

Busbaan langs de Kruisvaart

Trillingsonderzoek



Opdrachtgever **Gemeente Utrecht, projectorganisatie Uithoflijn**

Ondertekenaar **Movares Nederland B.V.**
W. Gardien & W.N. Oskam
Kenmerk MNO-WG-12L81160013 - Versie 2.1

Utrecht, 25 januari 2013
Vrijgegeven

© 2012, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, 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.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding	3
1.2	Vraagstelling	3
1.3	Doel	3
1.4	Leeswijzer	3
2	Uitgangspunten	4
2.1	Gehanteerde tekeningen en documenten	4
2.2	Onderzoeksgebied	4
2.3	Verkeersintensiteit bussen	5
2.4	Bepaling van trillingssterkte tengevolge van buspassage	5
2.4.1.	<i>Overdrachtsfactor</i>	5
2.4.2.	<i>Trillingssterkte</i>	6
2.4.3.	<i>Trillingsintensiteit</i>	7
2.5	Toegepaste hardware en software	7
2.5.1.	<i>Hardware</i>	7
2.5.2.	<i>Software</i>	7
3	Toetsingskader	8
3.1	SBR trillingsrichtlijn deel B (hinder voor personen in gebouwen)	8
3.1.1.	<i>Uitgangspunten toetsingswaarden</i>	8
3.1.2.	<i>Interpretatie toetsingswaarden</i>	10
3.2	Beleidsregel Trillingshinder Spoor (BTS)	10
3.2.1.	<i>Beoordeling van trillingssterktes volgens BTS</i>	11
3.3	Mate van hinderbeleving bij trillingsniveau	11
4	Methode trillingsprognose	13
4.1.1.	<i>Prognose Vper</i>	13
4.2	Betrouwbaarheid trillingsprognose	14
5	Resultaten	15
5.1	Huidig trillingsniveau	15
5.1.1.	<i>Vaartsestraat 180</i>	15
5.1.2.	<i>Studiegebied Busbaan langs de Kruisvaart</i>	15
5.2	Prognose Raadwijk en Hendrik Tollensstraat (deelgebied 1)	17
5.2.1.	<i>Samenvatting trillingsniveaus busbaan Raadwijk en Hendrik Tollensstraat</i>	17
5.3	De aansluiting van de busbaan op de Vondellaan (deelgebied 2)	18
5.3.1.	<i>Aansluiting busbaan Kruisvaart op Vondellaan</i>	18
5.4	De Vondellaan (deelgebied 3)	18
5.5	Trillingsintensiteit in combinatie met trein	21
5.5.1.	<i>Busbaan Kruisvaart</i>	21
5.5.2.	<i>Aansluiting Kruisvaartbaan op Vondellaan</i>	25
5.5.3.	<i>Vondellaan</i>	27
5.5.4.	<i>Invloed constructie busbaan</i>	28
6	Conclusie en aanbevelingen	29

Colofon

31

Bijlage I SBR trillingsrichtlijnen Deel B, hinder

Bijlage II Modelbeschrijving

Bijlage III Verkeersgegevens

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het college van B&W van de gemeente Utrecht en het Dagelijks Bestuur van het Bestuur Regio Utrecht (BRU) hebben in juni 2010 besloten dat in het stationsgebied van Utrecht alle tramhaltes aan de binnenstadzijde van het station worden gerealiseerd. Alle bushaltes komen, na realisatie van het tramnetwerk, aan de Jaarbeurszijde van het station. De consequentie van dit besluit is dat buslijnen vanuit zuidoostelijke richting niet meer over de Adama van Scheltemabaan naar het station zullen rijden. Als toeleidende route naar het station is gekozen voor de aanleg van een vrijliggende busbaan parallel aan het spoor langs de Kruisvaart en het Kruisvaartkwartier naar de Jaarbeurszijde van de OV-terminal.

De busbaan vormt de verbinding tussen de Vondellaan, nabij de aansluiting met de Bleekstraat, en de busbaan en busbuffer van de OV-terminal. Om de effecten op de bestaande woningen bij Raadwijk en omgeving zoveel mogelijk te beperken wordt de busbaan direct langs de spoorlijn aangelegd. Het huidige profiel van de Kruisvaart wordt daar voor aangepast.

Het voorliggende rapport beschrijft de effecten op trillingen als gevolg van de exploitatie van de busbaan.

1.2 Vraagstelling

Tot welke trillingsintensiteiten leidt de exploitatie van de Busbaan Kruisvaartkwartier? En zijn deze trillingsintensiteiten toelaatbaar?

1.3 Doel

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van de trillingssterkte en trillingsintensiteit in woningen, tengevolge van het busverkeer over de nieuwe busbaan van de Kruisvaart. De trillingssterkte en trillingsintensiteit worden getoetst met behulp van de trillingsrichtlijn van de SBR deel B.

Tevens is het doel om de trillingen te toetsen in samenhang met het spoorproject Sporen in Utrecht.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 bevindt zich de beschrijving van de aanpak en uitgangspunten. In hoofdstuk 3 staat een beschrijving van het toetsingskader. In hoofdstuk 4 is staat de modellering beschreven in hoofdstuk 5 staan de resultaten. De conclusie en aanbevelingen staan in hoofdstuk 6.

2 Uitgangspunten

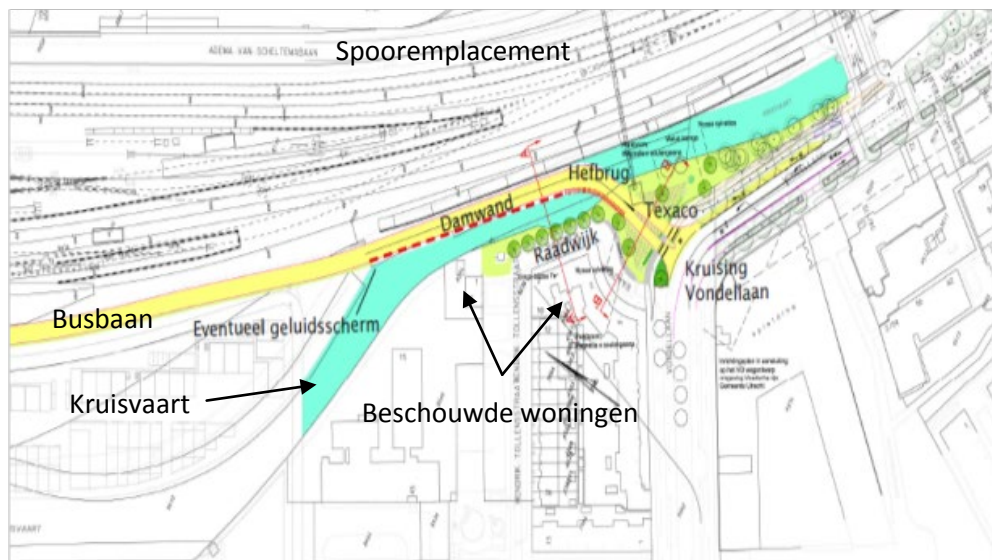
2.1 Gehanteerde tekeningen en documenten

In dit onderzoek dienen de volgende tekeningen en documenten als uitgangspunt:

- tekening D90-JBO-AU-1100035 en D90-JBO-AU-1100055
- sondering ProRail 531-783 (lijncode-sonderingnummer), uitgevoerd door De Ruiten Boringen & Bemalingen B.V.

