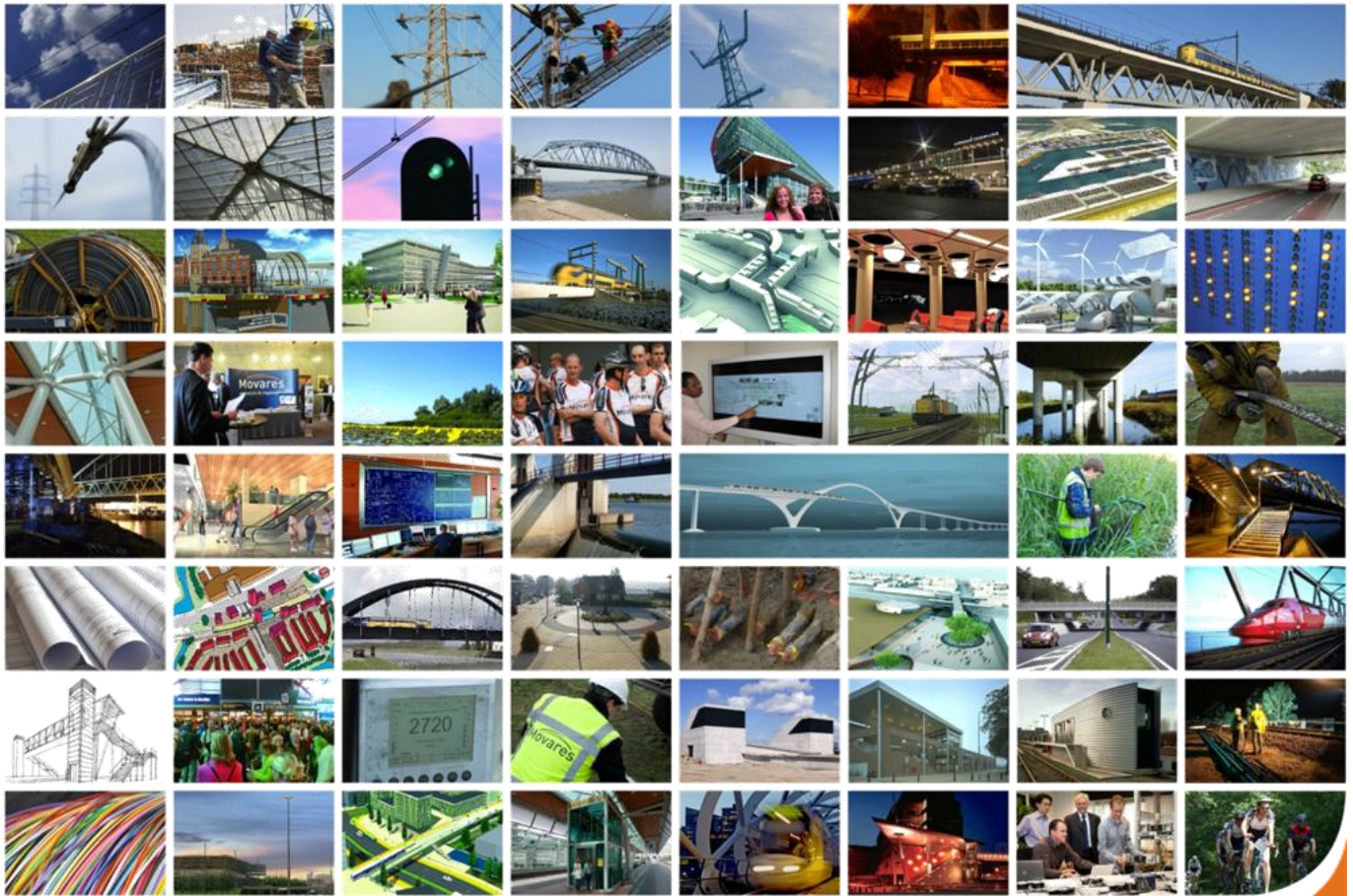




16 oktober 2017- Versie 1.0

Autorisatieblad

Busbaan Dichterswijk

Knelpuntanalyse en detailanalyse

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Christodoulou, K		10-10-2017
Gecontroleerd door	Gardien, W		13-10-2017
Vrijgegeven door	Arnold, WJ		16-10-2017

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

Versie historie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Leeswijzer	4
2	Uitgangspunten trillingsonderzoek	5
2.1	Uitgangspunten	5
2.2	Verkeersintensiteiten	5
2.3	Afstand tot woningen	6
3	Toetsingskader	7
3.1	Inleiding	7
3.2	SBR trillingsrichtlijn deel B (hinder voor personen in gebouwen)	7
3.2.1.	<i>Interpretatie toetsingswaarden</i>	7
3.2.2.	<i>Uitgangspunten toetsingswaarden</i>	8
3.2.3.	<i>Mate van hinderbeleving bij trillingsniveau</i>	9
4	Empirisch prognosemodel (stap 2)	11
4.1	Bepaling maximale trillingssterkte $V_{\max}$	11
4.2	Valproefmetingen	12
4.2.1.	<i>Resultaat valproef bij D.M.A Tellegenlaan</i>	12
4.2.2.	<i>Resultaat valproef bij Croeselaan 163</i>	13
4.3	Maaiveldmetingen	13
4.4	Parameters trillingsmodel huidige situatie	14
4.5	Parameters trillingsmodel toekomstige situatie	15
4.6	Bepaling trillingsniveau in gebouwen	15
4.7	Bepaling maximale trillingssterkte over beoordelingsperiode V_{per}	15
4.8	Betrouwbaarheid trillingsprognose	16
5	Resultaat prognose en beoordeling (stap 2)	17
5.1	Trillingsprognose	17
5.2	Beoordeling trillingsprognose	18
6	Woningmetingen trillingen in huidige situatie (stap 3)	21
6.1	Van Zijstweg 51	21
6.2	Croeselaan 163	23
6.3	Vertaling metingen huidige situatie naar maatgevende locaties	24
7	Prognose van woningmetingen in toekomstige situatie (stap 3)	25
7.1	Van Zijstweg 51	25
7.2	Croeselaan 163	25
8	Conclusie en advies	27
8.1	Resultaat Stap 2 Knelpuntanalyse	27
8.2	Resultaat Stap 3 Detaileanalyse	27
8.3	Aanbevelingen	27
	Colofon	29

1 Inleiding

Dit rapport behandelt de trillingseffecten van de nieuwe busbaan over de Busbaan Dichterswijk tussen de Croeselaan en de Overste den Oudenlaan tijdens de exploitatiefase.

De aanpak van het onderzoek sluit aan op de aanpak van trillingsonderzoeken zoals die ook voor ProRail worden uitgevoerd bij spooruitbreidingsprojecten. In deze aanpak bestaat een trillingsonderzoek uit verschillende stappen die achtereenvolgens worden doorlopen. De stappen hebben een steeds grotere nauwkeurigheid, waarbij de gewenste nauwkeurigheid het grootst is voor de locaties met de grootste kans op trillingshinder. Het gaat om de volgende stappen:

1. Inventarisatie van locaties waar mogelijk trillingshinder kan optreden, o.b.v. Expert Judgement (quick scan);
2. Knelpunteninventarisatie aan de hand van indicatieve meting en empirische prognose;
3. Nauwkeurige trillingsprognoses voor uitwerken maatregelen;
4. Ontwerpen van maatregelen en afweging van varianten.

Dit rapport bevat stap 2 en stap 3 van bovenstaande stappen, de knelpunteninventarisatie en de trillingsprognoses. Uit de eerder uitgevoerde de quick scan¹ volgt voor welke locaties de knelpunteninventarisatie wordt uitgevoerd:

Locatie	Kenmerk overschrijding
Croeselaan 163, 163A en 163B	Vmax blijft gelijk, en blijft onder de streefwaarde. Vper neemt toe, en is in huidige en toekomstige situatie overdag mogelijk al hoger dan streefwaarde.
Van Zijstweg 1-1A	Vmax neemt af, maar is in huidige situatie mogelijk al hoger dan streefwaarde. Vper neemt toe, en is in huidige en toekomstige situatie overdag mogelijk al hoger dan streefwaarde.
Van Zijstweg 3-5, 11-13 en 15-17	Vmax neemt af, maar is in huidige situatie mogelijk al hoger dan streefwaarde. Vper neemt toe, maar blijft onder de streefwaarde.
Van Zijstweg 7-9	Vmax neemt af, en blijft onder streefwaarde. Vper neemt toe, maar is in huidige situatie overdag mogelijk al hoger dan streefwaarde.
Croeselaan 181	Vmax blijft het zelfde, maar is in huidige situatie mogelijk al hoger dan streefwaarde. Vper neemt toe, en is in huidige en toekomstige situatie overdag mogelijk al hoger dan streefwaarde.
Appartementengebouwen Groenmarkstraat	Vmax neemt niet voelbaar toe, en blijft onder streefwaarde. Vper neemt toe, maar blijft onder streefwaarde.
Van Zijstweg 51	Vmax blijft het zelfde, en blijft onder streefwaarde. Vper neemt toe, en is in huidige en toekomstige situatie overdag mogelijk al hoger dan streefwaarde.
Kanaalweg 64	Vmax neemt toe, maar blijft onder streefwaarde. Vper neemt toe, maar blijft onder streefwaarde.
Defensierrein	Vmax neemt toe, en is in huidige en toekomstige situatie mogelijk al hoger dan streefwaarde. Vper neemt toe, en is in toekomstige situatie overdag mogelijk hoger dan streefwaarde.

¹ HOV Van Zijstweg, Aspecten trillingen, Movares D79-PBO-KA-1300888, Concept 0.1, 3 december 2013

1.1 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 van dit rapport bevat de uitgangspunten, en hoofdstuk 3 behandelt het toetsingskader voor trillingen. Vervolgens komen in hoofdstuk 4 en 5 de methode en het resultaat van de knelpuntenanalyse aan bod (stap 2). Hoofdstuk 6 en 7 gaan over de woningmeting en prognose behorend bij stap 3. Ten slotte staan de conclusies in hoofdstuk 8.

