Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen – Aanleg en gebruiksfase

Status	**concept**
Versie	002
Rapport	M.2019.0471.00.R001
Datum	2 oktober 2019

Colofon

Opdrachtgever	Provincie Utrecht
Contactpersoon opdrachtgever	De heer P. Schravendijk
Project	Provincie Utrecht / spooronderdoorgang N226, Maarsbergen
Betreft	Trillingsonderzoek
Uw kenmerk	-
Rapport	M.2019.0471.00.R001
Datum	2 oktober 2019
Versie	002
Status	concept
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Van Pallandtstraat 9-11 6814 GM Arnhem Postbus 153 6800 AD Arnhem
Contactpersoon	ing. R.G. (Reinoud) Fennema 088 346 76 33 rfe@dgmr.nl
Auteur	ing. R.G. (Reinoud) Fennema 088 346 76 33 rfe@dgmr.nl
Projectadviseur	ir. J. (Rob) Witte 088 346 78 04 wi@dgmr.nl
2e lezer/secr.	WI | BRA | TMA

Inhoud

1. Inleiding 4

2. Toetsingskader 5
2.1 Schaderisico (SBR-A) 5
2.2 Trillingshinder wegverkeer (SBR-B) 6
2.3 Beleidsregel trillingshinder spoor (Bts) 6
2.4 Trillingshinder aanlegfase (SBR-B) 7
2.5 Verstoring door trillingen (SBR-C) 8

3. Onderzoeksaanpak 9
3.1 Inventarisatie trillingsgevoelige bedrijven 9
3.2 Trillingen aanlegfase 9
3.3 Trillingen wegverkeer 9
3.4 Trillingen railverkeer 9
3.5 Trillingen nulsituatie 10

4. Inventarisatie trillingsgevoelige bedrijven 11

5. Trillingsonderzoek spooronderdoorgangen 12

6. Nulsituatie trillingen 14
6.1 Meetmethode 14
6.2 Resultaten 14

7. Trillingsprognoses (modelberekeningen) 16
7.1 Uitgangspunten 16
7.2 Trillingen aanlegfase (bouwwerkzaamheden) 17
7.3 Trillingen wegverkeer (gebruiksfase) 20
7.4 Trillingen railverkeer plansituatie (gebruiksfase) 21

8. Conclusies 24
8.1 Aanlegfase 24
8.2 Wegverkeer plansituatie (gebruiksfase) 24
8.3 Trillingen railverkeer plansituatie (gebruiksfase) 24

Bijlagen

Bijlage 1 Inventarisatie trillingsgevoelige bedrijven (SBR-C)
Bijlage 2 Nulmeting Engweg 1 en Tuindorpweg 5b
Bijlage 3 Trillingsprognose bouwwerkzaamheden
Bijlage 4 Trillingsprognose wegverkeer plansituatie
Bijlage 5 Trillingsprognose railverkeer plansituatie
Bijlage 6 Trillingsprognose railverkeer referentiesituatie

1. Inleiding

In opdracht van de Provincie Utrecht heeft DGMR Industrie, Verkeer en Milieu BV onderzoek gedaan naar de gevolgen van het project op trillingen naar de omgeving. Het project voorziet in de vervanging van de huidige spooroverweg van de N226 (Woudenbergseweg) in Maarsbergen door twee spooronderdoorgangen, één voor het snelverkeer en één voor het langzaam verkeer (fietsers). Voor het snelverkeer wordt een nieuwe rondweg aangelegd waarin de onderdoorgang is opgenomen. Deze komt ongeveer 200 m westelijker te liggen dan de huidige overweg. Als deze rondweg in gebruik is genomen wordt ter plaatse van de huidige overweg de onderdoorgang voor het langzaam verkeer gerealiseerd. Figuur 1 toont de plansituatie.

figuur 1: plansituatie spooronderdoorgangen N226, Maarsbergen (in grijs aangegeven)

In dit rapport worden de gevolgen van het project qua trillingen naar de omgeving tijdens de aanleg en in de gebruiksfase inzichtelijk gemaakt.

Voor wat betreft de situatie wegverkeer vindt er een reconstructie plaats. Vanuit het oogpunt van goede ruimtelijke ordening zijn de gevolgen van het project voor het aspect trillingen in beeld gebracht. Dit betreft zowel trillingen tijdens de aanlegfase (als gevolg van bouwwerkzaamheden) alsook mogelijke trillingen door wegverkeer.

k:\doc\m\2019\047100\m201904710 0r001v2.docx 02-10-2019

2. Toetsingskader

Voor het beoordelen van trillingen op het risico van gebouwschade, hinder voor personen in gebouwen of verstoring van apparatuur/processen, heeft de Stichting Bouwresearch de SBR-richtlijn 'Trillingen' uitgegeven. Deze richtlijn bestaat uit de volgende drie delen:

- SBR-A: Schade aan gebouwen, uitgave 2017.
- SBR-B: Hinder voor personen in gebouwen, uitgave 2002.
- SBR-C: Storing aan apparatuur, uitgave 2002.

De richtlijn heeft geen wettelijke status, maar heeft mede door jurisprudentie een ruim draagvlak opgebouwd en wordt geïnterpreteerd als de meest recente stand der inzichten. In dit onderzoek wordt deze SBR-richtlijn als toetsingskader aangehouden.

2.1 Schaderisico (SBR-A)

In de SBR-A worden per categorie bouwwerk grenswaarden gesteld aan trillingen met het oog op mogelijke schade. De richtlijn onderscheidt twee gebouwcategorieën die als volgt kunnen worden omschreven (voor de exacte formulering wordt verwezen naar de tekst van de richtlijn):

- Categorie 1: gebouwen of onderdelen daarvan bestaande uit gewapend beton of hout.
- Categorie 2: gebouwen of onderdelen daarvan bestaande uit metselwerk.

In tabel 1 staan de karakteristieke grenswaarden (V_{kar}) voor beide gebouwcategorieën.

tabel 1: karakteristieke grenswaarden V_{kar} (in mm/s), SBR-A

Onderdeel	Frequentie [Hz]	Categorie 1	Categorie 2
Stijf punt begane grond niveau (fundatie)	5	20	5
	10	20	5
	15	22,5	6,25
	20	25	7,5
	30	30	10
	50	40	15
	100	50	20
Hoogste verdieping en onderdelen (wanden/vloeren)		40	15

De grenswaarden gelden voor de topwaarde van de trilsnelheid V_{top} op constructief stijve punten (fundatie) en nemen bij oplopende frequentie toe. Voor onderdelen van gebouwen (wanden/vloeren) en de draagconstructie op de hoogste verdieping zijn de grenswaarden constant.

De karakteristieke grenswaarden uit tabel 1 zijn te verminderen met een veiligheidsfactor voor het type trilling. Voor herhaald voorkomende trillingen (weg- en railverkeer) is deze factor γ_t = 1.5.

Voor oude en monumentale gebouwen (cultuurhistorische waarde) of in slechte staat verkerende gebouwen zijn de grenswaarden in tabel 1 tevens te verminderen met een factor γ_s = 1.7.

Voor gebouwen met een zettingsgevoelige fundering (veelal fundering op staal) gelden aanvullende (mogelijk strengere) grenswaarden. Of een gebouw zettingsgevoelig is wordt vastgesteld op basis van de woning- en bodemkenmerken en de staat van de woning. De SBR-A bevat hiervoor een checklist. Als zettingsgevoeligheid aan de orde is wordt dit per geval besproken.

Toelichting

Een overschrijding van de grenswaarde leidt volgens de SBR-A niet onvermijdelijk tot schade. De kans op schade bij trillingssterkten onder de grenswaarde wordt in de SBR-A op minder dan 1% gesteld. Bij onderzoek naar het (causaal) verband tussen trillingen en schade moeten ook andere oorzaken in beschouwing genomen worden, zoals bijvoorbeeld zettingen.

2.2 Trillingshinder wegverkeer (SBR-B)

In de SBR-richtlijn Trillingen deel B 'Hinder voor personen' (SBR-B) worden voor herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd (weg- en railverkeer) streefwaarden gesteld. Voor nieuwe situaties zijn de streefwaarden voor de optredende maximale trillingssterkte V_{max} en de langtijdgemiddelde effectieve trillingssterkte V_{per} in de vloer weergegeven in tabel 2, onderverdeeld naar dag-, avond- en nachtperiode. Of de V_{max} (A2) of V_{per} (A3) maatgevend is hangt verder af van de verkeersintensiteit.

tabel 2: streefwaarden (in mm/s) voor trillingen ter voorkoming van hinder - nieuwe situaties

	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Onderwijs en kantoor	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07

A1 = Onderste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}; A2 = bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}.
A3 = Streefwaarde voor de gemiddeld effectieve waarde over de beoordelingsperiode V_{per}, indien A1 < V_{max} < A2.

De SBR-B maakt onderscheid in nieuwe, bestaande en gewijzigde situaties. Onder nieuwe situaties worden onder andere verstaan de bouw van een woning, de aanleg van een (spoor)weg of de aanleg van een verkeersdrempel of -plateau. Een gewijzigde situatie is een situatie waarin voordien ook al trillingen aan de orde waren en waarin door de wijziging verandering kan optreden. Uitgangspunt hiervoor is dat de trillingen door de wijziging bij voorkeur voldoen aan het toetsingskader voor nieuwe situaties, minimaal voldoen aan het toetsingskader voor bestaande situaties en daartussen liggend niet toenemen. Voor bestaande situaties zijn de streefwaarden een factor 2 hoger dan voor nieuwe situaties.