2.2 Onderzoeksgebied

Tot een afstand van circa 50 meter zijn trillingseffecten van bussen mogelijk. Het onderzoeksgebied betreft de Vondellaan, Raadwijk en de Hendrik Tollensstraat, zoals aangegeven in het volgende figuur. Op overige locaties langs de busbaan is de afstand tot de dichtstbijzijnde woningen groter dan 50 meter.



Figuur 2-1 Onderzoeksgebied: Vondellaan, Raadwijk en Hendrik Tollensstraat

Voor het trillingsonderzoek wordt het onderzoeksgebied verdeeld in 3 gebieden, namelijk:

- Deelgebied 1: Hendrik Tollenstraat en Raadwijk
In dit deelgebied is in de huidige situatie geen busvervoer aanwezig, maar veroorzaakt het spoorverkeer al trillingen
- Deelgebied 2: aansluiting van de busbaan op de Vondellaan
In dit deelgebied is in de huidige situatie geen busvervoer en spoorverkeer direct voor de woningen aanwezig. Afhankelijk per woning zijn er toch al in meer of mindere mate trillingen van de omgeving merkbaar.
- Deelgebied 3: Vondellaan

In dit deelgebied is al busvervoer aanwezig. De maximale trillingsniveaus zullen niet wijzigen er is mogelijk een invloed van de intensiteit van het vervoer.

2.3 Verkeersintensiteit bussen

- Over de Adama van Scheltemabaan bij de Vaartsestraat rijden 1896 bussen per dag
- Over de toekomstige busbaan langs de Kruisvaart rijden 508 bussen per dag in de definitieve situatie
- Over de toekomstige busbaan langs de Kruisvaart rijden 1080 bussen per dag in de tijdelijke situatie.

In Bijlage IV is aangegeven wat de totale intensiteit van bussen en vrachtwagens is op de busbaan en op de Vondellaan.

2.4 Bepaling van trillingssterkte tengevolge van buspassage

Voor verschillende spoorprojecten zijn recentelijk trillingsmetingen langs het spoor uitgevoerd. De metingen zijn onder andere uitgevoerd in de Vaartsestraat en Nicolaas Beetsstraat, vlak bij de Adama van Scheltemabaan. Deze busbaan wordt door meerdere buslijnen gebruikt. De metingen hebben plaatsgevonden in de woning Vaartsestraat 180, naast een halte en vlak bij de kruising met de Bleekstraat. Daarnaast zijn trillingen gemeten in het bedrijfspand aan de Nicolaas Beetsstraat 222, direct naast de busbaan. De trillingen gemeten in de Vaartsestraat dienen als basisgegevens voor de prognose van de trillingsniveaus bij de Vondellaan, Raadwijk en de Hendrik Tollensstraat.

2.4.1. Overdrachtsfactor

Overdrachtsfactor tussen Vaartsestraat en Raadwijk/Hendrik Tollensstraat op funderingsniveau

De trillingsanalyse maakt gebruik van eindige elementen modellen (FEM) om op funderingsniveau de overdrachtsverhouding tussen de Vaartsestraat en Raadwijk/Hendrik Tollensstraat te bepalen. Het eindige elementenmodel is nodig om de invloed van de Kruisvaart als trillingsbarrière te kwantificeren. De overdrachtsverhouding is bepaald voor 3 orthogonale trillingsrichtingen (verticaal en 2 x onderling loodrecht horizontaal). De overdrachtsverhouding is frequentieafhankelijk bepaald per tertsband.

Overdracht fundering - vloer voor Raadwijk/Hendrik Tollensstraat

Bij de Hendrik Tollensstraat zijn aan de hand van metingen de overdrachtsverhoudingen tussen een meetpunt op funderingsniveau en een meetpunt bovenin het gebouw op de vloer bepaald voor 3 orthogonale trillingsrichtingen (verticaal en 2 x onderling loodrecht horizontaal). De overdrachtsverhouding van fundering naar vloer is frequentieafhankelijk bepaald per tertsband. Deze overdrachtsverhoudingen worden zowel aangehouden voor de woningen aan Raadwijk als voor de woningen aan de Hendrik Tollensstraat. Dit is een realistisch

uitgangspunt omdat in de Hendrik Tollensstraat hogere trillingsniveaus zijn gemeten dan in de woning aan Raadwijk.

Overdrachtsfactor tussen Vaartsestraat en Vondellaan/aansluiting busbaan-Vondellaan op vloerniveau

Bij de Vondellaan en de aansluiting van de busbaan op de Vondellaan is er geen trillingsbarrière in de vorm van de Kruisvaart tussen de bussen en de woningen aanwezig. De overdrachtsfactor tussen de Vaartsestraat en de betreffende woningen wordt hier bepaald aan de hand van de Barkanvergelijking. De Barkanvergelijking is een empirische vergelijking die de relatie tussen het trillingsniveau en de afstand tot de trillingsbron beschrijft.

De overdrachtsfactor wordt dan als volgt beschreven:

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

waarin:

- r de afstand tot de bussen bij de Vondellaan / aansluiting Vondellaan
 r_0 de referentieafstand (Vaartsestraat)
 n parameter die de geometrische spreiding beschrijft
 α parameter die de demping in de bodem beschrijft

Op basis van metingen op maaiveld langs busbanen in Utrecht worden de volgende parameters aangehouden:

	r_0	n	α
Busbaan Kruisvaart	14	0.2	0.03

2.4.2. Trillingssterkte

Bij de metingen aan de Vaartsestraat 180 en Nicolaas Beetsstraat 222 zijn de trillingen continu gemeten. Zowel trillingen afkomstig van buspassages als trillingen afkomstig van treinverkeer zijn hierbij geregistreerd. Er is een overzicht gemaakt van de maximale trillingssterkte per 30 seconden. Tijdens de metingen zijn filmopnamen van het spooreplacement gemaakt. Alle passerende treinen zijn vervolgens geïdentificeerd en gekoppeld aan een bijbehorend trillingsniveau. De aanname is dat alle overige maximale trillingssterkten zijn ontstaan door bussen omdat er geen ander zwaar verkeer over de Adama van Scheltemabaan rijdt.

Hierbij dient de opmerking gemaakt te worden dat het hoogste niveau wordt veroorzaakt door bussen die remmen (vlak voor de woning) of de stoep raken. In het bedrijfspand Nicolaas Beetsstraat 222 is ook op de eerste verdieping is gemeten. De opnemers stonden tegen de gevel aan. Deze gevel ligt ongeveer 3 meter van de busbaan. De gemeten trillingssterkte van de bussen op deze locatie is de helft van het niveau in de Vaartsestraat. Bij de bepaling van de trillingssterkte is niet gecorrigeerd voor de maximale trillingssterktes veroorzaakt door de bovengenoemde effecten.

2.4.3. *Trillingsintensiteit*

Bij de Vaartsestraat geeft een aanzienlijk deel van de bussen een trillingssterkte boven de 0.1 (een trillingssterkte van lager dan 0.1 telt niet mee voor de trillingsintensiteit). De hogere niveaus betreffen vaak de passages van verschillende bussen tegelijkertijd. De trillingsintensiteit is gebaseerd op het energetisch gemiddelde trillingsniveau. Hierdoor zijn lage waarden van kleine invloed op de trillingsintensiteit.

2.5 Toegepaste hardware en software

2.5.1. *Hardware*

De volgende hardware is toegepast voor het onderzoek.

