


notitie

Railinfra Solutions/ Benthem Crouwel
Leidseveer 4
3511 SB Utrecht
Postbus 2202
3500 GE Utrecht

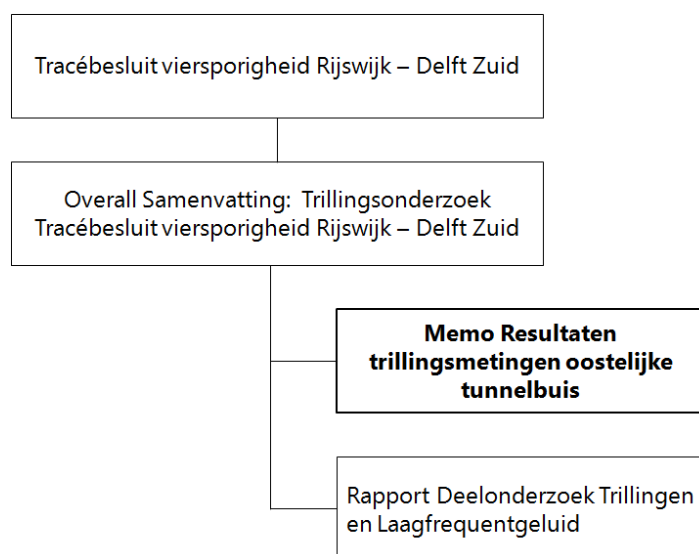
onderwerp	Aanvulling trillingsonderzoek tracébesluit PHS Viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid n.a.v. trillingsmetingen oostelijke tunnelbuis	
project	PHS Viersporigheid Rijswijk Delft	
opdrachtgever	ProRail	
projectcode	RIS432-26	
referentie	RS-UT20160068v2	
opgemaakt door	ir. E.J. Vlijm	
goedgekeurd door	ir. J. Geerling	paraaf 
status	Definitief 2.0	
datum opmaak	27 oktober 2016	
bijlagen	-	

aan	ProRail	Jan Willem Lammers, Sander Pieck, Hielke Zandberg
kopie	RB ProRail	Jantien Geerling, Thea Klumper Leon van der Wende

Overzicht achterliggende documenten

Ten behoeve van het MER en het tracébesluit PHS Viersporigheid Rijswijk – Delft Zuid is een trillings- en laagfrequentgeluidonderzoek uitgevoerd. Het onderzoek wordt beschreven in een aantal documenten. Figuur 01 geeft een overzicht van de documenten. Voorliggende notitie betreft de memo waarin de resultaten van de trillingsmetingen van september 2015 en de gevolgen voor het onderzoek worden beschreven.

Figuur 0-1 Documentenstructuur trillingsonderzoek



Inleiding

In Delft is het treinverkeer wat vroeger over het viaduct reed in februari 2015 ondergronds gebracht. Met de bouw van de spoortunnel is beoogd de hinder voor de omgeving te verminderen. Het treinverkeer over het viaduct gaf veel overlast, waaronder geluids- en trillingsoverlast. Voor het aspect trillingen is in de afgelopen jaren uitvoerig onderzoek uitgevoerd wat tot het toepassen van een trillingsreducerende ballastmat in de oostelijke tunnelbuis heeft geleid. In de westelijke tunnelbuis wordt eveneens een ballastmat geplaatst. De westelijke tunnelbuis is echter nog niet volledig gerealiseerd, terwijl de oostelijke tunnelbuis al in gebruik is genomen.

Voor de totale realisatie van de spoortunnel in Delft met in totaal vier sporen in gebruik, zijn twee besluiten van toepassing:

1. Bestemmingsplan Spoorzone Delft, waarin de ruwbouw van de gehele tunnel mogelijk gemaakt is en waarbij de tunnel twee sporen (de oostelijke tunnelbuis) in gebruik heeft;
2. Tracébesluit PHS Viersporigheid Rijswijk-Delft Zuid, waarbij het derde en vierde spoor in de westelijke tunnelbuis aangelegd kan worden en in gebruik genomen kan worden.

Ten behoeve van het project 'Spoorzone Delft' is de planprocedure afgerond en is het spoorse deel van het project reeds in gebruik genomen.

Deze notitie is opgesteld ten behoeve van het trillings- en laagfrequentgeluidonderzoek als onderdeel van het tracébesluit PHS Viersporigheid Rijswijk-Delft Zuid en bespreekt het resultaat van trillingsmetingen. Nu de oostelijke tunnelbuis namelijk in gebruik is genomen zijn metingen uitgevoerd in woningen aan de Phoenixstraat (dus aan de oostelijke zijde van het spoor) om de optredende trillingsniveaus en laagfrequentgeluidniveaus in kaart te brengen.

De meetresultaten van de ingebruikname van de oostelijke tunnelbuis hebben een tweeledig doel gekend:

- De optredende trillingsniveaus in de belendingen nabij de spoortunnel in kaart brengen als gevolg van treinverkeer door de oostelijke tunnelbuis en te toetsen aan de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts);
- Nader inzicht te krijgen in de te verwachten trillingsniveaus en in de laagfrequentgeluidbelasting als gevolg van het project 'PHS Viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid';

Deze notitie gaat in op het tweede doel, dit met het oog op toetsing volgens de Bts. Middels de metingen is gekeken hoe de prognose van trillingsniveaus in het ontwerp tracébesluit (OTB) voor de oostelijke tunnelbuis overeenkomt met de werkelijk optredende niveaus. Hierbij zijn niet de effecten van de ingebruikname van de westelijke tunnelbuis in kaart gebracht omdat deze deels nog gerealiseerd moet worden en treinen alleen in de oostelijke buis rijden. Het gevolg van PHS Viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid is de ingebruikname van de westelijke tunnelbuis en een toename in treinaantallen. Dit zal voor woningen aan de westelijke zijde van het spoor tot een toename van trillingsniveaus leiden. Voor deze woningen (Spoorsingelzijde) volgt uit de prognose uit het ontwerp tracébesluit dat de oorspronkelijke situatie met het viaduct tot hogere niveaus leidde, dan wordt verwacht in de toekomstige viersporige situatie, wanneer ook de sporen in de westelijke tunnelbuis in gebruik zullen zijn. In de huidige situatie is enkel de oostelijke tunnelbuis in gebruik. Dit is qua trillingsniveau gunstig voor de panden aan de westzijde omdat treinen op grotere afstand passeren.

