



**Onderzoek naar trillingen in
niewbouwwoningen Dongewijk Tilburg ten
gevolge van railverkeer**



Onderzoek naar trillingen in nieuwbouwwoningen Dongewijk Tilburg ten gevolge van railverkeer

opdrachtgever WonenBregburg
rapportnummer HB 5659-1-RA-001
datum 19 december 2017
referentie HH/RN/CJ/HB 5659-1-RA-001
verantwoordelijke ir. J.A. Huizer
opsteller ir. R. Noordman
 +31 79 3470390
 r.noordman@peutz.nl

peutz bv, postbus 696, 2700 ar zoetermeer, +31 79 347 03 47, zoetermeer@peutz.nl, www.peutz.nl
kvk 12028033, opdrachten volgens DNR 2011, lid NLingenieurs, btw NL.004933837B01, ISO-9001:2008

mook – zoetermeer – groningen – düsseldorf – dortmund – berlijn – leuven – parijs – lyon

Inhoudsopgave

1	Inleiding en samenvatting	4
2	Uitgangspunten	5
2.1	Situering	5
2.2	Streefwaarden trillingniveaus	5
3	Metingen en berekeningen	7
3.1	Meetmethode en meetinstrumenten	7
3.2	Meetposities	7
3.3	Resultaten van metingen en berekeningen	8
3.4	Beoordeling	9
4	Trillingniveaus in de gebouwen	10
4.1	Algemeen	10
4.2	Overdrachtsberekeningen	10
4.3	Uitgangspunten	11
4.4	Rekenresultaten	12
5	Beoordeling en conclusie	14
	Bijlage 1 Statistische berekening	
	Bijlage 2 FFT van passerende trein	
	Bijlage 3 Aantal treinen (opgave ProRail)	

1 Inleiding en samenvatting

In opdracht van WonenBreda is een onderzoek uitgevoerd naar de optredende trillingniveaus ten gevolge van railverkeer bij een geprojecteerde woningbouwlocatie aan de Oegstgeeststraat te Tilburg. Op de locatie wordt plan Dongewijk gerealiseerd. In figuur 2.1 is de ligging van het terrein ten opzichte van de omgeving weergegeven.

De geprojecteerde woningbouwlocatie is gelegen ten noorden van de spoorlijn Breda – Tilburg. De afstand van de buitenste spoorstaaf tot de te realiseren bebouwingslijn bedraagt circa 35 meter. Op het spoortraject rijden zowel reizigers- als goederentreinen. De afstand is zodanig dat niet op voorhand uitgesloten kan worden dat trillinghinder uitgesloten is. Derhalve is voorliggend onderzoek uitgevoerd.

Doel van het onderzoek is om de optredende trillingniveaus in de huidige situatie te bepalen in de woningen. Metingen zijn verricht op maaiveld, waarna middels modellering de overdracht is bepaald naar de te verwachten trillingniveaus in de woningen. De trillingniveaus worden getoetst aan de grenswaarden voor nieuwe situaties uit de Richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen door trillingen, Meet- en beoordelingsrichtlijn” van de Stichting Bouwresearch (SBR Richtlijn B). Deze richtlijn vormt ook volgens de jurisprudentie het toetsingskader.

Uit de resultaten van het onderzoek volgt dat zowel in de horizontale als verticale richting voldaan wordt aan de grenswaarden uit de SBR Richtlijn B.

2 Uitgangspunten

2.1 Situering

In figuur 2.1 is de ligging van de geprojecteerde woningbouwlocatie ten opzichte van de omgeving gegeven.

De geprojecteerde woningbouwlocatie is gelegen langs het deel van railtraject Breda – Tilburg. Ter plaatse is sprake van 2 sporen. Het station Tilburg Reeshof is gelegen op circa 100 meter afstand van de woningbouwlocatie. Ter plaatse van de geprojecteerde woningbouwlocatie liggen de sporen achter een talud. De geprojecteerde woningen liggen op circa 35 meter van het dichtstbijzijnde spoor en circa 20 meter van het talud.

f2.1 Ligging geprojecteerde woningbouwlocatie aan de Oestgeeststraat in Tilburg



2.2 Streefwaarden trillingniveaus

De trillingniveaus vanwege het railverkeer ter plaatse van de geprojecteerde woningbouwlocatie worden getoetst aan de streefwaarden uit de Richtlijn B “Hinder voor personen in gebouwen door trillingen, Meet- en beoordelingsrichtlijn” uit augustus 2002 van de Stichting Bouwresearch (SBR Richtlijn B).