Tabel 2-1 Hardware

1. 16 kanaal, 24 bit Dewesoft 1201 meetcomputer voor metingen
2. 8 kanaal, 24 bit Dewesoft 101 meetcomputer voor metingen
3. 8 kanaal, 24 bit Dewesoft 43 meetcomputer voor metingen
4. Zes driedimensionale geofoons (nr.'s 5, 6 en 7, 1-1, 2-1 en 3-1)
5. Webcams voor registratie van passerende treinen

2.5.2. *Software*

De volgende specialistische software is toegepast.

Tabel 2-2 Software

Ten behoeve van de metingen

1. Dewesoft 6.6.5
2. Matlab 7.5.0 (R2007b)

Voor de computermodellering

3. GEOVIB (versie dd010817) (is ontwikkeld door Movares)
4. ANSYS 11.0
5. LSDYNA 971D

3 Toetsingskader

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 de richtlijnen nog niet vastgelegd in wetgeving, maar de richtlijnen worden veelvuldig toegepast. In gevallen waarbij uiteindelijk de rechter werd ingeschakeld speelde de richtlijn van SBR 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 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 en maatgevende richtlijn is daarom SBR trillingsrichtlijn deel B.

3.1 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 beoordingsperiode V_{per} . De V_{per} wordt groter naarmate de trilling vaker per uur optreedt.

3.1.1. 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	nieuw / gewijzigd gewijzigd	Bij de Kruisvaartbaan is sprake van een nieuw tracé. Echter zijn er al trillingen ten gevolge van het spoorverkeer. Bij de Vondellaan wijzigt alleen de intensiteit van het busverkeer

Langs de busbaan Kruisvaart is sprake van een nieuw tracé, en zijn alleen de streefwaarden voor nieuwe situaties van belang.

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	-

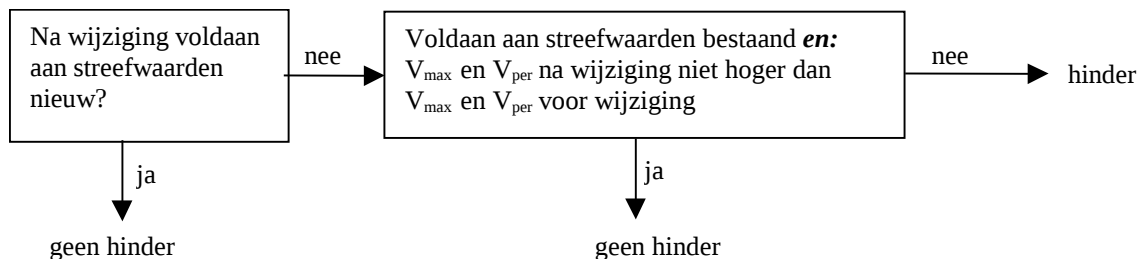
Merk op: een streefwaarde van 0.4 betekent dat de streefwaarde < 0.45 .

Omdat er zowel overdag als 's nachts bussen rijden, is bij de gebouwfunctie "wonen" de A2-waarde in de nacht maatgevend.

Langs de Vondellaan is sprake van een gewijzigde situatie. In dat geval zijn naast de streefwaarden voor nieuwe situaties, ook de streefwaarden voor bestaande situaties van belang.

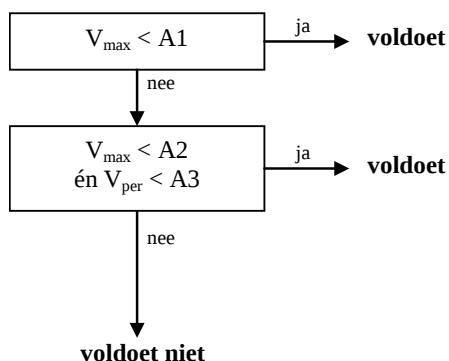
toetsingswaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trillingen						
gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
1. Gezondheidszorg	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
2. Wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
3. Kantoor	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
4. Bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
5. Kritische werkruimte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

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.



3.1.2. Interpretatie toetsingswaarden

Voor het beoordelen van de gemeten $v_{eff,max}$ moet onderstaand schema worden doorlopen. Wanneer de gemeten waarden 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 4-1.



Figuur 4-1 Stroomschema interpretatie toetsingswaarden A1, A2 en A3

3.2 Beleidsregel Trillingshinder Spoor (BTS)

Tot op heden zijn er nog geen richtlijnen voor trillingshinder vastgelegd in wetgeving, zoals dat bijvoorbeeld voor geluidhinder wel het geval is. Vooruitlopend op toekomstige wetgeving heeft het ministerie van Infrastructuur en Milieu een *Beleidsregel Trillingshinder Spoor* (BTS) opgesteld, dat een wijziging van en aanvulling op de SBR B richtlijn is. In principe is de BTS ten aanzien van

trillinghinder ten behoeve van de vaststelling van tracébesluiten voor de aanleg, wijziging of het opnieuw in gebruik nemen van een landelijke spoorweg

In de BTS wordt onderscheid gemaakt tussen nieuwe en bestaande situaties, waarbij de grenswaarden voor nieuwe situaties strenger zijn dan voor bestaande situaties. Het project *Sporen in Utrecht* valt onder bestaande (gewijzigde) situaties. BTS artikel 1 spreekt van een ‘bestaande situatie als een referentiesituatie waarin reeds sprake is van trillingen als gevolg van railverkeer’.

3.2.1. Beoordeling van trillingssterktes volgens BTS

In een tracébesluit kunnen maatregelen ter voorkoming of beperking van de trillingshinder met betrekking tot de waarde van v_{max} achterwege blijven indien wordt voldaan aan één van de twee volgende condities:

1. De waarde van v_{max} in de plansituatie is lager dan A1;
2. De toename in trillingssterkte in de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie is 30 procent of minder.

Voor dit onderzoek worden de waarden van de nachtsituatie gehanteerd, omdat voor het spoor goederentreinen (die de hoogste trillingssterktes hebben) ook 's nachts rijden. Omdat de nachtperiode bepalend is, is het gebruikelijk om de waarde van de nacht ook voor de dag op te leggen indien er geen onderscheid is tussen de trillingsbronnen in beide periodes.

De resultaten van de metingen van het spoor worden getoetst aan de BTS. Op locaties waar na ingebruikname van het project sprake is van een waarneembare toename van het trillingsniveau (v_{max} neemt in de toekomst toe met meer dan 30 % ten opzichte van de referentiewaarde) zijn trillingsmaatregelen ontworpen.

3.3 Mate van hinderbeleving bij trillingsniveau

Aan de hand van de SBR-B streefwaarden wordt het aantal personen bepaald dat potentieel gehinderd is. 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 3-1 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

Tabel 3-1 zal worden gebruikt bij de doelmatigheidsafweging van trillingsreducerende maatregelen. Maatregelen worden beschouwd voor locaties waar in de toekomst sprake is van een ernstiger hinderkwalificatie dan in de huidige situatie. Maatregelen worden ook beschouwd indien er sprake is van “ernstige hinder”

Enkele jaren geleden is onderzoek¹ gedaan naar de mate waarin personen hinder ondervinden bij een bepaalde trillingssterkte. In Tabel 3-2 staan resultaten uit dit onderzoek. De 95% rms verwachtingswaarde is vergelijkbaar met de $V_{\max}$ waarde die gebruikt wordt bij de SBR-B richtlijn. Bijvoorbeeld bij $V_{\max} > 0.20$ wordt de SBR-B streefwaarde gedurende de nacht in woningen overschreden. Circa 5% van de personen ondervindt dan ernstige hinder van trillingen.