Deze notitie is opgedeeld in een deel trillingen en een deel laagfrequent geluid. Per deel worden eerst de resultaten van de metingen besproken alvorens ingegaan wordt op het gevolg van de meetresultaten op het project 'PHS Viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid'. Een uitvoerige beschrijving van de metingen en de meetresultaten wordt gegeven in [ref. 1].

Uitvoering metingen

Tussen 7 en 22 september 2015 zijn door Railinfra Solutions zowel trillingsmetingen als laagfrequentgeluidmetingen uitgevoerd in een vijftal panden aan de Phoenixstraat in Delft om de situatie na ingebruikname van de oostelijke tunnelbuis in kaart te brengen. De adressen betreffen Phoenixstraat 84 (appartement), 49 (kantoren), 43 (appartement), 16 (kantoor, gemeentehuis) en 111 (woonhuis molen de Roos). Deze notitie gaat in op de resultaten van de eerste vier adressen. Het woonhuis van Molen de Roos is een afzonderlijke situatie welke niet representatief is voor andere woningen omdat het woonhuis direct op het tunneldak is gefundeerd.

Voorafgaand aan de meetcampagne is een 24-uursmeting uitgevoerd aan de Spoorsingelzijde om te bepalen of er voldoende trillingsniveaus werden gemeten. De gemeten niveaus bleken dermate laag dat besloten is enkel aan de Phoenixstraatzijde te meten.

Gevolg hiervan is dat de trillingsniveaus voor woningen aan de Spoorsingelzijde niet rechtstreeks door metingen kon worden vastgesteld.

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd conform optie 2 van het memo van Level Acoustics [ref.3]. Dit betekent dat trillingniveaus gemeten zijn op de fundering en dat het trillingsniveau ter plaatse van de vloeren is vastgesteld met behulp van de gemeten overdrachtsfunctie tussen fundering en vloer. Het memo van Level Acoustics dient als achtergronddocument bij de Beleidsregel trillinghinder spoor uit 2014 (Bts), die als toetsingskader is gehanteerd. Laagfrequentegeluidniveaus zijn getoetst conform de methode de Ruiters [ref. 1 en 4].

De aanpak volgens optie 2 heeft geleid tot de volgende meetcampagne:

- Tijdens een periode van twee weken is bij elk adres op de fundering gemeten;
- Tijdens de twee weken is ook gemeten in een lege dienstruimte van de spoortunnel;
- Tijdens de twee weken zijn middels een camera treinbewegingen nabij de noordelijke tunnelmond geregistreerd;
- Gedurende de twee weken is bij elk adres een 24-uursmeting uitgevoerd waarbij op drie punten (fundering, begane grond en eerste verdieping) trillingssignalen zijn opgeslagen;
- Tijdens de 24-uursmeting zijn laagfrequentegeluidniveaus gemeten op begane grond of eerste verdieping met een tweetal microfoons;

Tijdens de meetperiode waren een groot aantal andere bronnen van trillingen en laagfrequent geluid aanwezig, waaronder tramverkeer, wegverkeer, bouwwerkzaamheden (o.a. realiseren westelijke diepwand) en ook interne bronnen (lopen en spreken bewoners/gebruikers). Middels een meetpunt in de dienstruimte in de tunnel en de camerabeelden alsook gegevens van ProRail (Prestatie Analyse Bureau) over treinbewegingen ter plaatse van Delft tijdens de meetperiode zijn deze stoortrillingen zo veel mogelijk uit de meetdatasets gefilterd.

DEEL A Trillingen

Meetresultaten trillingen

De treinen kenden in de tunnel tijdens de meetperiode een snelheidsrestrictie van 80 km/u. Bij volledige exploitatie kunnen doorgaande reizigerstreinen met maximaal 140 km/h door de tunnel rijden. Goederentreinen zullen met maximaal 90 km/h door de tunnel rijden. Er is daarom gekeken naar de relatie tussen treinsnelheid en trillingsniveau op basis van de camerabeelden nabij de noordelijke tunnelmond. De treinsnelheden zijn gekoppeld aan de trillingsniveaus V_{eff} , max op de maatgevende locatie (Phoenixstraat 111). Hieruit volgt een schatting dat een toename in treinsnelheid van de maatgevende goederentreinpassages tot een beperkte toename in trillingsniveau van circa 10 % leidt. Een mogelijke verschuiving van dominante frequenties als gevolg van een toename in treinsnelheid lijkt met de gevonden gebouwoverdrachten niet tot een toename in trillingsniveau te leiden.

Tabellen 0.1 en 0.2 geven de meetresultaten voor het maximale trillingsniveau V_{max} en het gemiddelde trillingsniveau V_{per} respectievelijk. In de gepresenteerde meetwaarde V_{max} Bts in tabel 0.1 is een verdiscontering van de aangepaste rijnsnelheid van 10 % toegepast. In de waarde van

V_{per} is de verdiscontering niet toegepast, omdat V_{per} wordt gedomineerd door reizigerstreinen die halteren op het station Delft.