In dit project is sprake van zowel gewijzigde alsook deels nieuwe situaties. Wat betreft de aanleg van nieuwe elementen (kunstwerken, nieuwe rondweg) in het verkeersbeeld is het uitgangspunt dat trillingen afkomstig van deze elementen voldoen aan het toetsingskader voor nieuwe situaties. Voor aansluitende wegdelen, waarop anders dan renovatie geen constructie wijziging plaatsvindt geldt het toetsingskader voor gewijzigde situaties. Dit houdt in dat als trillingssterkten voldoen aan het kader voor bestaande situaties maar niet aan die voor nieuwe situaties er in principe geen toename mag optreden (stand still).

De SBR-B is gebaseerd op de Duitse DIN4150 - Teil 2 en hanteert dezelfde weegcurve. De V_{eff} uit de SBR-B en de KB-waarden uit de DIN4150 zijn daarmee onderling vergelijkbaar. De DIN geeft de volgende kwalificatie qua voelbaarheid van trillingen:

- KB ≥ 0,1 : juist voelbaar.
- KB ≥ 0,4 : goed voelbaar.
- KB ≥ 1,6 : sterk voelbaar.

2.3 Beleidsregel trillingshinder spoor (Bts)

De beoordeling van trillingshinder in het kader van tracébesluit procedures gebeurt aan de hand van de Beleidsregel trillingshinder spoor (Bts) en daarmee verbonden meet- en verwerkings-procedure LA.131001a (versie 13 april 2018).
In de onderzochte situatie is er geen te doorlopen tracéwetprocedure. Evenwel is het gebruikelijk om eventuele trillingshinder door wijzigingen op het spoor te toetsen aan dit beoordelingskader.

k:\doc\m\2019\047100\m2019047100r001v2.docx 02-10-2019

Situaties waarbij er al sprake is van een spoorlijn worden in de Bts aangemerkt als bestaande situatie. Voor bestaande situaties gelden de in tabel 3 gegeven streef- en grenswaarden. In afwijking van de SBR-B gelden de A2 en A3 in de Bts niet als streefwaarden maar als grenswaarden.

tabel 3: streef- en grenswaarden trillingen - bestaande situaties (tracébesluit)

	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Wonen en zorg	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
Onderwijs, kantoor, bijeenkomst	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15

A1 = streefwaarde V_{max}; A2 = grenswaarde V_{max}; A3 = grenswaarde V_{per}

Voor de beoordeling of een situatie qua trillingen voldoet, wordt in de Bts gekeken naar de eventuele trillingstoename V_{max} in de plansituatie en de trillingssterkte V_{per}. Er geldt:

- Als de trillingstoename V_{max} in de plansituatie minder is dan 30% ten opzichte van de referentiesituatie én de trillingssterkte V_{per} voldoet aan de in tabel 3 opgenomen grenswaarde A3, dan kunnen maatregelen achterwege blijven.
- Als de toename V_{max} groter is dan 30%, dan bevat het tracébesluit maatregelen die de toename reduceren tot 30% of zoveel meer als nodig is om te voldoen aan de grenswaarde A2 uit tabel 3.
- Als de V_{per} groter is dan de in tabel 3 opgenomen grenswaarde A3, dan bevat het tracébesluit maatregelen die ertoe leiden dat de V_{per} wordt teruggebracht tot de grenswaarde A3 óf tot de V_{per} in de referentiesituatie als deze al groter was dan de grenswaarde.

Trillingen in de plansituatie waarbij er in de referentiesituatie al sprake was van bestaand spoor, voldoen dus als de trillingstoename V_{max} kleiner is dan 30% en de V_{per} kleiner is dan de grenswaarde A3, dan wel niet is toegenomen.

2.4 Trillingshinder aanlegfase (SBR-B)

De SBR-B kent voor trillingen gedurende korte perioden, zoals tijdens bouw- en sloopwerk, hogere streefwaarden. Daarbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen woon- en kantoorgebouwen. Uitgangspunt in de SBR-B is dat bij bouwen en slopen enige mate van hinder meestal onontkoombaar is, maar vaak te accepteren mits onnodige hinder wordt voorkomen en er een goede communicatie is over de werkzaamheden. De richtlijn houdt daarbij rekening met de duur van het werk, waarbij de streefwaarden lager worden naarmate de werkzaamheden langer duren.

De hogere streefwaarden voor kortdurende werkzaamheden gaan uit van werk in de dagperiode. Voor werk in de avond en nacht, of langer dan 78 dagen, gelden de reguliere streefwaarden voor trillingen gedurende langere tijd, zoals opgenomen in paragraaf 10.5.2 en 10.5.3 van de richtlijn. Voor werkzaamheden die onontkoombaar buiten de dagperiode uitgevoerd moeten worden en hogere trillingssterkten opwekken dan geldend voor de betreffende periode, verleent het bevoegd gezag per geval en op basis van maatwerk zo nodig ontheffing.

Voor bouw- en sloopwerkzaamheden zijn de streefwaarden voor de maximale trillingssterkte V_{max} en de langtijdgemiddelde trillingssterkte V_{per} (op de vloer) weergegeven in tabel 4. Of de V_{max} (A2) of V_{per} (A3) maatgevend is hangt af van de duur van de trillingsveroorzakende werkzaamheden. Tijdens bouw- en sloopwerk zijn relatief hoge trillingssterkten (tot V_{max} = 6 mm/s) in beginsel toelaatbaar, maar er wordt in de richtlijn sterk gestuurd op het beperken van de mate van voorkomen (dagdosis).

tabel 4: streefwaarden (dagperiode) continu en herhaald voorkomende trillingen - korte tijd

1 dag			6 tot en met 26 dagen			26 tot en met 78 dagen		
A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
0,8	6	0,4	0,4	6	0,3	0,3	6	0,2

A1 = Onderste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}; A2 = bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max}.
A3 = Streefwaarde voor de gemiddeld effectieve waarde over de beoordelingsperiode V_{per}, indien A1 < V_{max} < A2.

k:\doc\m\2019\047100\m2019047100r001v2.docx 02-10-2019

2.5 Verstoring door trillingen (SBR-C)

Voor bedrijven met trillingsgevoelige apparatuur of processen, die zich hebben gevestigd in de nabijheid van bestaande (spoor)wegen, geldt in beginsel dat deze geacht worden daarvoor zelf maatregelen te hebben getroffen, op zodanige wijze dat deze door autonome groei of ander weg- of spoorgebruik (ander materieel) niet in de problemen komen.
De situatie is anders als nieuwe wegen worden aangelegd, wegen worden verplaatst (richting deze bedrijven) of verkeerremmende maatregelen (verkeersdrempels) worden aangelegd, waardoor de trillingsbelasting wordt verhoogd. In dit project worden twee spooronderdoorgangen, een nieuwe ontsluitingsweg en een rotonde aangelegd. Voor deze situaties is een toetsing opportuun.

Voor het karakteriseren van het trillingsmilieu voor trillingsgevoelige apparatuur of processen heeft bureau Bolt, Beranek & Newman (BBN) rond 1970 een klassenindeling opgesteld. Aan deze indeling wordt vaak gerefereerd als de 'vibration curves' of VC-curven en deze indeling is ook als bijlage opgenomen in de Nederlandse SBR-richtlijn Trillingen, deel C – 'Storing aan apparatuur' (SBR-C). Tabel 5 geeft deze indeling met enkele voorbeelden van trillingsgevoelige functies.
De indeling wordt veel gehanteerd als algemene karakterisering van het trillingsmilieu, daar waar specifieke trillingseisen (opgegeven door de leveranciers) ontbreken. Waar van toepassing wordt in dit project de classificatie aan de hand van VC-curven aangehouden.

tabel 5: trillingsgevoeligheid ingedeeld naar VC-klassen

Klasse	V_{rms} (1/3-octaaf)	Voorbeelden
ISO-10137 Critical working areas	100 [µm/s]*	Operatiekamers, laboratoria, optische microscopen < 100x, weeginstrumenten,
VC-A	50	Microscopen tot 400x, apparatuur micro-elektronica, precisie balansen, …
VC-B	25	Microchirurgie (oogheelkunde, neurologie), microscopen 400x – 1000x, MRI/CT-scan
VC-C	12,5	Elektronenmicroscopie <30.000x, MRI, NMR, …
VC-D	6,25	Laseronderzoek, elektronenmicroscopie, fotolithografie, cell-implant, …
VC-E	3,15	Laseronderzoek, elektronenmicroscopie, …
VC-F	1,6	Elektronenmicroscopie submicron bereik, …

** frequentiebereik t/m VC-B: 8-80 Hz, vanaf VC-C: 1-80 Hz*

3. Onderzoeksaanpak

Het uitgevoerde onderzoek richt zich op trillingen door bouwwerkzaamheden tijdens de aanlegfase én trillingen van weg- en railverkeer in de gebruiksfase.
Als gevolg van trillingen kan mogelijk schade aan gebouwen, hinder voor personen in gebouwen en verstoring van apparatuur en/of processen optreden. Als beschreven in het toetsingskader is dit geregeld in de delen A, B en C van de SBR-richtlijn 'Trillingen'.

Het voorkomen van schade aan gebouwen door bouw gerelateerde trillingen (SBR-A) is onderdeel van de door de aannemer op te stellen risicoanalyses bij het vaststellen van de werkmethodes. Aan trillingen als gevolg van het weg- en railverkeer is geen verhoogd schade-risico van toepassing en wordt hier daarom niet beschouwd. Impliciet is het schade-risico verwaarloosbaar als trillingen voldoen aan de streefwaarden ter voorkoming van trillingshinder (SBR-B).

