

Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen

Spooronderdoorgang N226, Maarsbergen - trillingsonderzoek aanleg- en gebruiksfase

Status	definitief
Versie	004
Rapport	M.2019.0471.00.R001
Datum	25 maart 2020

Colofon

Opdrachtgever	Provincie Utrecht
Contactpersoon opdrachtgever	De heer P. Schravendijk
Project Betreft Uw kenmerk	Provincie Utrecht / spooronderdoorgang N226, Maarsbergen Trillingsonderzoek -
Rapport Datum Versie Status	M.2019.0471.00.R001 25 maart 2020 004 definitief
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

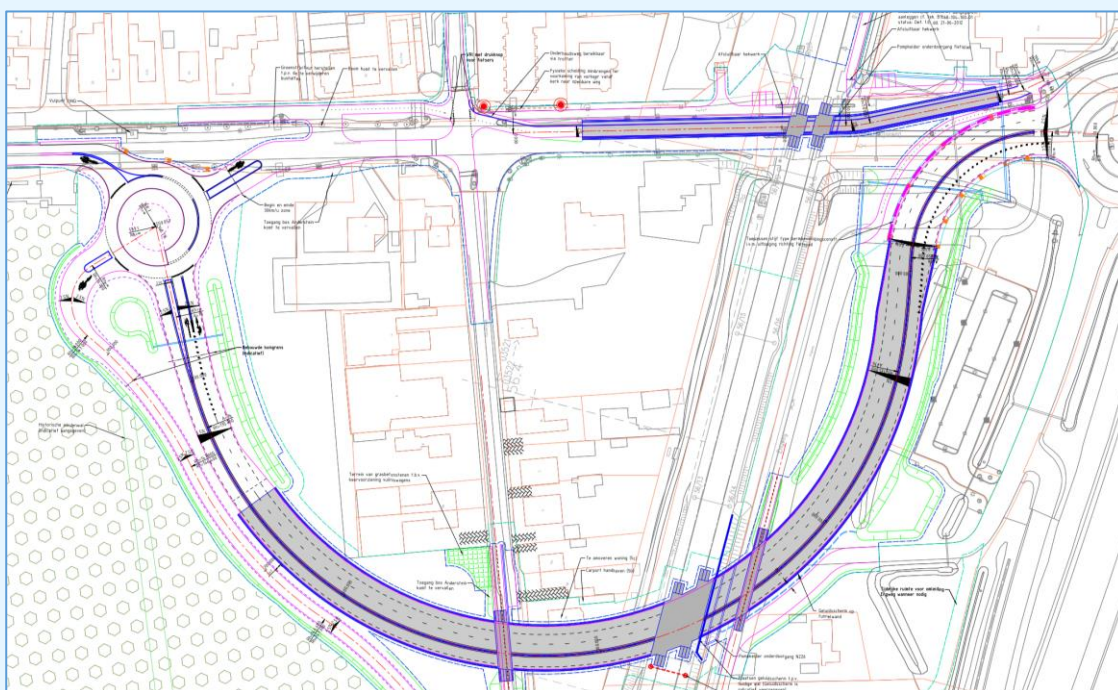
1. Inleiding	4
2. Toetsingskader	5
2.1 Schaderisico (SBR-A)	5
2.2 Trillingshinder wegverkeer (SBR-B)	6
2.3 Beleidsregel trillingshinder spoor (Bts)	6
2.4 Trillingshinder aanlegfase (SBR-B)	7
2.5 Verstoring door trillingen (SBR-C)	8
3. Onderzoeksaanpak	9
3.1 Inventarisatie trillingsgevoelige bedrijven	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
Bijlage 7	Notitie verkeerscijfers Maarsbergen

1. Inleiding

In opdracht van de Provincie Utrecht heeft DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. 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.

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 bouwcategorieën 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 bouwcategorieën.

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

Onderdeel	Frequentie [Hz]	Categorie 1	Categorie 2
Stijf punt begane grondniveau (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 $\gamma_t = 1.5$.

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 $\gamma_s = 1.7$.

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 wordt 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 constructiewijziging 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 DIN 4150 - Teil 2 en hanteert dezelfde weegcurve. De V_{eff} uit de SBR-B en de KB-waarden uit de DIN 4150 zijn daarmee onderling vergelijkbaar. De DIN geeft de volgende kwalificatie qua voelbaarheid van trillingen:

- $KB \geq 0,1$: juist voelbaar.
- $KB \geq 0,4$: goed voelbaar.
- $KB \geq 1,6$: sterk voelbaar.

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.

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 $V_{\max} = 6 \text{ mm/s}$) 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 $A1 < V_{\max} < A2$.

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 verkeersremmende 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-octaf)	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 1/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 bouwgerelateerde 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 het 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 meter 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 constructie¹ 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 trillingsmissie 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 standaard spoor, maar deze toeslag verschilt voor treinen die het kunstwerk oprijden en afrijden. Aan de afrijkant zien we in de frequentiebanden van 8 en 16 Hz een grotere toeslag dan aan de oprijkant.

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 Tuindorppweg 5b, beide 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 Tuindorppweg 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 Tuindorppweg 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
Tuindorppweg 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

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 $V_{\max, \text{Bts}}$ 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 Tuindorppweg 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 $V_{\max, \text{Bts}}$ 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 $V_{\max, \text{Bts}}$ van respectievelijk 0,38 en 0,37 op Engweg 1 en Tuindorppweg 5b lager dan de in de Bts opgenomen grenswaarde A_2 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.

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

waarin:

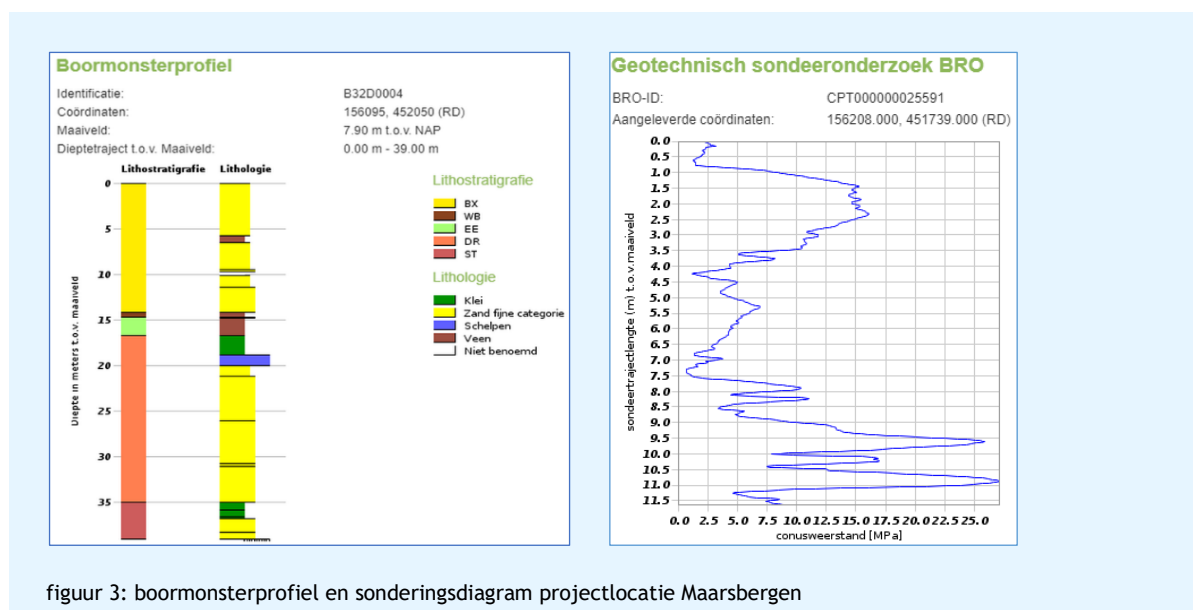
V_r	trillingsniveau op een afstand r van de bron	[mm/s]
V_{r_0}	trillingsniveau op referentie afstand r_0 van de bron	[mm/s]
r	afstand tussen bron en immissiepunt	[m]
r_0	referentie afstand tot de bron	[m]
n	parameter voor de beschrijving van de geometrische uitbreiding	[-]
α	parameter voor de beschrijving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

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 verwachte uitvoeringsmethoden is een scan gemaakt van de qua trillingen relevante werkzaamheden. Hieruit 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 6.800 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

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]	Grenswaarde	Bron	Voldoet	V_{max}	V_{per} (dag)	Bron
4	Achter de kerk 4	0,93	8	2,0	T5	Ja	0,58	0,334	T5
E1	Engweg 1	2,41	16	2,6	T4	Ja	1,54	0,891	T4
7c	Engweg 7c	0,99	8	2,0	T3	Ja	0,62	0,357	T3
5b	Tuindorppweg 5b	2,82	16	2,6	T2	Nee	1,82	1,046	T2
8b	Tuindorppweg 8b	1,65	8	2,0	T1	Ja	1,05	0,605	T1
44a	Woudenbergsseweg 44a (kantoor)	3,18	16	2,6	T5	Nee	2,04	1,179	T7
50	Woudenbergsseweg 50 (kantoor)	2,96	16	2,6	T5	Nee	1,90	1,097	T5

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 Tuindorppweg 5b, Woudenbergsseweg 44a en 50. Op het pand Engweg 1 wordt de grenswaarde net niet overschreden.