De aangepaste rijsnelheid heeft op de halterende treinen en op de resulterende V_{per} waarde niet of nauwelijks invloed. De streefwaarde is de waarde voor V_{max} waaronder maatregelen ter voorkoming of beperking van trillingshinder achterwege kunnen blijven. De grenswaarde is de waarde waartoe het trillingsniveau moet worden teruggebracht bij overschrijding. Boven deze waarde moet in ieder geval de toename tot 30 % worden teruggebracht.

Tabel 0.1. Resultaten maximale trillingsniveaus (V_{max} Bts) op vloerniveau¹

adres	meetwaarde V_{max} Bts	streefwaarde A1 Bts	grenswaarde A2 Bts
Phoenixstraat 84 (appartement)	0,235	0,2	0,4
Phoenixstraat 49 (kantoor)	0,210	0,3	1,2
Phoenixstraat 43 (appartement)	0,216	0,2	0,4
Phoenixstraat 16 (kantoor)*	0,120	0,3	1,2
Gemiddelde	0,195		

* Dit betreft de waarde op funderingsniveau. Waarden op vloerniveau voor nr. 16 konden met onvoldoende zekerheid worden vastgesteld vanwege onbetrouwbare overdrachtsfactoren als gevolg van te lage gemeten niveaus.

Tabel 0.2. Resultaten gemiddelde trillingsniveaus (V_{per}) op vloerniveau

adres	filters	V_{per} dag	V_{per} avond	V_{per} nacht	Meetwaarde V_{per}	grenswaarde A3 Bts
Phoenixstraat 84 (appartement)	alle	0,031	0,012	0,006	0,031	0,1
	geen	0,043	0,017	0,015	0,043	0,1
Phoenixstraat 49 (kantoor)	alle	0,027	0	0,005	0,027	0,15
	geen	0,035	0,018	0,016	0,035	0,15
Phoenixstraat 43 (appartement)	alle	0,026	0,010	0,007	0,026	0,1
	geen	0,050	0,041	0,031	0,050	0,1
Phoenixstraat 16* (kantoor)	alle	-	-	-	-	0,15
	geen	-	-	-	-	0,15

* V_{per} waarden zijn berekend op vloerniveau. Hiervoor zijn geen gegevens voor Phoenixstraat 16 aanwezig vanwege onbetrouwbare overdrachtsfactoren.

Uit de tabel 0.1 blijkt dat de meetwaarde (V_{max} Bts) in de gebouwen voor twee van de vier panden net boven de streefwaarde ligt. Voor de Phoenixstraat 16 is aan de fundering een aanmerkelijk lagere waarde gevonden. Voor deze locatie was het niet mogelijk een trillingsniveau op de vloer af te leiden. De gemiddelde trillingsniveaus V_{per} blijken op alle locaties ver onder de grenswaarde van 0,1 voor woningen te liggen. Uit de meetresultaten [ref. 2] blijkt aanvullend dat het gemeten

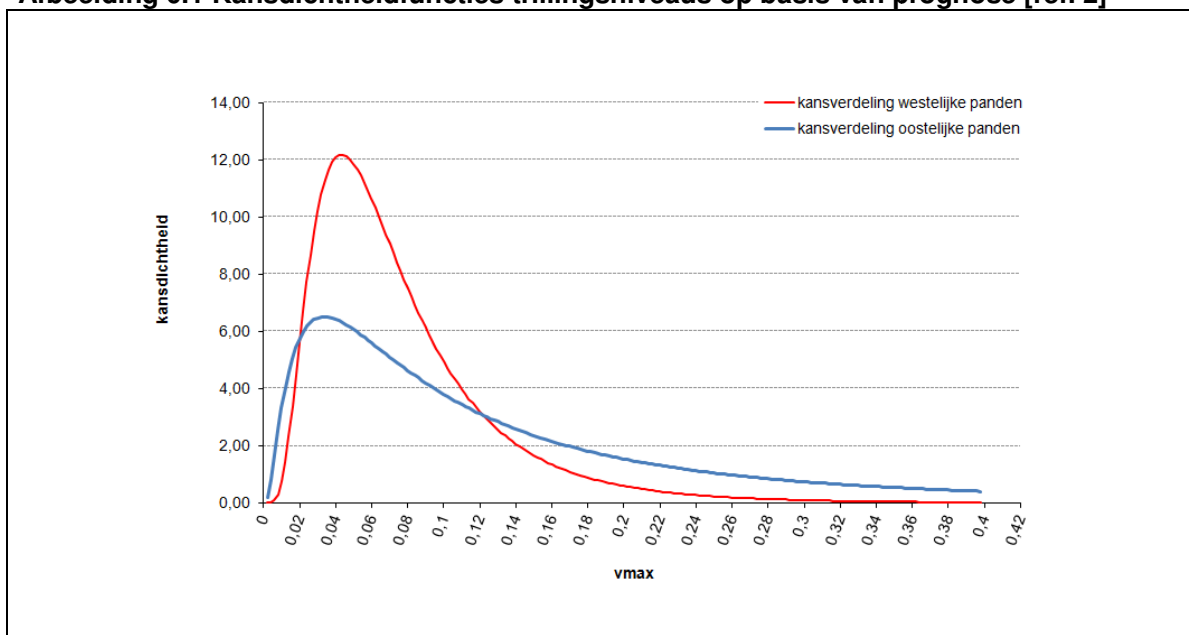
¹ Het toetsingskader betreft de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts) uit 2014. Hierin worden voor V_{max} streef- en grenswaarde gegeven. Voor V_{per} enkel een grenswaarde. Het hoofdrapport 'deelonderzoek trillingen en laagfrequent geluid' [ref. 2] gaat nader in op het toetsingskader.

trillingsachtergrondniveau hoger liggen of gelijk zijn aan de trillingsniveaus als gevolg van treinpassages.

