,06	0,17	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,83
																									V_{top}
																									1,22

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	User defined 4	appartementen 10-15 lagen																						
$H_{v,1}$ [dB]					-18,0	-16,0	-13,0	-10,0	-8,0	-8,0	-8,0	-8,4	-9,0	-9,8	-10,8	-12,4	-15,1	-20,0	-20,0	-20,0	-20,0				
L_v [dB]					65	83	95	108	90	88	96	78	78	67	64	62	57	51	51	52	50				108
v_{rms} [mm/s]					0,00	0,01	0,05	0,24	0,03	0,02	0,07	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,26
																									V_{top}
																									0,38

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

Begane grond		vloertype:		vloertype 3		(fo = 10-20 Hz)																			
H _{v,vloer}				0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3					
L _v [dB]				65	84	96	109	92	91	102	85	86	75	71	69	63	56	56	56	53				110	
v _{rms} [mm/s]				0,00	0,01	0,06	0,29	0,04	0,03	0,12	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,32	
																					V _{top}		0,47		
1e verdieping		vloertype:		vloertype 3		(fo = 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					
H _{v,vloer} [dB]				0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3					
L _v [dB]				65	84	96	109	92	91	102	85	86	75	71	69	63	56	56	56	53				110	
v _{rms} [mm/s]				0,00	0,01	0,06	0,29	0,04	0,03	0,12	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,32	
																					V _{top}		0,47		
2e verdieping		vloertype:		vloertype 3		(fo = 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					
H _{v,vloer} [dB]				0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3					
L _v [dB]				65	84	96	109	92	91	102	85	86	75	71	69	63	56	56	56	53				110	
v _{rms} [mm/s]				0,00	0,01	0,06	0,29	0,04	0,03	0,12	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,32	
																					V _{top}		0,47		

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

Begane grond																							
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]					57	77	91	106	90	89	100	84	85	74	71	69	63	56	56	56	53		107
v _{eff,max} [mm/s]					0,00	0,01	0,04	0,19	0,03	0,03	0,10	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,23
																				V _{per} [*]	0,015		
1e verdieping																							
L _v [dB]					57	77	91	106	90	89	100	84	85	74	71	69	63	56	56	56	53		107
v _{eff,max} [mm/s]					0,00	0,01	0,04	0,19	0,03	0,03	0,10	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,23
																				V _{per} [*]	0,015		
2e verdieping																							
L _v [dB]					57	77	91	106	90	89	100	84	85	74	71	69	63	56	56	56	53		107
v _{eff,max} [mm/s]					0,00	0,01	0,04	0,19	0,03	0,03	0,10	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,23
																				V _{per} [*]	0,015		