3.1 Inventarisatie trillingsgevoelige bedrijven

Op voorhand zijn er geen aanwijzingen over de aanwezigheid van trillingsgevoelige bedrijven en een verslechtering van het trillingsmilieu. Vanuit oogpunt van goede ruimtelijke ordening wordt bekeken of er zich in het projectgebied trillingsgevoelige bedrijven bevinden en zo ja, wat daarvoor de projectgevolgen kunnen zijn. Hiertoe is een inventarisatie uitgevoerd naar mogelijk trillingsgevoelige bedrijven. Deze inventarisatie is beschreven in hoofdstuk 4.

3.2 Trillingen aanlegfase

Tijdens de aanlegfase vinden er ontgravings-, funderings- en bouwwerkzaamheden plaats en veel logistieke bewegingen in de vorm van aan- en afvoer of verplaatsing van materialen en grond.
In de nabijheid van gebouwen kan dit mogelijk tot hinder leiden.
Om de hinderrisico's in beeld te brengen is een trillingsprognose opgesteld voor de meest kritische situaties qua trillingen, gebaseerd op de combinatie van afstand tot bebouwing en verwachte trillingsopwekking van de activiteit. In paragraaf 7.2 worden de resultaten van deze prognoses besproken.

3.3 Trillingen wegverkeer

Voor wegverkeer wordt niet standaard een trillingsonderzoek gedaan. Dergelijke onderzoeken vinden in de regel alleen plaats als er op voorhand indicatoren zijn dat trillingen een rol spelen, zoals bij de aanleg van verkeersdrempels, -plateaus of andere trillingsverhogende elementen in het wegdek óf in situaties waarin er al sprake is van hinderklachten door trillingen, veelal vanwege specifieke bodemomstandigheden of bouwwijzen. In het gebied waarop deze reconstructie betrekking heeft zijn voor dergelijke specifieke omstandigheden geen aanwijzingen.
Het onderzoek richt zich op eventuele trillingsopwekking van het wegverkeer ter plaatse van de toeritten van de onderdoorgang voor snelverkeer. Van de trillingsopwekking van deze toeritten is een prognose opgesteld. In paragraaf 7.3 worden de resultaten van deze prognoses besproken.

3.4 Trillingen railverkeer

Het onderzoek naar trillingen door railverkeer richt zich uitsluitend op de twee aan te leggen onderdoorgangen (kunstwerken) in het spoor. In dit onderzoek wordt gekeken naar de eventuele verhogingen die de spooronderdoorgangen teweeg zouden kunnen brengen in het trillingsbeeld. Hiervoor is onderzoek gedaan aan een qua constructie vergelijkbare onderdoorgang in dezelfde spoorlijn. De resultaten van dit onderzoek worden weergegeven in hoofdstuk 5. De trillingsprognoses voor het railverkeer worden besproken in paragraaf 7.4.

3.5 Trillingen nulsituatie

Behalve het opstellen van trillingsprognoses wordt ook de nulsituatie qua trillingen vastgelegd voor de woningen die het meest te maken krijgen met de inpassing van de reconstructie. Dit zijn de woningen Engweg 1 en Tuindorpweg 5b. Beide woningen liggen op korte afstand van de nieuw aan te leggen ontsluitingsweg en de spooronderdoorgang voor het snelverkeer. In deze woningen zijn trillingsmetingen verricht conform de instructies die gelden voor trillingsmetingen in het kader van tracébesluiten voor spoorwegen en de daarvoor verplichte Beleidsregel trillingshinder spoor (Bts). De resultaten van deze metingen worden besproken in hoofdstuk 6.

4. Inventarisatie trillingsgevoelige bedrijven

Op 14 juni is op locatie een verkenning gedaan naar bedrijven met mogelijk trillingsgevoelige apparatuur of processen binnen de context van de SBR-C richtlijn. Het gaat daarbij om bedrijven die bij trillingssterkten onder de voelbaarheidsgrens mogelijk gehinderd zouden kunnen worden in de bedrijfsuitoefening.

De inventarisatie is gedaan in een straal van ongeveer 150 rondom het projectgebied. Dit omvat de straten: Engweg, Woudenbergseweg, Tuindorpweg, Haarweg en Achter de Kerk.
In deze straten zijn geen trillingsgevoelige bedrijven in de context van de SBR-C aangetroffen. Tabel 6 geeft een overzicht van de bedrijven in het projectgebied. Bijlage 1 toont hiervan een fotoreportage.

tabel 6: inventarisatie bedrijven nabij toekomstige spooronderdoorgangen Maarsbergen

Adres	Bedrijf	Trillingsgevoeligheid (SBR-C)
Woudenbergseweg 44	voormalig hotel Amrath	nee
Woudenbergseweg 44	onbemand tankstation	nee
Woudenbergseweg 44a	restaurant + woonhuis/kantoor	nee
Woudenbergseweg 50	leegstaand kantoor	nee
Woudenbergseweg 58	“De Heeren Hendrik” bijeenkomstgebouw	nee
Woudenbergseweg 60	verfwinkel/kleuradvies	nee
Woudenbergseweg 5	tweewielerhandel	nee
Woudenbergseweg 7	vm. brandweerpost nu schildersbedrijf	nee
Haarweg 6	telefooncentrale	nee
Tuindorpweg 6	bakkerij	nee
Tuindorpweg 8a	servicebedrijf	nee
Tuindorpweg 1b	garagebedrijf	nee

5. Trillingsonderzoek spooronderdoorgangen

Voor het snelverkeer en het langzame verkeer worden twee onderdoorgangen in het spoor opgenomen, zie figuur 1. Deze kunstwerken zijn mogelijk van invloed op de trillingsopwekking door trein- en wegverkeer. Bij het treinverkeer komt dit door de impedantiesprong (stijfheidsverschil) in de overgang van kunstwerk naar aarden baan. Bij het wegverkeer wordt dit veroorzaakt door het verschil tussen opname van de weg in een betonconstructie versus een weg op maaiveld op de gebruikelijke wegfundatie. Om meer inzicht te krijgen in deze invloeden is trillingsonderzoek gedaan aan een recent opgeleverde spooronderdoorgang voor snelverkeer met naar verwachting vergelijkbare constructie[1] als de voorziene onderdoorgang voor het snelverkeer in Maarsbergen. Het onderzoek is uitgevoerd aan de spooronderdoorgang Voorpoort in Veenendaal, zie figuur 2.

figuur 2: voorpoort Veenendaal

Op de locatie Voorpoort in Veenendaal zijn trillingsmetingen uitgevoerd in de bodem op maaiveld nabij de onderdoorgang en op enige afstand daarvan. Het effect van het kunstwerk op spoortrillingen wordt bepaald uit het verschil tussen het meetpunt nabij de onderdoorgang (25 m) en een tweede meetpunt op ruime afstand (115 m) van de onderdoorgang, liggend langs het standaard spoor. De afstand tot het spoor is voor beide meetpunten gelijk (25 m).

Om de invloed van de onderdoorgang op wegtrillingen in beeld te brengen is een derde meetpunt ingericht op 105 m afstand van het spoor, maar op dezelfde afstand tot de weg (15 m) als het eerste meetpunt. Dit meetpunt lag buiten de betonconstructie van de toeritten (verdiepte wegligging) en geeft het trillingsbeeld weer van een reguliere wegconstructie. Het verschil tussen deze meetpunten betreft de eventuele toeslag van het kunstwerk op de trillingsimmissie van het wegverkeer.

[1] *Uitgegaan is van de meest voor de hand liggende constructie, maar de aannemer kan omwille van inpasbaarheid, doorlooptijd of kostenoverwegingen besluiten tot een andere bouwwijze.*

In tabel 7 en tabel 8 worden de uit dit onderzoek bepaalde trillingsimmissies weergegeven voor treinverkeer en wegverkeer.

tabel 7: trillingsimmissie reizigerstreinen in dB (ref. 1 nm/s) per octaafband - 25 m afstand

Spoor	Trein	2	4	8	16	32	63	125	Totaal
Standaard spoor	Intercity (langzaam)	63	80	86	88	92	81	76	95
	Intercity (snel)	66	84	94	99	91	91	80	101
Toeslag kunstwerk	Oprijden kunstwerk	1	2	0	-2	4	10	7	
	Afrijden kunstwerk	2	3	6	5	5	8	5	

Uit tabel 7 blijkt dat de doorgaande (snel rijdende) intercity's aanmerkelijk meer trillingen opwekken dan de langzaam rijdende stoptreinen. In het dominante frequentiegebied van 8 tot 32 Hz is er vooral rond 16 Hz een aanzienlijk verschil zichtbaar.

Het kunstwerk geeft een duidelijke verhoging van de trillingsimmissie ten opzichte van de immissie van standaard spoor, maar de toeslag verschilt voor treinen die het kunstwerk oprijden en afrijden. Aan de afrijkant zien we in vergelijking tot de oprijkant een extra toeslag in de frequentiebanden van 8 en 16 Hz.

tabel 8: trillingsimmissie wegverkeer in dB (ref. 1 nm/s) per octaafband - 15 m afstand

Wegconstructie	2	4	8	16	32	63	125	Totaal
Standaard weg (op maaiveld)	66	82	82	85	83	73	65	89
Verdiepte wegligging (betonconstructie)	66	86	85	86	78	70	62	91

Uit tabel 8 blijkt dat het zware wegverkeer bij een verdiepte wegligging meer trillingen opwekt rond 4 tot 8 Hz, maar vanaf circa 16 Hz zijn de immissies lager. De gesommeerde trillingssterkte is in het geval van een verdiepte wegligging iets hoger dan bij een wegligging op maaiveld.