Trillingsprognose PHS Viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid

In het deelonderzoek: Trillingen en laagfrequentgeluid ontwerp tracébesluit PHS Viersporigheid Rijswijk-Delft Zuid, worden de resultaten van een trillingsprognose besproken [ref. 2]. Ten tijde van de prognose was er nog geen tunnel aanwezig waardoor een prognosemodel is opgesteld welke mede is gebaseerd op metingen aan de tunnel in Rijswijk. De prognose is daarnaast gebaseerd op numerieke rekenmodellen. Aan de hand van de prognoseresultaten is een statistische analyse uitgevoerd. De lognormale verdelingen van optredende trillingsniveaus als gevolg van treinverkeer door de buitenste twee tunnelbuizen zijn hierbij bepaald. Voor de gebouwen aan de westzijde en aan de oostzijde zijn apart van elkaar kansdichtheidfuncties bepaald welke in onderstaande afbeelding worden weergegeven. De opsplitsing in oostelijke en westelijke zijde is gemaakt omdat vanwege de grotere afstand tot de tunnel, voor de woningen aan de westelijke zijde structureel lagere trillingsniveaus worden verwacht.

Afbeelding 0.1 Kansdichtheidfuncties trillingsniveaus op basis van prognose [ref. 2]



Voor de bovenstaande kansdichtheidfunctie geldt dat de integraal van de functie (het oppervlak onder de kromme) altijd gelijk is aan 1, oftewel 100 %. Om het percentage woningen onder bijvoorbeeld $V_{\max} = 0,2$ te bepalen dient het oppervlak onder de curve van $-\infty$ tot 0,2 te worden bepaald.

Wordt getoetst aan de Bts dan volgt voor woningen een streefwaarde van 0,2. Uit de resultaten van de prognose (statistische verdelingen volgens afbeelding 0.1) volgt de conclusie dat voor woningen aan de westzijde geldt dat voor 96% van de woningen een maatgevend trillingsniveau van V_{\max} Bts onder of gelijk aan de streefwaarde wordt verwacht. Een klein percentage van vier procent zal naar verwachting boven de streefwaarde liggen.

De prognoses in het OTB [ref. 2] voor woningen ten westen en ten oosten van de tunnel zijn met hetzelfde model opgesteld. Voor een vergelijking van de meetresultaten met de berekende waarden gepresenteerd in het OTB geldt dat niet naar woningen aan de westzijde, maar aan de oostzijde moet worden gekeken. Aan de westzijde (Spoorsingel) kon niet worden gemeten vanwege een te zwak meetsignaal. De opgestelde prognose voor de oostzijde (Phoenixstraat) kan wel worden vergeleken met de meetresultaten. De meetwaarden betreft een viertal locaties en is daarom een beperkte 'set' aan waarden om de prognose mee te valideren. In onderstaande tabel worden de verwachtingswaarde en de mediaan van de prognose uit [ref. 2] gegeven voor woningen aan de oostzijde en aan de westzijde afzonderlijk.

Tabel 0.3 Verwachtingswaarde en mediaan prognose uit het OTB [ref. 2]

tunnelbuis	verwachtingswaarde (E)	mediaan
woningen aan oostzijde	0,175	0,1
woningen aan westzijde	0,08	0,06

Voor de woningen aan de oostzijde worden hogere waarden verwacht in vergelijking met de woningen aan de westzijde (Spoorsingel). Dit komt vanwege het feit dat deze woningen dicht op de tunnel staan. Uit de meetresultaten (tabel 0.1) volgt een gemiddelde over vier woningen van 0,195. Dit blijkt orde grootte goed overeen te komen met de verwachtingswaarde van de prognose van 0,175, maar ligt circa 10 % hoger². Omdat de dataset (vier woningen) dermate klein is, geeft de vergelijking een indicatie. Wel kan geconcludeerd worden dat de meetresultaten goed overeenkomen met de verwachting op basis van de prognose voor woningen aan de oostzijde.

Verwachte toename in V_{max} Bts als gevolg van PHS Viersporigheid westzijde

Voor de 4 % woningen aan de westzijde waarvoor volgens de OTB prognose een maximaal trillingsniveau boven de streefwaarde wordt verwacht, geeft de Bts toetsing aan dat een toename van meer dan 30% aanleiding geeft tot het afwegen van maatregelen. In het OTB is deze toename als gevolg van de ingebruikname van de westelijke tunnelbuis afgeschat op basis van afstandsdempingrelaties gemeten ten noorden van de noordelijke tunnelmond. Uit de schatting volgde dat er een toename te verwachten is van meer dan 30% van V_{max} Bts. Aanvullende trillingsmetingen ten tijde van de meetsessie in september 2015 ter plaatse van de tunnel om de verwachte toename nauwkeuriger te bepalen hebben geen ander beeld opgeleverd. De metingen bleken dermate te zijn verstoord door bouwwerkzaamheden van de westelijke diepwand dat geen goede verwachte toename te bepalen was. De verwachting blijft dat er sprake is van meer dan 30 % toename.

Uit de toetsing van V_{per} conform de prognose aan de Bts blijkt dat ruimschoots wordt voldaan aan de grenswaarde voor zowel de oostelijke als de westelijke gebouwen, zie [ref. 2]. Dit resultaat komt goed overeen met de prognose.

² In de verwerking van meetresultaten is rekening gehouden met een toename van niveaus wanneer er geen snelheidsrestrictie meer geldt van 10 %. In de prognose is uitgegaan van maatgevende treinen die wel op volle snelheid reden.

