

Reigersborg 5, Hoogkarspel

Trillingsonderzoek

Status	definitief
Versie	001
Rapport	M.2019.1025.00.R001
Datum	19 september 2019



Colofon

Opdrachtgever	BügelHajema Balthasar Bekkerwei 76 8914 BE Leeuwarden
Contactpersoon opdrachtgever	mevrouw M. Teensma
Project Betreft Uw kenmerk	BügelHajema/Reigersborg 5, Hoogkarspel Reigersborg 5, Hoogkarspel -
Rapport Datum Versie Status	M.2019.1025.00.R001 19 september 2019 001 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Bouw 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. J.J. (Jesse) Bijl 088 346 76 39 jby@dgmr.nl
Projectadviseur	ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen 088 346 75 69 ln@dgmr.nl
2e lezer/secr.	RFE HW

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Situatie	5
3. Toetsingskader	6
3.1 Trillingen	6
4. Metingen	7
4.1 Kavel	7
4.2 Overdrachtsmeting	8
5. Meetresultaten	9
5.1 Kavelmeting	9
5.2 Overdrachtsmeting bodem-gebouw	9
6. Prognose	10
7. Conclusies	11

Bijlagen

Bijlage 1	Trillingsregistraties
Bijlage 2	Trillingsprognose Reigersborg V, Hoogkarspel

1. Inleiding

In opdracht van Bügel Hajema heeft DGMR onderzoek gedaan naar de te verwachten trillingen voor de te bouwen woningen op de kavel 'Reigersborg 5' in Hoogkarspel. De trillingen in kwestie zijn afkomstig van de spoorlijn Hoorn - Enkhuizen. Deze lijn wordt gebruikt door reizigerstreinen, die allen stoppen in Hoogkarspel. Er rijden geen goederentreinen. Onderzocht is of de trillingen in de te bouwen woningen, afkomstig van het spoor, voldoen aan de daarvoor geldende richtlijnen.

Om inzicht te krijgen in de trillingsrisico's, zijn in september 2019 trillingsmetingen gedaan in de bodem op de kavel. Tegelijkertijd is, om inzicht te krijgen in de trillingsoverdracht van bodem naar de gebouwfundatie, een overdrachtsmeting gedaan aan een nabijgelegen representatieve woning. Dit betrof de woning Roerdomp 18, 100 m oostelijker gelegen aan dezelfde kant van het spoor.

De trillingsmetingen op de kavel en de overdrachtsmeting aan de woning zijn verwerkt tot een prognose van de te verwachten trillingssterkten door treinpassages in de voorziene nieuwbouw. De geprognosticeerde trillingssterkten zijn vervolgens getoetst aan de SBR-richtlijn Trillingen deel B - 'Trillingshinder voor personen in gebouwen'.

2. Situatie

De kavel 'Reigersborg V' in Hoogkarspel ligt tussen de Roerdomp, Streekweg en de N307, ten noorden van de spoorlijn Hoorn - Enkhuizen. In figuur 1 zijn de kavel en projectinvulling te zien.



figuur 1: kavel 'Reigersborg V'

bron: Google Maps

De eerstelijns bebouwing komt op circa 35 m afstand van het spoor en tussen het spoor en de kavel bevindt zich een sloot. De spoorlijn bestaat hier uit enkel spoor. De lijn wordt alleen gebruikt door reizigerstreinen die allen stoppen op het 1 km oostelijker gelegen station Hoogkarspel. De rij snelheid ter hoogte van de kavel is hierdoor beperkt tot circa 75 tot 90 km/u.

3. Toetsingskader

3.1 Trillingen

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.

De SBR-B is gebaseerd op de DIN4150 Teil 2 en de V_{eff} uit de SBR-B is overeenkomstig de in de DIN4150 gedefinieerde KB-waarde. De DIN4150 geeft de volgende kwalificatie qua voelbaarheid van trillingen:

- $KB \geq 0.1$: juist voelbaar.
- $KB \geq 0.4$: goed voelbaar.
- $KB \geq 1.6$: sterk voelbaar.

