

Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00
F +31 70 328 09 61

TNO-rapport

TNO 2013 R11091

Geluidreductie van de pilotmaatregelen aan het HSL spoor in Lansingerland

Datum	februari 2014
Auteur(s)	ir. M.G. Dittrich ir. A. Eisses ing. F. Staats ing. R. Prevo J. van 't Hof
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	92 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	9
Opdrachtgever	ProRail Ir. M.S. Roovers Postbus 2038 3500 GA Utrecht
Projectnaam	Effectmeting geluidpilot HSL Lansingerland
Projectnummer	033.25295

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2014 TNO

Samenvatting

TNO heeft in opdracht van ProRail geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd aan de HSL in Lansingerland, ter bepaling van het geluidreducerend effect van raildempers en absorberende platen die in 2013 zijn geïnstalleerd op het Rhedaspoor. De HSL ter plaatse rijdt in een verdiept spoor gedeeltelijk voorzien van geluidschermen.

De dienstregeling omvat de Thalys en tot eind 2012 V250 treinen die ter plaatse gemiddeld 230 km/h rijden en TraxxPrio treinen met een snelheid van 160 km/h.

Dit rapport beschrijft de metingen vóór en na het aanbrengen van de maatregelen en de gevonden geluidreductie op basis van drie verschillende methodes. Daarbij wordt rekening gehouden met variatie in treinsnelheden en verschillen in wiel/railruwheid.

De geluidreductie bedraagt 1,7 - 2 dB voor de raildempers voor zowel de Thalys als de TraxxPrio. Dit effect is ook te verwachten op open spoor zonder afscherming.

De onzekerheid in deze waarden wordt geschat op ca. $\pm 0,6$ dB.

Het geluidreducerend effect van de raildemper op de bijdrage van de rail bedraagt 4 dB. Voor treinen met sterker gedempte wielen zou de totale reductie eerder bij 3 tot 4 dB kunnen uitkomen.

De absorberende platen op het spoor geven een geluidreductie van 3,8-3,9 dB voor de Thalys op het oost- en westspoor, voor de TraxxPrio 2,9 dB op het oostspoor en 3,5 dB op het westspoor. De onzekerheid in deze waarden wordt geschat op ca. $\pm 0,9$ dB. De reducties zijn gemiddelden voor de tunnelbaksituatie en de gemeten treinsnelheden en dienen eventueel te worden aangepast voor de situatie zonder afscherming of andere snelheden. In de open situatie zonder afscherming zijn lagere reducties te verwachten, die ook zullen afhangen van de plaatbreedte tussen spoor en meetpositie.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
2	Situatie en beschrijving maatregelen	5
2.1	Situatie meetlocatie Lansingerland.....	5
2.2	Meetdoorsnedes en meetposities.....	5
2.3	Maatregelen.....	10
3	Methodiek ter bepaling van de geluidreductie	12
3.1	Doel methode en invloedsfactoren	12
3.2	Gebruikte methodes	13
4	Metingen	16
4.1	Geluid	16
4.2	Gecombineerde wiel/railruwheid uit railtrillingen	24
5	Resultaten analyse geluidreductie raildempers en absorptieplaten.....	25
5.1	Resultaten meetdoorsnede D2, raildempers	25
5.2	Spectrale resultaten raildempers, Thalys	27
5.3	Spectrale resultaten raildempers, TraxxPrio	29
5.4	Resultaten meetdoorsnede D3, absorptieplaten	31
5.5	Spectrale resultaten absorptieplaten, Thalys	32
5.6	Spectrale resultaten absorptieplaten, TraxxPrio	37
6	Conclusies.....	44
7	Referenties	45
8	Ondertekening	46
	Bijlage(n)	
	A Gemeten geluidniveaus per treinpassage	
	B Figuren van het niveauverloop	
	C Gecombineerde ruwheid, railruwheid en afstandsdemping	
	D Overdrachtspectra	
	E Geluidexpositiespectra	
	F Resultaten TWINS berekening	
	G Methode ter bepaling van de lengtecorrectie	
	H Foto's van het railloopvlak	
	I Meteogegevens en gebruikte meetapparatuur	

1 Inleiding

In het kader van een pilotproject ter evaluatie van geluidreducerende maatregelen aan de HSL in Lansingerland heeft TNO in opdracht van ProRail geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd ter bepaling van het effect van raildempers en absorberende platen op het spoor. De HSL ter plaatse rijdt op een verdiept spoor gedeeltelijk voorzien van geluidschermen.

Dit rapport beschrijft de metingen vóór en na het aanbrengen van de maatregelen en de gevonden geluidreductie. Daarbij wordt rekening gehouden met variatie in treinsnelheden en verschillen in wiel/railruwheid.