Het vergelijk tussen tabel 7 en tabel 8 toont dat trillingsimmissie van het wegverkeer veel lager is dan die van het treinverkeer, ofschoon de meetafstand bij het wegverkeer met 15 m een stuk kleiner was dan de 25 m meetafstand voor het treinverkeer. Vooral de trillingsopwekking bij frequenties van 16 Hz en hoger is in het geval van treinverkeer significant hoger. De in deze tabellen opgenomen immissiecijfers worden toegepast in het prognosemodel.

6. Nulsituatie trillingen

Om (later) een objectief vergelijk te kunnen maken van de gevolgen van de aanleg van de twee kunstwerken (onderdoorgangen) op trillingen in bebouwing is in de twee woningen met de kortste afstand tot de aan te leggen kunstwerken een 'nulmeting' uitgevoerd. Dit zijn de woningen Engweg 1 en Tuindorpweg 5b, beiden liggend op korte afstand tot de onderdoorgang voor het snelverkeer. De minimumafstanden van het dichtstbijzijnde gevelpunt tot het kunstwerk bedragen respectievelijk 42 m en 34 m.

De metingen aan de twee woningen zijn uitgevoerd conform de door ProRail gehanteerde meetmethodiek voor trillingsonderzoeken, het bij de Beleidsregel trillingshinder spoor (Bts) horende meet- en verwerkingsvoorschrift LA.131001a.M004 (versie 13 april 2018). Dit voorschrift richt zich specifiek op treinpassages. Conform de ProRail 'checklist trillingsonderzoek spoor' zijn gedurende twee weken metingen uitgevoerd.

6.1 Meetmethode

De metingen zijn uitgevoerd overeenkomstig methode 2 uit het meet- en verwerkingsvoorschrift. Hierbij wordt gedurende 24 uur de trillingsoverdracht bepaald tussen de woningfundatie en de verdiepingsvloer en aansluitend gedurende twee weken trillingen op de fundatie gemeten. De gemeten trillingssterkten op de fundatie vermenigvuldigd met de bepaalde trillingsoverdracht in de maatgevende frequentieband levert de voor toetsing maatgevende trillingssterkte V_{max}. Het verwerkingsvoorschrift schrijft een statistische verwerking voor waarbij de mate van reproduceerbaarheid R van de metingen wordt vastgesteld op basis van het aantal gemeten treinpassages. De conform de Bts bepaalde maximale trillingssterkte $V_{max,Bts}$ dient met deze R-waarde te worden vermenigvuldigd alvorens deze te toetsen.

Om onderscheid te kunnen maken tussen reizigerstreinen en goederentreinen zijn de metingen begeleid met camerawaarnemingen. De metingen in beide woningen zijn simultaan uitgevoerd. Het vloermeetpunt bevond zich daarbij telkens op de hoogst begaanbare verdieping waarop een verblijfsruimte is gelegen. Voor Engweg 1 betrof dit de eerste verdieping en bij Tuindorpweg 5b de tweede verdieping. Bijlage 2 geeft een overzicht van de meetpunten, de gebruikte meetapparatuur en de meetresultaten.

6.2 Resultaten

In tabel 9 is een samenvatting gegeven van de nulmetingen in de twee woningen Engweg 1 en Tuindorpweg 5b.

tabel 9: resultaten nulmeting trillingen - conform verwerkingsvoorschrift bij Bts

Adres	Treinen		R [%]	Fundatie		Verdieping	
	Type	**Aantal**		$V_{max,Bts}$	$V_{max,Bts}$ **gecorrigeerd**	$V_{max,Bts}$	$V_{max,Bts}$ **gecorrigeerd**
Engweg 1	Reizigerstreinen	378	4,3%	0,157/104 dB	0,157/104 dB	0,378/112 dB	0,378/112 dB
	Goederentreinen	5	27%	0,111/101 dB	0,142/103 dB	0,239/108 dB	0,303/110 dB
	Samen	383	4,3%	0,158/104 dB	0,158/104 dB	0,379/112 dB	0,379/112 dB
Tuindorpweg 5b	Reizigerstreinen	392	4,3%	0,108/101 dB	0,108/101 dB	0,243/108 dB	0,243/108 dB
	Goederentreinen	6	24,7%	0,096/100 dB	0,120/102 dB	0,299/110 dB	0,373/111 dB
	Samen	398	4,2%	0,109/101 dB	0,109/101 dB	0,246/108 dB	0,246/108 dB

k:\doc\m\2019\047100\m201904710 0r001v2.docx 02-10-2019

Tabel 9 laat zien dat er op deze lijn maar sporadisch goederentreinen voorkomen en dat vanwege het geringe aantal de reproduceerbaarheidswaarde R met 25 tot 27%, ook na twee weken meten, relatief hoog is. Volgens het verwerkingsvoorschrift is het eindresultaat $V_{max,Bts}$ in het geval R > 10% voor de toetsing te verzwaren met deze R-waarde. Ook te zien is dat goederentreinen geen hogere trillingssterkten opwekken dan de reizigerstreinen op deze lijn. Maar in het geval van Tuindorpweg 5b zijn de trillingssterkten voor de afzonderlijk beschouwde goederentreinen na correctie voor de hoge R-waarde toch bepalend. Vanwege de intensivering van het aantal reizigerstreinen neemt het aantal goederentreinen op deze lijn naar verwachting niet toe. Volgens de capaciteitsanalyse NMCA 2030 – 2040 komen er minder dan twee goederentreinen per etmaal voor.

Zowel goederen- alsook reizigerstreinen kunnen op ieder moment van de dag voorkomen en daarmee zijn de in tabel 9 vermelde trillingssterkten $V_{max,Bts}$ van toepassing op zowel dag-, avond- als nachtperiode (D/A/N).

Ofschoon de Bts slechts toeziet op de projectgevolgen (plansituatie) en niet op de al bestaande situatie, zijn de opgetreden trillingssterkten $V_{max,Bts}$ van respectievelijk 0,38 en 0,37 op Engweg 1 en Tuindorpweg 5b lager dan de in de Bts opgenomen grenswaarde A2 van 0,4 in de nachtperiode.

7. Trillingsprognoses (modelberekeningen)

7.1 Uitgangspunten

Trillingsprognoses zijn uitgevoerd in het rekenpakket Geomilieu v5.10 module trillingen. In deze module wordt voor de trillingsoverdracht van de bodem gerekend met de Barkan-vergelijking (formule 7.1), waarbij deze empirische benadering per frequentieband (octaaf) wordt uitgevoerd.

$$V_r = V_{r_0} \left(\frac{r_0}{r}\right)^n e^{-\alpha(r-r_0)} \qquad 7.1$$

waarin:

V_r	trillingsniveau op een afstand r van de bron	[mm/s]
V_{r0}	trillingsniveau op referentie afstand r_0 van de bron	[mm/s]
r	afstand tussen bron en immissiepunt	[m]
r_0	referentie afstand tot de bron	[m]
n	parameter voor de beschrijving van de geometrische uitbreiding	[-]
α	parameter voor de beschrijving van de bodemdemping	[1/m]

Geometrische uitbreiding

De Barkan-formule kent twee termen, de trillingsverzwakking door geometrische uitbreiding (verspreiding) en de afname door demping. Voor de uitbreiding wordt standaard gerekend met een exponent n = 0,5 in het geval van een puntbron en n = 0 in het geval van een lijnbron, beide geldend voor volledig ontwikkelde oppervlakte (Rayleigh) golven. Oppervlaktegolven nemen met toenemende afstand tot het spoor bij een lijnbron dus niet af door verspreiding, maar alleen door demping. Bij treinpassages komen beide brontypen door elkaar voor. Bij zeer lage frequenties, tot globaal 5 Hz, heeft de trillingsopwekking vaak het karakter van een lijnbron, maar bij hogere frequenties komen beide brontypen door elkaar voor. In de praktijk neemt de parameter voor de geometrische uitbreiding (n) hierdoor een waarde aan liggend tussen 0 en 0,5.

Bodemdemping

Maarsbergen ligt aan de oostzijde van een stuwwal, de Utrechtse Heuvelrug, in een gebied met dekzand afzettingen. De ongeveer 4 m dikke toplaag bestaat, volgens de in het DINO-loket aanwezige bodemprofielen en sonderingsdiagrammen, overwegend uit zand met daaronder afwisselend veen- en zandlagen, zie figuur 3.

figuur 3: boormonsterprofiel en sonderingsdiagram projectlocatie Maarsbergen

In de prognose software wordt voor de bodemdemping daarom het 'zandprofiel' aangehouden, waarvan de dempingswaarden α (alpha) in tabel 10 worden weergegeven.

tabel 10: gehanteerde bodemdemping (α) per meter, per octaafband - 'Zandprofiel'

Octaafband [Hz]	2	4	8	16	32	63
Dempingswaarde α	0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04

Overdracht bodem - gebouw

Voor de te verwachten trillingen in een gebouw is het van belang hoe het funderingssysteem reageert op de heersende trillingen in de bodem. Dit wordt in rekening gebracht door overdracht van de gebouwfundering $H_{fundering}$. Typische waarden voor $H_{fundering}$, zijn gegeven in tabel 11.

tabel 11: $H_{fundering}$ in dB

Octaafband [Hz]	2	4	8	16	32	63
Licht gebouw (op staal)	0	0	0	-1	-3	-8
Licht gebouw (op palen)	-2	-2	-2	-3	-7	-12
Zwaar gebouw	-6	-6	-6	-7	-9	-14

Een zwaar gebouw resulteert doorgaans in een grotere overdrachtsverzwakking van bodem naar fundering dan een relatief licht gebouw. Meerlaagse gebouwen zoals appartementencomplexen, waarbij behalve meer bouwlagen vaak ook zwaardere vloertypen en scheidingsconstructies (wanden) worden toegepast, zijn te beschouwen als zwaar gebouw. Typische eengezinswoningen van twee bouwlagen plus kapconstructie zijn te beschouwen als licht bouwwerk. De bouwwerken in het projectgebied in Maarsbergen zijn overwegend te beschouwen als lichte op staal gefundeerde bouwwerken.