Tabel 3-2 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 $V_{\max} = 0.4$, wat overeenkomt met circa 8 procent mensen die ernstige hinder ondervinden. Er wordt naar gestreefd dat minder dan 8 procent van de mensen hinder ondervindt.

¹ R. Klæboe, I.H. Turunen-Rise en C. Madshus *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

4 Methode trillingsprognose

Bij de berekening van de toekomstige trillingsniveaus is de volgende aanpak gehanteerd:

- Uit meting in een woning aan de Vaartsestraat zijn de trillingsniveaus van de buspassages bepaald;
- Een meting in het flatgebouw aan de Hendrik Tollensstraat is gebruikt om het trillingsniveau op funderingsniveau te vertalen naar een trillingsniveau op de vloer;
- Een modelberekening is gemaakt met een puls op de Vaartsestraat, (zie Bijlage II voor een doorsnede van het model);
- Een modelberekening is gemaakt met een puls op de busbaanconstructie (ontwerp) langs de Kruisvaart (zie Bijlage 2 voor een doorsnede van het model);
- Tertsbandspectra zijn gemaakt van 5 buspassages en de 3 verschillende modellen;
- De tertsbandspectra van de buspassages zijn geschaald met de verhouding tussen de tertsbandspectra van de verschillende pulsresponsies;
- Energetisch worden de pulsresponsies vergeleken en geschaald aan de meetwaarden (van de Vaartsestraat);
- Het trillingsniveau wordt samen beschouwd met het te verwachten trillingsniveau na realisatie van het project Sporen in Utrecht.

Deze aanpak is om de volgende redenen gekozen:

- De prognose maakt zo veel mogelijk gebruik van informatie afkomstig uit metingen. Dit betekent dat daarvoor geen modelaannamen nodig zijn, wat de betrouwbaarheid van het model vergroot;
- Voor de informatie die nu nog niet kan worden gemeten omdat het een toekomstige situatie betreft, maakt de prognose gebruik van geavanceerde 3D eindige elementen modellen. Het gaat dan bijvoorbeeld om de geometrie van de nieuwe busbaan. Dit zijn voor dit soort toepassingen de best beschikbare modellen;
- De prognose is frequentieafhankelijk door de toepassing van tertsbandspectra. Ook dit leidt tot een vergroting van de betrouwbaarheid.

4.1.1. Prognose V_{per}

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

- $V_{per,dag} = 0.1 * V_{max} * \sqrt{\quad}$ (bussen toekomst / bussen Vaartsestraat huidig) voor $V_{max} > 0.1$ en $V_{max} < 0.14$
- $V_{per,dag} = 0.15 * V_{max} * \sqrt{\quad}$ (bussen toekomst / bussen Vaartsestraat huidig) voor $V_{max} > 0.14$ en $V_{max} < 0.20$
- $V_{per,dag} = 0.20 * V_{max} * \sqrt{\quad}$ (bussen toekomst / bussen Vaartsestraat huidig) voor $V_{max} > 0.20$ en $V_{max} < 0.25$
- $V_{per,dag} = 0.25 * V_{max} * \sqrt{\quad}$ (bussen toekomst / bussen Vaartsestraat huidig)

voor $V_{max} > 0.25$

Deze relatie is gebaseerd op de gemeten trillingen van bussen bij de Vaartsestraat.

Voor de berekening van $V_{\text{per,avond}}$ en $V_{\text{per,nacht}}$ wordt de maximale gemeten verhouding $V_{\text{per,avond}}/V_{\text{per,dag}}$ en $V_{\text{per,nacht}}/V_{\text{per,dag}}$ van de Vaartsestraat aangehouden.

4.2 Betrouwbaarheid trillingsprognose

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. Een spreidingsfactor geeft aan hoeveel hoger de 95%-waarde is dan de verwachtingswaarde. De 95%-waarde is de waarde die met een kans van 95% niet wordt overschreden. De 95%-waarde is $(1 + \text{spreidingsfactor}) \times \text{verwachtingswaarde}$. Een spreidingsfactor van 0.5 geeft bijvoorbeeld aan dat de 95%-waarde 1.5 x de verwachtingswaarde is. De totale spreiding factor is de energetische som van alle afzonderlijke spreidingfactoren.

Tabel 4-1 Betrouwbaarheid

onderdeel	Factoren	o.b.v. referentiemeting Vaartsestraat
		spreiding
Bron	bus en busbaan	0.5
Overdracht	Bodem	0.3
	Gebouw	0.3
totaal		0.7

5 Resultaten

5.1 Huidig trillingsniveau

5.1.1. Vaartsestraat 180

Aan de hand van gemeten trillingen in de woning Vaartsestraat 180 is voor de huidige situatie het trillingsniveau $V_{\max}$ en V_{per} afkomstig van de bussen vastgesteld. Eén meetpunt bevond zich beneden in de woning, en 1 meetpunt op de bovenste verdieping. Dit leidde tot de waarden in onderstaande tabel. Beneden was de maatgevende component was de verticale richting. Boven was de maatgevende component de horizontale richting loodrecht op de busbaan.

Tabel 5-1 Trillingssterkte ($V_{\max}$) en trillingsintensiteit (V_{per}) in woning Vaartsestraat 180 in huidige situatie.

	beneden			boven		
	hor. loodr.	hor. evenw.	vert.	hor. loodr.	hor. evenw.	vert.
$V_{\max}$	0.09	0.05	0.19	0.25	0.10	0.17
V_{per} , dag, avond, nacht	0.00	0.00	0.02	0.05	0.00	0.01

5.1.2. Studiegebied Busbaan langs de Kruisvaart

Op basis van de trillingssterkte in woning Vaartsestraat 180, de overdrachtsfactor tussen Vaartsestraat en Raadwijk/Hendrik Tollenstraat, de overdrachtsfactor van fundering naar vloerniveau en de metingen die aan overige buspassages zijn uitgevoerd is een globaal trillingen model opgesteld. Naast het model voor het busvervoer is voor het trillingsniveau afkomstig van het spoor gebruik gemaakt van het onderzoek van ProRail dat in het kader van Sporen in Utrecht wordt uitgevoerd.

Met deze modellen is in kaart gebracht wat de trillingen in de huidige situatie zijn. In Figuur 5-1 is aangegeven wat de maximale trillingsniveaus ($V_{\max}$) zijn in het onderzoeksgebied.



Figuur 5-1 V_{max} in de huidige situatie door de combinatie Busvervoer Vondellaan en huidig spoorverkeer.

5.2 Prognose Raadwijk en Hendrik Tollensstraat (deelgebied 1)

Tabel 5-2 bevat de bovengrenswaarden (95%-waarden) voor de constructie met een damwand. Het trillingsniveau is lager dan het trillingsniveau gemeten in de Vaartsestraat.

Tabel 5-2 Trillingssterkte ($V_{\max}$) in woningen aan Hendrik Tollensstraat en Raadwijk met damwand, 95%-waarde (verwachtingswaarde)

	Beneden			boven		
	hor. loodr.	hor. evenw.	vert.	hor. loodr.	hor. evenw.	vert.
$V_{\max}$	0.05	0.02	0.06	0.10	0.02	0.07
Vper tijdelijke situatie						
Vper, dag, avond, nacht	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vper definitieve situatie						
Vper, dag, avond, nacht	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

5.2.1. *Samenvatting trillingsniveaus busbaan Raadwijk en Hendrik Tollensstraat*
Samenvattend gelden voor de busbaan langs de Kruisvaart de volgende niveaus in de volgende tabel. Er zijn geen overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden.