Conform SBR richtlijn B worden voor nieuwe situaties en bij herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd, waarvan in deze situatie sprake is, de in tabel 2.1 gegeven streefwaarden gehanteerd.

De streefwaarden hebben betrekking op voelbare trillingen tot 100 Hz. Boven 100 Hz zijn trillingen door de mens in het algemeen niet meer voelbaar.

t2.1 Overzicht streefwaarden conform de Richtlijn SBR-B voor de gebouwfunctie wonen in een nieuwe situatie bij herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd

Periode	A ₁	A ₂	A ₃
Dagperiode (07.00 – 19.00 uur)	0,1	0,4	0,05
Avondperiode (19.00 – 23.00 uur)	0,1	0,4	0,05
Nachtperiode (23.00 – 07.00 uur)	0,1	0,2	0,05

De optredende trillingniveaus voldoen aan de streefwaarden indien voldaan wordt aan één van onderstaande twee voorwaarden:

- de waarde van de maximale trillingsterkte in een ruimte ($V_{\max}$) is kleiner dan A_1 ;
- de waarde van de maximale trillingsterkte in een ruimte ($V_{\max}$) is kleiner dan A_2 waarbij de trillingsterkte over de beoordelingsperiode in deze ruimte (V_{per}) kleiner is dan A_3 .

Omdat treinpassages zowel in de dag-, avond- als nachtperiode plaatsvinden zijn de streefwaarden voor de nachtperiode maatgevend voor de beoordeling. Bovengenoemde streefwaarden zijn overigens geen wettelijke grenswaarden. Wel worden de SBR richtlijnen in de jurisprudentie gehanteerd ter bepaling van de beoordelingscriteria en zijn als zodanig als grenswaarden te hanteren.

Recentelijk is het RIVM rapport 2014-0096: 'Wonen langs het spoor - gezondheidseffecten trillingen van treinen', 23 februari 2015 verschenen. In dit rapport wordt geconcludeerd dat in bestaande situaties sprake is van (ernstige) hinder en slaapverstoring bij een significant aandeel van de bevolking die woonachtig is binnen 300 m van het spoor. In het algemeen worden in bestaande situaties de streefwaarden uit tabel 2.1 (significant) overschreden. In het RIVM rapport worden geen concrete streef- of grenswaarden voorgesteld.

Bij het voldoen aan de streefwaarden uit SBR Richtlijn B is er in het algemeen sprake van een acceptabele situatie, ondanks dat trillingniveaus groter dan 0,1 (zeer) licht voelbaar kunnen zijn.

3 Metingen en berekeningen

3.1 Meetmethode en meetinstrumenten

De trillingmetingen zijn uitgevoerd conform de SBR Richtlijn B.

De trillingmetingen zijn uitgevoerd met behulp van trillingrecorders, fabricaat SYSCOM, type MR3000C met geïntegreerde xyz-opnemers.

De metingen zijn geanalyseerd met behulp van het analyse programma VIEW2002 door Ziegler Consultants.

De trillingopnemer is een triaxiale snelheidssensor en heeft een frequentiebereik van 1 tot 315 Hz.

3.2 Meetposities

In figuur 3.1 zijn de locatie van de meetposities weergegeven. Er is gemeten op drie posities op het terrein van de geprojecteerde bouwlocatie. Posities 1 en 2 zijn gelegen net binnen de bouwgrens op circa 35 meter van het dichtstbijzijnde spoor. Meetpositie 3 is gelegen op circa 55 meter van het dichtstbijzijnde spoor.

f3.1 Meetposities op de geprojecteerde bouwlocatie



3.3 Resultaten van metingen en berekeningen

De trillingmetingen zijn verricht op vrijdag 21 juli 2017 tussen circa 08.00 uur en 16.00 uur. In deze periode vonden 12 passages van goederentreinen en circa 100 passages van reizigerstreinen (doorgaande en stoptreinen) plaats.