Overdracht gebouwconstructie en vloeren

De functie H_{gebouw} geeft de overdracht weer van de fundatie naar de maatgevende vloer, bepaald door het trilgedrag van het woningcasco ten opzichte van de fundatie en het trilgedrag van de vloeren. In tabel 12 wordt de H_{gebouw} voor twee vloertypen gegeven.

tabel 12: H_{gebouw} in dB (met karakteristieke eigenfrequentie vloer)

Octaafband [Hz]	2	4	8	16	32	63
Grote overspanning (3 - 5 Hz)	3	10	8	7	5	4
Kleine overspanning (12 - 16 Hz)	2	4	8	10	7	5

7.2 Trillingen aanlegfase (bouwwerkzaamheden)

7.2.1 Algemeen

Tijdens de aanlegfase kunnen bouwactiviteiten mogelijk tot trillingshinder leiden en bij hoge trillingssterkten zelfs een risico op schade meebrengen. Dit hangt sterk af van de gekozen bouwmethoden, bouwplaats-inrichting en bouwroutes. Het is gebruikelijk dat de aannemer bij werkzaamheden met verhoogde trillingsopwekking hiernaar onderzoek (prognose) doet en zo nodig tijdens de uitvoering hierop trillingsmonitoring instelt. In dit onderzoek is op basis van de in dit stadium verwachte bouwmethoden een eerste beoordeling gedaan van de trillingsrisico's.

7.2.2 Maatgevende werkzaamheden

Op basis van de aangeleverde 'inschatting materieel' verwachte uitvoeringsmethoden is een scan gemaakt van de qua trillingen relevante werkzaamheden. Uit het verstrekt bestand "Inschatting uren materieel project Maarsbergen.docx" van 10 april 2019 zijn de volgende mogelijk trillingsveroorzakende werkzaamheden af te leiden:

- Het intrillen van damwanden (bouwkuip);
- Het aanbrengen van trekpalen (toeritten);
- Inbrengen palen landhoofden (brugdekken);
- Ontgravingswerkzaamheden;
- Verdichten wegfundaties.

Damwanden

Ter plaatse van de onderdoorgang onder de spoorbaan worden stalen damwanden aangebracht om de spoorbaan te stabiliseren. Ook langs het te ontgraven deel van de toeritten worden vermoedelijk deels of geheel damwanden aangebracht. De noodzaak hiervan is te beoordelen door de uitvoerder en hangt af van de bodemgesteldheid, de te ontgraven diepte en de ruimte van het bouwdok. In de prognoses is rekening gehouden met een damwand over de volle lengte van de toeritten.

De lengte van de aan te brengen damwandplanken neemt met toenemende diepte eveneens toe en daarmee ook de benodigde slagkracht van het trilblok. In de prognoses is uitgegaan van een referentie trilblok (Dieseko PvE 40 VM) met variabel moment, een totaalgewicht van 6800 kg en een maximale slagkracht van 1755 kN. De slagkracht van dit trilblok is mogelijk voor een deel van de damwandplanken, de korte planken, bovenmatig. Een actualisatie van de prognoses op basis van de door de uitvoerder bepaalde slagkracht per planklengte is aan te bevelen.

Trekpalen

De trekpalen worden uitgevoerd als GEWI-ankers. Dit type paal bestaat uit een stalen mantelbuis van beperkte diameters die wordt ingetrild waarna er door betoninjectie via de holle buis een groutlichaam wordt gevormd aan het buisuiteinde. De opwaartse krachten door de waterdruk op de onderzijde van de tunnelbak worden via de trekankers overgebracht op dit groutlichaam en daar opgenomen. Door de beperkte buisdiameter en benodigde intrilkracht is de inbrengmethode relatief trillingsarm, maar eventueel ook geheel trillingsarm te maken door de ankers te boren.

Palen landhoofden

De funderingspalen voor de landhoofden worden uitgevoerd als Tubex-palen. Dit is een grondverdringende paal die schroevend wordt ingebracht. Het schroevend inbrengen van palen geldt als trillingsarme methode. En gezien de afstand van de landhoofden tot de meest nabije bebouwing moet dit zonder trillingshinder kunnen gebeuren.

Ontgraven
De ontgravingswerkzaamheden voor de onderdoorgangen en toeritten vinden plaats binnen de bouwkuipbegrenzing gevormd door de damwanden. Behalve incidentele stootbelastingen op de bodem of tegen de damwanden door het graafgereedschap wekt het ontgraven zelf weinig trillingen op. Een reële prognose van de trillingsopwekking van dergelijke incidenten is niet mogelijk. Het instellen van trillingsmonitoring tijdens de uitvoering is een goede methode om ruw werken te signaleren en te beheersen. Geadviseerd wordt om dit te verplichten.

Verdichten wegfundaties
In de aangeleverde 'Inschatting materieel Maarsbergen' wordt voor het verdichten van wegfundaties de inzet van walsen aangegeven. Het verdichten van wegfundaties met een conventionele wals leidt niet tot significante trillingsopwekking. Voor de eventuele inzet van trilwalsen is door de aannemer per situatie een beoordeling te maken van het risico op trillingshinder of een verhoogd schaderisico aan gebouwen. In dit onderzoek wordt geen rekening gehouden met de inzet van trilwalsen.

7.2.3 Prognose
In bijlage 3 zijn de prognoseresultaten van de maatgevende activiteit qua bouwwerkzaamheden, het intrillen van de damwanden, opgenomen. Afgebeeld zijn de berekende trillingscontouren V_{top} (SBR-A) en V_{max} en V_{per} (SBR-B).

Het voortschrijden van de damwandstelling langs het tunnelsegment is in de prognoses opgedeeld in een aantal discrete stappen, genummerd T1 t/m T7, waarbij telkens de stelling is gepositioneerd op de kortste afstand van de maatgevende panden (rekenpunten). Dit geeft de hoogst mogelijke waarden qua maatgevende trillingssterkten V_{top}, V_{max} en V_{per}. De posities van de damwandstelling zijn aangegeven op de V_{top}-contourplot in bijlage 3.

Wat betreft de berekende gemiddelde effectieve trillingssterkte V_{per} moet worden gezegd dat deze maximale waarde slechts gedurende korte tijd (enkele dagen) van toepassing is, voor zolang de damwandstelling zich in de nabijheid bevindt. In tabel 13 worden de prognoseresultaten voor de meest kritische panden (rekenpunten) samengevat.

tabel 13: trillingsprognose aanlegfase - Intrillen damwanden

Adres		SBR-A (schade)					SBR-B (hinder)			
Nr.	Omschrijving	V_{top}	f_{dom} [Hz]	Grens-waarde	Bron	Voldoet	V_{max}	V_{per} (dag)	Bron	Voldoet
4	Achter de kerk 4	0,93	8	2,0	T5	Ja	0,58	0,334	T5	Nee
E1	Engweg 1	2,41	16	2,6	T4	Ja	1,54	0,891	T4	Nee
7c	Engweg 7c	0,99	8	2,0	T3	Ja	0,62	0,357	T3	Nee
5b	Tuindorpweg 5b	2,82	16	2,6	T2	Nee	1,82	1,046	T2	Nee
8b	Tuindorpweg 8b	1,65	8	2,0	T1	Ja	1,05	0,605	T1	Nee
44a	Woudenbergseweg 44a (kantoor)	3,18	16	2,6	T5	Nee	2,04	1,179	T7	Nee
50	Woudenbergseweg 50 (kantoor)	2,96	16	2,6	T5	Nee	1,90	1,097	T5	Nee

7.2.4 Toetsing

7.2.4.1 Toetsing schaderisico (SBR-A)
Uit tabel 13 blijkt dat in de bouwfase (aanbrengen damwanden) op drie van de onderzochte panden de grenswaarden voor de maximaal optredende trillingssterkte V_{top} wordt overschreden. Dit betreft de panden Tuindorpweg 5b, Woudenbergseweg 44a en 50. Op het pand Engweg 1 wordt de grenswaarde net niet overschreden.

k:\doc\m\2019\047100\m2019047100r001v2.docx 02-10-2019

De berekening geeft dus aan dat het intrillen van damwanden een verhoogd schaderisico heeft en dat verlaging van de slagkracht tijdens de uitvoering gewenst is. Indien op de locaties met minder diepe wegligging, dus kortere benodigde damwandplanken, kan worden volstaan met minder slagkracht, tenminste 20% minder, dan kan naar verwachting worden voldaan aan de SBR-A grenswaarde. Verwacht wordt dat dit mogelijk zal zijn op de posities T1 en T5 t/m T7, nabij de panden Tuindorpweg 8b, Woudenbergseweg 44a en 50 en Achter de Kerk 4. Andere mogelijkheden om de benodigde slagkracht te verlagen zijn het voorboren van de slotposities van de damwandplanken. Een alternatieve methode met minder trillingsopwekking betreft het indrukken van damwandplanken. De uitvoerder moet de mogelijkheden voor het verlagen van de trillingsopwekking beoordelen en daarop de prognose actualiseren en een passend monitoringsplan opstellen.