2 Uitgangspunten trillingsonderzoek

2.1 Uitgangspunten

De trillingsbeschouwing is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- Ligging tracé: Tekening IPvE/FO Busbaan Dichterswijk (B+B), plankaart middenligging, vastgesteld op 06-07-2017.
- Boringen Busbaan Dichterswijk / Dr. M.A. van Tellegenlaan, HOV Zuidradiaal Voorontwerp, Verkennend Bodemonderzoek, 31 augustus 2009
- Dienstregeling Bussen, opgave BRU
- Verkeersintensiteiten overig verkeer, afkomstig uit verkeersmodel Vru3.3
- SBR trillingsrichtlijnen, deel B: hinder voor personen in gebouwen
- Trillingsmeting Movares in universiteitsterrein de Uithof op maaiveld, 3 december 2008
- Trillingsmeting Movares langs Adama van Scheltemabaan uitgevoerd in woning Vaartsestraat, 10-11 mei 2011
- Trillingsmeting Movares langs Adama van Scheltemabaan op maaiveld, 10 maart 2011
- Rapport *HOV Van Zijstweg-Aspect Trillingen*, Wybo Gardien, Movares, D83-WAR-KA-1200045, Versie 1.0, 6 februari 2012
- Rapport *Akoestisch onderzoek reconstructie Van Zijstweg en Dr. M.A. Tellegenlaan*, Reinier Balkema, Gemeente Utrecht-Afdeling Expertise Milieu, VL-17-006, 26 mei 2017
- Rapport *HOV Van Zijstweg - Aspect Trillingen*, K. Christodoulou, Movares, D79-KCH-KA-1700024, Versie 1.0, 13 oktober 2016

2.2 Verkeersintensiteiten

Bussen en vrachtwagens kunnen voor trillingshinder kunnen zorgen. Lichte motorvoertuigen geven naar verwachting geen trillingsoverlast. Op basis van eerdere onderzoeken kan gesteld worden dat vrachtwagens en bussen tot een vergelijkbaar trillingsniveau in de woningen leiden. In Tabel 2-1 en Tabel 2-2 staan de gehanteerde verkeersintensiteiten op de Busbaan Dichterswijk en de Adama van Scheltemabaan. De intensiteiten van de Adama van Scheltemabaan zijn uitsluitend opgenomen omdat de trillingsprognose van de waarde V_{per} voor de knelpuntanalyse wordt gebaseerd op een referentiemeting bij de Adama van Scheltemabaan (zie hoofdstuk 4).

Tabel 2-1 Verkeersintensiteiten Busbaan Dichterswijk twee richtingen samen

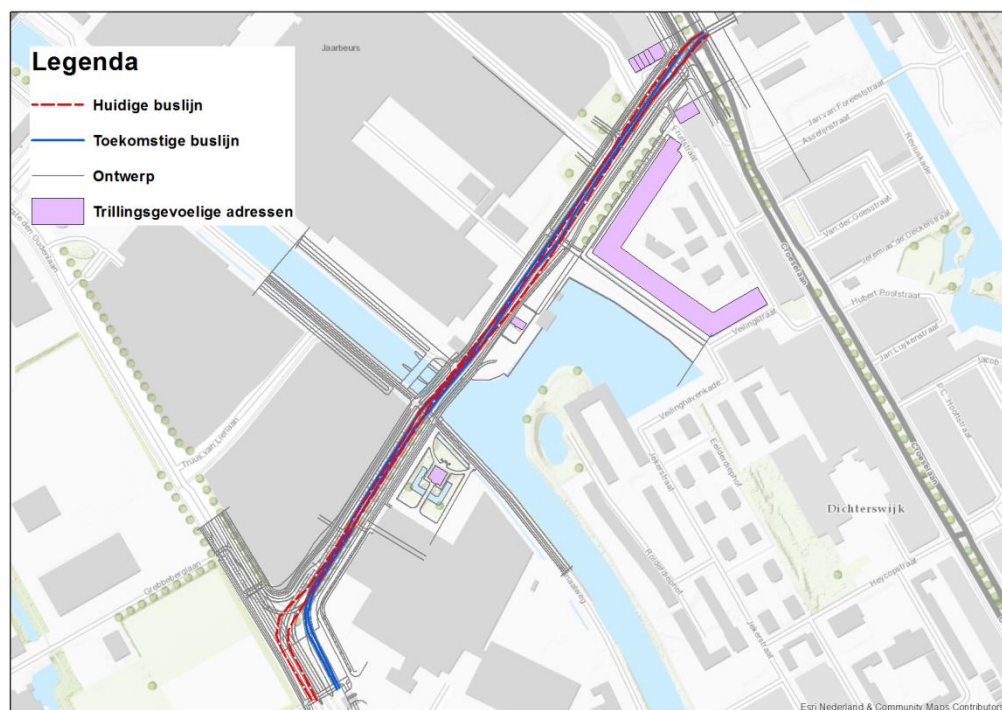
	huidige situatie (2015)			toekomstige situatie (2030)		
	dag (07:00-19:00)	Avond (19:00-23:00)	nacht (23:00-07:00)	dag (07:00-19:00)	Avond (19:00-23:00)	nacht (23:00-07:00)
Bussen	451	59	43	938	194	118
Vrachtwagens	333	20	22	509	44	46

Tabel 2-2 Verkeersintensiteiten huidige situatie Adama van Scheltemabaan

	dag	avond	nacht
Bussen	1530	248	118

2.3 Afstand tot woningen

Trillingen afkomstig van wegverkeer zijn voelbaar in de directe nabijheid van wegen. In de meeste gevallen zijn er op afstanden van meer dan 50 meter geen voelbare trillingen meer aanwezig. Dit betekent dat op de volgende locaties, zie Figuur 2-1, langs de busbaan voelbare trillingen mogelijk zijn. In Tabel 2-3 staan de afstanden van de panden ten opzichte van de huidige weg, de toekomstige busbaan en toekomstige weg.



Figuur 2-1 Huidige en toekomstige buslijn en locatie van trillingsgevoelige adressen

Tabel 2-3 Afstanden van trillingsgevoelige adressen

	afstand weg huidig	afstand busbaan toekomst	afstand weg toekomst
Croeselaan 163	6	9	6
Van Zijstweg 1-17	9	14	11
Croeselaan 181	16	23	17
Appartementengebouwen Groenmarkstraat	31	33	30
Van Zijstweg 51	7	11	8
Kanaalweg 64	36	37	31
Defensierrein	22	21	14

3 Toetsingskader

3.1 Inleiding

Wegverkeer (zoals buspassages), treinverkeer en bouwwerkzaamheden kunnen aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen op hun beurt leiden tot schade of hinder. Stichting Bouwresearch (SBR) heeft richtlijnen opgesteld, die criteria geven voor het meten en beoordelen van de trillingssterkte.

Tot op heden zijn deze richtlijnen nog niet vastgelegd in wetgeving, maar de richtlijnen worden veelvuldig toegepast. In gevallen waarbij uiteindelijk de rechter werd ingeschakeld speelde de SBR-richtlijn vaak een belangrijke rol. Ook de Raad van State baseert zich bij zijn oordeelsvorming deels op de richtlijnen ten aanzien van trillingen.

De SBR Richtlijn bestaat uit 3 delen:

- Deel A: Schade aan gebouwen
- Deel B: Hinder voor personen in gebouwen
- Deel C: Verstoring van apparatuur

In dit hoofdstuk wordt het relevante toetsingskader van de SBR-richtlijnen voor dit project toegelicht. Verkeerstrillingen leiden normaal gesproken niet tot schade aan gebouwen, en voor zover bekend is er in de omgeving van de busbaan geen trillingsgevoelige apparatuur aanwezig. Het gaat hier om personen in woningen die mogelijk hinder hebben van trillingen. De toegepaste richtlijn is daarom SBR trillingsrichtlijn deel B.

3.2 SBR trillingsrichtlijn deel B (hinder voor personen in gebouwen)

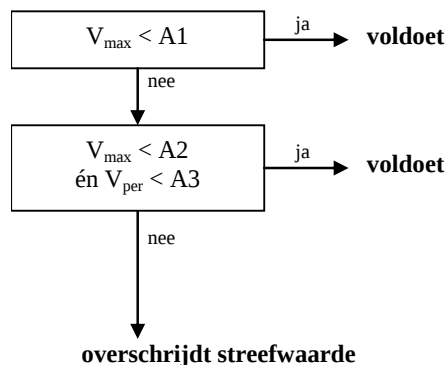
De SBR trillingsrichtlijn deel B wordt gebruikt om de toetsingswaarden ten aanzien van de trillingssterkte te bepalen. In bijlage I wordt de richtlijn toegelicht.

Bij de richtlijn zijn er 3 verschillende toetsingswaarden gedefinieerd. De drie toetsingswaarden hebben de volgende betekenis:

toetsingswaarde	betekenis
A1	Onderste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$
A2	Bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$
A3	Streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode V_{per} . De V_{per} wordt groter naarmate de trilling vaker per uur optreedt.

3.2.1. Interpretatie toetsingswaarden

Voor het beoordelen van de gemeten $V_{\max}$ moet het schema in Figuur 3-1 worden doorlopen. Wanneer de gemeten waarde lager uitvalt dan A1, voldoet de locatie. Wanneer dit niet het geval is, kan via een tweede mogelijkheid de locatie alsnog voldoen. De gemeten $V_{\max}$ moet dan lager zijn dan A2, waarbij tevens de gemeten V_{per} lager is dan de opgegeven A3 waarde. De interpretatie staat schematische weergegeven in Figuur 3-1.



Figuur 3-1 Stroomschema interpretatie toetsingswaarden A1, A2 en A3

De situatie aan de Busbaan Dichterswijk voor de bestaande panden wordt als een gewijzigde situatie beoordeeld. Bij een gewijzigde situatie wordt in eerste instantie de huidige situatie getoetst aan de streefwaarden voor bestaande situaties. Indien hieraan niet wordt voldaan moet de gewijzigde situatie voldoen aan de streefwaarden voor de bestaande situatie. Als de gewijzigde situatie wel voldoet aan de streefwaarden van de bestaande situatie dan mogen $V_{\max}$ en V_{per} na de wijziging niet meer zijn dan de $V_{\max}$ en V_{per} in de huidige situatie. Hierbij hoeven $V_{\max}$ en V_{per} niet lager te zijn dan de streefwaarden van de nieuwe situatie.

De situatie voor nieuwe panden aan de Busbaan Dichterswijk wordt als een nieuwe situatie beoordeeld.

