

Nieuwbouw UWV-locatie Koninginnelaan

datum 4 oktober 2022
 vestiging Arnhem
 uw kenmerk -
 ons kenmerk M.2019.1507.01.N001
 2e lezer/secr. HJA|HW

project Knevel/Nieuwbouw Tunnelweg, Nijmegen
 betreft Trillingsonderzoek
 versie 002
 auteur ing. R.G. (Reinoud) Fennema
 contactpersoon ing. R.G. (Reinoud) Fennema
 e-mail/telefoon rfe@dgm.nl/088 346 76 33

Trillingsonderzoek UWV-locatie

1. Inleiding

De UWV-locatie in Nijmegen, gelegen tussen de Koninginnelaan, Tunnelweg, Fresialaan en het spoor, wordt her-ontwikkeld tot een complex met meerdere gebruiksfuncties. Omdat het complex gerealiseerd wordt op korte afstand van het spoor, is onderzoek naar trillingshinder vereist.

Voor onderzoek naar trillingshinder heeft het ministerie van I&W in 2019 de 'Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen' uitgegeven. Dit document geeft instrumenten voor het doen van trillingsonderzoek in achtereenvolgende planfasen. Voor nieuwbouw binnen 100 m afstand tot het spoor is bij een bestemmingsplanwijziging een quickscan trillingen vereist. Als hieruit een trillingsrisico blijkt, dan is voor het verkrijgen van de omgevingsvergunning nader onderzoek nodig, het in de handreiking benoemde vervolgonderzoek. Daaruit moet blijken wat de trillingsbelasting in de voorgenomen bebouwing is en welke maatregelen nodig zijn om te voldoen aan de gestelde eisen. De handreiking adviseert als toetsingskader de SBR-richtlijn trillingen, deel B - "Hinder voor personen in gebouwen", kortweg SBR-B. Dit is het in Nederland gebruikelijke toetsingskader.

Voor het plan Koninginnelaan bestaat een concrete projectinvulling en is de vraag of trillingen in de voorgenomen bebouwing voldoen aan de SBR-B. Uit een door DGMR eerder verricht onderzoek voor het project "Waalpanorama", 500 meter noordelijker aan dezelfde zijde van het spoor, is bekend dat trillingshinder een risico vormt in met name laagbouw met een woonbestemming binnen 50 meter van het spoor. Daar waar treinen van spoor wijzigen (wissel), neemt dit risico fors toe. De voor het project "Waalpanorama" uitgevoerde kavelmetingen liggen ten grondslag aan de prognoses voor dit project.

2. Toetsingskader

Voor het project zijn geen specifieke trillingseisen opgegeven. Als toetsingskader wordt aangehouden de SBR-richtlijn trillingen, deel B: 'Trillingshinder voor personen in gebouwen'. In deze richtlijn zijn de in tabel 1 weergegeven streefwaarden opgenomen voor trillingen.

tabel 1: SBR-B - streefwaarden continue en herhaald voorkomende trillingen, nieuwe situaties

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Kantoor en bijeenkomst	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 $A1 < V_{max} < A2$

Nieuwe woongebouwen nabij een weg of spoorlijn voldoen aan de SBR-B als de maximale effectieve trillingssterkte V_{max} kleiner is dan 0,2 (nacht) en de gemiddelde trillingssterkte V_{per} niet

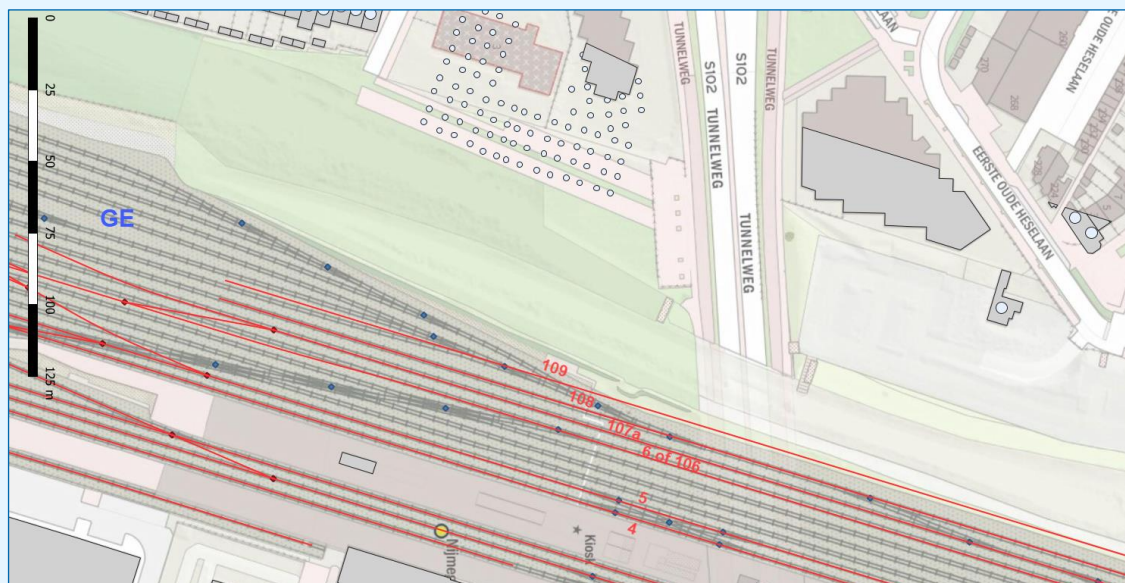
hoger dan 0,05. Als $V_{\max}$ kleiner is dan 0,1, komt de toetsing van de V_{per} te vervallen. Voor kantoor- en bijeenkomstfuncties gelden aanmerkelijk hogere streefwaarden dan voor woonfuncties.