7.2.4.2 Toetsing trillingshinder

Uit tabel 13 blijkt dat het intrillen van damwanden naar verwachting trillingshinder geeft in alle onderzochte woningen. Dit doordat de langtijdgemiddelde trillingssterkte V_{per} de streefwaarde A3 uit de SBR-B overschrijdt.
Indien op de locaties met minder diepe wegligging, kan worden volstaan met minder slagkracht, de posities T1 en T5 t/m T7, dan wordt verwacht dat in de panden Achter de Kerk 4, Engweg 7c en wellicht ook Tuindorpweg 8b kan worden voldaan aan de SBR-B. De contourafstand waarbinnen overschrijding (hinder) aan de orde is ligt op circa 50 m.

Beperking van de slagkracht is in de praktijk maar in beperkte mate mogelijk, maar het is van belang dat dit ter beperking van trillingen zo veel als mogelijk wordt geoptimaliseerd. Het inzetten van trillingsmonitoring met alarmering tijdens de uitvoering is hiervoor een noodzakelijk instrument om tijdens de uitvoering terugkoppeling te krijgen over de trillingsopwekking in belendende panden. Omdat de daggemiddelde trillingssterkte V_{per} het maatgevende criterium is, kan het beperken van de duur van de werkzaamheden per dag op papier eveneens bijdragen tot verlaging van de hinder. In de praktijk zitten omwonenden echter niet vaak te wachten op het uitsmeren van dit soort werkzaamheden over een langere periode. Een goede communicatie met omwonenden over de uitvoering van de werkzaamheden is noodzakelijk en draagt in de regel sterk bij aan acceptatie van onvermijdelijke hinder. Als het uitvoeringstechnisch mogelijk is dan is het meer trillingsarme indrukken van damwanden hier te overwegen.

7.3 Trillingen wegverkeer (gebruiksfase)

7.3.1 Uitgangspunten

De trillingsimmissie door wegverkeer is gebaseerd op trillingsmetingen in de bodem op maaiveld op de locatie Voorpoort in Veenendaal. Hier zijn immissiemetingen gedaan op 15 m afstand tot de weg voor zowel de standaard wegconstructie (asfalt op verdicht puin wegfundatie) alsook voor een verdiepte wegligging, opgenomen in een betonnen toerit tot de spooronderdoorgang. De immissiecijfers waarmee in de trillingsprognoses is gerekend zijn opgenomen in tabel 8.

Verkeersintensiteiten

Uit de verstrekte notitie verkeerscijfers_def_SWNL0238657.pdf is het aantal vrachtwagens (zwaar verkeer) op de nieuwe rondweg bepaald. Gehanteerd is het peiljaar 2036, waarin de maximale intensiteit optreedt. Voor eerdere peilmomenten is de intensiteit en daarmee de gemiddelde trillingssterkte V_{per} lager. In tabel 14 is het aantal vrachtwagens per etmaalperiode weergegeven.

k:\doc\m\2019\047100\m2019047100r001v2.docx 02-10-2019

tabel 14: verkeersintensiteiten Maarsbergen - peiljaar 2036

Voertuig	Wegvak	Totaal	Dag	Avond	Nacht
Motorvoertuigen	A-B	12693			
	B-A	11656			
	Totaal	24350			
Zwaar verkeer	A-B	335	228	50	56
	B-A	388	266	57	64
	Totaal	723	495	108	121

7.3.2 Prognose

In bijlage 4 zijn de prognoseresultaten voor het wegverkeer opgenomen. Afgebeeld zijn de berekende trillingscontouren V_{top} (SBR-A) en V_{max} en V_{per} (SBR-B). In tabel 15 zijn de prognoseresultaten voor de rekenpunten (panden) opgenomen.

tabel 15: trillingsprognose plansituatie (gebruiksfase) - Wegverkeer

Adres		SBR-A (schade)				SBR-B (hinder)				
Nr.	Omschrijving	V_{top}	f_{dom} [Hz]	Grens-waarde	Voldoet	V_{max}	V_{per} (D)	V_{per} (A)	V_{per} (N)	Voldoet
4	Achter de kerk 4	0,05	4	3,3	Ja	0,02	--	--	--	Ja
E1	Engweg 1	0,15	4	3,3	Ja	0,07	--	--	--	Ja
7c	Engweg 7c	0,11	4	3,3	Ja	0,05	--	--	--	Ja
5b	Tuindorpweg 5b	0,17	4	3,3	Ja	0,08	--	--	--	Ja
8b	Tuindorpweg 8b	0,14	4	3,3	Ja	0,06	--	--	--	Ja
44a	Woudenbergsewg 44a (kantoor)	0,09	4	3,3	Ja	0,04	--	--	--	Ja
50	Woudenbergseweg 50 (kantoor)	0,05	4	3,3	Ja	0,02	--	--	--	Ja

7.3.3 Toetsing

7.3.3.1 Toetsing schaderisico (SBR-A)

Uit tabel 15 blijkt dat wegverkeer, zoals verwacht, geen verhoogd risico op gebouwschade door trillingen meebrengt. De door het wegverkeer opgewekte trillingssterkten zijn met een maximaal berekende trillingssterkte V_{top} van 0,17 verwaarloosbaar.

7.3.3.2 Toetsing trillingshinder (SBR-B)

Uit tabel 15 blijkt dat wegverkeer niet tot voelbare trillingen leidt. De berekende trillingssterkten V_{max} voor de onderzochte panden ligt onder de in de door SBR-B gehanteerde voelbaarheidsgrens. Daarmee is de langtijdgemiddelde trillingssterkte V_{per} in alle gevallen volgens berekening nul. Omdat wordt voldaan aan de SBR-B behoeven geen maatregelen te worden afgewogen.

7.4 Trillingen railverkeer plansituatie (gebruiksfase)

7.4.1 Uitgangspunten

De trillingsimmissie door reizigerstreinen is bepaald uit trillingsmetingen in de bodem op maaiveld op een afstand van 25m tot het spoor. Dit is gedaan nabij de spooronderdoorgang Voorpoort in Veenendaal, zie tabel 7. Op deze locatie zijn zowel de trillingsimmissie van de reizigerstreinen over standaard spoor alsook de hierop toe te passen toeslagen als gevolg van de aanwezigheid van het kunstwerk (onderdoorgang) bepaald.
Voor het aantal treinpassages zijn de in tabel 16 aangegeven intensiteiten (per periode per richting) aangehouden. De referentiesituatie geeft het huidige aantal treinpassages en de plansituatie het toekomstige aantal passages, na voltooiing van lopende spoorwerkzaamheden en het effectueren van het 'spoorboekloos rijden' op de lijn Utrecht - Arnhem. Te zien valt dat het aantal reizigerstreinen globaal verdubbelt. Goederentreinen komen in de referentiesituatie maar incidenteel voor en dat verandert in de plansituatie nauwelijks.

k:\doc\m\2019\047100\m2019047100r001v2.docx 02-10-2019

tabel 16: treinpassages Maarsbergen

Verbinding	Dag		Avond		Nacht	
	Ref	Plan	Ref	Plan	Ref	Plan
Intercity Utrecht - Arnhem v.v.	4.00	6.00	4.00	6.00	0.75	2.00
ICE Utrecht - Arnhem v.v.	0.64	1.00	0.79	1.00	0.32	0.32
Sprinter Utrecht – Ede v.v.	0.00	3.00	0.00	3.00	0.00	1.00
Sprinter Utrecht - Rhenen v.v.	2.00	2.00	2.00	2.00	0.75	0.75
Goederen Utrecht - Arnhem v.v.	0.10	0.07	0.05	0.08	0.04	0.05
Totaal per uur per richting	6.74	12.07	4.84	12.08	1.37	4.12
Totaal per periode per richting	81	145	27	48	15	33
Totaal per periode	162	290	55	97	30	66

7.4.2 Prognose

In bijlage 5 zijn de prognoseresultaten voor het railverkeer in de plansituatie opgenomen. Afgebeeld zijn de berekende trillingscontouren V_{top} (SBR-A) en V_{max} en V_{per} (SBR-B). In bijlage 6 zijn de berekende trillingscontouren voor de V_{max} in de referentiesituatie opgenomen.
De prognoseberekeningen zijn uitgevoerd voor de referentiesituatie zonder onderdoorgangen en de plansituatie met onderdoorgangen. In de referentiesituatie is al rekening gehouden met de verhoging van de vervoersintensiteit op deze lijn, zoals die voorafgaand aan dit project al was vastgesteld. In tabel 17 en tabel 18 zijn de prognoseresultaten per rekenpunt (pand) opgenomen.

tabel 17: trillingsprognose referentiesituatie (zonder onderdoorgangen) - Railverkeer