3.2.2. Uitgangspunten toetsingswaarden

In onderstaand tabel staan de uitgangspunten voor dit onderzoek, nodig voor het bepalen van de streefwaarden.

item	indeling	motivatie
gebouwfunctie	Wonen	Langs de busbaan staan woningen
trillingsvorm	Herhaald voorkomende trillingen, gedurende lange tijd	busverkeer valt onder herhaald voorkomende trillingen
oude, gewijzigde of nieuwe situatie	gewijzigde en nieuwe situatie	In de bestaande panden is er in de huidige situatie al sprake van trillingen van bussen en overig wegverkeer langs de Busbaan Dichterswijk. In de nieuwe te bouwen panden is er sprake van een nieuwe situatie.

Aangezien het een gewijzigde situatie betreft, mag de trillingssterkte niet toenemen ten opzichte van de huidige situatie en moet voldoen aan de streefwaarde voor bestaande situaties, zie Tabel 3-1.

De nieuwe panden aan de Busbaan Dichterswijk worden beoordeeld als nieuwe situaties en worden getoetst aan streefwaarden van Tabel 3-2.

Tabel 3-1 Streefwaarden voor bestaande situaties, gearceerde waarden zijn van toepassing bij de Busbaan Dichterswijk

toetsingswaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trillingen						
gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
1. Gezondheidszorg	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
2. Wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
3. Kantoor	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
4. Bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
5. Kritische werkruimte	0.1	0.1	-	0.1	0.1	-

Tabel 3-2 Streefwaarden voor nieuwe situaties, gearceerde waarden zijn van toepassing bij de Busbaan Dichterswijk

toetsingswaarden nieuwe situatie, herhaald voorkomende trillingen						
gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
1. Gezondheidszorg	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
2. Wonen	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
3. Kantoor	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
4. Bijeenkomsten	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
5. Kritische werkruimte	0.1	0.1	-	0.1	0.1	-

Omdat er zowel overdag als 's nachts (23:00-07:00) bussen rijden, is bij de gebouwfunctie “wonen” de A2-waarde in de nacht maatgevend.

3.2.3. Mate van hinderbeleving bij trillingsniveau

De mate van hinderbeleving verschilt echter van individu tot individu. In Bijlage 5 van de SBR-B richtlijn is voor de afweging van de toelaatbaarheid van trillingssterkten de volgende tabel gegeven:

Tabel 3-3 Hinderkwalificatie voor weg- en railverkeer

V_{max}	hinderkwalificatie
<0.1	geen hinder
0.1 – 0.2	weinig hinder (bestaande situaties)
0.2 – 0.8	matige hinder
0.8 – 3.2	hinder
>3.2	ernstige hinder

In Noorwegen is onderzoek² gedaan naar de mate waarin personen hinder ondervinden bij een bepaalde trillingssterkte. In Tabel 3-4 staan resultaten uit dit onderzoek.

² R. Klæboe, I.H. Turunen-Rise en C. Madhus *Vibration in dwellings from road and rail traffic – Part II: exposure-effect relationships based on ordinal logit and logistic regression models* Applied Acoustics Volume 64, Issue 1, pp 89-109 January 2003

Tabel 3-4 Hinderbeleving gerelateerd aan trillingssterkte

maximale rms trilsnelheid op basis van 95% verwachtingswaarde [mm/s]	percentage mensen dat enige mate van hinder ondervindt (incl. percentage ernstige hinder)	percentage mensen dat ernstige hinder ondervindt
0.06	5.8	2.0
0.1	8.2	3.5
0.2	11.8	5.0
0.5	20.0	10.0
1	29.0	15.0

De SBR-B richtlijn gaat uit van de streefwaarde $V_{\max}=0.2$, wat overeenkomt met circa 5 procent mensen die ernstige hinder ondervinden. Er wordt naar gestreefd dat minder dan 5 procent van de mensen hinder ondervindt.

Indien er in de huidige situatie al trillingen aanwezig zijn, dan wordt vooral een toename van het trillingsniveau als hinderlijk ervaren. In 2014 heeft de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu een richtlijn voor het beoordelen van trillingen in spoorprojecten vastgesteld, de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts). In deze beleidsrichtlijn wordt genoemd dat een trillingstoename voelbaar is vanaf 30% toename.

4 Empirisch prognosemodel (stap 2)

4.1 Bepaling maximale trillingssterkte $V_{\max}$

De relatie tussen de afstand tot de busbaan en het trillingsniveau wordt bepaald met de Barkan vergelijking, die de afname van het trillingsniveau met de afstand beschrijft. De Barkan vergelijking heeft de volgende vorm:

$$V_{\max}(r) = V_{\max}(r_0) * \left(\frac{r_0}{r}\right)^n * e^{-\alpha(r-r_0)}$$

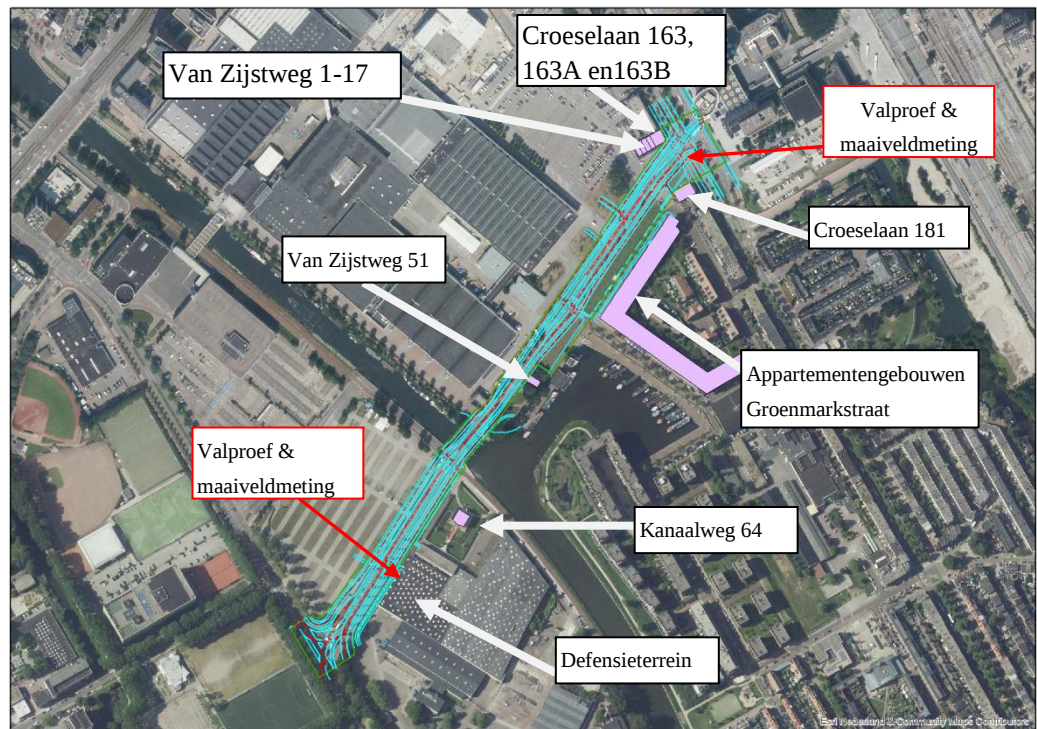
waarin:

$V_{\max}(r)$	<i>de effectieve trilsnelheid op afstand r</i>
r	<i>de afstand tot de busbaan</i>
r_0	<i>de referentieafstand</i>
n	<i>parameter die de geometrische spreiding beschrijft</i>
α	<i>parameter die de demping in de bodem beschrijft</i>

Om de parameters voor bovenstaande Barkan vergelijking te vullen voor de knelpuntlocaties voor trillingen afkomstig van bussen over de busbaan is zijn trillingsmetingen uitgevoerd op verschillende locaties langs het tracé.

De volgende metingen zijn uitgevoerd:

- Valproefmetingen om de demping van de bodem te bepalen;
 - aan de oostzijde van de D.M.A Tellegenlaan, ter hoogte van de Overste Den Oudenlaan;
 - nabij Croeselaan 163;
- Metingen met minimaal 4 sensoren op maaiveld om het trillingsniveau ($V_{\max}$ en V_{per}) van de voertuigpassages in kaart te brengen. Deze metingen duren circa 4 uur per locatie om voldoende voertuigpassages te registreren.
 - defensieterrein aan de oostzijde van de D.M.A Tellegenlaan, ter hoogte van de Overste Den Oudenlaan;
 - Croeselaan 163, aan de westzijde van de Van Zijstweg.



Figuur 2 Knelpuntlocaties en meetlocaties

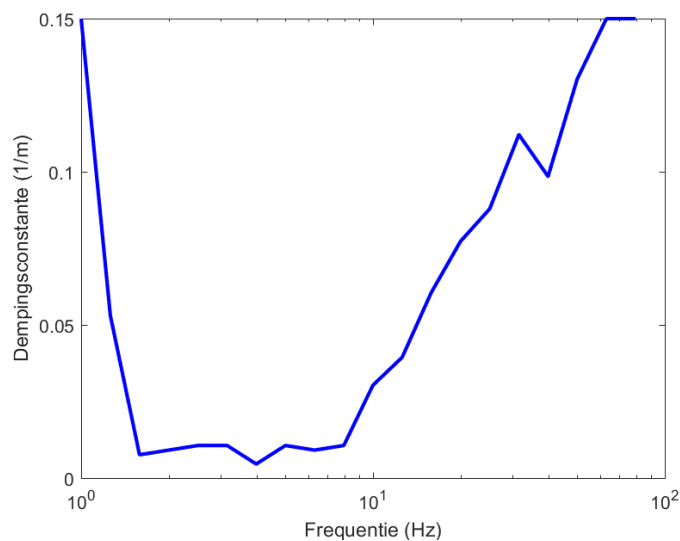
4.2 Valproefmetingen

Om de demping α in de bodem te bepalen, zijn valproefmetingen uitgevoerd. Bij een valproef valt een gewicht vanaf een vastgestelde hoogte op de bodem. De valhoogte bedroeg in dit geval 2 meter en had een massa van enkele tientallen kilo's. Het valgewicht is een gecontroleerde trillingsbron, wat als voordeel heeft dat hiermee de bodemdemping te bepalen is. Verder is het valgewicht een puntbron, wat betekent dat de parameter voor de geometrische spreiding n uit de Barkan vergelijking kan worden vastgesteld op 0.5 voor de maatgevende oppervlaktegolven in de bodem.