De resultaten van de trillingmetingen zijn voor een aantal maatgevende passages in tabel 3.1 weergegeven. Het betreft de maximale effectieve trillingsnelheid $v_{\text{eff,max}}$. Hierbij wordt de gemeten trillingsnelheid frequentieafhankelijk gewogen volgens de weegfunctie die is opgenomen in de SBR Richtlijn B. De weegfunctie is bedoeld om frequenties waarbij het menselijk waarnemingsvermogen is verminderd ook minder in de beoordeling te betrekken. De dimensieloze effectieve waarde $v_{\text{eff,max}}$ is per passage bepaald voor de horizontale richting 'y' en de verticale richting 'z'. De horizontale richting 'x' (evenwijdig aan het spoor) is niet maatgevend ten opzichte van de horizontale 'y' richting.

Per positie zijn de maximale waarden van $v_{\text{eff,max}}$ van alle passages voor goederentreinen en reizigerstreinen (doorgaande en stoptreinen) bepaald. Hierbij is op de 15 hoogst gemeten waarden de statistische verwerking toegepast van paragraaf 9.6 van de SBR Richtlijn B. In bijlage 1 is deze berekening opgenomen.

t3.1 Gemeten maximale waarden van de trillingsterkte $v_{\text{eff,max}}$ per positie

Tijd	Omschrijving	Spoor	$v_{\text{eff,max}}$ (dimensieloos)					
			Positie 1, y	Positie 2, y	Positie 3, y	Positie 1, z	Positie 2, z	Positie 3, z
08:09	IC doorgaand	1	0,69	0,63	0,09	0,29	0,18	0,09
08:41	IC doorgaand	1	0,76	0,67	0,08	0,30	0,19	0,08
09:09	Dubbeldekker stopt	2	0,77	0,72	0,08	0,28	0,18	0,08
09:39	Goederentrein	2	0,76	0,67	0,08	0,25	0,15	0,09
10:15	IC doorgaand	2	0,67	0,70	0,07	0,25	0,18	0,08
10:40	IC doorgaand	1	0,73	0,62	0,07	0,25	0,15	0,08
11:09	IC doorgaand	1	0,68	0,68	0,06	0,27	0,15	0,07
11:41	IC doorgaand	1	0,71	0,65	0,06	0,26	0,13	0,10
12:15	Goederentrein	1	0,52	0,41	0,07	0,20	0,12	0,09
12:40	Goederentrein	1	0,59	0,56	0,06	0,23	0,19	0,08
13:09	IC doorgaand	1	0,64	0,68	0,06	0,23	0,15	0,08
13:40	Goederentrein	2	0,60	0,55	0,06	0,21	0,14	0,09
14:09	Dubbeldekker stopt	2	0,60	0,59	0,07	0,22	0,17	0,07
14:39	Dubbeldekker stopt	2	0,57	0,60	0,06	0,22	0,13	0,09
15:16	IC doorgaand	1	0,54	0,62	0,06	0,21	0,15	0,08

Uit tabel 3.1 volgt niet dat goederentreinen hogere trillingniveaus veroorzaken dan reizigerstreinen. Dit komt omdat de reizigerstreinen met hogere snelheid passeren dan de goederentreinen.

Deze maatgevende treinen leiden tot $V_{\max}$ - zijnde het hoogst gemeten en statistisch bewerkte trillingniveau - zoals gegeven in tabel 3.2.

t3.2 $V_{\max}$ voor de verschillende meetposities

	Positie 1	Positie 2	Positie 3
$V_{\max}$ 'y' (dimensieloos)	0,8	0,8	0,1
$V_{\max}$ 'z' (dimensieloos)	0,3	0,2	0,1

3.4 **B e o o r d e l i n g**

Uit de resultaten blijkt dat op de meetposities op maaiveld thans niet automatisch wordt voldaan aan de streefwaarden uit SBR Richtlijn B voor de gebouwfunctie wonen in een nieuwe situatie bij herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd. Uiteraard zijn dit posities op maaiveldniveau terwijl de streefwaarden uit de SBR van toepassing zijn op trillingniveaus in gebouwen.

De te verwachten overdracht van bodem naar gebouwfundering en van fundering naar de vloeren binnen het gebouw is nader uitgewerkt in hoofdstuk 4.

4 Trillingniveaus in de gebouwen

4.1 Algemeen

Om op de verdiepingvloeren van de woningen te kunnen voldoen aan de streefwaarden uit de SBR Richtlijn B dienen de op het maaiveld gemeten trillingniveaus te worden gereduceerd in de overdrachtsweg van bodem naar de verdiepingvloeren en dient daarnaast opslinging vanwege de vloeren zelf te worden voorkomen. De nachtperiode is maatgevend voor de beoordeling. In principe dient de parameter V_{per} dus ten hoogste 0,05 te bedragen en de parameter V_{max} ten hoogste 0,2. Een en ander betekent concreet dat gezien de maximaal vastgestelde trillingsterkte van 0,8 er een factor 4 gereduceerd dient te worden.