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 een tenminste 20% lagere slagkracht, 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 Tuindorppweg 8b, Woudenbergsseweg 44a en 50 en Achter de Kerk 4. Andere mogelijkheden om de benodigde slagkracht te verlagen zijn het voorbereiden 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 Tuindorppweg 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 (gebruiksfasen)

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 Definitieve notitie SWNL0258139 “Verkeerscijfers voor milieuonderzoeken ondertunneling spoor Maarsbergen” van 12 maart 2020, zie bijlage 7, 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.

tabel 14: verkeersintensiteiten Maarsbergen - peiljaar 2036

Voertuig	Wegvak	Totaal	Dag	Avond	Nacht
Motorvoertuigen	A-B	13.255			
	B-A	12.765			
	Totaal	26.020			
Zwaar verkeer	A-B	494	340	73	81
	B-A	471	323	70	78
	Totaal	965	663	143	159

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]	Grenswaarde	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	Tuindorppweg 5b	0,17	4	3,3	Ja	0,08	--	--	--	Ja
8b	Tuindorppweg 8b	0,14	4	3,3	Ja	0,06	--	--	--	Ja
44a	Woudenbergseweg 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 25 m 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.

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 prognoseberekningen 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]	Grenswaarde	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	Tuindorppweg 5b	0,45	8	3,3	Ja	0,23	0,073	0,073	0,041
8b	Tuindorppweg 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]	Grenswaarde	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	Tuindorppweg 5b	0,49	8	3,3	Ja	0,24	0,077	0,077	0,044
8b	Tuindorppweg 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 Tuindorppweg 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.

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 trillingsmissie 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 Voorpoort 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 Tuindorppweg 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.

Bijlage 1

Titel	Inventarisatie trillingsgevoelige bedrijven (SBR-C)
-------	---

Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen



Bron: Google

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



Tuindorpsweg 4 - bakkerij

Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen



Tuindorpweg 8a - dienstverlenend bedrijf



Tuindorpweg 1b - Garagebedrijf

Bijlage 2

Titel

Nulmeting Engweg 1 en Tuindorpweg 5b

Nulmeting Engweg 1 en Tuindorppweg 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} Tuindorppweg 5b - Bts methode 2

Tuindorppweg 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

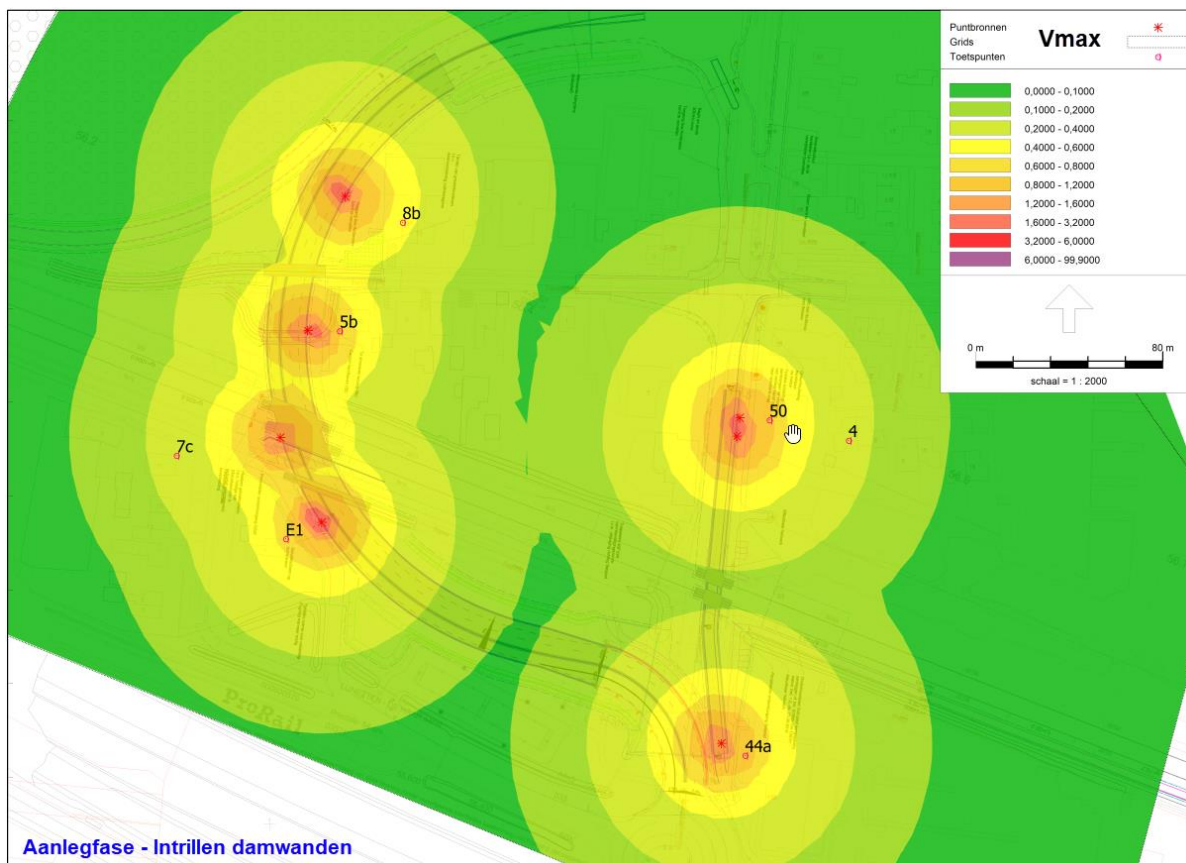
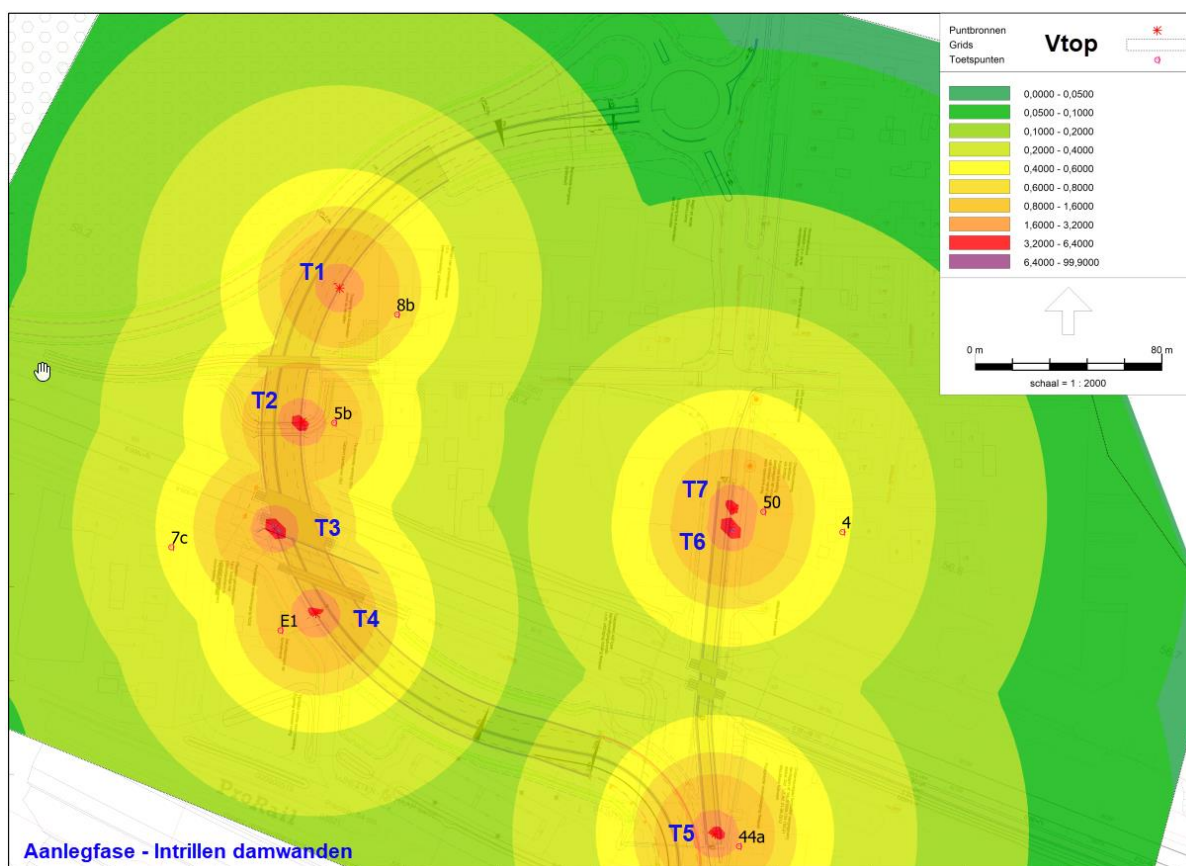
Bepaling $V_{\text{max,Bts}}$ - conform naverwerkingsmethode LA.141001