Tabel 5-3 Samenvatting trillingsniveau afkomstig van busbaan Kruisvaarttracé (verwachtingswaarde).

	$V_{\max}$, 95%-waarde	V_{per} , 95%-waarde	toetsing
Huidige situatie*	0,8 model 0.35 gemeten	0.01	-
Damwand tijdelijke situatie	0.10	0.00	OK conform SBR
Damwand definitieve situatie	0.10	0.00	OK conform SBR

*) Trillingen in de huidige situatie worden veroorzaakt door het treinverkeer. De eerste waarde is het resultaat van het model, de tweede waarde is gebaseerd op metingen in Hendrik Tollenstraat 5.

5.3 De aansluiting van de busbaan op de Vondellaan (deelgebied 2)

5.3.1. Aansluiting busbaan Kruisvaart op Vondellaan

Ook de aansluiting van de busbaan op de Vondellaan, die zich aan dezelfde zijde van de Kruisvaart bevindt als de woningen, is wat betreft trillingen te vergelijken met de Vaartsestraat.

De afstand tussen aansluiting van de busbaan op de Vondellaan en de woningen aan de Raadwijk is circa 22 meter, en de afstand tussen de Adama van Scheltemabaan en de bemeeten woning aan de Vaartsestraat is 14 meter. Dit leidt tot de volgende verwachting voor de woningen aan de Raadwijk nabij de aansluiting van de busbaan met de Vondellaan

Tabel 5-4 Trillingsniveau afkomstig van aansluiting busbaan Kruisvaarttracé op Vondellaan (verwachtingswaarde).

	V _{max} , 95%-waarde	V _{per} , 95%-waarde	toetsing
Huidige situatie*	0,8 model 0.35 gemeten	0.05	-
Aansluiting busbaan op Vondellaan tijdelijke situatie	0.26	0.05	OK conform SBR
Aansluiting busbaan op Vondellaan definitieve situatie	0.26	0.03	OK conform SBR

*) Trillingen in de huidige situatie worden veroorzaakt door het treinverkeer. De eerste waarde is het resultaat van het model, de tweede waarde is gebaseerd op metingen in Hendrik Tollenstraat 5.

- De waarde $V_{\max}$ zal naar verwachting voldoen aan de streefwaarden voor nieuwe situaties. Er is echter een kleine kans dat de waarde $V_{\max}$ de streefwaarden voor nieuwe situaties overschrijdt.
- De waarde V_{per} zal naar verwachting voldoen aan de streefwaarde voor nieuwe situaties.

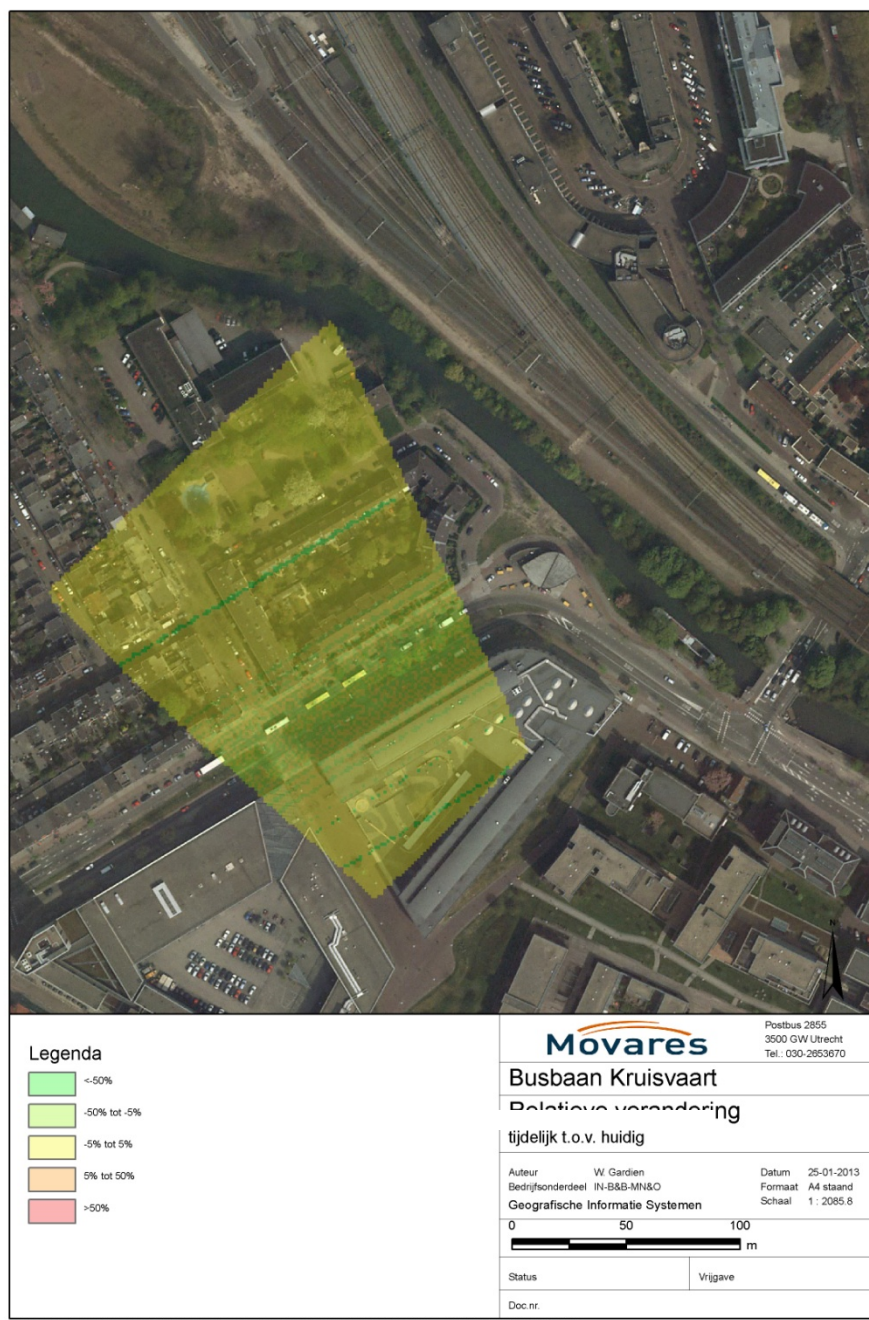
5.4 De Vondellaan (deelgebied 3)

De Vondellaan is wat betreft trillingen beter te vergelijken met de Vaartsestraat dan met de busbaan langs de Kruisvaart, omdat er bij de Vondellaan, net als bij de Vaartsestraat geen water aanwezig is tussen de bussen en de woningen. Langs de Vondellaan wordt uitgegaan van de trillingsmeting die is uitgevoerd langs de Vaartsestraat, met een aangepaste intensiteit van het busverkeer.

Tabel 5-5 Trillingsniveau afkomstig van Vondellaan, V_{per} exclusief afname bussen door aanleg van Zijstweg (verwachtingswaarde).