Conclusies en aanbevelingen voor Trillingonderzoek Tracébesluit Viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid

Conclusies

Uit de resultaten van metingen aan woningen aan de oostelijke zijde van de spoortunnel kunnen de volgende conclusies voor PHS Viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid worden getrokken:

- De verwachtingwaarde van de prognose van maximale trillingsniveaus (V_{max}) voor woningen aan de oostelijke zijde [ref. 2] lijkt goed overeen te komen met het gemiddelde;
- Gemeten waarde na ingebruikname van de oostelijke tunnelbuis, dit geeft aanvullende zekerheid over de betrouwbaarheid van de prognose;
- De metingen bevestigen de resultaten van de prognose wat betreft de gemiddelde trillingsniveaus (V_{per}), welke onder de grenswaarde van 0,1 blijken te liggen;
- De gemeten achtergrondniveaus van de trillingsmetingen liggen hoger of gelijk aan de trillingsniveaus als gevolg van treinpassages; treinpassages zijn niet maatgevend;
- Voor PHS Viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid geldt dat uit de OTB prognose van trillingsniveaus [ref. 2] de verwachting volgt dat voor circa 4 % van de woningen direct gelegen aan de westelijke zijde van de spoorzone (Spoorsingel) een overschrijding van de *streefwaarde* optreedt bij ingebruikname van de westelijke tunnelbuis. Voor een groot deel van deze 4 % zal deze overschrijding beperkt zijn (voor 99,4 % van alle woningen ligt V_{max} Bts onder de 0,3). In aantal gaat het dan om circa vier woningen;
- Er wordt niet verwacht dat voor woningen aan de westzijde er sprake zal zijn van overschrijdingen van de *grenswaarde*. Dit was in de situatie met spoorviaduct wel het geval [ref. 2];
- De invloed van de parkeergarage tussen de woningen aan de Spoorsingelzijde en de tunnel is niet in de prognose meegenomen terwijl verwacht wordt dat de parkeergarage een gunstige werking heeft op de optredende trillingsniveaus. Verwacht wordt daarom dat de schatting van 4 % woningen hoger dan de streefwaarde een overschatting is;
- Voor de 4 % woningen geldt dat alsnog aan de Bts wordt voldaan indien de toename door ingebruikname van de westelijke tunnelbuis ten opzichte van de oostelijke tunnelbuis minder dan 30 % is. Dit is echter op voorhand met onvoldoende zekerheid te zeggen. Een schatting uit het OTB trillingsonderzoek geeft de verwachting dat de toename meer dan 30 % bedraagt. Een nadere bepaling van de verwachte toename middels uitgevoerde trillingsmetingen in september 2015 geeft ook onvoldoende inzicht omdat de invloed van de uitvoering van de westelijke diepwand de meetresultaten heeft verstoord;
- Voor woningen aan de oostelijke zijde (Phoenixstraat) wordt een gunstig effect verwacht op de trillingsbelasting als gevolg van de ingebruikname van de westelijke tunnelbuis. Treinverkeer bij een viersporige tunnel wordt namelijk verdeeld over vier sporen in plaats van de huidige twee sporen in de oostelijke tunnelbuis. Op dit moment rijden 22 reizigerstreinen per uur (voor beide richtingen tezamen) door de oostelijke tunnelbuis. Na voltooiing van het project PHS Viersporigheid Rijswijk-Delft Zuid rijden er 14 treinen per uur (tezamen in noordelijke richting) door de oostelijke tunnelbuis en 14 treinen per uur (tezamen in zuidelijke richting) door de westelijke tunnelbuis. Er gaan dus in totaal minder treinen door de oostelijke tunnelbuis (dicht op de belendingen) rijden dan in de huidige situatie;
- er wordt reeds, op basis van eerder onderzoek, een maatregel aan de bron toegepast in de vorm van een trillingsreducerende ballastmat.

Aanbevelingen

Er worden naast het toepassen van een ballastmat voor de spoortunnel geen aanvullende bron-, overdrachts-, of ontvangermaatregelen voorzien omdat deze niet doelmatig zijn. Omdat voor 4 % van de panden aan de Spoorsingelzijde de verwachting bestaat dat er mogelijk als gevolg van afname in afstand tussen de huidige situatie (enkel oostelijke tunnel) en de plansituatie (westelijke tunnelbuis) een toename in trillingsniveau zal zijn van meer dan 30 %, zijn in het OTB reeds maatregelen afgewogen. Op basis van het gehanteerde doelmatigheids criterium volgt een beschikbaar budget van EUR 47.000,- per woning. 4 % van de woningen komt in aantal neer op circa vier woningen. Aanvullende maatregelen voor het reduceren van trillingen bij woningen aan de Spoorsingelzijde zullen genomen moeten worden in de overdracht tussen tunnel en woning of bij de woningen zelf. Maatregelen in de overdracht kunnen zijn een diepwand tussen woningen en tunnel of het aanbrengen van een trillingsabsorberende laag tegen de woningfundering. Het is niet realistisch dit type maatregelen te realiseren binnen het gestelde budget. Dergelijke maatregelen zijn dan ook niet doelmatig. Ook geldt dat op voorhand niet kan worden bepaald voor welke woning mogelijk een overschrijding wordt verwacht en dat de parkeergarage voor een groot deel van de westelijke panden een gunstige werking heeft op het trillingsniveau als gevolg van treinpassage welke niet is meegenomen in de prognose. Het percentage van 4 % overschrijdingen van de streefwaarde is daarom aan de hoge kant.

Enkel een maatregel bij de woning zelf, bijvoorbeeld in de vorm van het verstijven van een vloer blijft over als een toe te passen maatregel. Hiervan geldt dat de kosten afhankelijk zijn van hoe ingrijpend de constructieaanpassing is. Zou het verstijven van een lokale vloer middels enkel het plaatsen van extra draagbalken kunnen worden gerealiseerd, dan zou dit binnen het beschikbare budget kunnen. Dient hiervoor echter de hoofdconstructie van de woning te worden aangepast, dan wordt verwacht dat dit niet binnen het beschikbare budget kan. Voor de woningen aan de Spoorsingel is dit tweede naar verwachting mogelijk het geval. De maatregel kan niet preventief genomen worden omdat de exacte adressen op basis van de prognose niet bekend zijn. De maatregel wordt als niet doelmatig beschouwd.