Logiesfuncties (hotel) worden vaak gelijkgesteld aan woonfuncties. Dit is enigszins arbitrair, want hoewel het in beide gevallen over risico op slaapverstoring gaat, is er bij hotelfuncties geen sprake van mogelijke lange termijn gezondheidseffecten. Anderszins is er bij hotelgasten ook niet gauw sprake van gewinning aan de situatie. Evenwel is het gebruikelijk om trillingen bij logiesfuncties minder streng te beoordelen dan bij woonfuncties, hoewel gestreefd moet worden naar een vergelijkbaar trillingsmilieu. Het verschil zit dan in de afweging van maatregelen.

3. Situatie

3.1 Spoor

Station Nijmegen wordt als onderdeel van het Programma Hoogfrequent Spoor (PHS) aan de westzijde ingrijpend gewijzigd. Ter verhoging van de vervoerscapaciteit komt er een extra perroneiland bij en er komt een entree aan de westzijde van het station. Ook de ligging van de dienstweg aan de westzijde wordt gewijzigd. Om plaats te maken voor het perroneiland worden doorgaande sporen verlegd en ook de locatie van wissels wijzigt. Figuur 1 toont de nieuwe situatie qua spoorligging geprojecteerd over de oude spoorligging.



figuur 1: huidige sporen (zwart) met overlay nieuwe sporen (rood)

(Bron: Trillingsonderzoek OTB, Arcadis)

In de nieuwe situatie zijn de eerste twee sporen gezien vanaf de kavel (sporen 109 en 108) doodlopende (opstel)sporen. Het derde en vierde spoor (spoornummers 107a en 6) zijn sporen die overreden kunnen worden door treinen van/naar het emplacement (GE) en in het geval van spoor 6 ook door sprinters van/naar Arnhem. Deze sporen hebben geen aansluiting op de doorgaande sporen in zuidelijke richting ('s-Hertogenbosch en Venlo) en kunnen dus niet op hoge snelheid worden overreden. Het eerste spoor waar doorgaande treinen over rijden, is spoor 5 op minimaal 115 meter van de kavelgrens.

Voor wat betreft (goederen)treinen naar het emplacement wordt de situatie er beter op, want de afstand van rangerende treinen tot de kavel neemt iets toe en er zijn minder wissels, want er is nog maar één wissel ter hoogte van de Fresiastraat.

3.2 Rijsnelheid stationsgebied

In het stationsgebied is de rijsnelheid van reizigerstreinen in de dienstregeling laag, omdat deze allen stoppen op station Nijmegen. De snelheden van optrekkende en afremmende reizigerstreinen liggen volgens de snelheidsprofielen in het Geluidregister ter hoogte van het plan nergens hoger dan 40 km/u. Voor goederentreinen is de rijsnelheid in de huidige situatie beperkt tot 40 km/u.

De bedoeling van het 'PHS Nijmegen en Westentree' is om de capaciteit en doorstroming op station Nijmegen te verbeteren, opdat reistijden worden bekort. De aanrijksnelheid vlak voor het station gaat voor reizigerstreinen omhoog, maar omdat het plan ter hoogte van de perrons ligt heeft dit hierop weinig invloed. Het ontwerptractébesluit (OTB) vermeldt niet of de snelheid van doorgaande goederentreinen in het stationsgebied ook omhoog gaat. Dit is echter wel de landelijke tendens en wissels die worden aangepast, worden ook geschikt gemaakt voor hogere rijsnelheden. De rijsnelheid heeft geen eenduidige relatie met de trillingsopwekking, maar bij hogere rijsnelheden is doorgaans enige trillingstoename te verwachten.