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
Tuindorppweg 5b	Reizigerstreinen	392	4,3%	0,108 / 101 dB	0,108 / 101 dB	0,243 / 108	0,243 / 108 dB
Tuindorppweg 5b	Goederentreinen	6	24,7%	0,096 / 100 dB	0,120 / 102 dB	0,299 / 110	0,373 / 111 dB
Tuindorppweg 5b	Samen	398	4,2%	0,109 / 101 dB	0,109 / 101 dB	0,246 / 108	0,246 / 108 dB

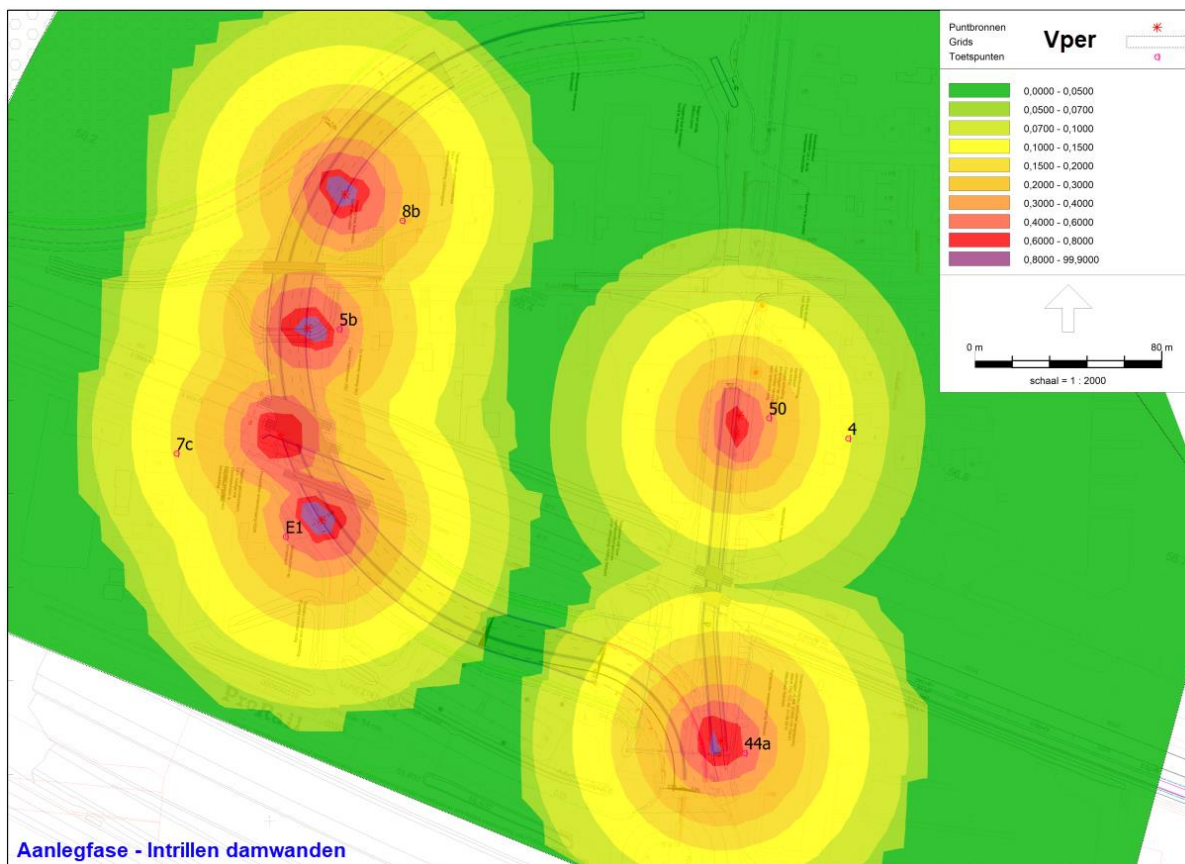
Bijlage 3

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

Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen



Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen



M.2019.0471

Maarsbergen onderdoorgang

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

Naam	Omschrijving	Vtop	Vmax	Vper (d)	Vper (a)	Vper (n)	SBR-A	fdom	Bron (SBR-A)	SBR-B	Bron (SBR-B)
5b	Tuindorppweg 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	Tuindorppweg 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

Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen



Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen



M.2019.0471

Maarsbergen onderdoorgang

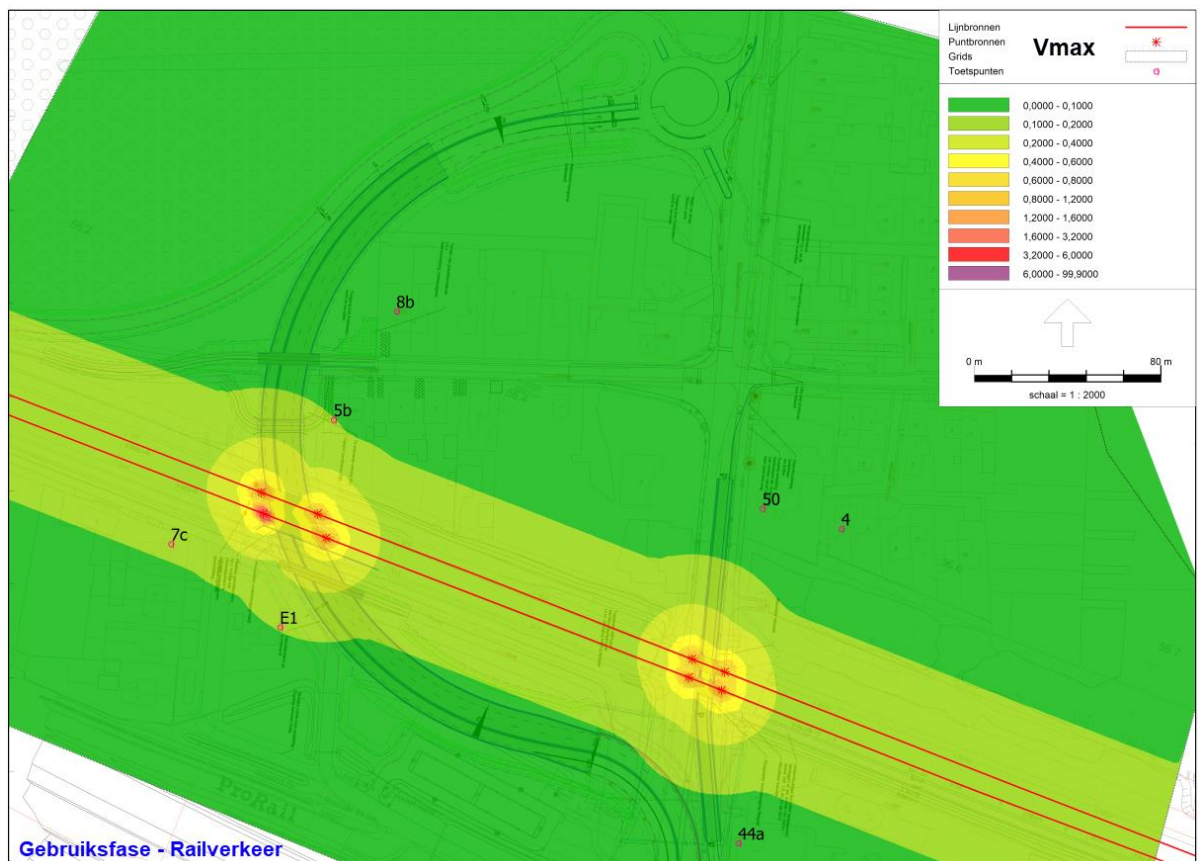
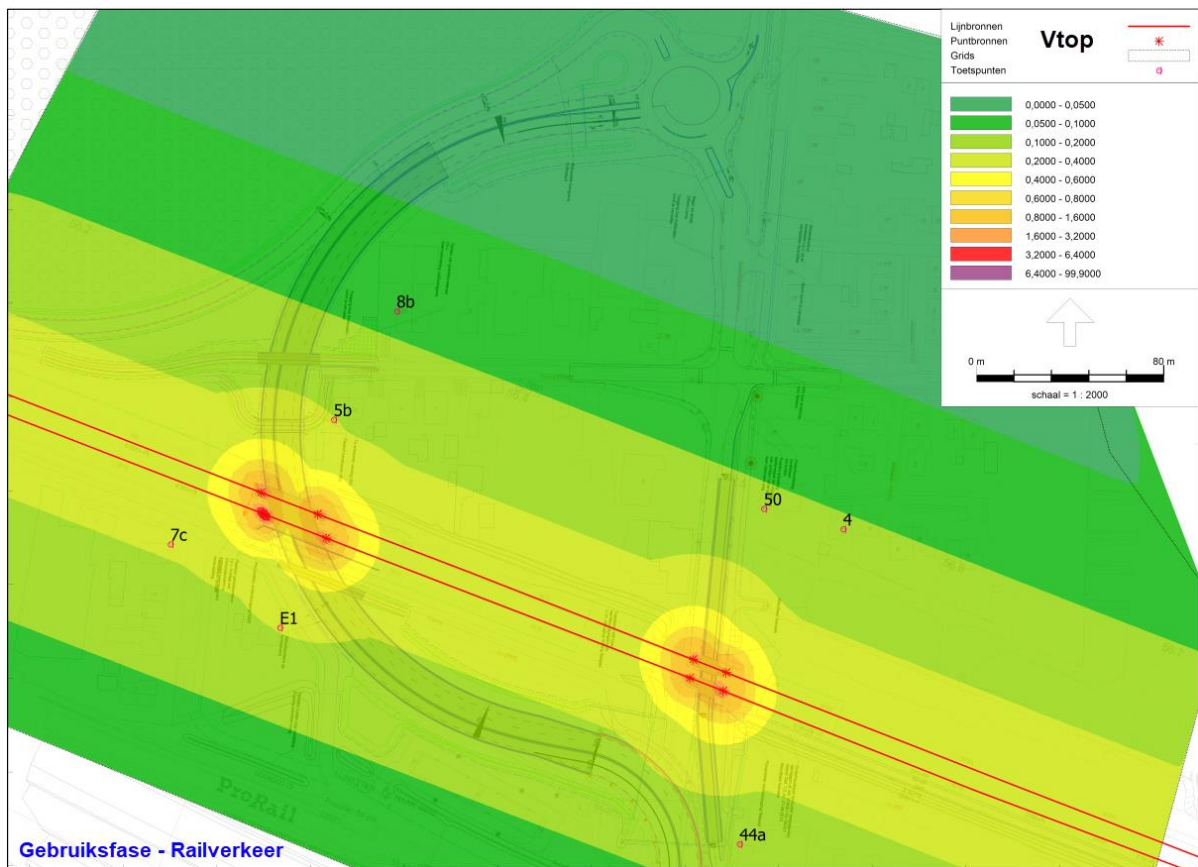
Rapport: Resultatentabel [mm/s]
Model: Kopie van Maarsbergen - weg - v3
Groep: Resultatentabel totaalresultaten voor toetspunten (hoofdgroep)

Naam	Omschrijving	Vtop	Vmax	Vper (d)	Vper (a)	Vper (n)	SBR-A	fdom	Bron (SBR-A)	SBR-B	Bron (SBR-B)
5b	Tuindorpsweg 5b	0,17	0,08	0,00	0,00	0,00	Ja	4 Hz	Weg	Ja	
E1	Engweg 1	0,15	0,07	0,00	0,00	0,00	Ja	4 Hz	Weg	Ja	
8b	Tuindorpsweg 8b	0,14	0,06	0,00	0,00	0,00	Ja	4 Hz	Weg	Ja	
7c	Engweg 7c	0,11	0,05	0,00	0,00	0,00	Ja	4 Hz	Weg	Ja	
50	Woudenbergseweg 50 [kantoor]	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	Ja	4 Hz	Weg	Ja	
4	Achter de kerk 4	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	Ja	4 Hz	Weg	Ja	
44a	Woudenbergseweg 44a [kantoor]	0,09	0,04	0,00	0,00	0,00	Ja	4 Hz	Weg	Ja	