Van een maatgevende treinpassage is een FFT-analyse gemaakt. Deze is opgenomen in bijlage 2. Uit het figuur blijkt dat de maatgevende frequenties op maaiveldniveau met name optreden bij 30 Hz en in mindere mate bij 10 tot 15 en enigszins hoger dan 30 Hz (tot 45 Hz). Deze aanstootfrequenties zijn van belang omdat de trillingoverdracht naar de woningen frequentieafhankelijk is.

4.2 Overdrachtsberekeningen

Berekeningen ten aanzien van de trillingoverdracht zijn uitgevoerd met het Peutz softwareprogramma: MVAuersch/Massaveer 0.3. Dit programma is opgesteld ten behoeve van het bepalen van trillingen van bodem naar gebouwelementen, in opdracht van CUR¹ (Civieltechnisch centrum uitvoering research en regelgeving). Het programma maakt onderdeel uit van een groter onderzoek met het doel een vereenvoudigd berekeningsmodel voor de prognose van trillingen te ontwikkelen in gebouwen voor diverse trillingbronnen (heien, intrillen damwanden, railverkeer etc.).

Het programma rekent voor een gebouwmodel de overdracht door in het relevante frequentiegebied van 1 tot 100 Hz² van trillingen van bodem of fundering naar gebouwelementen. Het programma rekent per 'kolom' de overdracht door. Onder een kolom wordt verstaan een rechthoekige stapeling van woningen met één breedte. Dit betekent dat bij meerdere kolommen (dus meer woningen op één woonlaag) en/of afwijkende vormen, hetgeen hier het geval is, het programma conservatief rekent, zeker in de horizontale richtingen, omdat in horizontale richtingen het gebouw in werkelijkheid stijver is dan volgens het model.

Het rekenmodel is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Bij kritische situaties wordt geadviseerd om een gedetailleerde onderzoek uit te voeren met gebruikmaking van een Eindige Elementen Model (EEM).

¹ Tegenwoordig SBRCURnet.

² Trillingen met een frequentie hoger dan 100 Hz zijn niet voelbaar voor mensen.

4.3 Uitgangspunten

De uitgangspunten voor de bodemparameters zijn ontleend aan het grondonderzoek uitgevoerd door Lankelma Geotechniek Zuid B.V. (rapport 1702610 RG van 24 oktober 2017). De gebouwconfiguratie is ontleend aan het ontwerp van de woontoren Bedaux de Brouwer Architecten van 22 november 2017 aangeleverd door WonenBreborg. Een opgave van de paalgegevens is gegeven door B&B Bouwadvies. In figuur 4.1 zijn de relevante invoerparameters voor het rekenmodel gegeven, gebaseerd op deze uitgangspunten.

De invoer van de modellering van het gebouw betreft één gebouwsegment welke qua afmetingen wordt afgestemd op de overspanningen van de vloeren op de funderingsbalken en/of dragende wanden.

f4.1 Invoerparameters voor het gebouw- en bodemmodel

Instellingen

Uit bestand laden Afdrukken Alles leegmaken

Bodemgegevens:

Vol massa op PP-niveau (robPaal):	2000 kg/m ³
Glijmodulus op PP-niveau (GPaal):	1.61e+008
Poisson ratio op PP-niveau (nuPaal):	0.3
Vol massa op fund.-niveau (robFund):	1800 kg/m ³
Glijmodulus op fund.-niveau (GFund):	1e+008
Poisson ratio op fund.-niveau (nuFund):	0.3

Heipaalgegevens:

Volumieke massa (roPaal):	2400 kg/m ³
Diameter (DiaPaal):	0.6 m
Lengte (LPaal):	20 m
E-Modulus (EPaal):	3e+010 N/m ²
Dempingsratio (ksiPaal):	0.02
Viskeuze demping (alphaPaal):	1.5
Aantal (NumPaal):	4

Gebouwgegevens:

V. massa fundering (roFund):	2400 kg/m ³
Volumieke massa Wand (roWand):	2400 kg/m ³
Breedte fundering (BFund):	0.6 m
Lengte fundering (LFund):	11.43 m
Hoogte fundering (HFund):	0.6 m
Hoogte gebouw (H):	15 m
Diepte gebouw (D):	6.436 m
Aantal bouwlagen (Nbouwlagen):	5
Breedte wand (BWand):	11.43 m
Dikte wand (DWand):	0.3 m
E-Modulus Fund (EFund):	3e+010 N/m ²
E-Modulus Wand (EWand):	3e+010 N/m ²
Viskeuze demping Wand (alphaFund):	1.5
Dempingsratio Fund (ksiFund):	0.02
Viskeuze demping Wand (alphaWand):	1.5
☒ Dempingsratio Wand (ksiWand):	0.02
☐ Hysterese demping Wand (hysWand):	0.02

Vloergegevens:

Vloerdikte (DVloer):	0.3 m
Breedte vloer (BVloer):	11.43 m
Overspanning vloer (LVloer):	6.436 m
E-modulus vloer (EVloer):	3e+010 N/m ²
Oppervlakttemassa vloer (oppmVloer):	295 kg/m ²
Viskeuze demping Vloer (alphaVloer):	1.5
Dempingsratio Vloer (ksiVloer):	0.02

Algemeen:

Bestand:

Elementen ter onderverdeling Paal: 66
Elementen ter onderverdeling kolom: 50

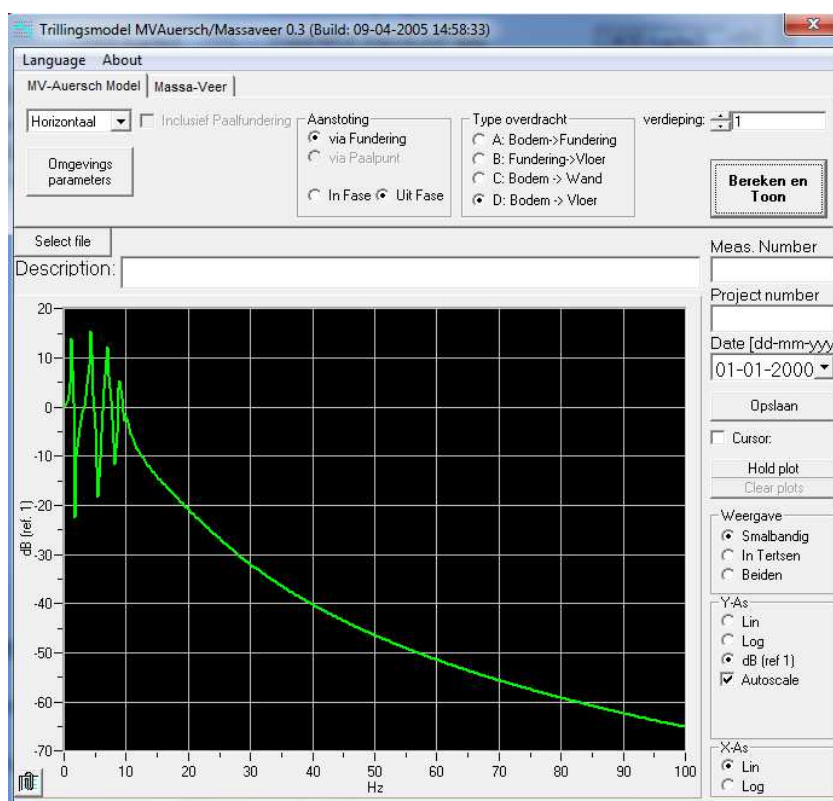
Gebouw ID: Naar bestand opslaan

OK

4.4 Rekenresultaten

In figuur 4.2 is de berekende overdracht gegeven voor de horizontale richting van de bodem naar verdiepingsvloer. Dit figuur betreft de overdracht naar de eerste verdiepingsvloer. Naar hogere verdiepingen ontstaat een vergelijkbaar beeld, waarbij er evenwel meer demping optreedt met name bij de hogere frequenties.