De valproeven bestaan uit reeksen van klappen, waarbij één sensor op een vaste plek blijft staan en de overige sensoren worden verplaatst. Hierdoor ontstaat een meetsignaal over een lengte van 10 tot 40 meter vanaf het valgewicht, met korte tussenafstanden van 1-2 m. Rekenkundig kunnen de verschillende valproeven op één locatie, waarbij de sensoren worden verplaatst, worden omgezet tot een signaal van één proef waarin zich alle sensoren bevinden.

4.2.1. Resultaat valproef bij D.M.A Tellegenlaan

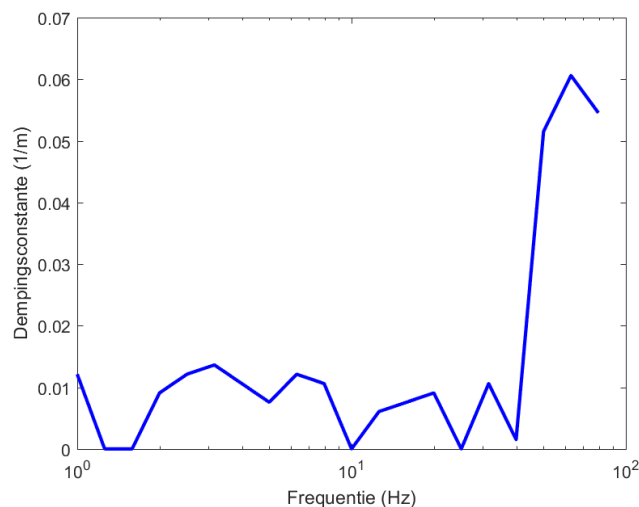
De bepaalde bodemdemping als functie van frequentie staat in Figuur 3. Uit de maaiveldmetingen van voertuigpassages bleek dat de dominante frequentie circa 10 Hz bedroeg. Op basis hiervan wordt voor het prognosemodel een bodemdemping van 0.03 gehanteerd voor woningen in de omgeving van de D.M.A Tellegenlaan (defensieterrein).



Figuur 3 Bodemdemping als functie van frequentie bij D.M.A Tellegenlaan (Defensierrein)

4.2.2. Resultaat valproef bij Croeselaan 163

De bepaalde bodemdemping als functie van frequentie staat in Figuur 4. Uit de maaiveldmetingen van voertuigpassages bleek dat de dominante frequentie circa 10 Hz bedroeg. Op basis hiervan wordt voor het prognosemodel een bodemdemping van 0.01 gehanteerd voor woningen in de omgeving van Croeselaan 163.

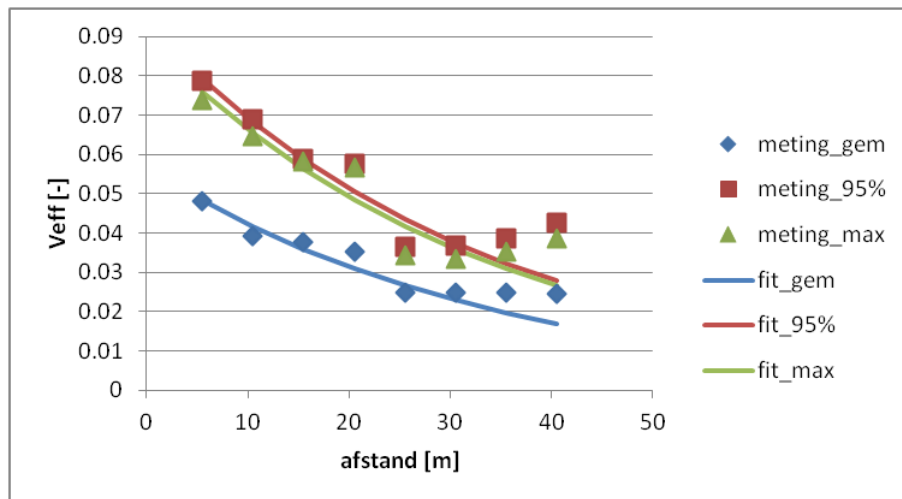


Figuur 4 Bodemdemping als functie van frequentie bij Croeselaan 163

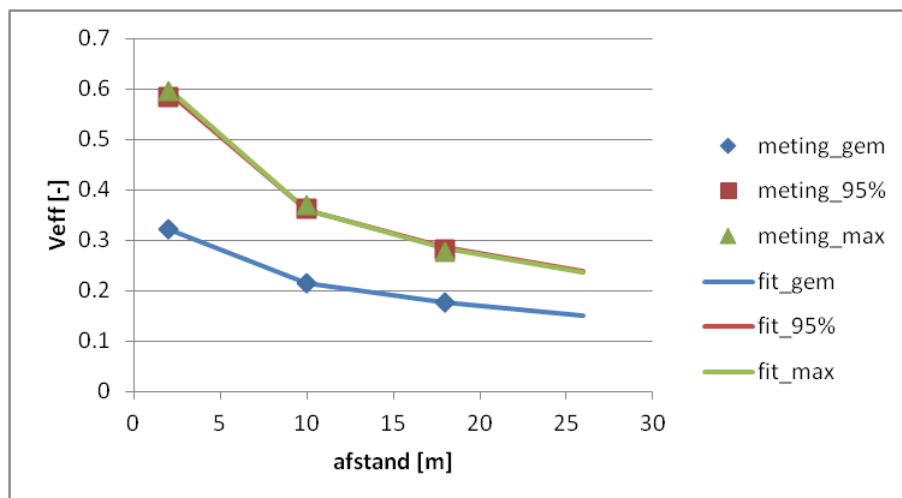
4.3 Maaiveldmetingen

Met metingen op maaiveld zijn de trillingen afkomstig van buspassages en overig verkeer in kaart gebracht. Tijdens de meting is met een camera geregistreerd wat voor verkeer er gepasseerd is, wat is gekoppeld aan de gemeten trillingen. Op basis hiervan zijn trillingen afkomstig van buspassages en vrachtwagenpassages van elkaar onderscheiden. Vervolgens zijn aan de hand van gemeten trillingen de parameters V_{max} en n bepaald, waarbij voor de referentieafstand r_0 een vaste waarde van 10 meter is aangehouden. De resultaten zijn weergegeven in de grafieken in Figuur 5 tot en met Figuur 6. De weergegeven parameters zijn:

- Gemiddelde van alle passages
- 95% bovengrens van de passages (methode SBR-B)
- Maximaal gemeten waarde



Figuur 5 Meetresultaat en fit bussen/vrachtwagens D.M.A Tellegenlaan (defensieterrein)



Figuur 6 Meetresultaat en fit bussen/vrachtwagens Croeselaan 163

4.4 Parameters trillingsmodel huidige situatie

De metingen leiden tot de volgende parameters voor de Barkan vergelijking voor de huidige situatie zoals weergegeven in Tabel 4-1. Uit deze resultaten blijkt dat het trillingsniveau bij de D.M.A. Tellegenlaan aanmerkelijk lager is dan bij Croeselaan 163. Dit heeft waarschijnlijk te maken met een verschil in de kwaliteit van het wegdek.

Tabel 4-1 Barkan parameters bussen/vrachtwagens (95%)

Locaties	$V_{max}(r_0)$	r_0	N	α
Croeselaan 163	0.36	10	0.26	0.01
D.M.A Tellegenlaan (defensieterrein)	0.07	10	0.00	0.03

4.5 Parameters trillingsmodel toekomstige situatie

In de huidige situatie rijden de bussen over asfaltwegen, en dat blijft ook zo in de toekomstige situatie. De Barkan parameters voor bussen in de toekomstige situatie blijven daarom gelijk.

4.6 Bepaling trillingsniveau in gebouwen

In grote (appartementen)gebouwen is het trillingsniveau op de verdiepingsvloer meestal lager dan gewone woonhuizen. De volgende verhoudingsgetallen tussen de waarde uit de Barkan vergelijking en de vloer worden aangehouden:

- Normale woonhuizen: factor 1;
- Grote (appartementen)gebouwen: factor 0.6.

4.7 Bepaling maximale trillingssterkte over beoordelingsperiode V_{per}

De prognose van V_{per} voor de knelpuntanalyse is gebaseerd op trillingsmetingen in een woning aan de Vaartsestraat langs de Adama van Scheltemabaan. De waarde V_{per} is afhankelijk van de maximale trillingssterkte V_{max} , en de verhouding van het aantal bussen en vrachtwagens op een onderzoekslocatie ten opzichte van het aantal bussen op de Adama van Scheltemabaan. In de woning aan de Vaartsestraat is de volgende waarde gemeten voor V_{per} :

periode	V_{per}
dag (7-19 uur)	0.054

Vrachtwagens en bussen zijn hier voor wat betreft trillingen gelijkgesteld. In de huidige situatie rijden er 1530 bussen per dag over de Adama van Scheltemabaan in de dagperiode.

De prognose van V_{per} voor de huidige en toekomstige situatie is als volgt uitgevoerd:

$$V_{per,dag} = C * V_{max} * \sqrt{\frac{\text{dagintensiteit bussen en vrachtwagens onderzoekslocatie}}{\text{dagintensiteit bussen Adama van Scheltemabaan}}}$$

De vermenigvuldigingsfactor C is afhankelijk van V_{max} :

- $C = 0.10$ voor $V_{max} < 0.14$
- $C = 0.15$ voor $V_{max} \geq 0.14$ en $V_{max} < 0.20$
- $C = 0.20$ voor $V_{max} \geq 0.20$ en $V_{max} < 0.25$
- $C = 0.25$ voor $V_{max} \geq 0.25$

De waarde V_{per} wordt op de volgende wijze bepaald voor de avond- en nachtperiode:

$$V_{per,avond} = V_{per,dag} * \sqrt{\frac{\text{avondintensiteit bussen en vrachtwagens onderzoekslocatie}}{\text{dagintensiteit bussen en vrachtwagens onderzoekslocatie}}}$$

4.8 Betrouwbaarheid trillingsprognose

$$V_{per,nacht} = V_{per,dag} * \sqrt{\frac{\text{nachtintensiteit bussen en vrachtwagens onderzoekslocatie}}{\text{dagintensiteit bussen en vrachtwagens onderzoekslocatie}}}$$

In elke trillingsprognose zit een bepaalde onzekerheid. De betrouwbaarheid hangt onder meer af van modelonzekerheden en onzekerheden wat betreft de invoer. Onzekerheden in de invoer bestaan onder meer uit de bodemeigenschappen, de eigenschappen van de busbaan, de eigenschappen van de gebouwen, de eigenschappen van de bussen en conditie van de busbaan.