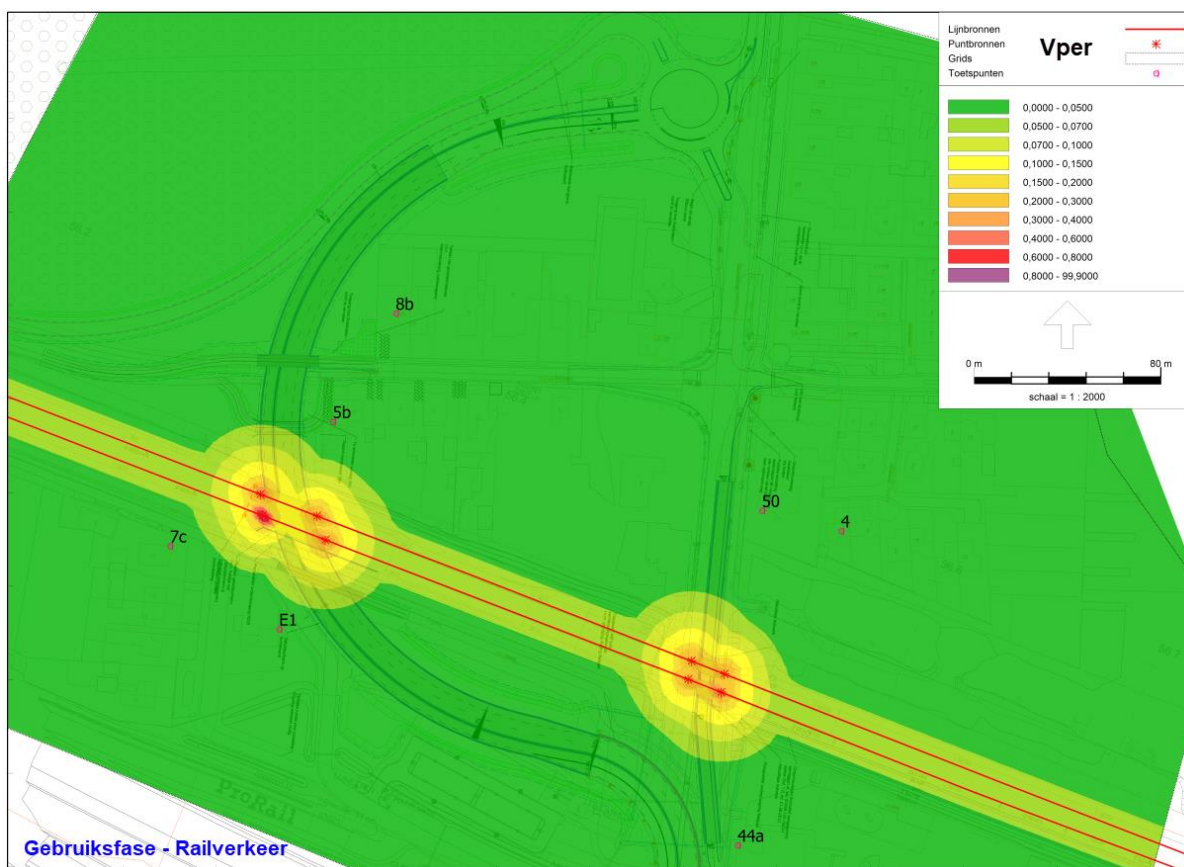
Bijlage 5

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

Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen



Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen



M.2019.0471

Maarsbergen onderdoorgang

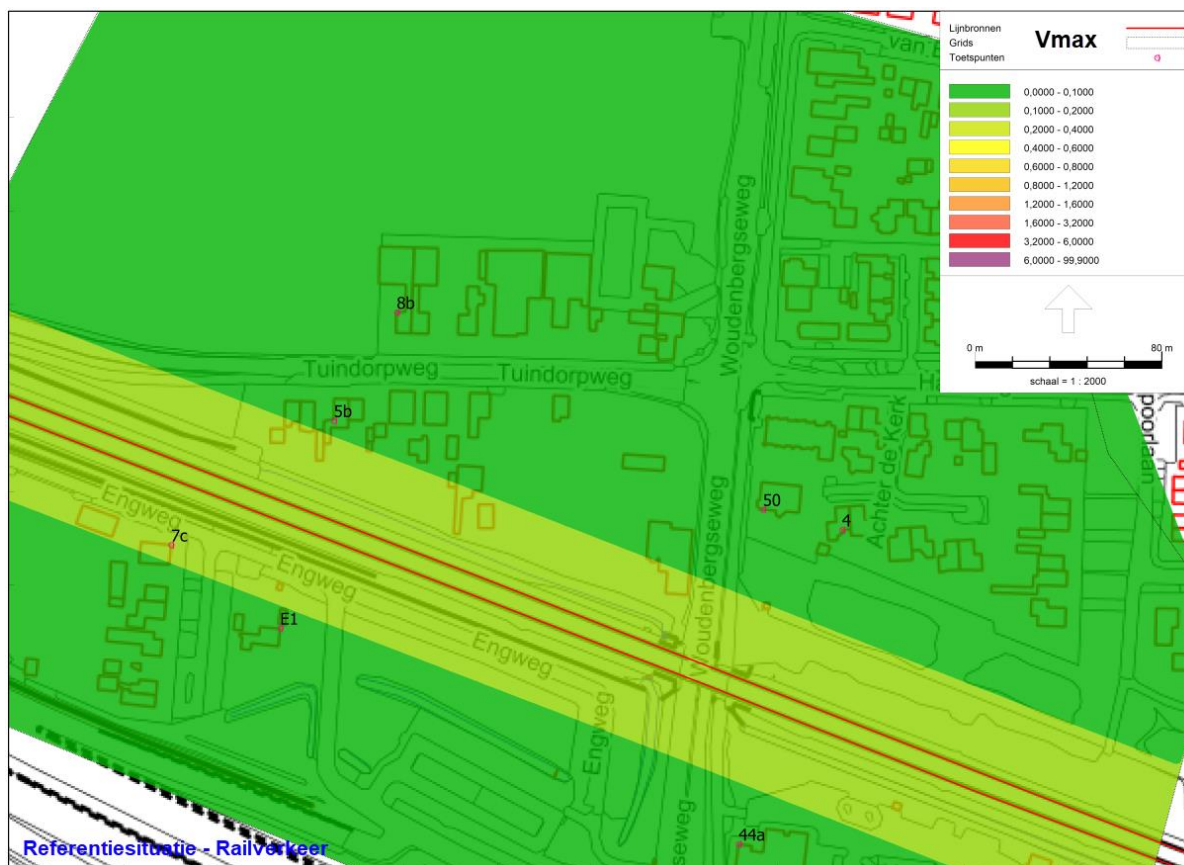
Rapport: Resultatentabel[mm/s]
 Model: Maarsbergen - Spoor - v2
 Groep: Resultatentabel totaalresultaten voor toetspunten (hoofdgroep)

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	Tuindorpsweg 8b	0,218	0,108	0,034	0,034	0,019	Ja	8 Hz	trein	Ja	
5b	Tuindorpsweg 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

Trillingsonderzoek spooronderdoorgang N226, Maarsbergen



M.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	Tuindorpsweg 8b	0,218	0,108	0,034	0,034	0,019	Ja	8 Hz	trein	Ja	
5b	Tuindorpsweg 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	

Bijlage 7

Titel	Notitie verkeerscijfers Maarsbergen
Omvang	14
Bron	Sweco
Toelichting	Document SWNL0258139, versie 12-3-2020

Definitieve notitie

Onderwerp: Verkeerscijfers voor milieuonderzoeken ondertunneling spoor Maarsbergen (actualisatie)

Projectnummer: 360661

Referentienummer: SWNL0258139

Datum: 12-03-2020

1 Inleiding

1.1 Inleiding

Met de regio, waaronder de provincie Utrecht, de gemeente Utrechtse Heuvelrug en het ministerie van Verkeer en Waterstaat is in december 2005 een overeenkomst gesloten om te komen tot drie ongelijkvloerse spoorkruisingen. Eén van die drie ongelijkvloerse spoorkruisingen is de spoorkruising in de provinciale weg N226 bij Maarsbergen.

Doel van het ongelijkvloers maken van de spoorkruising is het bevorderen van de verkeersveiligheid, de doorstroming en de leefbaarheid in het dorp.



Figuur 1-1 Impressie van de spoorkruising (bron: website provincie Utrecht)

Het project bevindt zich nu in de fase dat de laatste hand gelegd wordt aan het provinciale inpassingsplan. Hiervoor is het noodzakelijk conditionerende onderzoeken uit te voeren. Het betreft onderzoek naar luchtkwaliteit, geluidhinder, stikstof en trillingen. Voorafgaand hieraan is een verkeersmodelonderzoek uitgevoerd waarmee verkeersintensiteiten verkregen zijn. De verkeersintensiteiten uit het verkeersmodel zijn verrijkt waarmee deze geschikt gemaakt zijn als input voor de conditionerende onderzoeken.

1.2 Aanleiding

Deze notitie is een actualisatie van de notitie genaamd 'Verkeerscijfers t.b.v. milieuonderzoeken ondertunneling spoor Maarsbergen', d.d. 06-02-2019. Deze notitie is aangepast doordat nieuwe inzichten hier aanleiding toe gegeven hebben. Deze inzichten zijn o.a.:

- In het in 2019 gebruikte verkeersmodel is een overschatting van de woningbouwproductie in Woudenberg opgenomen.

- Het in 2019 gebruikte verkeersmodel onderschat de verkeershinder in de toekomstige situatie wanneer de spoorkruising gelijkvloers blijft (referentiesituatie). Ten behoeve van de voorliggende notitie is een analyse uitgevoerd om de verkeershinder door de gelijkvloerse spoorkruising zo realistisch mogelijk te modelleren.
- De maximumsnelheid in de tunnel is 60 km/uur. In 2019 is gerekend met 50 km/uur.

Hiernaast hebben nog enkele andere modelaanpassingen plaatsgevonden. Deze staan beschreven in de voorliggende notitie (hoofdstuk 2).

1.3 Leeswijzer

Deze is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2: Beschrijving van de uitgangspunten.
- Hoofdstuk 3: Modelvalidatie.
- Hoofdstuk 4: Duiding resultaten.
- Hoofdstuk 5: Eindproducten.

2 Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd om te komen tot toekomstige verkeersintensiteiten als input voor de conditionerende onderzoeken.

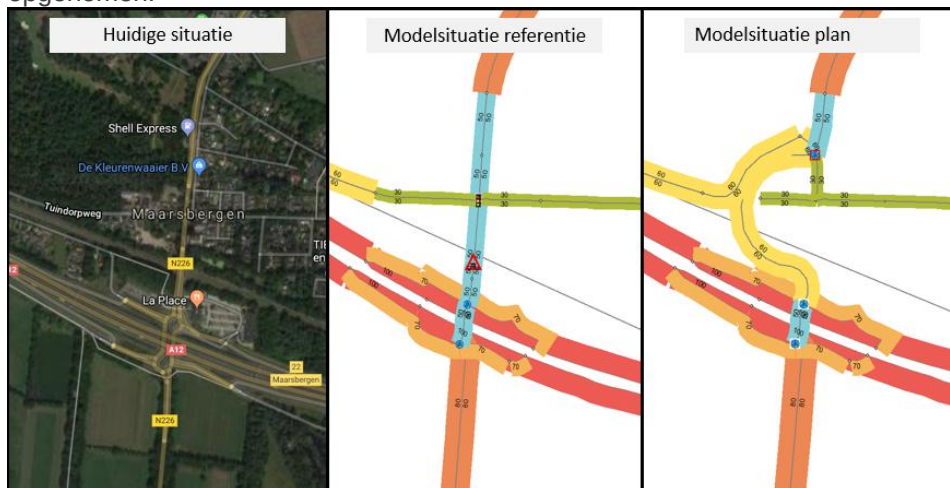
- Het gehanteerde VRU-model versie 3.4 kent de modeljaren 2015 en 2030 waarbij in 2030 de spoorkruising ongelijkvloers is. Bij het tot stand komen van de 2030-verkeersprognose is het hoge WLO2-groeiscenario gebruikt. Voor meer informatie over VRU-model versie 3.4 wordt verwezen naar de volgende website:
<https://www.utrecht.nl/fileadmin/uploads/documenten/bestuur-en-organisatie/publicaties/onderzoek-en-cijfers/2018-10-rapport-verkeersmodelregio-utrecht-VRU3-4.pdf>
- Tijdens de actualisatie van het verkeersonderzoek (oktober 2019) is het VRU-model geactualiseerd naar de meest recente inzichten.