De dienstregeling omvat de Thalys en tot eind 2012, V250 treinen die gemiddeld 230 km/h rijden, en TraxxPrio treinen met een snelheid van 160 km/h.

In 2013 zijn twee proefvakken voorzien van geluidreducerende maatregelen: proefvak 2 met raildempers op het westspoor, en proefvak 3 met absorberende platen op beide sporen. Er is steeds een proeflengte van 100 m geïnstalleerd. Oorspronkelijk was ook een proefvak 1 voorzien met een modulair dubbelzijdig minigeluidscherm (MDM) tussen de beide sporen. Dit is echter nog niet uitgevoerd.

De V250 is na de referentiemeting uit de dienst genomen, waardoor het geluidreducerend effect alleen op basis van Thalys en TraxxPrio passages kon worden beoordeeld. Desalniettemin worden ook de referentiemetingen op proefvak 1 en de V250 metingen gepresenteerd aangezien daaruit inzicht kan worden verkregen in de rol van versterking van het geluid door bak en scherm en van de wiel/railruwheid.

De meetlocatie en geluidreducerende maatregelen worden in hoofdstuk 2 beschreven. De methodiek waarmee de geluidreductie is bepaald wordt in hoofdstuk 3 uiteengezet. Meetresultaten van de referentiemeting worden in hoofdstuk 4 gepresenteerd, met een korte interpretatie van de verschillen tussen oost- en westspoor en de verschillen tussen de meetdoornedes. De geluidreducties in frequentiebanden en totale niveaus worden in hoofdstuk 5 gepresenteerd en de conclusies in hoofdstuk 6. Meer detailresultaten zijn in de bijlages opgenomen.

2 Situatie en beschrijving maatregelen

De meetlocatie, meetdoorsnedes, meetopstelling en de maatregelen worden in de volgende paragrafen beschreven.

2.1 Situatie meetlocatie Lansingerland

Het HSL-spoor in Lansingerland (zie figuur 1) ligt verdiept, waarbij het spoor ten opzichte van het maaiveld langs het traject in diepte varieert. De geluidschermen variëren in hoogte of ontbreken afhankelijk van de diepte van de bak.



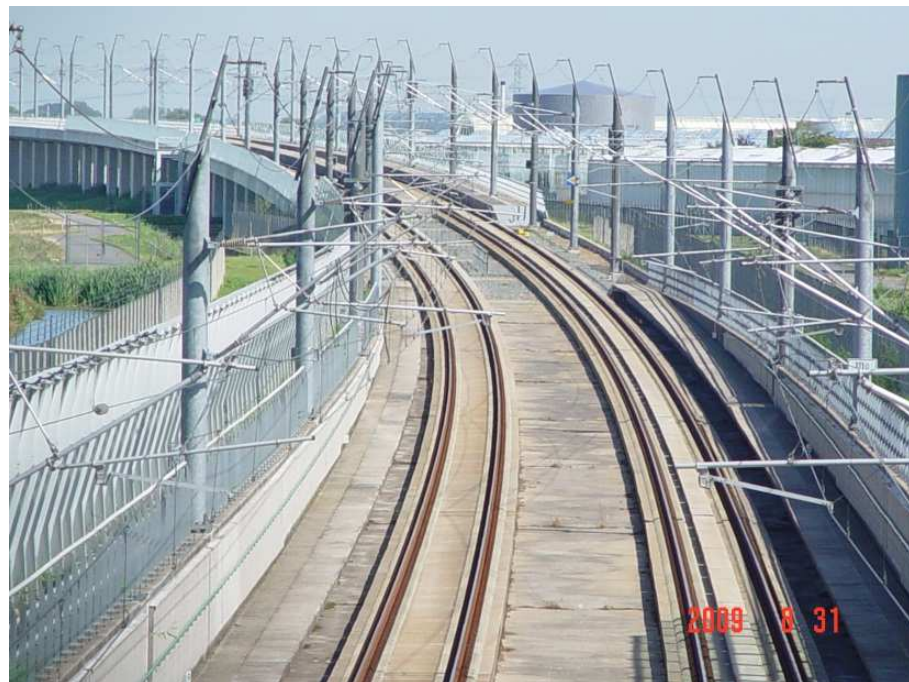
Figuur 1 Verdiept HSL-spoor in Lansingerland ter hoogte van het viaduct bij de Offenbachbaan, met een Ansaldo V250 trein rijdend in de richting Amsterdam. Het geluidscherm rechts strekt 2 bovenleiding portalen en houdt daarna op. Geheel rechts de Zoro-busbaan in aanleg.