3.3 Treinintensiteiten

De trillingsmetingen op de locatie Waalpanorama wijzen uit dat goederentreinen hier maatgevend zijn vanwege hun trillingsopwekking, maar ook omdat deze op de kortste afstand van het project rijden. De trillingsopwekking van reizigerstreinen lag op deze locatie al een factor twee lager, maar ter hoogte van de perrons is dit verschil nog groter, omdat alle intercity's daar stoppen, met uitzondering van leeg materieel dat overgebracht wordt van de ene naar de andere locatie. Volgens het OTB PHS Nijmegen en Westentree komen er in 2030 ongeveer twee goederentreinen per richting voor in de dagperiode en één goederentrein in zowel de avond- als nachtperiode. De opgegeven uurintensiteiten in het OTB zijn weergegeven in tabel 2.

tabel 2: uurintensiteiten (treinen per richting) baanvak Nijmegen - Lent, peiljaar 2030

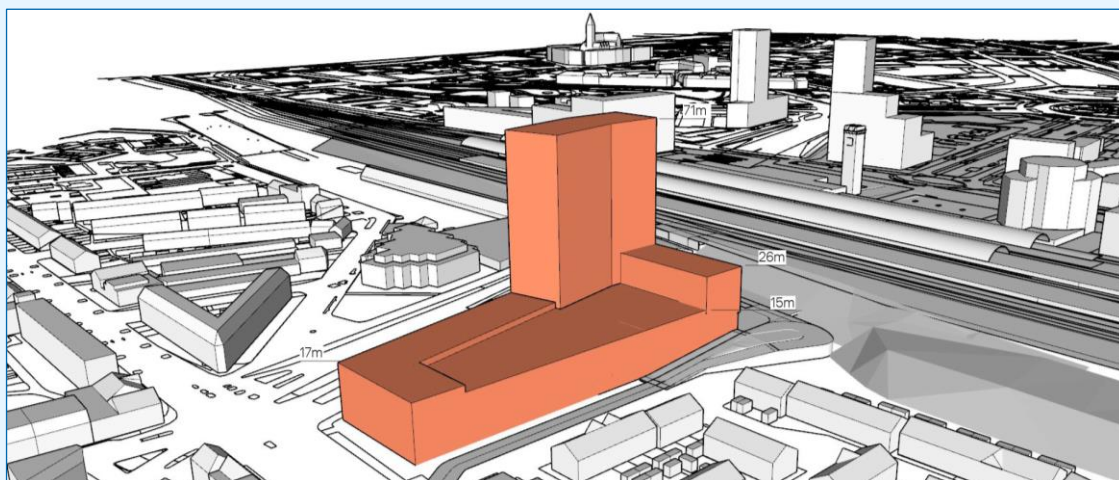
	Dag	Avond	Nacht
Goederen	0,16	0,17	0,11
Intercity's	5,86	6	1,46
Sprinters	4	4	1,29

Ongeacht de periode komt er gemiddeld dus nooit meer dan één goederentrein per uur voor, beide rijrichtingen samen genomen. Voor de berekening van de gemiddelde trillingssterkte V_{per} over de beoordelingsperiode wordt evenwel rekening gehouden met één goederentrein per uur. Het aantal intercity's en sprinters bedraagt overdag en 's avonds tien per uur. In de nachtperiode rijden er gemiddeld maar drie per uur. Overwegend rijden die op de late avond en vroege ochtend, waarmee de intensiteit op die momenten feitelijk niet veel anders is dan in de dag- en avondperiode.

3.4 Project

De UWV-locatie ligt aan de westzijde van het spoor. Op de kavel wordt een complex gebouwd met meerdere gebouwfuncties: hotel & congrescentrum, wooneenheden, horeca en enkele commerciële ruimtes. Het spoorgerichte deel bestaat uit een woontoren van ruim 70 meter hoog waarin ook de logiesfuncties van het hotel zijn ondergebracht en een plint (tot 26 m hoogte) met daarin de horeca- en eveneens woonfuncties, zie figuur 2. Daarachter een laagbouwdeel met een hoogte van 15 tot 17 meter.

De gevel aan de spoorzijde staat op ongeveer 95 meter afstand van het dichtstbijzijnde spoor 107a, dat toegang geeft tot het emplacement. De afstand tot het dichtstbijzijnde doorgaande spoor 5 bedraagt ongeveer 115 meter. In het achterliggende laagbouwdeel (tot 17 m hoog) worden wooneenheden (appartementen) gerealiseerd. De minimale afstand van dit deel tot spoor 107a bedraagt ongeveer 110 meter en tot het doorgaande spoor 5 ongeveer 130 meter. Ruimten met een woonfunctie zijn het meest gevoelig voor trillingen. Aan spoorzijde bevinden zich deze zowel in het hoogbouwdeel, dus een zwaar bouwdeel, maar ook op de verdiepingen in het plintdeel.



figuur 2: planinvulling

3.5 Bodemgesteldheid

De bodemgesteldheid heeft veel invloed op de overdracht van trillingen van het spoor naar de omgeving. Van de bouwlocatie zijn nog geen sonderingsgegevens ontvangen.