Adres		SBR-A (schade)				Bts (hinder)			
Nr.	Omschrijving	V_{top}	f_{dom} [Hz]	Grens-waarde	Voldoet	V_{max}	V_{per} (D)	V_{per} (A)	V_{per} (N)
4	Achter de kerk 4	0,28	8	3,3	Ja	0,14	0,044	0,044	0,025
E1	Engweg 1	0,44	8	3,3	Ja	0,22	0,070	0,070	0,040
7c	Engweg 7c	0,55	8	3,3	Ja	0,28	0,090	0,090	0,051
5b	Tuindorpweg 5b	0,45	8	3,3	Ja	0,23	0,073	0,073	0,041
8b	Tuindorpweg 8b	0,22	8	3,3	Ja	0,11	0,034	0,034	0,019
44a	Woudenbergseweg 44a (kantoor)	0,35	8	3,3	Ja	0,18	0,056	0,056	0,032
50	Woudenbergseweg 50 (kantoor)	0,29	8	3,3	Ja	0,15	0,047	0,047	0,027

tabel 18: trillingsprognose plansituatie (met onderdoorgangen) - Railverkeer

Adres		SBR-A (schade)				Bts (hinder)			
Nr.	Omschrijving	V_{top}	f_{dom} [Hz]	Grens-waarde	Voldoet	V_{max}	V_{per} (D)	V_{per} (A)	V_{per} (N)
4	Achter de kerk 4	0,28	8	3,3	Ja	0,14	0,044	0,044	0,025
E1	Engweg 1	0,50	8	3,3	Ja	**0,25**	0,079	0,079	0,045
7c	Engweg 7c	0,55	8	3,3	Ja	0,28	0,090	0,090	0,051
5b	Tuindorpweg 5b	0,49	8	3,3	Ja	**0,24**	0,077	0,077	0,044
8b	Tuindorpweg 8b	0,22	8	3,3	Ja	0,11	0,034	0,034	0,019
44a	Woudenbergseweg 44a (kantoor)	0,35	8	3,3	Ja	0,18	0,056	0,056	0,032
50	Woudenbergseweg 50 (kantoor)	0,29	8	3,3	Ja	0,15	0,047	0,047	0,027

Vergelijk van tabel 17 en tabel 18 toont dat er door de aanleg van de onderdoorgangen een trillingstoename is te verwachten in de panden Engweg 1 en Tuindorpweg 5b. De toename van de V_{max} bedraagt respectievelijk 12% en 6%. Voor de overige onderzochte panden is er geen toename. Ook de trillingssterkte V_{per} neemt in de plansituatie voor deze twee panden met dezelfde percentages toe, maar hiervoor is niet de procentuele toename leidend, maar de absolute trillingssterkte V_{per}. In de plansituatie is deze voor alle panden kleiner dan 0,1.

k:\doc\m\2019\047100\m2019047100r001v2.docx 02-10-2019

De trillingsverhoging die optreedt ter plaatse van de onderdoorgang heeft een puntbron karakter en deze verhoging neemt met toenemende afstand sneller af dan de trillingsopwekking van het standaard spoor dat een lijnbron karakter heeft. Op meer dan 50 m afstand is de trillingsimmissie van het standaard spoor daardoor bepalend. De trillingsopwekking van het standaard spoor is evenwel onveranderd, doordat de spoorconstructie verder niet wijzigt.

7.4.2.1 Toetsing schaderisico (SBR-A)

Uit tabel 17 blijkt dat railverkeer in de plansituatie geen verhoogd risico op gebouwschade door trillingen meebrengt. De door het railverkeer opgewekte trillingssterkten zijn met een maximaal berekende trillingssterkte V_{top} van 0,55 klein, minstens een factor 5 lager dan de grenswaarde.

7.4.2.2 Toetsing trillingshinder (Bts)

Uit tabel 18 blijkt dat railverkeer in de plansituatie op alle onderzochte panden tot licht voelbare trillingen kan leiden. Dit is ook in de huidige
(referentie)situatie al het geval, zoals is gebleken uit de uitgevoerde nulmetingen. Voor alle onderzochte panden in de plansituatie geldt dat:

- de V_{max} kleiner is dan de grenswaarde A2 van 0,4 in de nachtperiode;
- de toename van de V_{max} kleiner is dan 30%;
- de V_{per} voldoet aan de grenswaarde A3 van 0,1.

Daarmee wordt voldaan aan de Bts en is er geen maatregelafweging vereist.

8. Conclusies

8.1 Aanlegfase

In de aanlegfase is het inbrengen van de stalen damwanden langs het te ontgraven wegdeel de enige werkzaamheid met significante trillingsopwekking. Het inbrengen van de palen voor de landhoofden gebeurt met een trillingsarme techniek en de trekpalen onder de toeritten worden uitgevoerd als GEWI-ankers met eveneens beperkte trillingsopwekking.

De trillingssterkten tijdens het inbrengen van de damwanden zijn geprognosticeerd op een referentie trilblok met 1755 kN slagkracht. Mogelijk dat het werk geheel of deels uitgevoerd kan worden met aanmerkelijk minder slagkracht, hetgeen trillingshinder sterk kan beperken. Actualisatie van de prognose door de uitvoerder op basis van actuele slagkrachtgegevens is dan gewenst.

De prognoseberekeningen geven aan dat het intrillen van damwanden (met het referentieblok) een verhoogd schaderisico inhoudt en dat beperking van de slagkracht tijdens intrillen of een alternatieve inbrengmethode als het indrukken van damwandplanken gewenst is.
Het intrillen leidt ook tot hinder op posities waar de damwandstelling zich op minder dan 50 m afstand tot een woning bevindt. De daggemiddelde trillingssterkte V_{per} voldoet dan niet aan de streefwaarde uit de SBR-B. Deze situatie komt per pand hooguit één tot enkele dagen voor. Goede communicatie en beperking van de slagkracht, voor zover mogelijk, zijn noodzakelijk.

8.2 Wegverkeer plansituatie (gebruiksfase)

De trillingsopwekking van het wegverkeer in zowel verdiepte wegligging alsook bij standaard wegconstructie is gering en leidt volgens de berekeningen niet tot voelbare trillingen. Daarmee wordt voldaan aan de SBR-B en zijn trillingsreducerende maatregelen niet nodig.

8.3 Trillingen railverkeer plansituatie (gebruiksfase)

Het trillingsonderzoek op de locatie Voorport in Veenendaal heeft duidelijk gemaakt dat de overgang van aarden baan naar spoorligging op het kunstwerk (onderdoorgang) tot hogere trillingssterkten kan leiden. Omdat de verhoging te wijten is aan een stijfheidsovergang op één aanwijsbaar punt in het spoor heeft de extra trillingsopwekking het karakter van een puntbron en hierdoor neemt de trillingsverhoging met toenemende afstand tot het kunstwerk snel af. Op meer dan 50 m afstand is er geen verhoging meer waarneembaar ten opzichte van de trillingen van het standaard spoor.
Binnen een afstand van 50 m liggen alleen de voor het project aangekochte woningen Engweg 1 en Tuindorpweg 5b. In deze woningen nemen de trillingssterkten V_{max} in de plansituatie toe met respectievelijk 12% en 6%, maar blijven de trillingssterkten V_{per} evenwel voldoen aan de grenswaarde A3 van 0,1 uit de Bts.
Voor de overige onderzochte woningen is er geen trillingstoename in de plansituatie. Er hoeven dan ook geen maatregelen te worden overwogen.

ir. J. (Rob) Witte
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

k:\doc\m\2019\047100\m2019047100r001v2.docx 02-10-2019

Bijlage 1

Titel	Inventarisatie trillingsgevoelige bedrijven (SBR-C)

Woudenbergseweg 44a – Restaurant + woonhuis

Woudenbergseweg 50 – leegstaand kantoor

Woudenbergseweg 58 – “De Heeren Hendrik”

Woudenbergseweg 60 - verfwinkel/kleuradvies

Woudenbergseweg 5 – tweewielerzaak

Woudenbergseweg 7 – schildersbedrijf

Haarweg 6 – telefooncentrale

Tuindorpweg 4 - bakkerij

Tuindorpweg 8a – dienstverlenend bedrijf

Tuindorpweg 1b - Garagebedrijf

Bijlage 2

Titel	Nulmeting Engweg 1 en Tuindorpweg 5b

Nulmeting Engweg 1 en Tuindorpweg 5b
Meetdatum: 1 – 15 juli 2019
Meetsystemen: Sensornet

Bepaling H_{gebouw} Engweg 1 - Bts methode 2

Engweg 1	Passages n	Periode [dgn]	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	32 Hz	63 Hz
H_{gebouw} [dB]	45	1	8,0	1,3	9,8	7,3	22,6	10,5
Dom. richting fund			Y	Z	Z	Z	Z	Y
Dom. richting vloer			X	Y	Y	Y	X	X
Keren toegepast	377	14	0	1	3	365	8	0

Bepaling H_{gebouw} Tuindorpweg 5b - Bts methode 2

Tuindorpweg 5b	Passages n	Periode [dgn]	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	32 Hz	63 Hz
H_{gebouw} [dB]	90	1	2,7	7,9	14,4	14,4	15,4	0,2
Dom. richting fund			Y	Z	Z	Z	X	X
Dom. richting vloer			Y	X	Y	Y	Z	Z
Keren toegepast	398	14	0	1	6	181	4	206

Bepaling $V_{max,Bts}$ - conform naverwerkingsmethode LA.141001

Vmax,BTS				Fundatie		Verdieping	
Adres	Treintype	N	R [%]	Vmax,BTS	Vmax,BTS, gecorrigeerd	Vmax,BTS	Vmax,BTS, gecorrigeerd
Engweg 1	Reizigerstreinen	378	4,3%	0,157 / 104 dB	0,157 / 104 dB	0,378 / 112	0,378 / 112 dB
Engweg 1	Goederentreinen	5	27%	0,111 / 101 dB	0,142 / 103 dB	0,239 / 108	0,303 / 110 dB
Engweg 1	Samen	383	4,3%	0,158 / 104 dB	0,158 / 104 dB	0,379 / 112	0,379 / 112 dB
Tuindorpweg 5b	Reizigerstreinen	392	4,3%	0,108 / 101 dB	0,108 / 101 dB	0,243 / 108	0,243 / 108 dB
Tuindorpweg 5b	Goederentreinen	6	24,7%	0,096 / 100 dB	0,120 / 102 dB	0,299 / 110	0,373 / 111 dB
Tuindorpweg 5b	Samen	398	4,2%	0,109 / 101 dB	0,109 / 101 dB	0,246 / 108	0,246 / 108 dB