De volgende wijzigingen zijn door Sweco in 2019 in het originele VRU-model aangebracht:

- *Sociaal-economische gegevens van de gemeente Woudenberg planjaar 2030*
 - *Woudenberg aantallen woningen o.b.v. niveau 2015 + toevoeging Woudenberg-Oost (1.160 woningen)*
- *Sociaal-economische gegevens van Maarsbergen planjaar 2030*
 - *Maarsbergen aantallen woningen op niveau 2015*
 - *Maarsbergen aantallen arbeidsplaatsen op niveau 2015 + toevoeging Marezhof (90 woningen). 47 woningen hiervan waren eind 2018 reeds gerealiseerd.*
- *De verschillen t.o.v. de vulling van het VRU-model in februari 2019 is als volgt:*
 - *Woudenberg: -1005 woningen*
 - *Maarsbergen: - 77 woningen, -181 arbeidsplaatsen*
- *Rotonde N224-N226 in capaciteit uitgebreid tot turborotonde met by-passes conform plannen provincie Utrecht.*
- *Maximumsnelheid Tuindorppweg en Haarweg binnen de bebouwde kom aangepast naar 30 km/uur. Dit was ten onrechte 50 km/uur. Dit is zowel in het basisjaar 2015 als in het planjaar 2030 gecorrigeerd.*
- *Vrachtverbod vanaf het jaar 2020 op het westelijke deel van de Haarweg vanwege uitbreiding bedrijventerrein Maarsbergen-Oost.*
- *De gelijkvloerse spoorwegovergang bij Maarsbergen is 'nauwkeuriger' gemodelleerd door het opnemen van een VRI op deze locatie die het verkeer een deel van de tijd tegenhoudt.*

- Handmatig is de verkeersproductie van de volgende ontwikkelingen toegevoegd. Dit is gedaan door de verrijkte verkeersintensiteiten in de shapefiles aan te passen. Voor deze handmatige aanpassing is gekozen omdat hiermee aangesloten wordt op de werkwijze die gevolgd is bij de actualisatie van het verkeersonderzoek (oktober 2019).
 - Verkeersproductie Hotel Nuijssenborgh (vanaf 2026) conform de verkeersberekening uitgevoerd ten aanzien van bestemmingsplan Grote Bloemheuvel (d.d. 24-01-2014). Het betreft 750 mvt per werkdagemaal. Een omrekenfactor weekdag/werkdag van 1,0 is gehanteerd.
 - Verkeersproductie realisatie 4,7 ha bedrijvigheid en 24 woningen conform verkeersberekeningen bestemmingsplan Uitbreiding bedrijventerrein Maarsbergen-Oost (Verkeersintensiteiten; prognose, verdeling en advies, d.d. 5-11-2017). Het betreft 794 mvt per werkdagemaal. Rekening is gehouden met het volgende oplevertempo: 2020 (50%), 2021 (25%) en 2022 (25%). Een omrekenfactor weekdag/werkdag van 0,9 is gehanteerd.

- Voor de analyse naar de verkeershinder door een gelijkvloerse spoorkruising is informatie van ProRail gebruikt. Het betreft hier 'dichtligtijden'¹ van de huidige en de toekomstige dienstregeling².
- De volgende zes situaties zijn modelmatig doorgerekend waarna de resulterende verkeersintensiteiten zijn verrijkt waarmee deze geschikt gemaakt zijn als input voor de conditionerende onderzoeken.
 - a. Huidige infrastructuur (referentie): 2020 en 2026
 - b. Nieuwe infrastructuur (plansituatie met ondertunneling en 'Westvariant'): 2020, 2026, 2030 en 2036
- Het gehanteerde studiegebied is in Figuur 2-1 zichtbaar. Voor het modelleren van de infrastructuur in de plansituatie zijn de spoortunnel en de Westvariant ingebouwd. De maximumsnelheid in de tunnel is 60 km/uur. In bijlage 1 is Figuur 2-1 uitvergroot opgenomen.



Figuur 2-1 Studiegebied en netwerk verkeersmodel VRU 3.4 (links: luchtfoto, midden: netwerk referentie, rechts: netwerk plansituatie)

- Het VRU-model 3.4 kent de modeljaren 2015 en 2030. De herkomst/bestemmingsmatrices (HB-matrices) van de tussenliggende jaren (2020 en 2026) zijn bepaald op basis van lineaire interpolatie. De verkeersintensiteiten van de wegen binnen het studiegebied zijn verkregen door de HB-matrices toe te delen aan het netwerk gebruikmakend van het in het modelproject aanwezige toedeelscript. De intensiteiten voor het planjaar 2036 voor de plansituatie zijn op een alternatieve wijze bepaald omdat er voor dit specifieke jaar geen HB-matrices beschikbaar zijn (ook niet voor het jaar 2040). Hiervoor is een groeipercentage bepaald aan de hand van het VRU-model versie 3.3GUO (het vóór versie 3.4 vigerende model). In dit model is naast een 2030-prognose ook een 2040-prognose beschikbaar. De jaarlijkse groei van 2030 naar 2040 is op basis hiervan afgeleid. De groei tussen 2030 en 2040 is 1.1% per jaar. Het verrijken van de modelintensiteiten (weekdag intensiteiten licht, middelzwaar vracht, zwaar vracht voor de dag-, avond- en nachtperiode) heeft plaatsgevonden op basis van het toepassen van de in het VRU-model beschikbare procedure. In deze procedure worden factoren toegepast om de werkdagintensiteiten uit het VRU-model om te rekenen naar de specifieke weekdagintensiteiten ten behoeve van de conditionerende onderzoeken.