Een boormonsterprofiel ter hoogte van de Fresiastraat (Dinoloket), aan de voet van de stuwwal waarop het spoor ligt, laat zien dat de bodem overwegend uit zandlagen bestaat, zie figuur 3.



figuur 3: bodemsamenstelling

4. Beoordeling trillingsrisico's

4.1 Algemeen

Op basis van de stijfheid van de zandlagen mag worden verwacht dat de bodem minder gevoelig is voor zeer lage frequenties (< 10 Hz), maar juist meer gevoelig voor wat hogere frequenties van globaal 10 tot 50 Hz. Metingen in het project "Waalpanorama" laten dit beeld ook duidelijk zien. De dominante trilfrequenties lagen daar in de range van 6,3 tot 40 Hz met een accent op de tertsbanden van 8 tot 31,5 Hz. Bij bebouwing binnen globaal 50 m afstand van het spoor zou dit naast trillingshinder ook tot een bijdrage aan laagfrequent geluid kunnen leiden. Echter, is de afstand van de geplande bebouwing dubbel zo groot, waarmee dit hier geen significant risico is.

4.2 Effect wissels

De metingen uitgevoerd voor Waalpanorama, zie tabel 3, laten zien dat er qua trillingsopwekking een significant verschil is tussen locaties met recht spoor en locaties met wissels, in het bijzonder wanneer treinen hierdoor van baan veranderen. Metingen in de bodem op ongeveer 25 m afstand van het spoor tonen dat de trillingsopwekking van goederentreinen die afbuigen door een wissel ongeveer 2,5 maal zo hoog is als bij recht spoor. Op ruim 60 m afstand van het spoor is dit verschil nog maar een factor 1,5 en verwacht mag worden dat dit verschil verder afneemt bij nog grotere afstanden. In het project Waalpanorama kon op het meetpunt van 106 m afstand van het spoor het wisseleffect niet vastgesteld worden, omdat dit punt tussen beide situaties (met en zonder wissel) in lag en anderzijds de niveaus op dit punt maar weinig boven het achtergrondniveau, met daarin bijdragen van het overige verkeer, uitkwamen.

tabel 3: locatie Waalpanorama - trillingssterkte $V_{\max}$ in de bodem

Afstand tot spoor	23 à 24 m		60 tot 64 m		106 m	
	⊥ op spoor	verticaal	⊥ op spoor	verticaal	⊥ op spoor	verticaal
Recht spoor (meetlijn 1)	0,21	0,24	0,23	0,25	0,11	0,14
Afbuigend door wissel (meetlijn 2)	0,48	0,60	0,26	0,35		

Over de in tabel 3 weergegeven $V_{\max}$ -waarden voor het 106 m punt wordt opgemerkt dat hier slechts vijfmaal gedurende een week een $V_{\text{eff,max}}$ (passageniveau) hoger dan de voelbaarheidsgrens van 0,1 is opgetreden en niet kan worden uitgesloten dat daarin nog enige bijdrage zit van auto's, daar het meetpunt zich op een parkeerterrein bevond. Op meer dan 100 m afstand zijn dus slechts incidenteel trillingssterkten hoger dan 0,1 te verwachten met daarin mogelijk een kleine verhoging als gevolg van wissels. Op deze afstand is deze wisselinvloed echter hooguit 25%.

In het nu voorliggende project bedraagt de minimumafstand van bebouwing tot het dichtstbijzijnde doorgaande spoor 5 (met mogelijk goederentreinen) ongeveer 115 meter. Dat het wisseleffect met toenemende afstand in belang afneemt, komt omdat het over een puntbron gaat, terwijl de dominante trillingsopwekking bij goederentreinen merendeel een lijnbronkarakter heeft. De trillingsafname met toenemende afstand is voor puntbronnen per definitie groter dan voor lijnbronnen.

4.3 Invloed rijsnelheid

De rijsnelheden van treinen in het stationsgebied liggen momenteel laag, maximaal 40 km/u. Alleen het overbrengen van reizigersmaterieel van de ene locatie naar een andere gebeurt mogelijk met hogere snelheid, aangezien deze in de regel niet stoppen op het station. De snelheid van reizigerstreinen gaat in de toekomst omhoog, maar dit gebeurt vooral in de aanloop naar het station en niet ter hoogte van de perrons. Daar wordt het snelheidsprofiel vooral bepaald door de

technische mogelijkheden van het materieel qua optrekken en afremmen. De snelheid van reizigerstreinen blijft daardoor ter hoogte van de kavel laag. Voor zwaar intercitymaterieel ligt de snelheid gemiddeld nog lager dan voor licht sprintermaterieel en intercity's halen ter hoogte van de kavel de maximumsnelheid van 40 km/u volgens het Geluidregister niet eens.