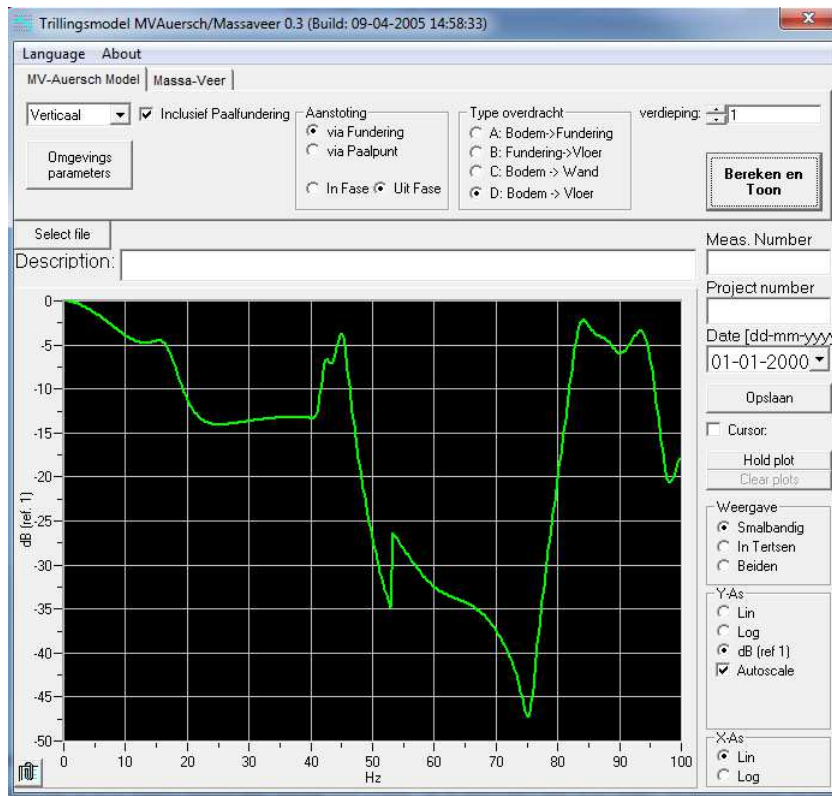
f4.2 Overdracht bodem-verdiepingsvloer, horizontaal



Bij de bepalende frequenties in de horizontale richting (circa 30 Hz) vindt een demping door de gebouwoverdracht plaats van circa 32 dB. Hiermee zijn de horizontale trillingen op de vloer zodanig gering dat deze niet voelbaar zijn ($V_{\max} \ll 0,1$). Voor horizontale trillingen wordt dus ruimschoots voldaan aan de streefwaarden.

In figuur 4.2 is de berekende overdracht gegeven voor de verticale richting van de bodem naar verdiepingsvloer. Deze figuur betreft de overdracht naar de eerste verdiepingsvloer. Naar hogere verdiepingen ontstaat een vergelijkbaar beeld, waarbij er evenwel meer demping optreedt met name bij de hogere frequenties.

f4.3 Overdracht bodem-verdiepingsvloer (1ste); verticaal



Bij de bepalende frequenties in de verticale richting (circa 30 Hz) vindt een demping door de gebouwoverdracht plaats van circa 13 dB. Bij ook nog relevante frequenties bij tussen 10 en 15 Hz is de demping beperkt tot circa 5 dB. Bij circa 45 Hz is de demping (circa 3 dB) beperkt vanwege de eerste orde eigenfrequentie van de vloer.

De overdrachtsfactoren leiden tot een demping van het totale trillingniveau van maaiveld naar verdiepingsvloeren met een factor 2. Daarmee bedraagt $V_{\max}$ 0,15 op de verdiepingsvloer. Hiermee voldoet $V_{\max}$ niet aan grenswaarde A_1 maar wel aan A_2 . Wel dient dan aangetoond te worden dat voldaan wordt aan de grenswaarde van A_3 die betrekking heeft op de gemiddelde trillingniveaus (volgens de kleinste kwadrantenmethode). Daartoe zijn de aantallen treinpassages gebruikt zoals door ProRail opgegeven (zie bijlage 3).

Uit bijlage 3 blijkt dat het maximale aantal treinpassages plaatsvindt op dinsdagen voor de beoordeling van de trillingsituatie. Uit berekeningen volgt dan dat V_{per} uitkomt op:

- dagperiode: 0,03;
- avondperiode: 0,03;
- nachtperiode: 0,02.

Daarmee wordt voldaan aan de grenswaarde A_3 van 0,05 voor alle etmaalperioden.

5 Beoordeling en conclusie

Zowel in de horizontale als verticale richtingen wordt voldaan aan de streef- en grenswaarden volgens uit de SBR Richtlijn B.

Trillingen in verticale richting wel zullen (zeer licht) voelbaar zijn, daar deze de voelbaarheidsgrens beperkt overschrijden.

Zoetermeer,



Dit rapport bevat 14 pagina's en 3 bijlagen.