In dit onderzoek worden de onzekerheden gekwantificeerd met spreidingsfactoren. Deze methode om onzekerheden in trillingsprognoses te kwantificeren wordt door Movares en TNO ook gebruikt in trillingsonderzoeken voor ProRail bij spooruitbreidingsprojecten.

Een spreidingsfactor geeft aan hoeveel hoger de bovengrens (95%-waarde) is dan de verwachtingswaarde. De 95%-waarde is de waarde die met een kans van 95% niet wordt overschreden. Een spreidingsfactor van 0.1 betekent bijvoorbeeld dat de bovengrens 10% hoger is dan de verwachtingswaarde. Hierbij wordt uitgegaan van een lognormale kansverdeling. Verschillende spreidingsfactoren kunnen als volgt (energetisch) gesommeerd worden om tot een totale spreidingsfactor te komen.

$$factor_{totaal} = \sqrt{factor_1^2 + factor_2^2 + factor_3^2}$$

In Tabel 4-2 staan de gehanteerde spreidingsfactoren in dit onderzoek. De spreidingsfactoren zijn gebaseerd op expert judgement (o.a. ervaringen met variatie in meetresultaten en trillingsprognoses). De totale spreidingsfactor in dit onderzoek is 1.1, wat leidt een bovengrenswaarde die 110% hoger is dan de verwachtingswaarde.

Tabel 4-2 Spreidingsfactoren gebaseerd op expert judgement

onderdeel	factoren	spreiding
Bron	Bus en busbaan	0.3
Overdracht	Bodem	0.2
Ontvanger	Gebouw	1.0
Totaal		1.1

5 Resultaat prognose en beoordeling (stap 2)

5.1 Trillingsprognose

In Tabel 5-4 en staan de resultaten van de verwachtingswaarden en de bovengrenswaarden voor de huidige en toekomstige situatie. Voor een vergelijking tussen de huidige situatie en de toekomstige situatie kunnen de verwachtingswaarden van de huidige situatie het best worden vergeleken met de verwachtingswaarden van de toekomstige situatie, en de bovengrenswaarden van de huidige situatie met de bovengrenswaarden van de toekomstige situatie. In de prognose van de toekomstige situatie veranderen de onzekerheden uit Tabel 4-2 immers niet ten opzichte van de prognose voor de huidige situatie.

In vergelijking met de trillingsprognose die in stap 1 is uitgevoerd blijkt dat het prognosemodel voor het stap 1 model te conservatieve trillingsniveaus gaf bij de Kanaalweg 64 en de D.M.A Tellegenlaan (defensieterrein).

Tabel 5-1 Resultaat trillingsprognose huidige situatie, verwachtingswaarden (50%) en bovengrenswaarden (95%)

locatie	gebouwfunctie	Vmax huidig, 50%, dag, avond en nacht	Vper huidig, 50%, dag	Vper huidig, 50%, avond	Vper huidig, 50%, nacht	Vmax huidig, 95%, dag, avond, nacht	Vper huidig, 95%, dag	Vper huidig, 95%, avond	Vper huidig, 95%, nacht
Croeselaan 163, 163A en 163B	bedrijfspannen	0.43	0.08	0.02	0.01	0.90	0.16	0.05	0.01
Van Zijstweg 1-1A	woningen	0.37	0.07	0.02	0.01	0.78	0.14	0.04	0.01
Van Zijstweg 3-5, 11-13 en 15-17	bedrijf+woning erboven	0.35	0.06	0.02	0.01	0.73	0.13	0.04	0.01
Van Zijstweg 7-9	bedrijfspan	0.33	0.06	0.02	0.01	0.69	0.12	0.04	0.01
Croeselaan 181	woning	0.30	0.05	0.02	0.00	0.63	0.11	0.04	0.01
Appartementengebouwen Groenmarkstraat	woningen	0.13	0.01	0.00	0.00	0.27	0.05	0.02	0.00
Van Zijstweg 51	bedrijfspan	0.41	0.07	0.02	0.01	0.85	0.15	0.05	0.01
Kanaalweg 64	woning	0.03	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00
Defensieterrein	woningen	0.05	0.00	0.00	0.00	0.10	0.01	0.00	0.00

Tabel 5-2 Resultaat trillingsprognose toekomstige situatie, verwachtingswaarden (50%) en bovengrenswaarden (95%) Toenames t.o.v. huidige situatie zijn oranje gearceerd

locatie	gebouwfunctie	Vmax toekomst, 50%, dag, avond, nacht	Vper toekomst, 50%, dag	Vper toekomst, 50%, avond	Vper toekomst, 50%, nacht	Vmax toekomst, 95%, dag, avond, nacht	Vper toekomst, 95%, dag	Vper toekomst, 95%, avond	Vper toekomst, 95%, nacht
Croeselaan 163, 163A en 163B	bedrijfspanen	0.43	0.10	0.03	0.02	0.90	0.20	0.07	0.05
Van Zijstweg 1-1A	woningen	0.35	0.08	0.03	0.02	0.73	0.17	0.06	0.04
Van Zijstweg 3-5, 11-13 en 15-17	bedrijf+woning erboven	0.34	0.08	0.03	0.02	0.71	0.16	0.06	0.04
Van Zijstweg 7-9	bedrijfspan	0.32	0.07	0.02	0.02	0.67	0.15	0.05	0.03
Croeselaan 181	woning	0.29	0.07	0.02	0.02	0.61	0.14	0.05	0.03
Appartementengebouwen Groenmarkstraat	woningen	0.13	0.01	0.00	0.00	0.28	0.07	0.02	0.02
Van Zijstweg 51	bedrijfspan	0.39	0.09	0.03	0.02	0.82	0.19	0.07	0.05
Kanaalweg 64	woning	0.04	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
Defensierrein	woningen	0.06	0.00	0.00	0.00	0.13	0.01	0.00	0.00

5.2 Beoordeling trillingsprognose

De beoordeling van de trillingsprognose is opgenomen in Tabel 4-3. In een aantal locaties overschrijdt de verwachtingswaarde de streefwaarden. Op andere locaties langs de busbaan voldoen de verwachtingswaarden aan de streefwaarden of is de toename niet waarneembaar.

Tabel 5-3 Beoordeling trillingsprognose volgens SBR-B gewijzigde situatie

Locatie	Gebouwfunctie	Verwachtingswaarde		Bovengrenswaarde		Toelichting
		Vmax	Vper	Vmax	Vper	
Croeselaan 163, 163A en 163B	bedrijfspanen	voldoet	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	Vmax blijft gelijk en blijft onder de streefwaarde. Vper neemt toe en is in huidige en toekomstige situatie overdag hoger dan streefwaarde.
Van Zijstweg 1-1A	woningen	voldoet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	Vmax neemt af, maar is in huidige situatie al hoger dan streefwaarde. Vper neemt toe en is in huidige en toekomstige situatie overdag al hoger dan streefwaarde.
Van Zijstweg 3-5, 11-13 en 15-17	bedrijf+woning erboven	voldoet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	Vmax neemt af, maar is in huidige situatie al hoger dan streefwaarde. Vper neemt toe en is in huidige en toekomstige situatie overdag al hoger dan streefwaarde.
Van Zijstweg 7-9	bedrijfspan	voldoet	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	Vmax neemt af en blijft onder streefwaarde. Vper neemt toe, maar blijft onder streefwaarde.

Croeselaan 181	woning	voldoet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	V _{max} neemt af, maar is in huidige situatie al hoger dan streefwaarde. V _{per} neemt toe en is in huidige en toekomstige situatie overdag al hoger dan streefwaarde.
Appartementengebouwen Groenmarkstraat	woningen	voldoet	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet	V _{max} neemt niet voelbaar toe, en blijft onder streefwaarde. V _{per} neemt toe, maar blijft onder streefwaarde.
Van Zijstweg 51	bedrijfspan	voldoet	voldoet niet	voldoet	voldoet niet	V _{max} neemt af en blijft onder streefwaarde. V _{per} neemt toe, en is in huidige en toekomstige situatie overdag al hoger dan streefwaarde.
Kanaalweg 64	woning	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet	V _{max} neemt toe, maar blijft onder streefwaarde. V _{per} neemt toe, maar blijft onder streefwaarde.
Defensierrein	woningen	voldoet	voldoet	voldoet	voldoet	V _{max} neemt toe, maar blijft onder streefwaarde. V _{per} neemt toe, maar blijft onder streefwaarde.

Samengevat geldt het volgende:

- In een aantal woningen wordt in de huidige situatie niet voldaan aan de streefwaarden voor de trillingssterkte $V_{\max}$, en in een aantal woningen overdag ook niet aan de streefwaarden voor de trillingsintensiteit V_{per} ;
- In de meeste woningen neemt de trillingssterkte $V_{\max}$ af in de toekomstige situatie, doordat de busbaan verder van de woningen vandaan komt te liggen. Door de toename van het busverkeer neemt de trillingsintensiteit V_{per} echter wel toe;
- Op basis van internationaal onderzoek kan gesteld worden dat een toename in trillingssterkte ($V_{\max}$) van minder dan 30 procent niet voelbaar is. Bij geen enkele woning is er sprake van een voelbare toename van de trillingen (meer dan 30 procent toename).

De trillingsniveaus overschrijden in een aantal locaties de streefwaarden. Dit betekent dat bij ongunstige omstandigheden mogelijk niet wordt voldaan aan de streefwaarden. Ongunstige omstandigheden kunnen bijvoorbeeld zijn:

- Slecht wegdek
- Ongunstige gebouwconstructie

De busbaan wordt ontworpen als een nieuwe, betonnen weg, aangelegd op een nieuw of aangepast cunet. Bij een goede uitvoering zullen het wegdek en de bodem dan niet ongunstiger zijn de huidige wegen.

Zeer bepalend voor het trillingsniveau in woningen zijn de eigenschappen van de gebouwen. Het uitgangspunt is dat het trillingsniveau in de woningen gelijk is aan het trillingsniveau op maaiveld. In de praktijk blijkt dat vaak op te gaan voor eengezinswoningen. De trillingsreductie van de fundering wordt vaak ongeveer opgeheven door de versterking van trillingen op vloeren. Indien dat hier niet het geval is dan heeft dat gevolgen voor het te verwachten trillingsniveau.