De rijnsnelheid heeft een directe relatie met de trillingsfrequenties die worden opgewekt. Bij 40 km/u is de maximale trilfrequentie van belang niet hoger dan 20 Hz. De grote afstand van het project tot het spoor is een tweede reden waarom laagfrequent geluid via de bodem voor wat betreft reizigerstreinen nauwelijks een rol speelt. Deze trilfrequentie komt overeen met het aantal dwarsliggers dat een treinwiel per seconde overrijdt en de trillingsopwekking komt voort uit het stijfheidsverschil van de spoorstaaf ter plaatse van de dwarsliggers en daartussen. Als goederentreinen in de toekomst sneller gaan rijden, dan gaan de dominante frequenties mee omhoog. Bij snelheden van 60 tot 80 km/u ligt de hoogste dominante frequentie (afkomstig van de dwarsliggers) rond 28 tot 37 Hz, vallend in de 25 Hz tot 40 Hz tertsband. Dit zijn qua trillingsopwekking ook de dominante frequentiebanden die werden gemeten ter plaatse van het 500 m noordelijker gelegen project Waalpanorama, alwaar de rijnsnelheden hoger liggen. Deze frequenties kunnen op korte afstand tot het spoor leiden tot laagfrequent geluid in bebouwing, maar als gezegd is dit bij bebouwing op minstens 95 m (spoor 107a) geen risico.

Een tweede dominant frequentiegebied strekt van 6,3 tot 12,5 Hz en heeft te maken met de onderhoudstoestand van treinwielen en andere wielimperfecties als: excentriciteit, uitlijnstand en/of doorbuiging van assen. De aanstootfrequenties komen overeen met de omloopfrequentie van het wiel of het dubbele daarvan. In gebieden met wat slappere bodemopbouw is dit vaak het dominante trillingsmechanisme, maar op de stijvere meer zandige bodem in dit deel van Nijmegen is het van een lagere orde dan de trillingsopwekking in het frequentiegebied van 20 tot 40 Hz.

5. Prognose

Om een indicatie te krijgen van de trillingsbelasting in de voorgenomen nieuwbouw, worden de uitgevoerde metingen van het 500 m noordelijker gelegen project Waalpanorama gebruikt. De meetwaarden en prognoses van dit project worden gecorrigeerd voor de verschillen in afstand tot het spoor, bouwmassa en snelheidsverschillen van treinen.

Omdat de streefwaarden uit de SBR-B voor woonfuncties veel strenger zijn dan voor kantoor- en bijeenkomstfuncties (scheelt een factor 3 op de $V_{\max}$), zijn wooneenheden veruit bepalend voor de beoordeling. Zowel in het spoorgerichte plintdeel als in de woontoren worden wooneenheden gerealiseerd, waarvan die in de plint, vanwege de geringere gebouwmassa, het meest kritisch zijn. Ook het verder van het spoor afliggende laagbouwdeel bevat hoofdzakelijk woningen.

In bijlage 1 is voor deze drie te onderscheiden situaties een trillingsprognose opgenomen. Deze prognoseresultaten zijn samengevat in tabel 4. Hierin zijn de trillingssterkten $V_{\max}$ betrokken op de maatgevende goederentreinen. Hoewel sporen 6 (annex 106) en 107a slechts toegang geven tot het emplacement, is voor berekening worst case aangenomen dat de goederentreinen op spoor 107a rijden. Gezien de relatief grote afstand van de bebouwing tot dit spoor is het wisseleffect gering. Worst case is echter gerekend met de meetresultaten van meetlijn 2 uit het project Waalpanorama, de meetlijn waarop de hoogste trillingssterkten zijn gemeten. Verder is rekening gehouden met snelheidstoename van goederentreinen in het stationsgebied van 40 naar 60 km/u, waarmee de rijnsnelheid ongeveer overeenkomt met die van de meetlocatie, 500 m noordelijker.

tabel 4: trillingsprognose ($V_{\max}/V_{\text{per}}$) nieuwbouw - goederentreinen, rijsnelheid 60 km/u

Richting	Trillingssterkte $V_{\max}$ (V_{per})		
	Laagbouw deel ($H \leq 17\text{m}$)	Plint spoorzijde ($H \leq 26\text{ m}$)	Woon- en hoteltoeren ($H \leq 71\text{m}$)
Afstand	110 m (tot spoor 107a)	95 m	95 m
Horizontaal	0,02 - 0,04 (--)	0,04 - 0,05 (--)	0,02 - 0,04 (--)
Verticaal	0,10 - 0,12 (0,01)	0,15 - 0,17 (0,01)	0,05 - 0,07 (--)

De trillingsopwekking van reizigerstreinen ligt aanzienlijk lager dan de in tabel 4 aangegeven waarden voor goederentreinen. Afgaand op de meetresultaten van het project Waalpanorama, bedraagt de trillingsopwekking $V_{\max}$ door reizigerstreinen, in de maatgevende wooneenheden in de plint aan spoorzijde, maximaal 0,05. Dit betekent dat reizigerstreinen niet bijdragen aan de gemiddelde trillingssterkte V_{per} . Alleen goederentreinen zijn relevant voor dit bouwproject.