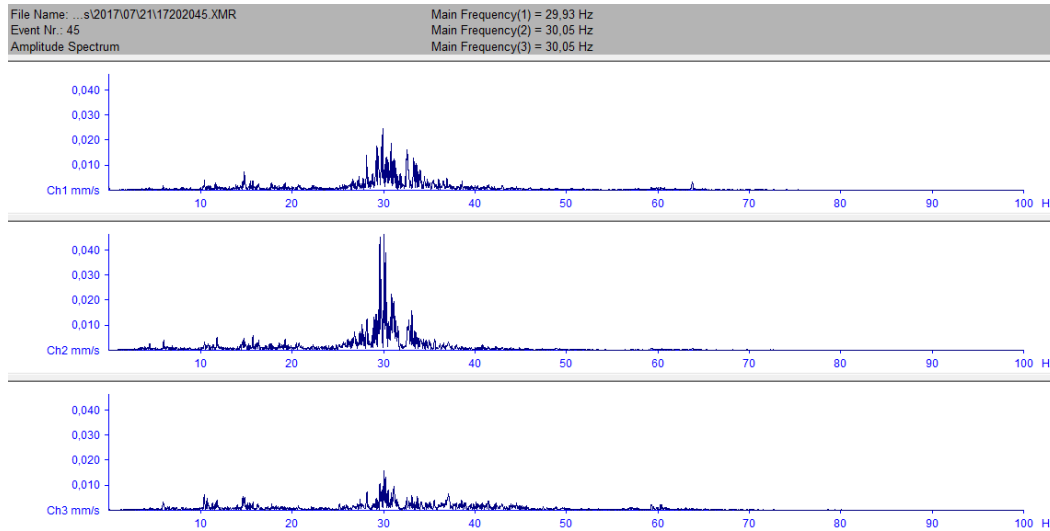
Bijlage 1

Statistische berekening

	Pos 1 y	Pos 2 y	Pos 3 y	Pos 1 z	Pos 2 z	Pos 3 z
Meting 1	0,780	0,645	0,074	0,254	0,150	0,089
Meting 2	0,771	0,719	0,083	0,286	0,191	0,082
Meting 3	0,762	0,670	0,076	0,30	0,155	0,082
Meting 4	0,732	0,622	0,065	0,254	0,135	0,083
Meting 5	0,708	0,646	0,060	0,260	0,179	0,095
Meting 6	0,692	0,631	0,089	0,291	0,148	0,089
Meting 7	0,681	0,681	0,064	0,265	0,178	0,072
Meting 8	0,670	0,702	0,071	0,249	0,147	0,081
Meting 9	0,636	0,678	0,060	0,233	0,171	0,083
Meting 10	0,602	0,591	0,065	0,219	0,142	0,070
Meting 11	0,598	0,552	0,055	0,214	0,191	0,087
Meting 12	0,593	0,561	0,061	0,234	0,135	0,083
Meting 13	0,566	0,600	0,058	0,221	0,154	0,090
Meting 14	0,541	0,619	0,615	0,214	0,122	0,083
Meting 15	0,520	0,407	0,067	0,201	0,163	0,089
μ	0,657	0,622	0,067	0,247	0,158	0,084
σ	0,0085	0,07684	0,00948	0,03074	0,02160	0,00651
v_{max}	0,826	0,773	0,086	0,307	0,201	0,096

Bijlage 2

FFT van passerende trein



Bijlage 3

Aantal treinen (opgave ProRail)

Aantal treinen Tilburg Reeshof - Gilze-Rijen

Aantal treinpassages		07:00 - 18:59			23:00 - 06:59			19:00 - 22:59			Totaal
		Goederentreinen	Overig	Reizigerstreinen	Goederentreinen	Overig	Reizigerstreinen	Goederentreinen	Overig	Reizigerstreinen	
03-07-2017	maandag	23	3	141	3	4	24	11		47	256
04-07-2017	dinsdag	27	4	140	22	5	29	9	1	49	286
05-07-2017	woensdag	22	4	141	27	3	31	9	1	47	285
06-07-2017	donderdag	19	2	142	22	6	26	12	1	33	263
07-07-2017	vrijdag	26	4	140	12	5	26	12	3	44	272
08-07-2017	zaterdag	4	6	137	5	2	24	1	1	47	227
09-07-2017	zondag	2	4	133		3	23		1	48	214
14-jul-2017					1						8:48:16