¹ Dit is de tijd dat de overweg gesloten is voor autoverkeer

² Overweg 56.5 te Maarsbergen.xlsx

3 Modelvalidatie

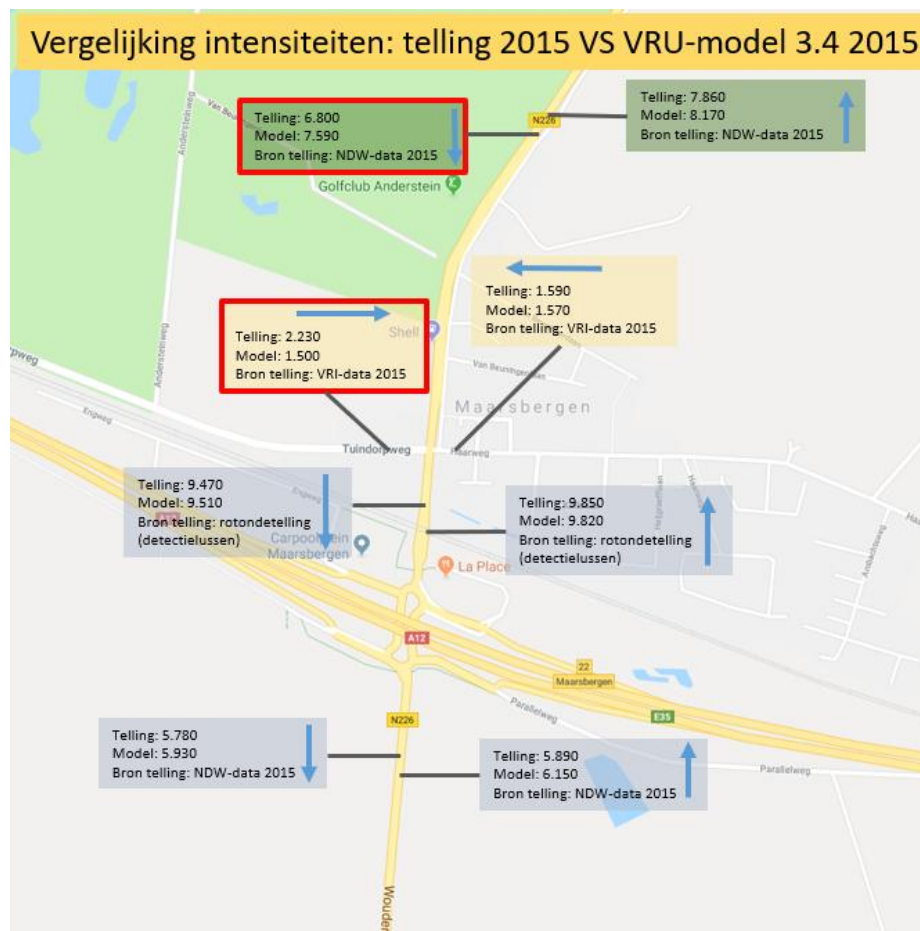
3.1 Algemeen

Belangrijk onderdeel van het onderzoek om te komen tot de verrijkte verkeerscijfers ten behoeve van de conditionerende onderzoeken is de modelvalidatie. Het VRU-model versie 3.4 is gevalideerd op de volgende onderdelen:

- verkeersintensiteiten basissituatie;
- verkeershinder gelijkvloerse spoorkruising.

3.2 Verkeersintensiteiten basissituatie

Ter validatie van het VRU-model zijn de intensiteiten in het basisjaar 2015 vergeleken met gemeten intensiteiten in 2015. Er is specifiek gekeken naar de intensiteiten op de wegvakken van de N226, Tuindorpweg en Haarweg, omdat hier gemeten intensiteiten van beschikbaar zijn. Het resultaat van deze vergelijking is samengevat in Figuur 3-1.



Figuur 3-1 Vergelijking intensiteiten: telling 2015 VS VRU-model 3.4 2015 (basisjaar)

Zichtbaar is dat de verschillen klein zijn. Aan de noordkant van Maarsbergen op de N226 zijn de verschillen het grootst en liggen de tellingen lager dan de model-intensiteiten. Daarnaast zien we een verschil van ongeveer dezelfde omvang op de Tuindorppweg richting de N226. Hier is de telling juist hoger dan het model aangeeft. Een deel van de verklaring van deze verschillen zit in de vertraging die in werkelijkheid ontstaat voor de spoorkruising en de resulterende fileterugslag tot voorbij de kruising met de Tuindorppweg/Haarweg. Dagelijks staan er wachtrijen op de N226 voor de spoorkruising en voor de kruising met de Tuindorppweg/Haarweg. Dit blijkt ook uit Figuur 3-2 (bron: Google Maps, typisch verkeer maandag 17:40). Het is door deze wachtrij aannemelijk dat verkeer de file op de N226 probeert te omzeilen door via de Andersteinweg en de Tuindorppweg 'vooraan' in de wachtrij voor de spoorkruising aan te sluiten. Het model voorspelt deze vertraging in mindere mate, waardoor het verkeer in het model in mindere mate omrijdt om de file te omzeilen. Dit verschil uit zich in de geconstateerde verschillen in intensiteiten.



Figuur 3-2 Verkeerssituatie rondom Maarsbergen

Voor deze twee punten (rood omkaderd in Figuur 3-1) is hierdoor een correctie toegepast op de intensiteiten voor alléén de twee referentiesituaties. Hiervoor zijn de intensiteiten gecorrigeerd met het relatieve verschil dat voor 2015 waargenomen is op beide wegvakken. Hiermee komen de modelintensiteiten beter overeen met de gemeten intensiteiten. Deze correctie is niet doorgevoerd op de intensiteiten in de plansituaties, omdat de vertraging op de N226 dan niet meer optreedt vanwege het ongelijkvloers zijn van de spoorkruising. Deze correctie is dan niet nodig.

3.3 Verkeershinder gelijkvloerse spoorkruising

In de toekomstmodellen 2020, 2026 en 2030 met de huidige infrastructuur blijft er hinder voor het verkeer ontstaan doordat de spoorkruising gelijkvloers is vormgegeven. Na het vergelijken van de intensiteiten op de spoorwegovergang tussen plansituatie 2030³ en referentiesituatie 2030 bleek dat het VRU-model een afname van intensiteiten voorspelde door het ongelijkvloers maken van de spoorkruising. Dit is onlogisch en de reden geweest een analyse uit te voeren naar de 'dichtligtijden'. Data van ProRail op basis van de 2019-dienstregeling is hiervoor gebruikt. Het doel van deze analyse is te achterhalen hoeveel procent van de tijd het verkeer minimaal gestremd is doordat de slagbomen bij de gelijkvloerse spoorkruising gesloten zijn. Uit deze analyse blijkt dat het verkeer minimaal 34% van de tijd gestremd is. In één uur is dit dus ruim 20 minuten. Op basis van deze feitelijke constatering is het VRU-model aangepast om de verkeershinder in de referentiemodellen voor de jaren 2020 en 2026 zo realistisch mogelijk te modelleren (voor details zie het tekstvak op de volgende pagina). In bijlage 2 van deze notitie is de analyse van de dichtligtijden opgenomen.

³ 2030 is voor deze analyse gekozen omdat dit het prognosejaar is dat in het VRU-model beschikbaar is.

De verkeershinder door de spoorkruising is gemodelleerd door het invoeren van een VRI met een cyclustijd van 120 sec. 34% stagnatie levert een groen/rood-verdeling op van 80/40. Met deze instelling is het verschil in intensiteiten onderzocht tussen de referentiesituatie en de plansituatie. Met deze instelling bleek echter nog steeds dat er een afname van intensiteiten door realisatie van het plan verkregen wordt. Met andere woorden: de verkeershinder door de gelijkvloerse spoorkruising is in het model onrealistisch laag. Door deze constatering is de verhouding groen/rood gekalibreerd om enerzijds een toename van intensiteiten door planrealisatie te verkrijgen en anderzijds een maximale uurintensiteit op de gelijkvloerse spoorkruising te verkrijgen van ongeveer 800 mvt/uur. 800 mvt/uur is de gemeten capaciteit op de spoorkruising. Uit deze analyse bleek dat bij een groen/rood-verdeling van 60 sec. groen en 60 rood de afgewikkelde maximale intensiteit ongeveer 800 mvt/uur is, wat overeenkomt met de gemeten capaciteit. Ook wordt in de plansituatie een hogere intensiteit geprognosticeerd dan in de referentiesituatie. Dit levert plausible verkeersintensiteiten op. De VRI-instelling met 60 sec. groen en 60 sec. rood is daarom voor het doorrekenen van referentiesituaties gebruikt.

Frequentieverhoging treinen

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is voornemens de frequentie van de treinen in 2022 te verhogen van 18 treinen per uur naar 22 treinen per uur op het traject Utrecht – Arnhem⁴. Om te achterhalen of de mate van stagnatie hierdoor toeneemt (dit geldt uiteraard alleen voor de referentiesituaties 2020 en 2026) zijn ook voor deze situatie de dichtligtijden van ProRail met verhoogde frequentie geanalyseerd. Resultaat van de analyse is dat de toename in aantallen treinpassages door optimalisatie in de dienstregeling geen gevolgen heeft voor de mate van stagnatie voor het verkeer. Daarom is in het VRU-model in de referentiesituatie 2020 en 2026 dezelfde instelling gehanteerd voor het modelleren van de gelijkvloerse spoorkruising. In bijlage 2 van deze notitie is de analyse van de dichtligtijden opgenomen.

3.4 Stagnatiefactoren

Een stagnatiefactor beschrijft op wegvakniveau in welke mate de verkeersdoorstroming gehinderd wordt. Voor onderzoek naar luchtkwaliteit is dit van belang. Gebleken is dat het VRU-model de vertraging door de gelijkvloerse spoorkruising in mindere mate voorspelt dan dat de vertraging in werkelijkheid ervaren wordt. Voor specifiek de gelijkvloerse spoorwegovergang in de referentiesituatie 2020 en 2026 is hierom een alternatieve methode gebruikt voor het berekenen van de stagnatiefactor. Hiervoor is gebruikgemaakt van de verkeersafwikkeling zoals waargenomen in het microsimulatiemodel dat specifiek voor het in kaart brengen van de verkeerskundige effecten van de ondertunneling van het spoor door Sweco in 2015 is ontwikkeld voor de huidige situatie (2015) en voor de referentiesituatie (huidige infrastructuur in 2030). Op basis van de vertraging door de gelijkvloerse spoorwegovergang in dit micromodel is de stagnatiefactor volgens onderstaande tabel bepaald.