2.2 Meetdoorsnedes en meetposities

De doorsnededeposities langs het spoor zijn aangegeven in figuur 2 en in foto's in figuren 3 en 4. De posities van de meetmicrofoons en de doorsnedeprofielen zijn in figuur 5 weergegeven. Bij de nameting is een extra meetdoorsnede D4 toegevoegd, geometrisch sterk lijkend op doorsnede D3, zonder maatregelen en met meetposities dicht bij het spoor op 11 m afstand. De posities van trillingsopnemers staan in figuur 6, waarbij de horizontale opnemers bij de voormeting op D1 waren geplaatst en bij de nameting op D2.



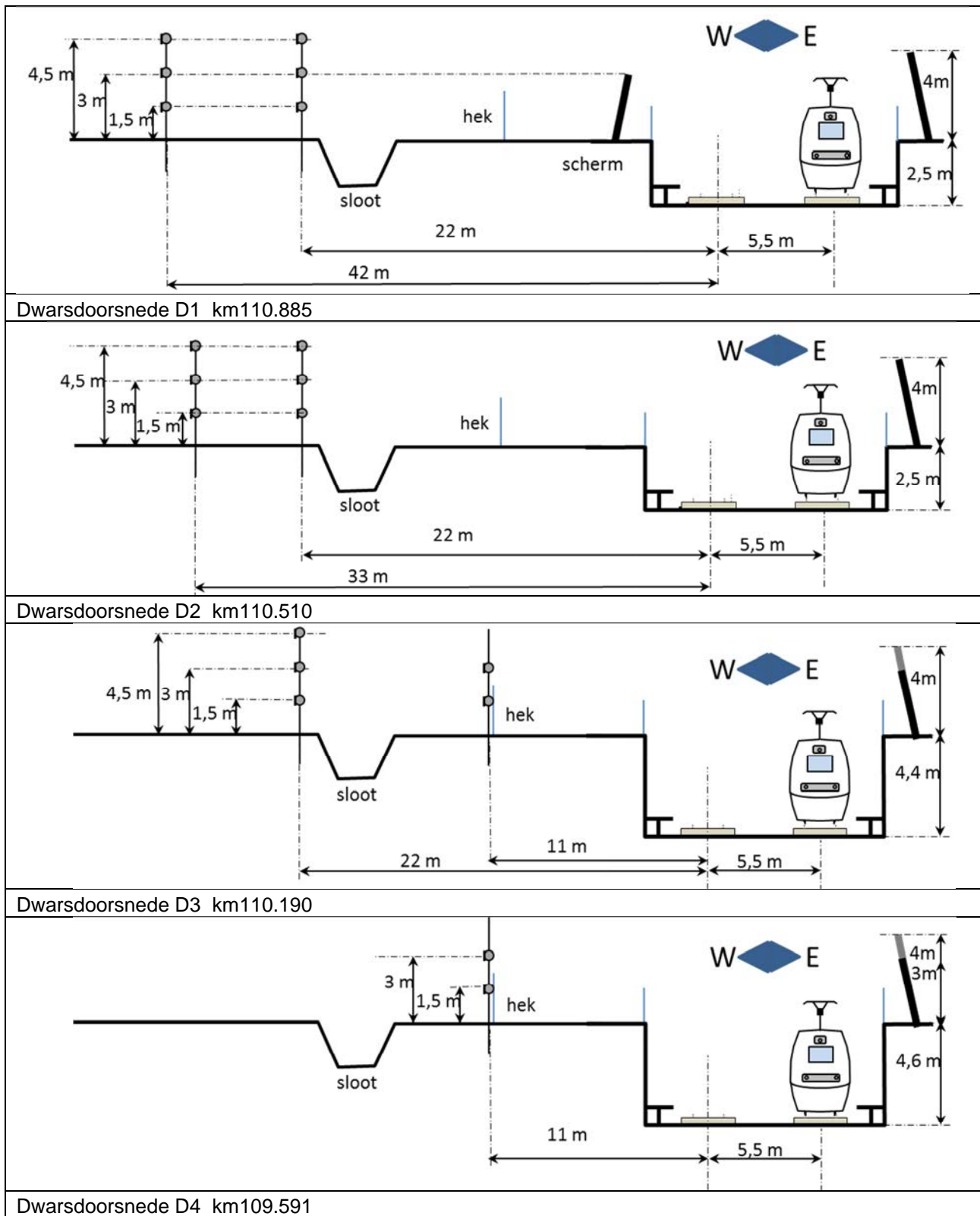
Figuur 2 Overzicht van de meetdoorsnedes: meetdoorsnede D1 op km 110.885, D2 op km 110.510, D3 op km 110.190 en D4 op km 109.591.