Bijlage 3

Titel	Trillingsprognose bouwwerkzaamheden
Omvang	2
Bron	Geomilieu versie 5.10 module trillingen
Toelichting	Intrillen damwanden – trillingscontouren bodem

Puntbronnen
Grids
Toetspunten
Vtop
0,0000 - 0,0500
0,0500 - 0,1000
0,1000 - 0,2000
0,2000 - 0,4000
0,4000 - 0,6000
0,6000 - 0,8000
0,8000 - 1,6000
1,6000 - 3,2000
3,2000 - 6,4000
6,4000 - 99,9000
0 m
80 m
schaal = 1 : 2000
T1
8b
T2
5b
T3
7c
E1
T4
T7
50
T6
4
T5
44a
Aanlegfase - Intrillen damwanden

Puntbronnen
Grids
Toetspunten
Vmax
0,0000 - 0,1000
0,1000 - 0,2000
0,2000 - 0,4000
0,4000 - 0,6000
0,6000 - 0,8000
0,8000 - 1,2000
1,2000 - 1,6000
1,6000 - 3,2000
3,2000 - 6,0000
6,0000 - 99,9000
0 m
80 m
schaal = 1 : 2000
8b
5b
7c
E1
50
4
44a
Aanlegfase - Intrillen damwanden

B.2019.0471
Maarsbergen onderdoorgang

Rapport: Resultatentabel[mm/s]
Model: Maarsbergen -Bouw v2
Resultatentabel totaalresultaten voor toetspunten
Groep: (hoofdgroep)

Naam	Omschrijving	Vtop	Vmax	Vper(d)	Vper(a)	Vper(n)	SBR-A	fdom	Bron(SBR-A)	SBR-B	Bron(SBR-B)
5b	Tuindorpweg 5b	2,824	1,812	1,046	0,000	0,000	Nee	16 Hz	T02	Nee	T02
E1	Engweg 1	2,411	1,543	0,891	0,000	0,000	Ja	16 Hz	T04	Nee	T04
4	Achter de kerk 4	0,929	0,578	0,334	0,000	0,000	Ja	8 Hz	T05	Nee	T05
50	Woudenbergseweg 50 [kantoor]	2,961	1,901	1,097	0,000	0,000	Nee	16 Hz	T05	Nee	T05
8b	Tuindorpweg 8b	1,650	1,047	0,605	0,000	0,000	Ja	16 Hz	T01	Nee	T01
7c	Engweg 7c	0,991	0,618	0,357	0,000	0,000	Ja	8 Hz	T03	Nee	T03
44a	Woudenbergseweg 44a [kantoor]	3,178	2,042	1,179	0,000	0,000	Nee	16 Hz	T07	Nee	T07

Bijlage 4

Titel	Trillingsprognose wegverkeer plansituatie
Omvang	2
Bron	Geomilieu versie 5.10 module trillingen
Toelichting	Gebruiksfase – trillingscontouren bodem

Lijnbronnen
Grids
Toetspunten
Vtop
0,0000 - 0,0500
0,0500 - 0,1000
0,1000 - 0,2000
0,2000 - 0,4000
0,4000 - 0,6000
0,6000 - 0,8000
0,8000 - 1,6000
1,6000 - 3,2000
3,2000 - 6,4000
6,4000 - 99,9000
0 m
80 m
schaal = 1 : 2000
8b
5b
7c
E1
50
4
44a
ProRail
Gebruiksfase - Wegverkeer

Lijnbronnen
Grids
Toetspunten
Vmax
0,0000 - 0,1000
0,1000 - 0,2000
0,2000 - 0,4000
0,4000 - 0,6000
0,6000 - 0,8000
0,8000 - 1,2000
1,2000 - 1,6000
1,6000 - 3,2000
3,2000 - 6,0000
6,0000 - 99,9000
0 m
80 m
schaal = 1 : 2000
8b
5b
7c
E1
50
4
44a
ProRail
Gebruiksfase - Wegverkeer

B.2019.0471
Maarsbergen onderdoorgang

Rapport: Resultatentabel[mm/s]
Model: Maarsbergen - weg - v2
Resultatentabel totaalresultaten voor toetspunten
Groep: (hoofdgroep)

Naam	Omschrijving	Vtop	Vmax	Vper(d)	Vper(a)	Vper(n)	SBR-A	fdom	Bron(SBR-A)	SBR-B	Bron(SBR-B)
5b	Tuindorpweg 5b	0,166	0,075	0,000	0,000	0,000	Ja	4 Hz	Weg	Ja	
E1	Engweg 1	0,153	0,069	0,000	0,000	0,000	Ja	4 Hz	Weg	Ja	
8b	Tuindorpweg 8b	0,143	0,064	0,000	0,000	0,000	Ja	4 Hz	Weg	Ja	
7c	Engweg 7c	0,111	0,048	0,000	0,000	0,000	Ja	4 Hz	Weg	Ja	
44a	Woudenbergseweg 44a [kantoor]	0,091	0,039	0,000	0,000	0,000	Ja	4 Hz	Weg	Ja	
50	Woudenbergseweg 50 [kantoor]	0,054	0,022	0,000	0,000	0,000	Ja	4 Hz	Weg	Ja	
4	Achter de kerk 4	0,047	0,018	0,000	0,000	0,000	Ja	4 Hz	Weg	Ja	

Bijlage 5

Titel	Trillingsprognose railverkeer plansituatie
Omvang	2
Bron	Geomilieu versie 5.10 module trillingen
Toelichting	Gebruiksfase – trillingscontouren bodem

Lijnbronnen
Puntbronnen
Grids
Toetspunten
Vtop
0,0000 - 0,0500
0,0500 - 0,1000
0,1000 - 0,2000
0,2000 - 0,4000
0,4000 - 0,6000
0,6000 - 0,8000
0,8000 - 1,6000
1,6000 - 3,2000
3,2000 - 6,4000
6,4000 - 99,9000
0 m
80 m
schaal = 1 : 2000
8b
5b
7c
E1
50
4
44a
ProRail
Gebruiksfase - Railverkeer

Lijnbronnen
Puntbronnen
Grids
Toetspunten
Vmax
0,0000 - 0,1000
0,1000 - 0,2000
0,2000 - 0,4000
0,4000 - 0,6000
0,6000 - 0,8000
0,8000 - 1,2000
1,2000 - 1,6000
1,6000 - 3,2000
3,2000 - 6,0000
6,0000 - 99,9000
0 m
80 m
schaal = 1 : 2000
8b
5b
7c
E1
50
4
44a
ProRail
Gebruiksfase - Railverkeer

B.2019.0471
Maarsbergen onderdoorgang

Rapport: Resultatentabel[mm/s]
Model: Maarsbergen - Spoor - v2
Resultatentabel totaalresultaten voor toetspunten
Groep: (hoofdgroep)

Naam	Omschrijving	Vtop	Vmax	Vper(d)	Vper(a)	Vper(n)	SBR-A	fdom	Bron(SBR-A)	SBR-B	Bron(SBR-B)
50	Woudenbergseweg 50 [kantoor]	0,294	0,147	0,047	0,047	0,027	Ja	8 Hz	KW1a	Ja	
44a	Woudenbergseweg 44a [kantoor]	0,350	0,177	0,056	0,056	0,032	Ja	8 Hz	KW1a	Ja	
8b	Tuindorpweg 8b	0,218	0,108	0,034	0,034	0,019	Ja	8 Hz	trein	Ja	
5b	Tuindorpweg 5b	0,492	0,244	0,077	0,077	0,044	Ja	8 Hz	kw2a	Ja	
7c	Engweg 7c	0,552	0,283	0,090	0,090	0,051	Ja	8 Hz	kw2a	Ja	
E1	Engweg 1	0,504	0,250	0,079	0,079	0,045	Ja	8 Hz	kw2a	Ja	
4	Achter de kerk 4	0,277	0,139	0,044	0,044	0,025	Ja	8 Hz	trein	Ja	

Bijlage 6

Titel	Trillingsprognose railverkeer referentiesituatie
Omvang	1
Bron	Geomilieu versie 5.10 module trillingen
Toelichting	Zonder onderdoorgangen - trillingscontouren bodem

B.2019.0471
Maarsbergen onderdoorgang

```
Rapport:    Resultatentabel[mm/s]
Model:      Maarsbergen - Spoor - huidig - v2
            Resultatentabel totaalresultaten voor toetspunten
Groep:      (hoofdgroep)
```

Naam	Omschrijving	Vtop	Vmax	Vper(d)	Vper(a)	Vper(n)	SBR-A	fdom	Bron(SBR-A)	SBR-B	Bron(SBR-B)
50	Woudenbergseweg 50 [kantoor]	0,294	0,147	0,047	0,047	0,027	Ja	8 Hz	trein	Ja	
44a	Woudenbergseweg 44a [kantoor]	0,350	0,177	0,056	0,056	0,032	Ja	8 Hz	trein	Ja	
8b	Tuindorpweg 8b	0,218	0,108	0,034	0,034	0,019	Ja	8 Hz	trein	Ja	
5b	Tuindorpweg 5b	0,452	0,230	0,073	0,073	0,041	Ja	8 Hz	trein	Ja	
7c	Engweg 7c	0,552	0,283	0,090	0,090	0,051	Ja	8 Hz	trein	Ja	
E1	Engweg 1	0,436	0,222	0,070	0,070	0,040	Ja	8 Hz	trein	Ja	
4	Achter de kerk 4	0,277	0,139	0,044	0,044	0,025	Ja	8 Hz	trein	Ja	