4. Metingen

4.1 Kavel

4.1.1 Meetpunten

Voor de trillingsprognose is de trillingsverzwakking in de bodem met toenemende afstand tot het spoor van belang. Daarom zijn trillingsmetingen uitgevoerd in de bodem op drie posities met toenemende afstand tot het spoor, zie figuur 1. Tabel 2 geeft een overzicht van de gebruikte meetsystemen.

tabel 2: meetsystemen kavel

Meetpunt	Afstand tot spoor	Meetsysteem	Serienummer
Mp1	35 m	Vibra-sbr, AH0087	VIB 01044
Mp2	50 m	Vibra-sbr, AH0088	VIB 01055
Mp3	72 m	Vibra-sbr, AH0101	VIB 01187

De meetsystemen zijn gemonteerd op een 70 cm lange meetpen in de bodem, die over nagenoeg de volle lengte is ingeslagen om een goede koppeling met de bodem te verkrijgen.



figuur 2: meetposities

4.1.2 Meetomstandigheden

De metingen op de kavel en de overdrachtsmetingen zijn uitgevoerd tussen 3 en 10 september 2019. In deze week is er geen afwijking geconstateerd in de bedrijfsvoering op het spoor. Treinen reden met gebruikelijke snelheden.

Verwerking metingen

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 volgens de SBR-B. Voor identificatie van treinpassages en check op verstoringen is dit te grof. Dit gebeurt daarom op basis van de V_{top} die per 3 seconden is vastgelegd. Van geïdentificeerde treinpassages, vrij van verstoring, is de bijbehorende effectieve trillingssterkte $V_{eff,max}$ geselecteerd voor verdere analyse en prognose.

4.2 Overdrachtsmeting

4.2.1 Meetpunten

De overdrachtsverzwakking van bodem naar bouwwerk hangt sterk af van de gebouwmassa, maar ook van het type funderingssysteem en de bodemgesteldheid. Hierin kunnen per locatie grote verschillen optreden. Om qua bodemgesteldheid zo min mogelijk af te wijken, is een pand gezocht in de directe nabijheid van Reigersborg V. Ten oosten van deze kavel staan woningen van recente datum. Deze moderne op palen gefundeerde panden zijn als representatief te beschouwen voor nieuwe bouwwerken op korte afstand van het spoor. Er is gemeten aan de woning Roerdomp 18, de meetpunten Mp4 en Mp5 in figuur 2.

4.2.2 Meetapparatuur

In tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de gebruikte meetsystemen.

tabel 3: meetsystemen kavelmeting

Meetpunt	Locatie	Meetsysteem	Serienummer
Mp4	Bodem	Vibra-sbr, AH0071	VIB 00485
Mp5	Gevel Roerdomp 18	Vibra-sbr, AH0073	VIB 00488

Het meetpunt in de bodem (Mp 4) is geplaatst naast de woning om beïnvloeding door het pand zoveel mogelijk te voorkomen. Voor het bepalen van de trillingsniveaus op de draagconstructie is een meetsysteem op een hoekpunt, laag aan de gevel, gemonteerd.

4.2.3 Verwerking metingen

De treinpassages met de hoogste trillingssterkten zijn gebruikt voor het bepalen van de trillingsoverdracht van bodem naar gebouwfundatie. Deze overdrachten zijn gebruikt voor de prognoses, zie hoofdstuk 6.

5. Meetresultaten

5.1 Kavelmeting

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 4.2.3 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. Tabel 4 toont de top-15 (effectieve) trillingssterkten $V_{eff,max}$. De passages zijn qua trillingssterkte aflopend gerangschikt op de verticale richting van Mp1.