Of er daadwerkelijk nog sprake is van enkele overschrijdingen van de streefwaarde dient met een opleveringstoets te worden bepaald. Door de bouw van de parkeergarage zullen trillingsniveaus in de naastliggende woningen namelijk gunstiger zijn dan berekend. Door het ondergronds brengen van het treinverkeer in Delft, is de trillingsbelasting voor omwonenden, met name voor woningen aan de Spoorsingelzijde, verminderd ten opzichte van de situatie met spoorviaduct. Treinpassages over het spoorviaduct resulteerden in niveaus die tot overschrijdingen van de *grenswaarde*(0,4) van de Bts leidden [ref. 2]. Door de ingebruikneming van de oostelijke tunnel (Spoorzone Delft) en vervolgens de westelijke tunnel (PHS Viersporigheid) bestaat de verwachting dat deze niveaus afnemen. In de eindsituatie met vier sporen in gebruik resteren mogelijk enkele overschrijdingen van de *streefwaarde*.

Deel B Laagfrequentgeluid

Meetresultaten laagfrequentgeluid

Naast trillingsmetingen zijn er op dezelfde locaties aan de oostzijde van de spoorzone ook laagfrequentgeluidmetingen uitgevoerd. Uit de resultaten van de laagfrequentgeluidmetingen volgt dat:

- Over de gemeten periode van 24 uur worden voor elk adres overschrijdingen gevonden van de grenswaarden volgens methode de Ruiter, waarbij de 63 en 125 Hz octaafbanden maatgevend zijn;
- Ondanks de filtering op basis van camerabeelden en treinregistratiegegevens van ProRail blijft de aanname gelden dat de data sterk beïnvloedt is door andere bronnen, met name overdag omdat bewoners of personeel in het pand aanwezig waren. Ook bestaat de verwachting dat wegverkeer en tramverkeer veelal tijdens treinpassages invloed hebben gehad op het gemeten geluidsniveaus;
- Uiteindelijk wordt voor de periode 's nachts tussen 01:30 tot 05:00 waarbinnen geen tram passages plaatsvinden, verwacht dat er vrijwel geen sprake is van andere bronnen. Voor deze periode blijkt dat er een goederentrein passage heeft plaatsgevonden op 15 september om 04:25 die tot een overschrijding van 14 dB(A) van de grenswaarde conform methode de Ruiter leidde op de meetlocatie Phoenixstraat 84. Daarnaast is één andere trein passage gevonden (doorgaande intercity) met een zeer beperkte overschrijding van 1 dB. In totaal zijn tijdens dit venster voor alle adressen bij elkaar 24 trein passages gemeten;
- Voor alle goederentrein passages ten tijde van de 24-uursmetingen is gekeken naar bijbehorende gemeten laagfrequentgeluidsniveaus. Hieruit blijkt dat ten tijde van goederentrein passages vaker overschrijdingen zijn gemeten (6 van de 12). De overschrijdingen tonen echter geen consistent beeld wanneer naar rijrichting en snelheid van treinen wordt gekeken. Mogelijk dat andere bronnen de metingen (met name overdag) hebben beïnvloed;
- Het gemeten laagfrequentgeluid achtergrondniveaus liggen hoger of zijn gelijk aan de laagfrequentgeluidsniveaus als gevolg van trein passages.

Laagfrequentgeluidprognose PHS Viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid

In het deelonderzoek: Trillingen en Laagfrequent geluid ontwerp tracébesluit PHS Viersporigheid Rijswijk-Delft Zuid [ref. 2], wordt naast een prognose voor trillingsniveaus voor de plansituatie ook een prognose voor laagfrequentgeluidniveaus gegeven voor de plansituatie.

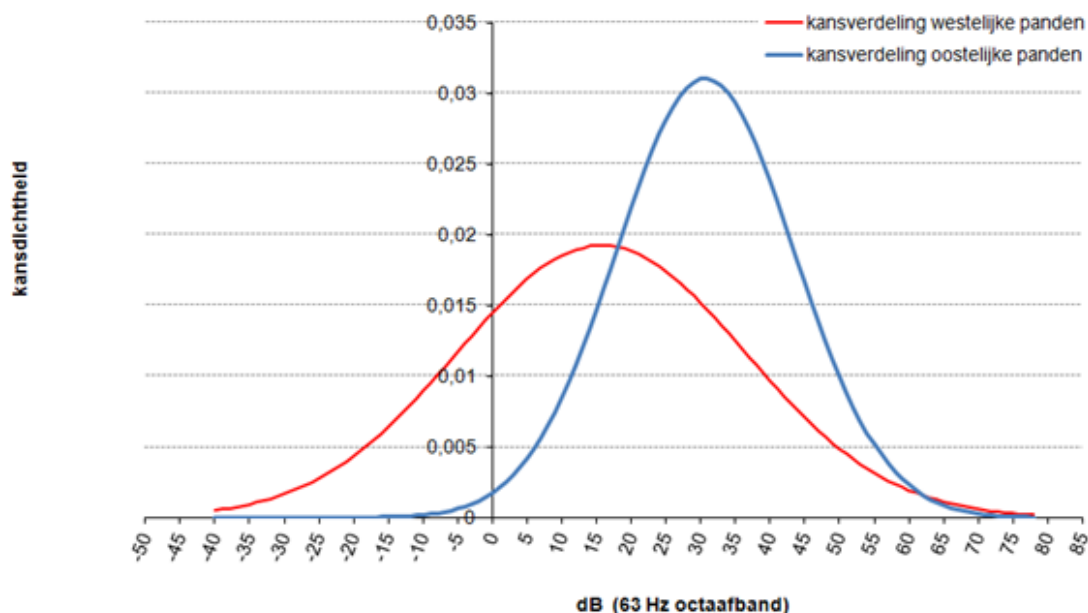
Uit de resultaten van de prognose volgt voor de maatgevende 63 Hz octaafband de verwachting dat voor zo'n 10 % van de panden een hoger niveau dan de grenswaarde van methode de Ruiter wordt verwacht. Bij deze prognose geldt echter dat:

- de prognose gebaseerd is op een bovengrensbenadering, voor alle panden is een opslingeringsfactor van 3,0 gehanteerd. In de praktijk zal deze vaak lager zijn;
- de invloed van de parkeergarage voor de westelijke panden niet is meegenomen, de parkeergarage heeft een afscherpende werking voor laagfrequent geluid dat zich via de grond voortplant;
- geen onderscheid is gemaakt tussen oostelijke en westelijke panden.

Dit resulteert in een verwachting dat de prognose de werkelijk optredende laagfrequentegeluidniveaus overschat. Vanwege het verschil in afstand tot de tunnel van de oostelijke panden en westelijke panden, zowel nu alsook in de plansituatie, is ten behoeve van het tracébesluit in de prognose van laagfrequentgeluid een verfijning aangebracht door de prognose op te delen in oostelijke en westelijke panden, gelijk aan de trillingsprognose uit het OTB [ref. 2]. Met name voor hogere frequentiebanden is er een hoge mate van demping met afstand te verwachten waardoor het gemiddelde geluidsniveau voor westelijke en oostelijke panden verschilt. Dit verschil is op basis van de prognoseresultaten inzichtelijk gemaakt.

In onderstaande afbeelding worden de kansdichtheidsfuncties voor de westelijke en oostelijke panden afzonderlijk gegeven. De functies gelden voor een situatie waarin maatgevende treinen (doorgaande op volle snelheidrijdende goederen- en reizigerstreinen) rijden in zowel de meest oostelijke als de meest westelijke tunnelbuis in de viersporige PHS situatie.

Afbeelding 0.1 Kansdichtheidfuncties laagfrequentgeluidniveaus (63 Hz octaafband) op basis van prognose [ref. 2]



Voor de bovenstaande kansdichtheidfunctie geldt dat (gelijk afbeelding 0.1) de integraal van de functie (het oppervlak onder de kromme) altijd gelijk is aan 1, oftewel 100 %.

Uit de afbeelding volgt dat er een verschil tussen de oostelijke en westelijke panden wordt verwacht voor de te verwachten laagfrequent geluidniveaus.

De westelijke panden laten een verdeling zien waaruit een verwachting volgt dat de laagfrequentgeluidniveaus voor de maatgevende 63 Hz-octaafband aanzienlijk lager liggen dan voor de oostelijke panden. Er is wel een grotere spreiding in niveaus te verwachten. In tabel 0.3 worden de verwachtingswaarde en de standaardafwijking van beide verdelingen gegeven. De verwachtingswaarde voor de westelijke panden ligt afgerond 15 dB lager dan die voor de oostelijke panden.

Tabel 0.3 Verwachtingswaarde en mediaan prognose [ref. 2]

tunnelbuis	verwachtingswaarde (E)	standaard afwijking	grenswaarde methode de Ruiter 63 Hz band
woningen aan oostzijde	38 dB	13 dB	55 dB
woningen aan westzijde	23 dB	21 dB	55 dB

Uit voorgaande paragraaf over de meetresultaten blijkt dat de resultaten voor de laagfrequente-geluidniveaus als gevolg van treinpassages veel onzekerheden bezitten. Geconcludeerd is dat er dermate veel stoorbronnen aanwezig waren dat enkel in de nachtperiode tussen 01:30 en 05:00 het signaal van een beperkt aantal treinpassages goed is vastgelegd. De metingen zijn

onbemand uitgevoerd. Bij deze passages mag men verwachten dat er een beperkte kans op verstoring door andere geluidsbronnen is geweest omdat in dit tijdsvenster geen tramverkeer aanwezig is en stoorgeluiden van bewoners gering zijn. De maatgevende frequentiebanden blijken de 63 Hz- en de 125 Hz-octaaftanden te zijn. Dit komt goed overeen met de prognose-resultaten. Daar waar in de prognose echter het hoogste niveau voor de 63 Hz-octaaftand wordt berekend, volgt uit de metingen voor de meetperiode tussen 01:30 en 05:00 een hoogste niveau in de 125 Hz band. Dit niveau bedraagt 57 dB. Dit niveau is gemeten in het appartementencomplex aan de Phoenixstraat 84 (1^e verdieping) aan de oostelijke zijde dicht op de tunnel (circa 3 meter).

Voor westelijke panden bestaat de verwachting dat de laagfrequentgeluidniveaus gemiddeld 15 dB lager liggen dan de panden aan de oostelijke zijde (verschil in verwachtingswaarden volgens verdelingen afbeelding 0.1). Van de 125 Hz-band is de afstandsdemping van ontvanger tot de tunnel minimaal evenveel is als die van de 63 Hz-octaaftand, omdat korte golflengten sneller uitdempen dan lange golflengten.