6. Conclusies en aanbevelingen

De afstand van de nieuwbouw op de voormalige UWV-locatie aan de Koninginnelaan in Nijmegen tot aan het spoor is relatief groot. Het dichtstbijzijnde spoor dat toegang geeft tot het emplacement ligt op 95 meter en de afstand tot het eerste doorgaande spoor 5 bedraagt 115 meter. Op deze afstanden zijn in de bodem geen voelbare trillingen meer te verwachten. In de te realiseren bebouwing zou lichte trillingsversterking kunnen ontstaan in vloeren. In het qua trillingen meest kritische plintdeel aan spoorzijde zou dit in het ongunstigste geval kunnen leiden tot trillingssterkten net boven de voelbaarheidsgrens. Worst case is een maximum trillingssterkte $V_{\max}$ van 0,16 berekend, wat echter nog ruim onder de streefwaarde uit de SBR-B is, geldend voor woonfuncties in de nachtperiode. Deze waarde wordt alleen onder ongunstige omstandigheden bereikt door goederentreinen op de dichtstbijzijnde sporen 5, 6 en 107 (richting emplacement) en dan alleen als deze snelheden van meer dan 40 km/u aanhouden. In de regel wekken ook goederentreinen geen voelbare trillingen op in betonbouw op deze afstand. De verwachte gemiddelde trillingssterkte V_{per} is dan ook verwaarloosbaar. Het project kan dan ook probleemloos voldoen aan de in de SBR-B gestelde streefwaarden.



ing. M.H.M. (Michel) van Kesteren
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

Bijlage 1

Titel	Trillingsprognoses
Omvang	3
Toelichting	Gebaseerd op meetgegevens "Waalpanorama"

Trillingsprognose railverkeer

project Tunnelweg (UWV-locatie) bronspectrum (Mp3) Goederentrein ri. Arnhem 28/11 - 00:55
 gebouwtype Plint spoorzijde vormfactor C_F 0,4 (verhouding v_{rms}/v_{top})
 gebouwafstand (tot spoor) 95 m referentieafstand 24 m

passages per uur 1 (alleen V_{eff} > 0,1)
 peiljaar 2020
 rijnsnelheid 60 km/u
 referentie snelheid 60 km/u

Z**Bodemtrillingen**

1/3-octaaf	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (rms, gem)	60	65	71	75	71	77	87	86	93	96	92	98	96	105	103	108	103	103	95	92	80	81	67	61	113
spreading	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
bronspectrum (rms, max)	63	68	74	78	74	80	90	89	96	99	95	101	99	108	106	111	106	106	98	95	83	84	70	64	116
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie	-8,7	-8,0	-7,3	-6,8	-6,4	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-7,5	-9,0	-10,8	-13,2	-16,3	-20,0	-24,8	-25,1	-25,1	-25,1	-25,1	-25,1	
L _v [dB]	54	60	67	72	67	74	84	83	90	93	88	95	92	99	96	98	90	85	73	70	58	59	45	39	104
v _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,09	0,06	0,08	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
																									0,42

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	User defined 1	AppCpl Dokstraat (V)																						
H _{v,1} [dB]	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	0,3	0,2	1,9	2,0	-3,5	-6,0	-7,0	-12,9	-10,6	-11,1	-19,3	-23,3	-24,0	-25,0	-22,1	-25,0	-25,0	
L _v [dB]	54	60	67	72	68	74	85	83	90	94	90	91	86	92	83	87	79	66	50	46	33	37	20	14	100
v _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03	0,05	0,03	0,04	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
																									0,24

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})

Begane grond	vloertype:	vloertype 3	(fo = 10-20 Hz)																						
H _{v,vloer}	0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3	1,6	0,8	0,4	
L _v [dB]	54	60	67	72	68	75	86	84	92	98	96	98	94	100	90	94	84	71	54	49	35	39	20	14	105
v _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,04	0,08	0,06	0,08	0,05	0,10	0,03	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18
																									0,46

2e verdieping	vloertype:	vloertype 3	(fo = 10-20 Hz)																						
H _{v,3} [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,8	-1,2	-1,7	-2,3	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	
H _{v,vloer} [dB]	0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3	1,6	0,8	0,4	
L _v [dB]	54	60	67	72	68	75	86	84	92	98	96	98	93	99	88	92	82	69	52	47	33	36	18	12	105
v _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,04	0,08	0,06	0,08	0,05	0,09	0,03	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18
																									0,44