	Vmax, 95%-waarde	V_{per} , 95%-waarde	toetsing
Huidige situatie	0.48	0.09	Overschrijding streefwaarde SBR
Vondellaan tijdelijke situatie	0.48	0.08	Geen toename t.o.v. huidig
Vondellaan definitieve situatie	0.48	0.09	Geen toename t.o.v. huidig

In Figuur 5-2 is weergegeven waar de waarde V_{per} op de Vondellaan wijzigt door de Aanleg van de busbaan Kruisvaart. Ten gevolge van de licht afgenomen intensiteit tussen 2014 en 2016 door de ingebruikname van de busbaan, neemt de waarde V_{per} licht, met minder dan 5% verschil, af.



K:\IN opdrachten\IN160695 HOV Utrecht trillingen\A35 Busbaan Kruisvaartkwartier\5. Modellen en berekeningen\GIS\Stasters_jan2013 - Vper 2015

Figuur 5-2 Gebied van relatieve verandering van Vper op de Vondellaan in de tijdelijke situatie ten opzichte van de uiteindelijke situatie.

Op basis van de meting bij de Vaartsestraat zijn de volgende effecten te verwachten bij de Vondellaan:

- In de huidige situatie is er een overschrijding van de $V_{\max}$.
- De waarde $V_{\max}$ wijzigt naar verwachting niet, omdat er ook in de huidige situatie bussen rijden.
- De waarde V_{per} zal naar verwachting licht afnemen doordat er minder bussen gaan rijden dan in de huidige situatie het geval is. Het aantal bussen op de Vondellaan zal in de toekomst nog verder afnemen door de aanleg van de busbaan op de Van Zijstweg. Ten opzichte van de huidige situatie zal een afname van V_{per} optreden, waarmee er voldaan wordt aan de streefwaarde voor een gewijzigde situatie;

5.5 Trillingsintensiteit in combinatie met trein

Het trillingsniveau afkomstig van het spoor in de huidige situatie is ontleend aan de trillingsmetingen in de woning Raadwijk 2 bis A, en in Hendrik Tollensstraat 5. ProRail heeft in het kader van het project Sporen in Utrecht het trillingseffect van de sporen onderzocht. De resultaten van dit trillingsonderzoek zijn nog niet gepubliceerd. De stand van zaken in juni 2012 is dat de volgende trillingsniveaus te verwachten zijn in de woningen Hendrik Tollensstraat 5 en Raadwijk 2 bis A na realisatie van het project Sporen in Utrecht:

	$V_{\max}$	V_{per}
Hendrik Tollensstraat 5	0.25	0.04
Raadwijk 2 bis A	0.20	0.01

met:

- $V_{\max}$ voor combinatie van Sporen in Utrecht en busbaan Kruisvaart
- Relatieve verandering van $V_{\max}$ door aanleg van de busbaan Kruisvaart ten opzichte van de situatie met alleen Sporen in Utrecht (SiU)
- V_{per} voor combinatie van Sporen in Utrecht en busbaan Kruisvaart

5.5.1. Busbaan Kruisvaart

Na de spoorwijzigingen van het project Sporen in Utrecht (SiU) zal het trillingsniveau $V_{\max}$ afkomstig van het spoor naar verwachting 2 tot 4 keer hoger zijn dan het trillingsniveau afkomstig van de busbaan langs de Kruisvaart. Het maximale trillingsniveau $V_{\max}$ wordt dan volledig bepaald door het spoor. Uit Tabel 5-3 blijkt dat de waarde V_{per} afkomstig van de busbaan naar verwachting nihil, of zeer klein is. Dit betekent dat de busbaan langs de Kruisvaart geen extra bijdrage aan V_{per} levert ten opzichte van de V_{per} -waarde van het spoor. De volgende gecombineerde waarden van trein verkeer en busverkeer voor V_{per} zijn na realisatie van het project SiU te maximaal te verwachten:

V _{per} , bus+trein	Damwand tijdelijke situatie	Damwand definitieve situatie
Hendrik Tollensstraat 5	0.04	0.04
Raadwijk 2 bis A	0.01	0.01

Uit de kaart in Figuur 5-3 en Figuur 5-4 blijkt dat de toekomstige gecombineerde V_{per}-waarde langs de busbaan Kruisvaart lager de SBR-B streefwaarde A3 (0.05) niet overschrijdt.



Figuur 5-3 $V_{\max}$ door combinatie busbaan Kruisvaart en Sporen in Utrecht (SiU) in de eindsituatie.



K:\VN opdrachten\IN160695 HOV Utrecht trillingen\A35 Busbaan Kruisvaart\A35 Modellen en berekeningen\GIS\Stations_jan2013 - Vper 2015

Figuur 5-4 V_{per} door combinatie busbaan Kruisvaart en Sporen in Utrecht (SiU) in de tijdelijke situatie.

5.5.2. Aansluiting Kruisvaartbaan op Vondellaan

Langs het gedeelte van de busbaan dat aansluit op de Vondellaan, en dat aan dezelfde zijde van de Kruisvaart ligt als de woningen aan de Raadwijk overschrijdt $V_{\max}$ mogelijk licht (met circa 10%) de streefwaarde A2 voor nieuwe situaties. In Figuur 5-5 is de relatieve verandering van $V_{\max}$ door aanleg nieuwe busbaan ten opzichte van de situatie met alleen Sporen in Utrecht aangegeven.

Uit de berekeningen blijkt echter het volgende:

- Ter plaatse van de woningen is er geen toename van $V_{\max}$ door de aanleg van de nieuwe busbaan ten opzichte van de situatie met alleen Sporen in Utrecht (SiU). Het trillingsniveau $V_{\max}$ wordt bepaald door:
 - Treinverkeer bij Sporen in Utrecht (SiU)
 - of busverkeer en vrachtverkeer over de Vondellaan
- Ter plaatse van de woningen overschrijdt naar verwachting de gecombineerde trillingsintensiteit V_{per} van SiU en de busbaan de streefwaarde A3 (0.05) niet.



Figuur 5-5 Relatieve verandering van $V_{\max}$ door aanleg nieuwe busbaan ten opzichte van de situatie met alleen Sporen in Utrecht (SiU)

5.5.3. Vondellaan

De woningen aan de Vondellaan liggen verder van het spoor af dan de woningen aan de Raadwijk en de Hendrik Tollensstraat. Uit de kaarten in Figuur 5-3 en Figuur 5-4 blijkt dat de waarden $V_{\max}$ en V_{per} hier in de tijdelijke en definitieve situatie bepaald worden door het busverkeer en vrachtverkeer over de Vondellaan. Het project Sporen in Utrecht zal niet of nauwelijks ($< 1\%$) van invloed zijn op het trillingsniveau langs de Vondellaan.

5.5.4. Invloed constructie busbaan

De invloed van de constructie van de busbaan kan ook nog van belang zijn voor trillingen afkomstig van het treinverkeer. ProRail heeft ten behoeve van het project SiU modelmatig naar de invloed van trillingen afkomstig van het spoor op woningen bij Raadwijk en de Hendrik Tollensstraat onderzocht. Het resultaat hiervan staat in Tabel 5-6. Uit de berekening volgt dat het effect van de busbaan beperkt is, en dat het trillingsniveau afkomstig van het spoor licht afneemt door de aanwezigheid van een busbaan.