tabel 4: trillingssterkten $V_{eff,max}$ (top-15) in de bodem

Top-15		Mp1 (35 m)			Mp2 (50 m)			Mp3 (72 m)		
		X*	Y*	Z*	X	Y	Z	X	Y	Z
1	4/9 06:39	0,13	0,16	0,19	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10
2	4/9 08:34	0,11	0,15	0,16	0,11	0,11	0,08	0,07	0,08	0,07
3	3/9 20:37	0,11	0,13	0,15	0,10	0,10	0,10	0,08	0,09	0,08
4	4/9 07:35	0,10	0,14	0,15	0,11	0,10	0,10	0,07	0,09	0,09
5	4/9 07:39	0,12	0,17	0,15	0,13	0,10	0,10	0,07	0,09	0,10
6	4/9 08:09	0,11	0,15	0,15	0,11	0,10	0,10	0,07	0,10	0,10
7	4/9 18:04	0,10	0,13	0,15	0,10	0,11	0,10	0,08	0,08	0,08
8	5/9 00:21	0,14	0,15	0,15	0,11	0,10	0,08	0,06	0,08	0,08
9	5/9 17:07	0,11	0,14	0,15	0,10	0,10	0,08	0,07	0,08	0,08
10	6/9 00:31	0,10	0,15	0,15	0,11	0,13	0,08	0,06	0,10	0,09
11	6/9 08:20	0,13	0,16	0,15	0,11	0,10	0,10	0,08	0,10	0,10
12	7/9 08:52	0,10	0,13	0,15	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08	0,06
13	8/9 23:04	0,10	0,12	0,15	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07
14	9/9 19:05	0,10	0,11	0,15	0,10	0,10	0,06	0,07	0,07	0,06
15	9/9 20:09	0,11	0,17	0,15	0,11	0,08	0,10	0,07	0,07	0,07
Aantal passages (n)		15								
Gemiddelde (μ)		0,11	0,14	0,15	0,11	0,10	0,09	0,07	0,09	0,08
Standaarddeviatie (σ)		0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$V_{eff,max,stat}$		0,14	0,18	0,17	0,12	0,12	0,12	0,09	0,11	0,11

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

Uit tabel 4 valt af te lezen dat de trillingsniveaus in de bodem op 50 m afstand van het spoor al bijna niet meer voelbaar zijn. Tabel 4 laat verder zien dat:

- Dichtbij het spoor de trillingen evenwijdig aan het spoor hoger zijn dan haaks op het spoor.
- De trillingssterkten in verticale richting van gelijke orde zijn als in de horizontale richtingen.
- De trillingssterkten van Mp1 naar Mp2 een stuk groter is dan de afname van Mp2 naar Mp3.

5.2 Overdrachtsmeting bodem-gebouw

Van de gepasseerde reizigerstreinen is op het gevelmeetpunt Mp5 (Roerdomp 18) geen spectrale data beschikbaar vanwege de geringe niveaus. De overdrachtsverzwakking van bodem naar woningfundatie is daarom bepaald aan de hand van de amplitude-tijdsregistraties, waarbij de gemeten overdrachtsverzwakking wordt toegekend aan de dominante frequenties in het trillingssignaal op het bodemmeetpunt. Deze dominante frequentie ligt in de regel tussen 4 Hz en 10 Hz. Tabel 5 geeft een overzicht van de bepaalde overdrachten, die zijn gebruikt in de prognoses.

tabel 5: overdrachtsverzwakking bodem-gebouw [dB]

	X ($\perp$ spoor)	Y (// spoor)	Z (verticaal)
Woningen	-1 dB (bij 4 tot 10 Hz)	-2 dB (4 tot 10 Hz)	-6 dB (4 tot 10 Hz)

6. Prognose

Om inzicht te krijgen in de te verwachten trillingssterkten in toekomstige bebouwing is, op basis van de gemeten trillingssterkten op de kavel, een empirisch rekenmodel opgezet. Hierin worden voor de verzwakking van bodem naar gebouwfundatie de bepaalde verzwakkingen zoals aangegeven in paragraaf 5.2 aangehouden. De prognoses zijn opgesteld voor zowel de verticale alsook de maatgevende horizontale richting.

Voor de mogelijke trillingsversterking van vloeren wordt gerekend met een overdracht waarbij de maximale trillingsversterking optreedt rond de laagste buig-eigenfrequentie van de vloer. De maximale versterking ligt in de orde van een factor 2,5 tot 3 (8 tot 10 dB), afhankelijk van het vloertype. In de praktijk komt dit neer op een maximale versterking op het vloermidden van een factor 1 tot 3 (0 tot 10 dB), afhankelijk van de mate waarin eigenfrequenties overeenstemmen met dominante frequenties in het treinspectrum.

Aangenomen is dat relatief stijve vloeren worden toegepast met een laagste eigenfrequentie ruim boven de dominante frequenties uit het treinspectrum, zijnde 4 tot 10 Hz. Geadviseerd wordt om een vloersysteem te kiezen waarbij de laagste eigenfrequentie minstens 12 Hz bedraagt.

Bijlage 2 toont een prognoseberekening voor een op palen gefundeerde woning van twee tot drie bouwlagen, in zowel de maatgevende horizontale richting alsook de verticale richting.

De prognose geldt voor de minimale bouwafstand van 35 meter tot het spoor. Voor de V_{per} berekening is uitgegaan van vier treinen per uur. Tabel 6 geeft een overzicht van de geprognosticeerde trillingssterkten voor respectievelijk de eerste-, tweede- en derdelijns bebouwing.