5e verdieping	vloertype:	vloertype 3	(fo = 10-20 Hz)																						
H _{v,3} [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,7	-1,9	-3,1	-4,3	-5,6	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	
H _{v,vloer} [dB]	0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3	1,6	0,8	0,4	
L _v [dB]	54	60	67	72	68	75	86	84	92	98	96	98	93	98	87	89	79	65	48	43	29	32	14	8	104
v _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,04	0,08	0,06	0,08	0,04	0,08	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
																									0,42

SBR-B / Hinder voor personen (v_{eff})

Begane grond	gebouwtype:	User defined 1	AppCpl Dokstraat (V)																						
SBR-weging	-15,1	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
L _v [dB]	39	47	56	63	61	69	81	81	89	96	94	97	93	99	90	94	84	71	54	49	35	39	20	14	104
v _{eff,max} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,06	0,05	0,07	0,05	0,09	0,03	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
																									0,011

2e verdieping																									
L _v [dB]	39	47	56	63	61	69	81	81	89	96	94	97	93	99	88	92	82	69	52	47	33	36	18	12	104
v _{eff,max} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,06	0,05	0,07	0,04	0,09	0,03	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
																									0,010

5e verdieping																									
L _v [dB]	39	47	56	63	61	69	81	81	89	96	94	97	92	98	86	89	79	65	48	43	29	32	14	8	103
v _{eff,max} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,06	0,05	0,07	0,04	0,08	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
																									0,010

Plint spoorzijde - verticaal

Trillingsprognose railverkeer

project Tunnelweg (UWV-locatie) bronspectrum (Mp3) Goederentrein ri. Arnhem 28/11 - 00:55
 gebouwtype Woontoren 71m vormfactor C_F 0,4 (verhouding v_{rms}/v_{top})
 gebouwafstand (tot spoor) 95 m referentieafstand 24 m

passages per uur 1 (alleen $V_{eff} > 0,1$)
 peiljaar 2020
 rijsnelheid 60 km/u
 referentie snelheid 60 km/u

Z**Bodemtrillingen**

1/3-octaf	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (rms, gem)	60	65	71	75	71	77	87	86	93	96	92	98	96	105	103	108	103	103	95	92	80	81	67	61	113
spreadig	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
bronspectrum (rms, max)	63	68	74	78	74	80	90	89	96	99	95	101	99	108	106	111	106	106	98	95	83	84	70	64	116
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie	-8,7	-8,0	-7,3	-6,8	-6,4	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-7,5	-9,0	-10,8	-13,2	-16,3	-20,0	-24,8	-25,1	-25,1	-25,1	-25,1	-25,1	
L_v [dB]	54	60	67	72	67	74	84	83	90	93	88	95	92	99	96	98	90	85	73	70	58	59	45	39	104
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,09	0,06	0,08	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
	v_{top}																								0,42

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype: Hoogbouw																								
$H_{v,1}$ [dB]	-5,7	-5,5	-5,2	-4,7	-3,9	-2,5	-0,3	-0,9	-7,5	-10,0	-11,0	-11,5	-12,0	-13,0	-18,9	-16,6	-17,1	-25,3	-29,3	-30,0	-31,0	-28,1	-31,0	-31,0	
L_v [dB]	49	55	61	67	63	71	83	82	82	83	77	83	80	86	77	81	73	60	44	40	27	31	14	8	92
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
	v_{top}																								0,10

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})

Begane grond	vloertype: vloertype 3 ($f_0 = 10-20$ Hz)																								
$H_{v,vloer}$	0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3	1,6	0,8	0,4	
L_v [dB]	49	55	62	67	64	72	84	83	84	86	83	90	88	94	84	88	78	65	48	43	29	33	14	8	98
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,05	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
	v_{top}																								0,20

10e verdieping	vloertype: vloertype 3 ($f_0 = 10-20$ Hz)																								
$H_{v,3}$ [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,8	-1,1	-1,5	-1,9	-2,3	-2,6	-3,0	-3,4	-3,8	-3,8	-3,8	-3,8	
$H_{v,vloer}$ [dB]	0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3	1,6	0,8	0,4	
L_v [dB]	49	55	62	67	64	72	84	83	84	86	83	90	87	93	82	86	76	63	45	40	26	29	11	4	97
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
	v_{top}																								0,18

19e verdieping	vloertype: vloertype 3 ($f_0 = 10-20$ Hz)																								
$H_{v,3}$ [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,7	-1,5	-2,2	-2,9	-3,6	-4,3	-5,0	-5,7	-6,5	-7,1	-7,1	-7,1	-7,1	
$H_{v,vloer}$ [dB]	0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3	1,6	0,8	0,4	
L_v [dB]	49	55	62	67	64	72	84	83	84	86	83	89	86	92	81	84	74	60	43	37	22	26	7	1	97
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
	v_{top}																								0,17

SBR-B / Hinder voor personen (v_{eff})

Begane grond	gebouwtype: Hoogbouw																								
SBR-weging	-15,1	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
L_v [dB]	33	41	51	58	56	66	80	80	82	84	81	89	87	93	84	88	78	65	48	43	29	33	14	8	97
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,05	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
	v_{per}^*																								0,000