Op basis van de trillingsprognose en de relatie tussen het trillingsniveau en het percentage gehinderden uit Tabel 3-4 kan een inschatting gemaakt worden van het aantal gehinderden langs de Busbaan Dichterswijk in de huidige en toekomstige situatie. Deze inschatting staat in Tabel 5-4. Uit deze tabel volgt dat het aantal gehinderden gelijk blijft.

Tabel 5-4 Inschatting aantal gehinderden huidige en toekomstige situatie, verwachtingswaarden (50%) en bovengrenswaarden (95%)

Locatie	aantal woningen	bewoners/ woning	aantal gehinderden huidig 50%	aantal gehinderden toekomst 50%	aantal gehinderden huidig 95%	aantal gehinderden toekomst 95%
Croeselaan 163, 163A en 163B bedrijfspanden	3	2.3	0.61	0.61	0.97	0.97
Van Zijstweg 1-1A	2	2.3	0.36	0.34	0.59	0.57
Van Zijstweg 3-5, 11-13 en 15-17	6	2.3	1.03	1.00	1.70	1.67
Van Zijstweg 7-9	8	2.3	1.31	1.28	2.18	2.14
Croeselaan 181	1	2.3	0.15	0.15	0.26	0.26
Appartementengebouwen Groenmarkstraat	85	2.3	7.74	7.81	12.19	12.35
Van Zijstweg 51	1	2.3	0.19	0.19	0.31	0.30
Kanaalweg 64	1	2.3	0.00	0.00	0.05	0.06
Defensieterrein*	200	2.3	0.00	9.56	16.28	18.20
Totaal	307		11	21	35	37

* voor het Defensieterrein is een aanname gemaakt voor het aantal woningen op basis van het BP en informatie van de gemeente Utrecht

6 Woningmetingen trillingen in huidige situatie (stap 3)

Om een representatief beeld te krijgen van de woningen die na de knelpuntinventarisatie nog een overschrijding van de SBR-B streefwaarden laten zien, is in de volgende woningen een trillingsmeting uitgevoerd:

- Meting in woning Van Zijsteweg 51;
- Meting in woning Croeselaan 163. Deze meting is representatief voor de omgeving van de kruising Croeselaan – Van Zijsteweg.

6.1 Van Zijsteweg 51

De gegevens van de metingen zijn weergegeven in Tabel 6-1.

Tabel 6-1 *Gegevens metingen*

Gebouwfunctie	Bedrijfspand
Meetperiode	19-09-2017 15:50 tot 21-09-2017 14:20
Meetcomputer	DEANTON
Sensor 16	Stijf punt woning begane grond
Sensor 38	Midden vloer begane grond
Sensor 10	Midden vloer 1 ^e verdieping

Het relevante meetpunt voor de beoordeling van de trillingen is het meetpunt op het midden van de vloer. Het meetpunt op het stijve punt is voornamelijk gebruikt om onderscheid te maken tussen trillingen afkomstig van voetstappen op de vloer, en trillingen afkomstig van buiten.

De streefwaarden uit de SBR B richtlijn voor bestaande situaties zijn aangehouden. De streefwaarden voor bestaande situaties staan in Bijlage I.

In Tabel 6-2 en Tabel 6-3 staan de gemeten trillingsniveaus bij Van Zijsteweg 51. In de huidige situatie op de eerste verdieping komen overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden voor (van V_{per} in de dagperiode).

Tabel 6-2 Resultaten meting op begane grond in huidige situatie voor Van Zijsteweg 51.

	Sensor 16 (stijf punt)			Sensor 38 (midden vloer)		
	Z	Y	X	Z	Y	X
V_{max}	0.24	0.1	0.09	0.32	0.1	0.09
V_{per, dag}	0.08	0.00	0.00	0.12	0.01	0.00
V_{per, avond}	0.04	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
V_{per, nacht}	0.03	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00

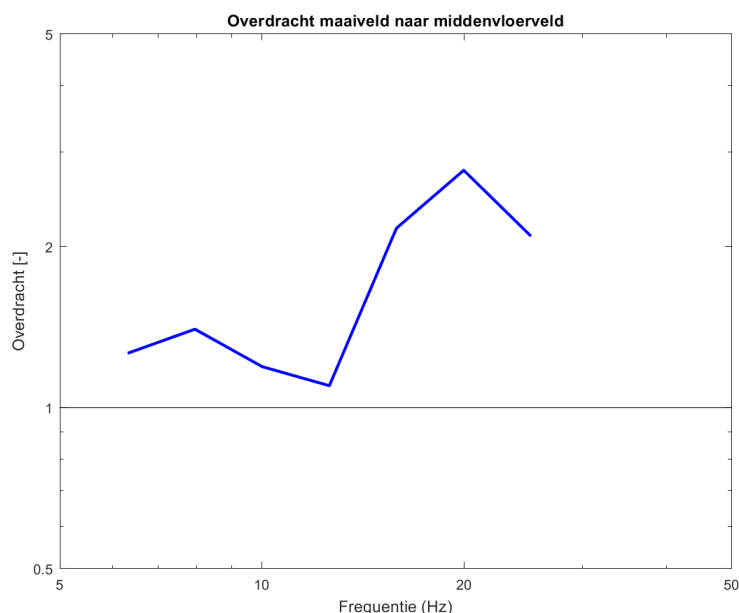
* Overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden zijn met rood aangegeven.

Tabel 6-3 Resultaten meting op 1^e verdieping in huidige situatie voor Van Zijstweg 51.

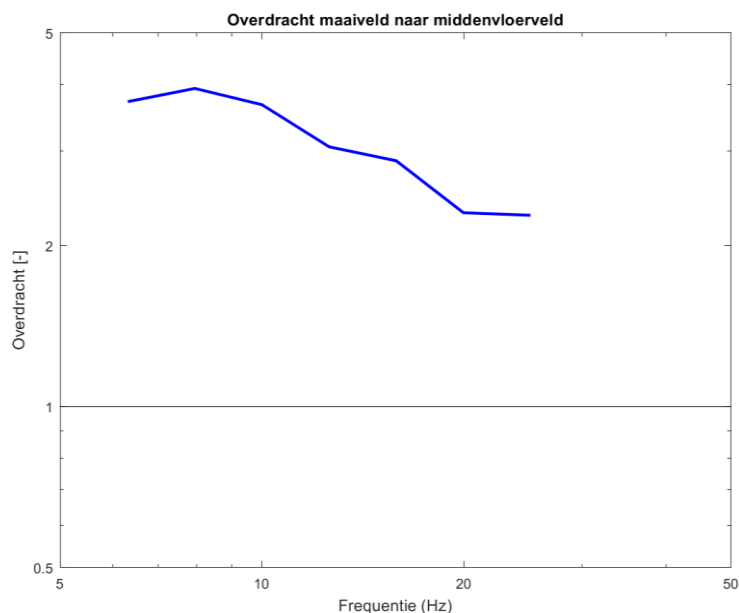
	Sensor 10 (midden vloer)		
	Z	Y	X
V_{max}	0.38	0.53	0.52
V_{per, dag}	0.1	0.17	0.14
V_{per, avond}	0.07	0.13	0.11
V_{per, nacht}	0.03	0.07	0.05

* Overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden zijn met rood aangegeven.

Naast het trillingsniveau in de woning, zijn ook gedurende een korte periode trillingen op maaiveld bij de woning gemeten. Aan de hand van deze metingen is de overdracht van maaiveldtrillingen naar trillingen in de woning bepaald. De gemeten frequentieafhankelijke overdrachtsverhouding staat in Figuur 6-1 en Tabel 6-2. Bussen gaven vooral trillingen bij 10 en 12.5 Hz. Voor deze frequenties is de overdrachtsverhouding op de begane grond iets groter dan 1, wat betekent dat het trillingsniveau in de woning hoger is dan het trillingsniveau op maaiveld. Op de eerste verdieping is de overdrachtsverhouding aanmerkelijk groter dan 1, wat betekent dat het trillingsniveau in de woning hoger is dan het trillingsniveau op maaiveld. Het uitgangspunt dat trillingsniveaus in de woning ongeveer gelijk zijn aan de trillingsniveaus op maaiveld ging hier dus niet op. Toch valt het gemeten trillingsniveau binnen de bandbreedte van de prognose uit de knelpuntenanalyse (Tabel 5-1) doordat het trillingsniveau op maaiveld lager is dan waar in de knelpuntenanalyse vanuit is gegaan.



Figuur 6-1 Overdracht maaiveld-vloer op begane grond Van Zijstweg 51



Figuur 6-2 Overdracht maaiveld-vloer op 1^e verdieping Van Zijstweg 51

6.2 Croeselaan 163

De gegevens van de metingen zijn weergegeven in Tabel 6-4.

Tabel 6-4 Gegevens metingen

Gebouwfunctie	Wonen
Meetperiode	17-4-2014 13:00 tot 18-4-2014 13:00
Meetcomputer	DS-NET
Sensor 16	Stijf punt woning begane grond
Sensor 38	Midden vloer begane grond

Het relevante meetpunt voor de beoordeling van de trillingen is het meetpunt op het midden van de vloer. Het meetpunt op het stijve punt is voornamelijk gebruikt om onderscheid te maken tussen trillingen afkomstig van voetstappen op de vloer, en trillingen afkomstig van buiten.

De streefwaarden uit de SBR B richtlijn voor bestaande situaties zijn aangehouden. De streefwaarden voor bestaande situaties staan in Bijlage I.

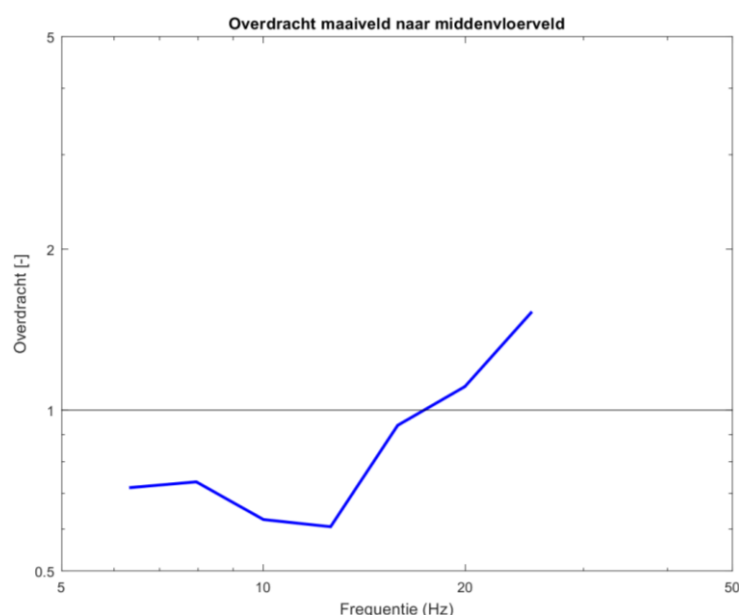
In Tabel 6-5 staan de gemeten trillingsniveaus bij Croeselaan 163. Er zijn in de huidige situatie geen overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden.