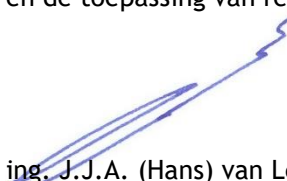
tabel 6: trillingsprognose (V_{max} / V_{per}) nieuwbouw

Gebouwtype	Bouwlagen	Richting	Trillingssterkte V_{max} (V_{per})		
			35 m	50 m	72 m
Laagbouw op palen	2-3	Horizontaal	0,14 (0,02)	0,12 (0,01)	0,09 (--)
		Verticaal	0,12 (0,02)	0,10 (0,01)	0,08 (--)

Uit tabel 6 blijkt dat er op de minimale bouwafstand van 35 meter tot het spoor wordt voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-B, onder de aanname dat er een paalfundering wordt toegepast en de eigenfrequentie van de vloer minstens 12 Hz bedraagt.

7. Conclusies

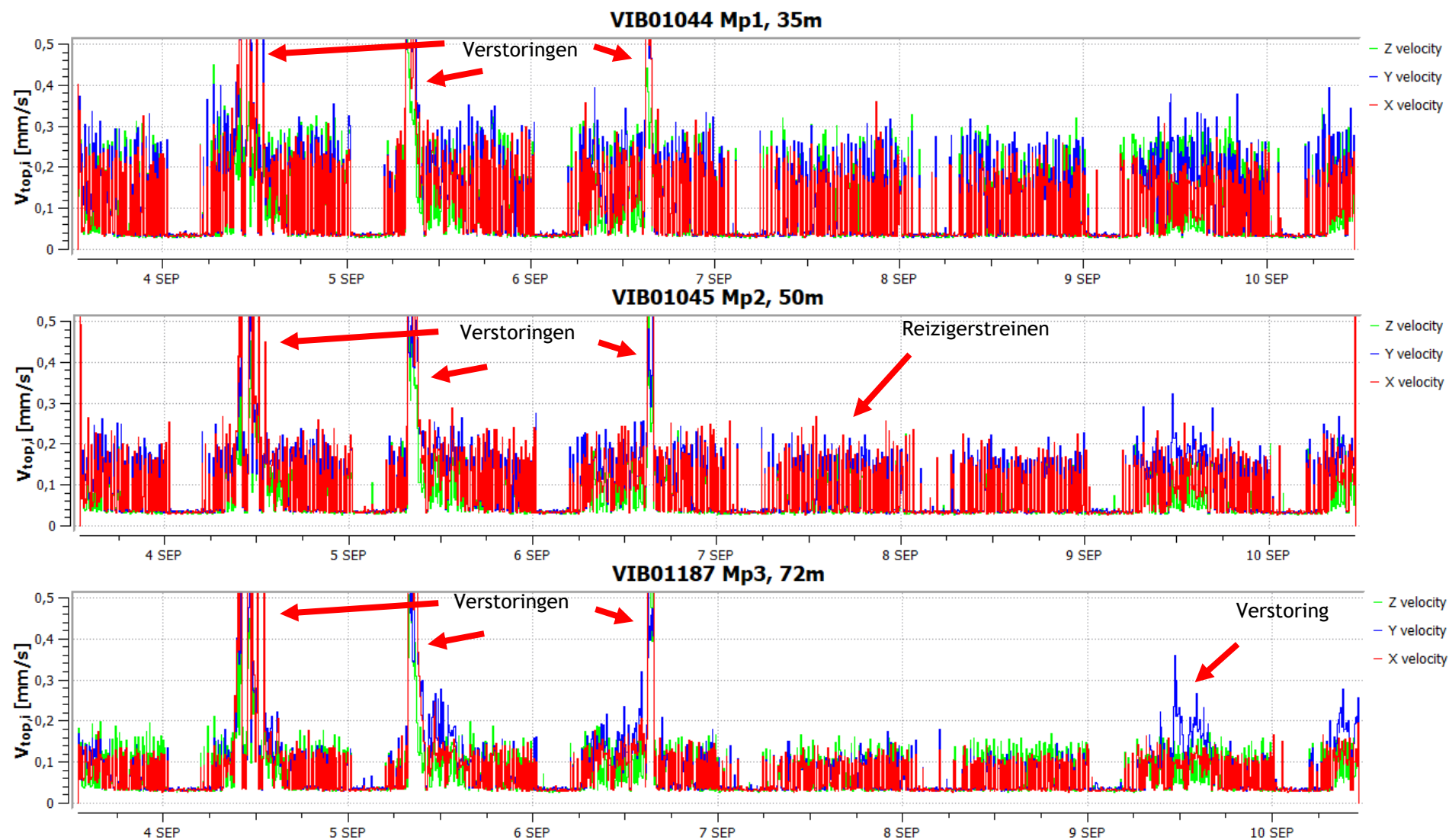
Uit de trillingsmetingen op de bouwkavel, de overdrachtsmetingen aan de woning Roerdomp 18 en daarop gebaseerde prognoses wordt geconcludeerd dat het huidige spoorgebruik door reizigerstreinen niet tot trillingshinder leidt in de nieuw te bouwen woningen in het plan Reigersborg V. Dit onder de aanname van een minimale bebouwingsafstand van 35 m tot het spoor en de toepassing van relatief stijve woningvloeren met een laagste eigenfrequentie van 12 Hz.



ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen
DGMR Bouw B.V.

Bijlage 1

Titel	Trillingsregistraties
Toelichting	Trillingssterkte V_{top}



Bijlage 2

Titel	Trillingsprognose Reigersborg V, Hoogkarspel
-------	--

project	Reigersborg V, Hoogkarspel	bronspectrum	Mp1 - 4/9/2019 06:39, Reizigerstrein	passages per uur	4	(alleen $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtipe	Laagbouw	vormfactor C_v	0,6 (verhouding V_{rms}/V_{top})	peiljaar	2019	
gebouwafstand (tot spoor)	35 m	referentieafstand	35 m	rijnsnelheid	75	km/u
				referentie snelheid	75	km/u

[illegible]

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	User defined 2												Roe rdomp Hoogkarspel Z						
$H_{v,1}$ [dB]		-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,4	-6,8	-7,4	-8,2	-9,4	-11,2	-14,0	-14,0	-13,9	-13,9		
L_v [dB]		76	92	91	94	94	96	90	85	71	69	58	60	57	54	55	56	54	101	
v_{rms} [mm/s]		0,01	0,04	0,03	0,05	0,05	0,07	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	
																	$v_{0,05}$		0,20	

Begane grond	vloetype:	vloetype 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]		76	93	92	95	96	100	96	92	79	76	65	66	63	59	59	59	56	104		
v _{ms} [mm/s]		0,01	0,04	0,04	0,06	0,07	0,10	0,06	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
																				v _{ms}	0,27

Parameter	Unit	Value
$H_{v,3}$ [dB]		0,0
$H_{v,100}$ [dB]		0,7
L_v [dB]		76
v_{rms} [mm/s]		0,01

Parameter	Modeltype 1	Modeltype 2	Modeltype 3	Modeltype 4	Modeltype 5	Modeltype 6	Modeltype 7	Modeltype 8	Modeltype 9	Modeltype 10	Modeltype 11	Modeltype 12	Modeltype 13	Modeltype 14	Modeltype 15	Modeltype 16	Modeltype 17	Modeltype 18	Modeltype 19	Modeltype 20
$H_{v,3}$ [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
$H_{v,vlos}$ [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]	76	93	92	95	96	100	96	92	79	76	65	66	63	59	59	59	56			104
V_{rms} [mm/s]	0,01	0,04	0,04	0,06	0,07	0,10	0,06	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,16
																		V_{∞}		0,27

[illegible]

1e verdieping																		
L _v [dB]	68	87	87	92	94	98	94	91	79	76	65	66	63	59	59	59	56	102
V _{off,max} [mm/s]	0,00	0,02	0,02	0,04	0,05	0,08	0,05	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	q12
																	V _{pit} *	0,016
2e verdieping																		
L _v [dB]	68	87	87	92	94	98	94	91	79	76	65	66	63	59	59	59	56	102

[illegible]

passages per uur	4	(alleen $V_{eff} > 0,1$)
peiljaar	2019	
rij snelheid	75	km/u
referentie snelheid	75	km/u

2e verdieping																		
L _v [dB]	80	86	77	87	97	95	99	95	76	74	68	62	58	54	53	54	51	103
V _{eff,max} [mm/s]	0,01	0,02	0,01	0,02	0,07	0,06	0,09	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	q14
																	V _{lim} ³	
																	0,018	