10e verdieping																									
L_v [dB]	33	41	51	58	56	66	80	80	82	84	81	89	86	92	82	86	76	63	45	40	26	29	11	4	96
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
	v_{per}^*																								0,000

19e verdieping																									
L_v [dB]	33	41	51	58	56	66	80	80	82	84	81	89	86	91	81	84	74	60	42	37	22	26	7	1	96
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
	v_{per}^*																								0,000

Woontoren - verticaal

Trillingsprognose railverkeer

project Tunnelweg (UWV-locatie) bronspectrum (Mp3) Goederentrein ri. Arnhem 28/11 - 00:55
 gebouwtype Laagbouwdeel vormfactor C_F 0,4 (verhouding v_{rms}/v_{top})
 gebouwafstand (tot spoor) 115 m referentieafstand 24 m

passages per uur 1 (alleen $V_{eff} > 0,1$)
 peiljaar 2020
 rijsnelheid 60 km/u
 referentie snelheid 60 km/u

Bodemtrillingen

1/3-octaf	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	som
bronspectrum (rms, gem)	60	65	71	75	71	77	87	86	93	96	92	98	96	105	103	108	103	103	95	92	80	81	67	61	113
spreiding	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
bronspectrum (rms, max)	63	68	74	78	74	80	90	89	96	99	95	101	99	108	106	111	106	106	98	95	83	84	70	64	116
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie	-11,0	-10,2	-9,5	-9,0	-8,7	-8,6	-8,6	-8,6	-8,6	-8,6	-8,6	-8,6	-10,1	-12,0	-14,4	-17,5	-21,6	-26,4	-32,6	-32,9	-32,9	-32,9	-32,9	-32,9	
L_v [dB]	52	58	64	69	65	71	81	80	87	90	86	93	89	96	92	94	84	79	66	62	50	51	37	31	101
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03	0,06	0,04	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
																									0,29

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	User defined 1	AppCpl Dokstraat (V)																						
$H_{v,1}$ [dB]	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	0,3	0,2	1,9	2,0	-3,5	-6,0	-7,0	-12,9	-10,6	-11,1	-19,3	-23,3	-24,0	-25,0	-22,1	-25,0	-25,0	
L_v [dB]	52	58	65	70	65	72	82	81	88	92	88	89	83	89	79	83	73	60	42	38	25	29	12	6	97
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,03	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
																									0,18

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})

Begane grond	vloertype:	vloertype 3	($f_0 = 10-20$ Hz)																						
$H_{v,vloer}$	0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3	1,6	0,8	0,4	
L_v [dB]	52	58	65	70	66	73	84	82	90	95	93	96	91	97	86	90	79	65	46	42	28	31	13	6	103
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,06	0,05	0,06	0,04	0,07	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13
																									0,34
2e verdieping	vloertype:	vloertype 3	($f_0 = 10-20$ Hz)																						
$H_{v,3}$ [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,8	-1,2	-1,7	-2,3	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	
$H_{v,vloer}$ [dB]	0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3	1,6	0,8	0,4	
L_v [dB]	52	58	65	70	66	73	84	82	90	95	93	96	91	96	85	88	77	62	44	39	25	28	10	4	102
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,06	0,05	0,06	0,03	0,06	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13
																									0,33
4e verdieping	vloertype:	vloertype 3	($f_0 = 10-20$ Hz)																						
$H_{v,3}$ [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	-1,5	-2,5	-3,5	-4,5	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	
$H_{v,vloer}$ [dB]	0,0	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	5,1	6,8	8,0	7,6	7,0	6,4	5,8	5,1	4,1	3,2	2,3	1,6	0,8	0,4	
L_v [dB]	52	58	65	70	66	73	84	82	90	95	93	96	90	95	84	86	75	60	41	37	23	26	8	1	102
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,06	0,05	0,06	0,03	0,06	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13
																									0,32

SBR-B / Hinder voor personen (v_{eff})

Begane grond	gebouwtype:	User defined 1	AppCpl Dokstraat (V)																						
SBR-weging	-15,1	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
L_v [dB]	37	45	54	61	58	67	79	79	87	94	92	95	91	96	86	89	79	65	46	42	28	31	13	6	102
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,05	0,04	0,06	0,03	0,07	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
																									0,008
2e verdieping																									
L_v [dB]	37	45	54	61	58	67	79	79	87	94	92	95	90	96	85	88	77	62	44	39	25	28	10	4	101
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,05	0,04	0,06	0,03	0,06	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
																									0,008
4e verdieping																									
L_v [dB]	37	45	54	61	58	67	79	79	87	94	92	95	90	95	83	86	74	60	41	37	23	26	8	1	101
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,05	0,04	0,06	0,03	0,06	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11
																									0,007