Tabel 6-5 Resultaten meting huidige situatie Croeselaan 163

	Sensor 16 (stijf punt)			Sensor 38 (midden vloer)		
	Z	Y	X	Z	Y	X
V_{max}	0.24	0.08	0.09	0.3	0.08	0.09
V_{per, dag}	0.07	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
V_{per, avond}	0.05	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
V_{per, nacht}	0.03	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00

* Overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden zijn met rood aangegeven.

Naast het trillingsniveau in de woning, zijn ook gedurende een korte periode trillingen op maaiveld bij de woning gemeten. Aan de hand van deze metingen is de overdracht van maaiveldtrillingen naar trillingen in de woning bepaald. De gemeten frequentieafhankelijke overdrachtsverhouding staat in Figuur 6-3. Voor lage frequenties kleiner dan 6 Hz, en frequenties groter dan 25 Hz is de meting minder betrouwbaar omdat de bussen in die frequentiegebieden weinig signaal gaven. Bussen gaven vooral trillingen bij 10 en 12.5 Hz. Voor deze frequenties is de overdrachtsverhouding wat kleiner dan 1, wat betekent dat het trillingsniveau in de woning iets lager is dan het trillingsniveau op maaiveld.



Figuur 6-3 Overdracht maaiveld-vloer op begane grond Croeselaan 163

6.3 Vertaling metingen huidige situatie naar maatgevende locaties

De keuze van de meetlocaties hing samen met de mogelijkheden om afspraken met bewoners te maken. Hierdoor was het niet mogelijk om in de maatgevende woning van Croeselaan 163B te meten, maar wel op de begane grond van het zelfde gebouw. De meetresultaten van de woning Croeselaan 163 zijn vertaald naar trillingen die te verwachten zijn in de maatgevende woning Croeselaan 163B.

De te verwachten niveaus in de huidige situatie staan in Tabel 6-6. In de huidige situatie komen overschrijdingen van V_{max} en V_{per} van de SBR-B streefwaarden voor.

Tabel 6-6 Trillingsniveaus huidige situatie Croeselaan 163B op basis van meetresultaten Croeselaan 163

	Midden vloer Croeselaan 163B		
	Z	Y	X
V_{max}	0.72	0.25	0.27
$V_{per, dag}$	0.23	0.07	0.08
$V_{per, avond}$	0.18	0.05	0.06
$V_{per, nacht}$	0.11	0.03	0.04

* Overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden zijn met rood aangegeven.

7 Prognose van woningmetingen in toekomstige situatie (stap 3)

De prognose voor de toekomstige situatie wordt uitgevoerd voor de maatgevende adressen in het onderzoeksgebied:

- Van Zijstweg 51
- Croeselaan 163

7.1 Van Zijstweg 51

Bij Van Zijstweg 51 komen de rijstroken voor bussen en vrachtverkeer verder weg van de woning vandaan te liggen. Op basis van de gewijzigde afstanden, en de gewijzigde intensiteiten is het toekomstige trillingsniveau voorspeld, zie Tabel 7-1 en Tabel 7-2. Het trillingsniveau in de toekomstige situatie neemt licht af ten opzichte van de huidige situatie en blijft onder de streefwaarden, behalve een lichte overschrijding op de verdiepingsvloer.

Tabel 7-1 Prognose trillingsniveau op begane grond in toekomstige situatie Van Zijstweg 51

	Sensor 16 (stijf punt)			Sensor 38 (midden vloer)		
	Z	Y	X	Z	Y	X
$V_{\max}$	0.23	0.10	0.09	0.31	0.10	0.08
$V_{\text{per, dag}}$	0.06	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00
$V_{\text{per, avond}}$	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
$V_{\text{per, nacht}}$	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

* Overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden zijn met rood aangegeven.

Tabel 7-2 Prognose trillingsniveau op 1e verdieping in toekomstige situatie Van Zijstweg 51.

	Sensor 10 (midden vloer)		
	Z	Y	X
$V_{\max}$	0.37	0.51	0.50
$V_{\text{per, dag}}$	0.09	0.16	0.13
$V_{\text{per, avond}}$	0.04	0.07	0.06
$V_{\text{per, nacht}}$	0.01	0.02	0.01

* Overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden zijn met rood aangegeven.

7.2 Croeselaan 163

Bij de Croeselaan 163 en 163B komen de rijstroken voor vrachtverkeer verder weg van de woning vandaan te liggen. Op basis van de gewijzigde afstanden, en de gewijzigde intensiteiten is het toekomstige trillingsniveau voorspeld. Het voorspelde trillingsniveau voor de toekomstige situatie staat in Tabel 7-3 en Tabel 7-4. Het trillingsniveau bij Croeselaan 163 neemt in de toekomstige situatie licht af ten opzichte van de huidige situatie en blijft onder de streefwaarden. Hoewel het trillingsniveau bij Croeselaan 163B in de toekomstige situatie afneemt ten opzichte van de huidige situatie, zijn er nog wel overschrijdingen van de $V_{\max}$ en de V_{per} in de nachtperiode.

Tabel 7-3 Prognose trillingsniveau toekomstige situatie Croeselaan 163

	Sensor 16 (stijf punt)			Sensor 38 (midden vloer)		
	Z	Y	X	Z	Y	X
V_{max}	0.24	0.08	0.09	0.30	0.08	0.09
V_{per, dag}	0.06	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
V_{per, avond}	0.03	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
V_{per, nacht}	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

* Overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden zijn met rood aangegeven.

Tabel 7-4 Prognose trillingsniveau toekomstige situatie Croeselaan 163B

	midden vloer		
	Z	Y	X
V_{max}	0.72	0.25	0.27
V_{per, dag}	0.23	0.06	0.08
V_{per, avond}	0.09	0.03	0.04
V_{per, nacht}	0.04	0.01	0.01

* Overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden zijn met rood aangegeven.

8 Conclusie en advies

8.1 Resultaat Stap 2 Knelpuntanalyse

Het volgende kan worden geconcludeerd over de trillingseffecten van de nieuwe busbaan op de knelpuntlocaties:

- De te verwachten trillingsniveaus in de knelpuntlocaties op basis van maaiveldmetingen zijn langs de Van Zijstweg vergelijkbaar met de eerder gehanteerde niveaus uit de inventarisatie. Langs de D.M.A. Tellegenlaan zijn de te verwachten trillingsniveaus lager dan de eerder gehanteerde niveaus uit de inventarisatie;
- Naar verwachting leidt de nieuwe busbaan en de aanpassingen van de wegen langs de Van Zijstweg tot een verhoging van het maximale trillingsniveau $V_{\max}$ en de trillingssterkte over de beoordelingsperiode V_{per} (dag, avond en nacht). Langs de D.M.A. Tellegenlaan is een toename te verwachten van het maximale trillingsniveau $V_{\max}$.
- De verwachtingswaarden en bovengrenswaarden langs de Van Zijstweg voldoen niet aan de streefwaarden uit de SBR-B richtlijn. De verwachtingswaarden en bovengrenswaarden langs de D.M.A. Tellegenlaan voldoen aan de streefwaarden van de SBR-B richtlijn.

Voor een aantal locaties langs de busbaan kan op basis van deze knelpuntanalyse niet worden uitgesloten dat er in de toekomst overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden optreden. Om deze reden is geadviseerd om voor de locaties Croeselaan 163B en Van Zijstweg 51 vervolgonderzoek uit te voeren. Het vervolgonderzoek bestaat uit geavanceerde prognoses op basis van metingen in woningen (in inleiding stap 3 genoemd). De resultaten worden hieronder weergegeven.

8.2 Resultaat Stap 3 Detaileanalyse

Uit de detailanalyse volgen onderstaande conclusies:

- Metingen huidige situatie
 - Op de eerste verdieping bij Van Zijstweg 51 komen overschrijdingen van de trillingssterkte $V_{\text{per,dag}}$ van de SBR-B streefwaarden voor.
 - Op de eerste verdieping bij Croeselaan 163B komen overschrijdingen van de trillingssterkte V_{per} en het maximale trillingsniveau $V_{\max}$ van de SBR-B streefwaarden voor.
 - Op de begane grond van Croeselaan 163 en Van Zijstweg 51 zijn er in de huidige situatie geen overschrijdingen van de streefwaarden;
- Prognose toekomstige situatie
 - In de toekomstige situatie is er een licht afname van het trillingsniveau bij de Van Zijstweg 51 te verwachten, maar blijft er een lichte overschrijding van de SBR-B streefwaarden op de 1e verdieping.
 - In de toekomstige situatie zijn er overschrijdingen van de trillingssterkte $V_{\text{per,dag}}$ en het maximale trillingsniveau $V_{\max}$ van de SBR-B streefwaarden te verwachten in de omgeving van de Croeselaan 163B. Het trillingsniveau wijzigt echter nauwelijks ten opzichte van de huidige situatie.

8.3 Aanbevelingen

Als trillingsniveaus in de beschouwde locaties de streefwaarden overschrijden, betekent dat bij ongunstige omstandigheden mogelijk niet wordt voldaan aan de

streefwaarden. Ongunstige omstandigheden kunnen bijvoorbeeld zijn:

- Slecht wegdek
- Ongunstige gebouwconstructie

De busbaan wordt ontworpen als een nieuwe, betonnen weg, aangelegd op een nieuw of aangepast cunet. Bij een goede uitvoering zullen het wegdek en de bodem dan niet ongunstiger zijn de huidige wegen. Om deze reden worden er geen aanvullende trillingsreducerende maatregelen aanbevolen.

Colofon

Opdrachtgever GEMEENTE UTRECHT
Sander Rijksen

Uitgave Movares Nederland B.V.

Divisie Ruimte, Mobiliteit en Infra
Afdeling Infrastructuur: Waterbouw, Geotechniek en Dynamica

Daalse Kwint
Daalseplein 100
3511SX Utrecht

Telefoon 0622792565

Ondertekenaar Carolien Christodoulou
Adviseur Dynamica

Projectnummer RM005237

Kenmerk D79-KCH-KA-1700034 - Busbaan Dichterswijk

© 2017, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.