Conclusies en aanbevelingen voor laagfrequentgeluidonderzoek tracébesluit PHS Viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid

Conclusies

- Ten tijde van de laagfrequentgeluidmetingen in de panden aan de oostzijde van de tunnel is laagfrequent geluid gemeten van treinverkeer in de tunnel maar ook van een veelheid aan andere bronnen. Dat zijn externe bronnen zoals wegverkeer en tramverkeer maar ook interne bronnen in gebouwen zelf, zoals loopgeluid of installatiegeluid. Hierdoor is er beperkte zekerheid dat de gemeten treinpassages niet zijn beïnvloed door stoorgeluid. Enkel voor de nachtperiode, waarin geen trams reden tussen 01:30 en 05:00, wordt verwacht dat de invloed van stoorbronnen beperkt is;
- De gemeten laagfrequentgeluidachtergrondniveaus liggen hoger of zijn gelijk aan de laagfrequentgeluidniveaus als gevolg van treinpassages: andere bronnen blijken maatgevender dan treinpassages;
- Door de vele stoorbronnen overdag, is het niet mogelijk geweest de treinpassages die overdag plaatsvinden apart te toetsen aan de grenswaarden van methode de Ruiter. Alleen van een aantal treinpassages in de nachtperiode is het niveau getoetst. Hierbij is bij één goederentreinpassage een overschrijding van de grenswaarden gemeten;
- Voor het project 'PHS Viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid' wordt gekeken naar de invloed van de ingebruikname van de westelijke tunnelbuis en de toename van treinintensiteiten. Een verfijningslag van de prognose die voor het Tracébesluit is uitgevoerd laat zien dat het verschil in afstand van panden tot de tunnel in de plansituatie leidt tot een lagere verwachtingswaarde van het laagfrequentgeluidsniveau voor panden aan de westzijde (Spoorsingel) dan panden aan de oostzijde (Phoenixstraat) in de maatgevende 63 Hz-octaaftand als gevolg van treinpassages;
- Zouden de gemeten maatgevende laagfrequentgeluidniveaus in de periode 01:30 en 05:00 aan de Phoenixstraat 84 worden vertaald naar de westelijke zijde, waarbij het verschil in verwachtingswaarde wordt afgetrokken, dan liggen de vertaalde (gemeten) geluidsniveaus

- onder de grenswaarden van methode de Ruiter wat overeenkomt met het feit dat de verwachtingswaarde van de prognose onder de grenswaarde ligt (tabel 0.3);
- Vanwege de in de prognose gevonden spreiding blijven er echter op basis van de verfijnde prognose enkele panden aanwezig waarvoor een (beperkte) overschrijding van de grenswaarde van methode de Ruiter te verwachten is. Dit percentage is afgenomen door het toepassen van de verfijningslag van 10 % naar 6%.
 - De kans van overschrijding zal na gereedkomen kleiner zijn dan geprognosticeerd omdat in het model geen rekening gehouden is met de bouw van een parkeergarage aan de westzijde. De parkeergarage heeft een dempend effect op laagfrequent geluid dat zich via de grond voortplant richting woningen. Verder is gerekend met een opslingeringsfactor tussen fundering en vloer en wanden voor alle panden. In werkelijkheid zullen de meeste woningen een kleinere opslingeringsfactor bezitten;
 - Er wordt reeds, op basis van eerder onderzoek, een maatregel aan de bron toegepast in de vorm van een trillings- en laagfrequentgeluidreducerende ballastmat.

Aanbevelingen

Voor de laagfrequentgeluidsniveaus geldt een vergelijkbare afweging als voor de trillingsniveaus, de prognose overschat de niveaus als gevolg van de gehanteerde opslingeringsfactor alsook het niet meewegen van de invloed van de parkeergarage. Ballastmatten zijn daarom ook voor laagfrequentgeluid een afdoende maatregel. De situatie aan de Phoenixstraat zal bij Viersporigheid overdag niet wijzigen ten opzichte van de huidige situatie met twee sporen in gebruik. Het laagfrequentgeluid van de spoortunnel zal worden overstemd door veel andere geluidbronnen. In de nachtperiode zullen minder treinpassage merkbaar zijn in woningen doordat in de viersporige situatie een deel van het treinverkeer door de westelijke tunnelbuis zal rijden. Voor de Phoenixstraat is deze tunnelbuis niet maatgevend waardoor het aantal merkbare treinpassages afneemt.

Voor de westzijde (Spoorsingel) geldt dat toekomstige parkeergarage gunstig werkt voor het reduceren van de overdracht van geluid vanuit de tunnel richting woningfunderingen. Er wordt voor 6 % van de woningen een overschrijding verwacht.

Op basis van het prognosemodel kan niet op voorhand worden bepaald voor welke woning een (beperkte) overschrijding zal optreden. Een opleveringstoets kan bepalen in welke mate de prognose de niveaus overschat en of er sprake is van een overschrijding en waar deze dan optreedt. De toekomstige parkeergarage heeft naar verwachting een gunstig effect op het laagfrequentgeluidniveau, maar maakt aanvullende maatregelen in de overdracht tussen tunnel en woningen moeilijk. Worden er bij de opleveringstoets overschrijdingen gemeten dan dient te worden afgewogen of een maatregel aan de woning (in de vorm van bijvoorbeeld voorzetwanden) wenselijk is.

Referenties

- [ref. 1] Trillingsmetingen oostelijke tunnelbuis Delft september 2015, Railinfra Solutions BNTHMCRWL, 8 december - 2015, referentienummer: RS-UT20150103
- [ref. 2] Programma Hoogfrequent spoorvervoer Viersporigheid Rijswijk
- Delft Zuid, deelonderzoek trillingen en laagfrequent geluid, definitief 6.0.
Railinfra Solutions Benthem en Crouwel, 10 november 2014. referentie:
RIS432-12/14-021.054
- [ref. 3.] Gewijzigde Beleidsregel trillinghinder spoor, Staatscourant 16 maart 2014.
- [ref. 4.] Level Acoustics (2014) Reparatie Bts, referentie LA.131001a.M04