Tabel 5-6 Invloed busbaan op trillingen afkomstig van spoor

		Vmax	Vper
geen busbaan	Hendrik Tollensstraat 5	0.25	0.04
	Raadwijk 2 bis A	0.20	0.01
busbaan op zand met damwand	Hendrik Tollensstraat 5	0.23	0.04
	Raadwijk 2 bis A	0.19	0.01

6 Conclusie en aanbevelingen

Naar aanleiding van de onderzoeksvraag tot welke trillingsintensiteiten leidt de exploitatie van de Busbaan Kruisvaartkwartier kan het volgende worden geconcludeerd:

Ten aanzien van de busbaan Kruisvaart:

- Voor de busbaan Kruisvaart is sprake van een nieuw tracé. Dit tracé voldoet aan de de SBR-streefwaarden voor nieuwe situaties, in zowel de tijdelijke als de definitieve situatie. Alleen ter plaatse van de aansluiting van de busbaan met de Vondellaan is er een kleine kans dat $V_{\max}$ de streefwaarde voor nieuwe situaties overschrijdt.
- In woningen langs de Vondellaan is er in de huidige situatie een overschrijding van de SBR streefwaarde voor $V_{\max}$. De waarde $V_{\max}$ wijzigt naar verwachting niet, omdat er ook in de huidige situatie bussen rijden. De waarde V_{per} zal naar verwachting niet toenemen doordat er veel meer bussen gaan rijden dan in de huidige situatie het geval is. Het aantal bussen op de Vondellaan zal in de toekomst nog verder afnemen door de aanleg van de busbaan op de Van Zijstweg. Ten opzichte van de huidige situatie zal een afname van V_{per} optreden, waarmee er voldaan wordt aan de streefwaarden voor een gewijzigde situatie;

Ten aanzien van het gebruik van de busbaan in combinatie met het spoorgebruik conform het tracébesluit Sporen in Utrecht;

- Het maximale trillingsniveau $V_{\max}$ en de trillingsintensiteit V_{per} worden bepaald door treinen over spoor. In de tijdelijke en definitieve situatie levert het busverkeer op de busbaan langs de Kruisvaart ten opzichte hiervan een verwaarloosbare bijdrage.
- De toekomstige gecombineerde trillingsintensiteit V_{per} langs de busbaan Kruisvaart overschrijdt de SBR-B streefwaarden A3 (0.05) niet.
- Ter plaatse van de aansluiting van de busbaan met de Vondellaan wordt de het maximale trillingsniveau $V_{\max}$ bepaald door het treinverkeer. Bij een gecombineerde toetsing van busbaan en spoor is de mogelijke kleine $V_{\max}$ overschrijding van de streefwaarde voor nieuwe situaties niet meer maatgevend.
- Ter plaatse van de aansluiting van de busbaan met de Vondellaan leidt de combinatie tot een toename van trillingsintensiteit. De trillingsintensiteit V_{per} overschrijdt de streefwaarde uit de SBR-richtlijn niet.
- Ter plaatse van de Vondellaan is de invloed van de spoorbaan verwaarloosbaar (<1%).

Zijn deze trillingsintensiteiten toelaatbaar?

De overschrijding die optreedt is:

- $V_{\max}$ van de Vondellaan in de huidige situatie overschrijdt de streefwaarde voor bestaande situaties van de SBR met 10%. In de toekomst neemt dit niet toe;

- Ter plaatse van de aansluiting van de busbaan met de Vondellaan is er een kleine kans dat $V_{\max}$ afkomstig van de busbaan de SBR streefwaarde voor nieuwe situaties overschrijdt. De waarde $V_{\max}$ afkomstig van het spoor is hier echter maatgevend.

Ten aanzien van deze overschrijding zijn er de volgende overwegingen:

1. Een overschrijding in de huidige situatie wordt in de praktijk nooit aangepakt, zeker niet bij een kleine overschrijdingen ($< 30\%$). Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkten door van weg- en railverkeer kan bij overschrijding van de streefwaarden gebruik worden gemaakt van de hinderkwalificatie tabel in Bijlage 5 van de SBR B richtlijn. Hierbij valt de overschrijding in de hinderkwalificatie matige hinder.
2. Op de wegvakken waarlangs overschrijdingen voorkomen valt het te overwegen om het trillingsniveau te reduceren door goed wegonderhoud. Een vlakke weg zonder oneffenheden zorgt voor lagere trillingen. Normaal wordt hier geen rekening meegehouden om dat de ervaring leert dat er in de levensduur van de weg altijd wel oneffenheden optreden.
3. In de SBR-richtlijn B wordt geen rekening gehouden met niet merkbare verschillen. Die zijn er net als bij geluid wel. Uitgangspunt bij de onlangs gepubliceerde beleidsregel trillingshinder spoor (BTS) is dat een tracébesluit geen trillingbeperkende maatregelen behoeft te bevatten als er sprake is van niet merkbare verschillen. In de beleidsregel is daartoe aangegeven dat maatregelen achterwege kunnen blijven als de toename van de trillingssterkte in de plansituatie ten opzichte van de bestaande situatie 30% of minder bedraagt. In deze analogie wordt het niet doelmatig geacht om voor een enkele woning een toename van trillingen met minder dan 30% maatregelen te treffen.

Colofon

Opdrachtgever Gemeente Utrecht, projectorganisatie Uithoflijn

Uitgave Movares Nederland B.V.

Divisie Infra
Afdeling: Bouwvoorbereiding & Begeleiding: Milieu en Natuurontwikkeling

Utrecht

Telefoon 030 2653670

Ondertekenaar W. Gardien & W.N. Oskam
Adviseur

Projectnummer IN160695

Opgesteld door Gardien, W

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)

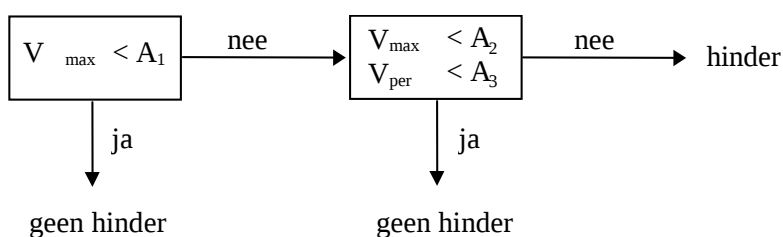
De waarden V_{max} en V_{per} worden getoetst aan de volgende streefwaarden:

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*

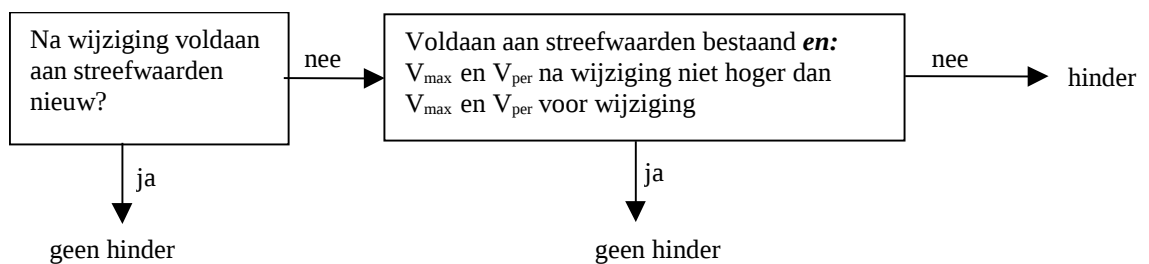
gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
1. Gezondheidszorg	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
2. Wonen	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
3. Kantoor	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
4. Bijeenkomsten	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
5. Kritische werkruimte	0.1	0.1	- - -	0.1	0.1	- - -