⁴ Voor meer details hierover wordt verwezen naar: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-881554.pdf>

Omschrijving situatie ⁹	% stagnerend verkeer
Geen stagnatie	0%
Stagnatie gedurende een klein deel van de ochtend- of avondspits (minder dan 1 uur)	7%
Stagnatie gedurende een klein deel van de ochtend- en avondspits (minder dan 2x 1 uur)	15%
Stagnatie gedurende een groot deel van de ochtend- of avondspits (bijna 2 uur)	15%
Stagnatie gedurende de gehele ochtend- of avondspits (meer dan 2 uur)	20%
Stagnatie gedurende een groot deel van de ochtend- en avondspits (bijna 2x 2 uur)	30%
Stagnatie gedurende de gehele ochtend- en avondspits (meer dan 2x 2 uur)	40%

Figuur 3-3 Bepaling van het percentage stagnerend verkeer (Bron: Kenniscentrum InfraMil⁵)

Zo is inzicht verkregen voor de situaties 2015 (huidige infra) en 2030 (huidige infra). Door interpolatie zijn de stagnatiefactoren van de jaren 2020 en 2026 bepaald.

3.5 Openbaar vervoer

Voor het openbaar vervoer is rekening gehouden met de volgende buslijnen: 280, 82, 383. Deze zijn handmatig toegevoegd aan de shape-bestanden.



Figuur 3-4 Buslijnen in het gebied

3.6 Conclusie modelvalidatie

De validatie van het model heeft geleid tot aanpassing van het model ten aanzien van de modellering van de spoorwegovergang. Dit heeft geresulteerd in een realistische capaciteit van ongeveer 800 mvt/uur in de referentiesituatie en een afname van de verkeersintensiteiten op de N226.

Daarnaast zijn er correcties toegepast op de intensiteiten in de resulterende shapefiles:

- aanpassing van de intensiteiten op twee wegvakken in de referentiesituatie;
- aanpassing stagnatiefactoren op basis van resultaten microsimulatiemodel in de referentiesituatie;
- handmatig toevoegen busintensiteiten van de lijnen 280, 82, 383.

Modelonvolkomenheden zijn hiermee onderkend en verholpen.

⁵ <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/luchtkwaliteit/slag/nsi-rekentool/handleiding/algemeen/bestanden/wegsegmenten/congestie/>

4 Duiding resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten (intensiteiten en stagnatiefactoren) vergeleken tussen de referentiesituatie en de plansituatie voor het prognosejaar 2030. We presenteren hiervoor de intensiteiten en de stagnatiefactor ter hoogte van het spoor voor het jaar 2030. De waarden in tabel 4-1 zijn overgenomen uit de shapefiles en betreffen dus de verrijkte intensiteiten waar de correcties reeds op toegepast zijn (mvt/etmaal weekdagen).

Tabel 4-1 *Vergelijk (referentiesituatie 2030 met plansituatie 2030)*

	Referentiesituatie	Plansituatie
Intensiteit	23.400	24.400
Stagnatiefactor	37%	7%

Zichtbaar is dat:

- door het realiseren van het plan de intensiteiten met 1.000 mvt/etmaal toenemen.
- de mate van stagnatie afneemt van 37% naar 7%. De reden dat de stagnatie niet naar 0% daalt is de aanwezigheid van aangrenzende kruispunten zoals de kluifrotonde bij de aansluiting op de A12.

Eén van de voornaamste redenen om de verkeerscijfers te actualiseren was de eerder voorspelde, maar onlogische, afname van verkeer op de N226 ter hoogte van de spoorkruising door realisatie van de spoortunnel. Uit bovenstaande tabel blijkt dat dit niet meer het geval is. Door het realiseren van het plan nemen de intensiteiten met 1.000 mvt/etmaal toe. Dit is verklaarbaar.

5 Eindproducten

Naast de voorliggende notitie is het eindproduct een set van 7 shape-bestanden met hierin de verrijkte verkeersgegevens aangevuld met de stagnatiefactoren. De shape-bestanden zijn als volgt genaamd:

Referentiesituatie

- vru34_0_2030_ref_milieu_360661_sim_V2_milieu_nabewerking²
- vru34_1_2020_REF_V2_milieu_nabewerking
- vru34_3_2026_REF_V2_milieu_nabewerking

Plansituatie

- vru34_0_2030_plan_milieu_360661_milieu_nabewerking
- vru34_0_2036_plan_milieu_360661_milieu_nabewerking
- vru34_2_2020_PLAN_milieu_nabewerking
- vru34_4_2026_PLAN_milieu_nabewerking

Deze bestanden zijn opgeleverd in een zip-bestand (Verrijkte verkeersgegevens project Maarsbergen geactualiseerd 20200227.zip). De bestanden hebben de datumstempel 26-02-2020. Daarnaast zijn etmaalplots opgeleverd van de modellen 2020, 2026 en 2030. Dit zijn de verkeersintensiteiten die rechtstreeks uit het VRU-verkeersmodel komen. Het betreffen hier mvt/werkdag-etmaal. Correcties hierop hebben als nabewerking⁶ plaatsgevonden op de shapefiles en zijn dus niet in deze pdf-plots opgenomen.

- 11_Referentie_2020_Maarsbergen_etmaal_V2
- 21_Plansituatie_2020_Maarsbergen_etmaal
- 31_Referentie_2026_Maarsbergen_etmaal_V2
- 41_Plansituatie_2026_Maarsbergen_etmaal
- 51_Referentie_2030_Maarsbergen_etmaal_V2
- 61_Plansituatie_2030_Maarsbergen_etmaal

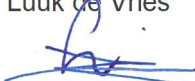
Van de projectsituatie 2036 is geen etmaalplot beschikbaar. De intensiteiten van deze situatie zijn afgeleid uit de situatie 'plansituatie_2030'. Een verkeersgroei van 1,1% per jaar is hierop toegepast. De shapefile van deze situatie is onderdeel van de opgeleverde eindproducten.

⁶ De volgende nabewerkingen hebben plaatsgevonden: Correcties intensiteiten o.b.v. verschillen in basisjaar t.o.v tellingen, toevoegen verkeersproductie hotel en bedrijventerrein Maarsbergen-Oost, toevoegen intensiteiten bussen, correctie stagnatiefactor o.b.v. microsimulatie 'referentiesituatie 2030'

Verantwoording

Titel	Verkeerscijfers voor milieuonderzoeken ondertunneling spoor Maarsbergen
Projectnummer	360661
Referentienummer	SWNL0258139
Revisie	D1
Datum	12-03-2020

Auteur	Jeroen de Wit
E-mailadres	jeroen.dewit@sweco.nl

Gecontroleerd door	Luuk de Vries
Paraaf gecontroleerd	

Goedgekeurd door	Martijn van Rij
Paraaf goedgekeurd	

Bijlage 2 Analyse dichtligtijden

Resultaat analyse van data ProRail huidige dienstregeling

Sluiting	Sluiten gestart	Geopend	Duur dicht s.
1	3727	3806	79
2	3861	3973	112
3	4119	4197	78
4	4507	4588	81
5	4627	4695	68
6	4940	5044	103
7	5300	5375	75
8	5527	5606	79
9	5661	5773	112
10	5919	5997	78
11	6307	6444	137
12	6740	6810	70
13	6819	6888	70
14	7100	7175	75

Totale 'dichtligtijd' in minuten per uur 20,2

Resultaat analyse van data ProRail uit toekomstige dienstregeling na frequentieverhoging

Sluiting	Sluiten gestart	Geopend	Duur dicht s.
1	3830	3920	90
2	4057	4129	71
3	4153	4223	69
4	4268	4336	68
5	4444	4531	87
6	4602	4666	64
7	4838	4909	71
8	5060	5156	96
9	5630	5720	90
10	5857	5929	71
11	5953	6023	69
12	6244	6331	87
13	6345	6414	69
14	6422	6491	70
15	6638	6709	71
16	6860	6956	96

Totale 'dichtligtijd' in minuten per uur 20,7