Bijlage I - SBR trillingsrichtlijnen Deel B, hinder

De grenswaarden voor trillingen t.a.v. hinder voor personen in gebouwen volgens SBR richtlijn deel B (Hinder voor personen in gebouwen, meet- en beoordelingsrichtlijn, augustus 2002, ISBN 90-5367-080-7) worden vastgesteld op basis van drie beoordelingscriteria namelijk:

1. De gebouwfunctie.
2. Type trillingsbron
3. De omstandigheden waaronder trillingen kunnen voorkomen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de volgende situaties:
 - nieuwe, bestaande of gewijzigde situaties;
 - de locatie van de ontvanger in relatie tot de omgeving.
 - tijdstip waarop de trillingen voorkomen

In de onderstaande paragrafen worden deze criteria toegelicht.

Gebouwfunctie

In de richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen 5 verschillende gebouwfuncties:

1. gezondheidszorg;
2. wonen (daaronder begrepen woningen, woongebouwen, woonwagens, logiesverblijven en logiesgebouwen);
3. kantoor en onderwijs;
4. bijeenkomst (zoals bioscopen, aula's schouwburgen, kerken);
5. kritische werkruimten (bepaalde ruimten in laboratoria, operatiekamers of studiezalen).

Voor de verschillende gebouwfuncties zijn verschillende grenswaarden gedefinieerd.

Type trillingsbron

1. *Continu voorkomende trillingen, gedurende lange tijd*, door bijvoorbeeld machines, waaronder ook machines die niet permanent in werking zijn of machines die een korte werkcyclus kennen en een langere rustperiode zoals het kort trillen van een vorm of mal. Uitgesloten zijn trillingen door weg- en railverkeer;
2. *Herhaald voorkomende trillingen, gedurende lange tijd* door weg- en railverkeer waaronder ook heftrucks bulldozers, kranen op rails en dergelijke;
3. *Continue of herhaald voorkomende trillingen gedurende een aaneengesloten tijdsduur, korter dan 3 maanden*, door bouw- of sloopwerkzaamheden;
4. *Incidenteel voorkomende, kortdurende trillingen*, door bijvoorbeeld explosies.

Omstandigheden

In de richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende omstandigheden waaronder trillingen kunnen voorkomen. Bij verschillende omstandigheden worden ook verschillende trillingssterktes toegelaten. Er wordt in de richtlijn rekening gehouden met:

1. nieuwe, bestaande of gewijzigde situaties;
2. de locatie van de ontvanger in relatie tot de omgeving.

3. tijdstip en duur waarop de trillingen voorkomen

Bij weg- en railverkeer: nieuwe, bestaande of gewijzigde situatie

Voor weg- en railverkeer kan onderscheid worden gemaakt tussen de volgende situaties:

1. bestaande situatie (bestaande bron en een bestaande ontvanger, er is sprake van een zekere mate van gewenning);
2. nieuwe situatie (nieuwe bron of een nieuwe ontvanger);
3. gewijzigde situatie (wijziging van een bestaande bron).

Locatie van de ontvanger in relatie tot de omgeving

Voor gebouwen op een industrie terrein is het mogelijk op basis van een gemotiveerde afweging hogere trillingssterkten toe te laten. Dit kan bijvoorbeeld in de volgende situaties:

1. Als de sterkte van de achtergrondtrillingen al hoger is dan de streefwaarden, en de trillingssterkte van de te beoordelen trillingsbron lager is dan de achtergrondtrillingen;
2. Indien de gebouwen zich in een gebied bevinden waarvoor in het bestemmingsplan, een Nota Industrielawaai of Gemeentelijke Geluidnota is vastgelegd dat deze gebouwen een lagere bestemmingsgraad genieten.

Tijdstip en duur waarop trillingen voorkomen

Voor de aan te houden streefwaarden wordt onderscheid gemaakt in 3 beoordelingsperioden:

1. Dag van 07.00 tot 19.00 uur;
2. Avond van 19.00 tot 23.00 uur;
3. Nacht van 23.00 tot 07.00 uur.

Wanneer de trillingen gedurende een korte periode plaatsvinden, bijvoorbeeld tijdens sloopwerkzaamheden, kan in overleg met de omwonende hogere waarden worden toegelaten.

Toetsing

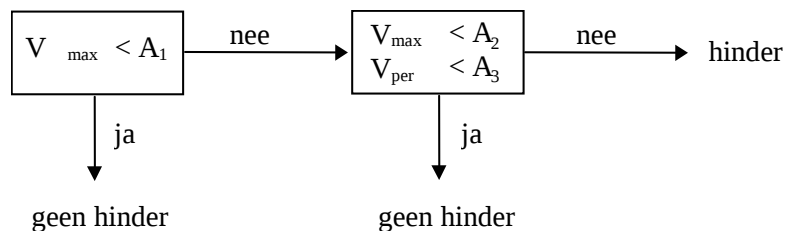
Bij een trillingsmeting t.a.v. hinder worden de volgende waarden gemeten:

- V_{max} maximale trillingssterkte
(voortschrijdende effectieve waarde van de trillingssnelheid, dimensieloos)
- V_{per} de trillingssterkte over de beoordelingsperiode
(kwadratisch gemiddelde van maximale effectieve waarde per interval van 30 seconden)

De waarden V_{max} en V_{per} worden getoetst aan de volgende streefwaarden:

- A_1 de onderste streefwaarde voor toetsing van de waarde $V_{eff,max}$;
 A_2 de bovenste streefwaarde voor toetsing van de waarde $V_{eff,max}$;
 A_3 de streefwaarde voor toetsing van de waarde V_{per} .

De streefwaarden worden volgens onderstaand schema geïnterpreteerd.



Streefwaarden

Hier volgen voor verschillende gebouwfuncties, omstandigheden en perioden de toetsingswaarden A_1 , A_2 en A_3 waaraan de waarden $V_{eff,max}$ en V_{per} worden getoetst.

Beoordeling continue trillingen bij nieuwe en bestaande situaties: machines en Herhaald voorkomende trillingen bij nieuwe situaties: weg- en railverkeer

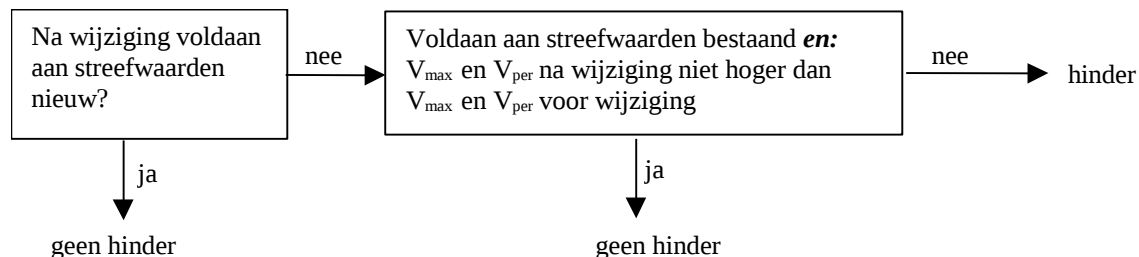
gebouwfunctie	dag en avond			Nacht		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
1. Gezondheidszorg	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
2. Wonen	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
3. Kantoor	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
4. Bijeenkomsten	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
5. Kritische werkruimte	0.1	0.1	- - -	0.1	0.1	- - -

Beoordeling herhaald voorkomende trillingen bij bestaande situaties: weg-en railverkeer

gebouwfunctie	dag en avond			Nacht		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
1. Gezondheidszorg	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
2. Wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
3. Kantoor	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
4. Bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
5. Kritische werkruimte	0.1	0.1	- - -	0.1	0.1	- - -

Gewijzigde situaties, weg- en railverkeer

Bij een gewijzigde situatie wordt in eerste instantie getoetst aan de streefwaarden voor nieuwe situaties. Indien hieraan niet wordt voldaan mag er worden getoetst aan de streefwaarden voor bestaande situaties mits de trillingssterkte na de wijziging niet hoger is dan voor de wijziging. In onderstaand schema is geïllustreerd hoe de richtlijn werkt in het geval van een gewijzigde situatie.



Ondergronds railverkeer

Bij ondergronds railverkeer wordt er getoetst aan de streefwaarden voor weg- en railverkeer bij nieuwe situaties.

Trillingen bij bouw- of sloopwerkzaamheden over korte perioden gedurende de dagperiode

Bij trillingen over kortere perioden kunnen uitsluiten gedurende de dagperiode tijdelijk hogere waarden worden toegelaten. Hiervoor worden de volgende waarden aangehouden:

duur activiteiten	dag en avond		
	A ₁	A ₂	A ₃
1 dag	0.8	6.0	0.4
2 dagen	0.72	6.0	0.38
3 dagen	0.64	6.0	0.36
4 dagen	0.56	6.0	0.34
5 dagen	0.48	6.0	0.32
6-26 dagen	0.4	6.0	0.3
27-78 dagen	0.3	6.0	0.2

Gebouwen in industriële gebieden

Mits goed gemotiveerd kunnen voor gebouwen in industriële gebieden hogere waarden worden toegelaten. De waarden voor bestaande en nieuwe situaties kunnen dan worden vermenigvuldigd met een factor 1.8. De waarden van gebouwfunctie “kritische werkruimte” mag echter niet verhoogd worden.

Incidenteel voorkomende kortdurende trillingen in de dagperiode

Bij incidenteel voorkomende trillingen mag uitsluitend in de dagperiode de maximale trillingssterkte $V_{eff,max}$ niet meer dan 8 bedragen. Bewoners en gebruikers dienen te worden geïnformeerd. Bovendien moet er rekening worden gehouden met mogelijke schade aan bouwwerken.

Voorbeeld

Voor bijvoorbeeld een woning aan een spoorlijn wordt bij een nieuwe situatie op de volgende wijze getoetst:

gemeten V_{max} in woning:	gemiddeld aantal keer per uur	V_{per}	$A1^* = 0.1$ $V_{max} < A_1$	$A2^* = 0.4$ $V_{max} < A_2$	$A3^* = 0.05$ $V_{per} < A_3$	overschrijding
0.08	10	0	ja	n.v.t.	n.v.t.	nee
0.15	10	0.043	nee	ja	ja	nee
0.2	10	0.058	nee	ja	nee	Ja
0.5	10	0.144	nee	nee	n.v.t.	ja