*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

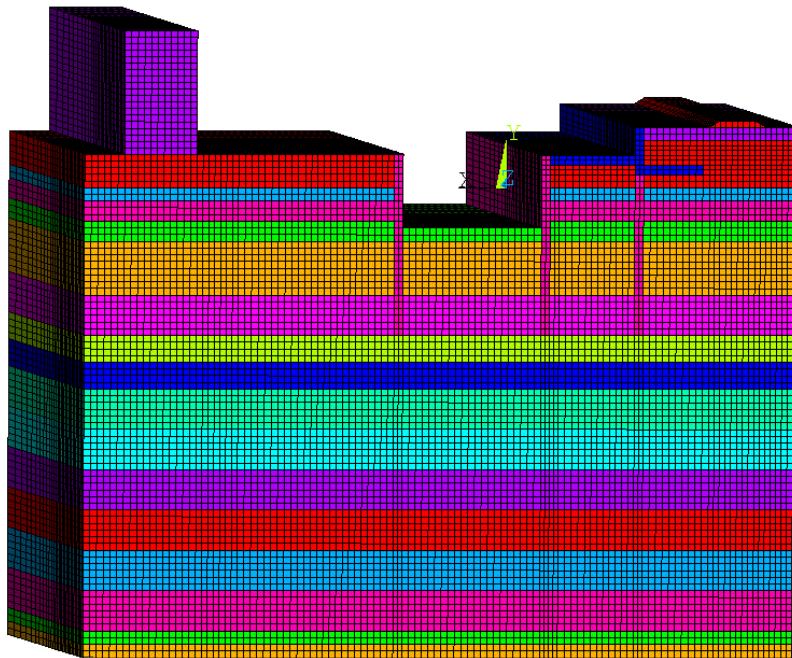
Voor bijvoorbeeld een woning aan een spoorlijn wordt bij een nieuwe situatie op de volgende wijze getoetst:

gemeten $V_{eff,max}$ in woning:	gemiddeld aantal keer per uur	V_{per}	$A1^* = 0.1$ $V_{eff,max} < A_1$	$A2^* = 0.4$ $V_{eff,max} < A_2$	$A3^* = 0.05$ $V_{per} < A_3$	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

Bijlage II Modelbeschrijving

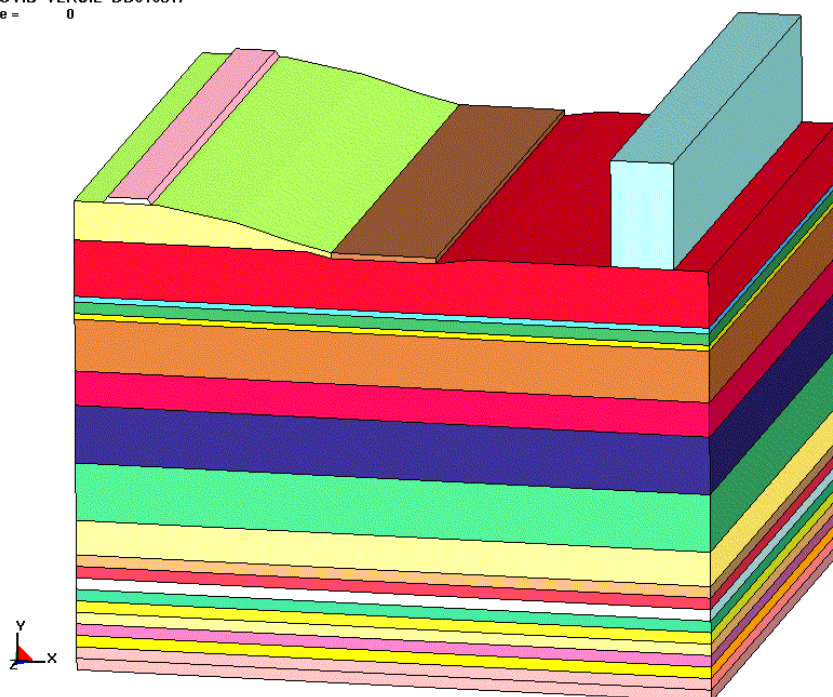
De modelberekeningen zijn gemaakt met behulp van het door Movares ontwikkelde programma GEOVIB (versie dd081124). Dit programma maakt een model van een gediscrediteerde ruimte in het programma ANSYS versie 8.1. Deze twee programma's maken samen één invoerfile voor het programma LS-DYNA versie ls971d. Dit programma berekend met behulp van een expliciete integratiemethode de trillingen die ontstaan door één puls.

In de volgende figuren is ter indicatie een model weergegeven van de nieuwe situatie. Van de Vaartsestraat is een zelfde model gemaakt. Op alle modellen is een zelfde pulsbelasting uitgeoefend.



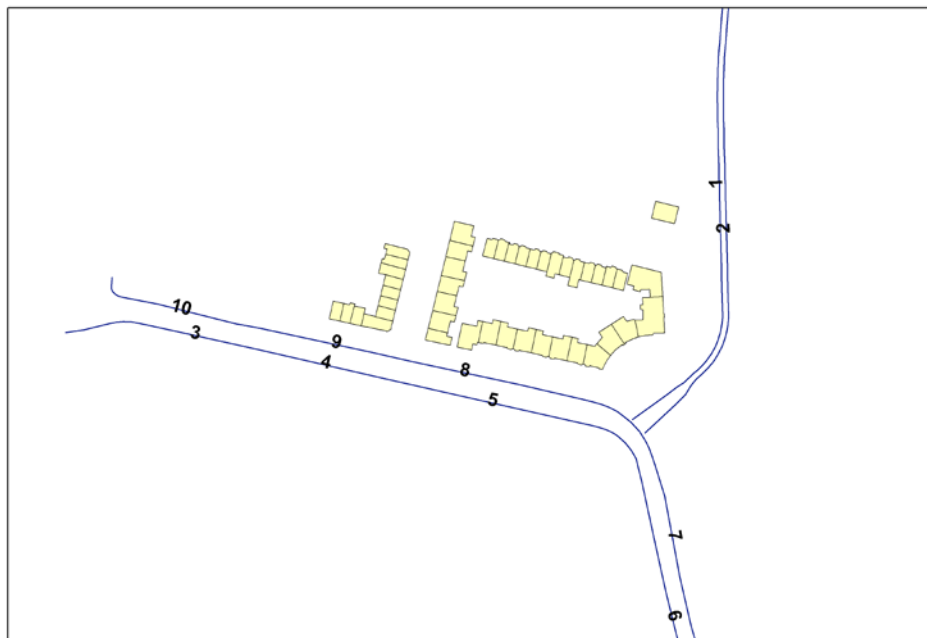
Figuur B-6-1 model met constructie op aarde baan

GEOVIB VERSIE DD010817
Time = 0



Figuur B-2 model met huidige situatie Vaartsestraat

Bijlage III Verkeersgegevens



	intensiteit bussen + vrachtwagens per etmaal		
rijlijn	2014 (huidig)	2016 (tijdelijk)	2020 (definitief)
1	0	551	265
2	0	543	257
3	488	442	479
4	488	442	479
5	488	451	488
6	488	1002	753
7	474	983	774
8	474	440	517
9	474	452	530
10	474	452	530

Intensiteiten zijn opgegeven door gemeente Utrecht