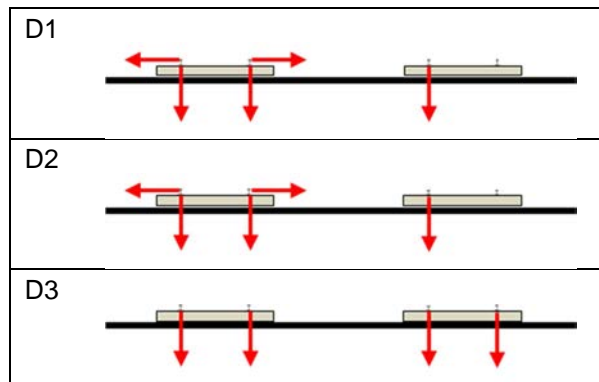
Figuur 3 Meetdoorsnede D1 op km 110.885 bij km bord 111.0 (rechts), aanzicht richting Amsterdam vanaf het Offenbachviaduct.



Figuur 4 Meetdoorsnede D2 bij km 110.510 (voorgrond, km bord 110.5 rechts) en meetdoorsnede D3 bij km 110.190 (verderop). Aanzicht richting Rotterdam vanaf het Offenbachviaduct. Het oostspoor links heeft gedeeltelijk een betonnen ontsporingsbalk.



Figuur 5 Microfoonposities op meetdoersnedes D1, D2, D3 en D4.
 Bij D3 en D4 is de schermhoogte 3 m, echter gaat deze na 10 m over in 4 m hoogte.
 De aanzicht van de doorsnede is gericht naar Amsterdam, met de westkant links.



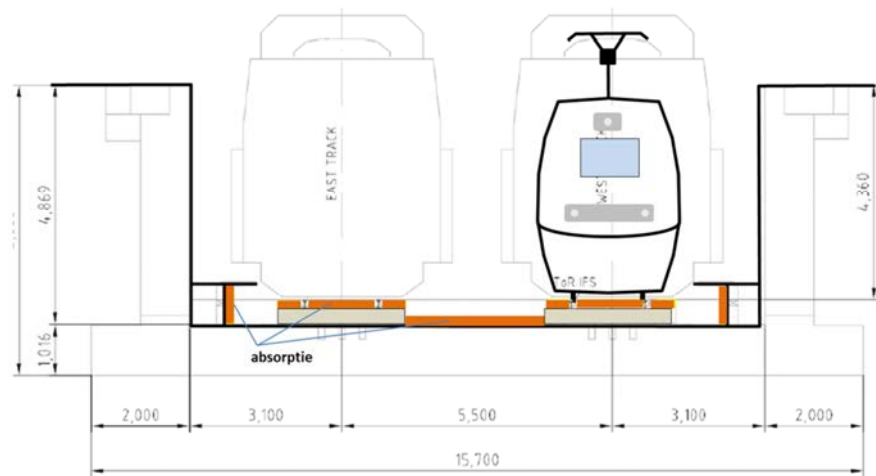
Figuur 6 Posities van trillingsopnemers op meetdoorsnedes D2, D3 en D3. Op D4 waren geen trillingsopnemers aanwezig.

2.3 Maatregelen

De geluidreducerende maatregelen bestonden uit raildempers op het westspoor bij meetdoorsnede D2 (figuur 7) en absorberende platen op beide sporen bij meetdoorsnede D3 (figuur 8). Beide maatregelen waren uitgevoerd over een lengte van 100 m, minder dan de oorspronkelijk voorziene 200 m.



Figuur 7 Raildempers op het westspoor bij doorsnede D2. Deze zijn over een strekkende lengte van 100 m aangebracht.



Figuur 8 Absorptieplaten op beide sporen bij doorsnede D3 foto (boven) en doorsnedeschems (onder). De platen zijn tussen de rails, tussen de sporen en aan de perronwand aangebracht, over een strekkende lengte van 100 m.

3 Methodiek ter bepaling van de geluidreductie

3.1 Doel methode en invloedsfactoren

Doel van de methode

Doel van de gekozen meetmethodes is de bepaling van de geluidreductie van het totale dB(A)-niveau en van het frequentiespectrum voor de aanwezige treintypes bij hun karakteristieke snelheid en wiel- en railconditie. Deze reductie moet representatief zijn voor de situatie met de tunnelbak. De onzekerheid in het resultaat dient tot een minimum te worden beperkt. Dit is mogelijk door correctie op de belangrijke invloedsfactoren uit te voeren zoals snelheid en wiel/rail ruwheid, maar ook door meer dan één methode toe te passen.

De geluidreductie die wordt bepaald voor maatregelen in de tunnelbak hoeft niet hetzelfde te zijn als in een vlakke, vrije veld situatie zonder schermen of verdieping, vanwege de afscherming van lagere bronnen.

Keuze meetposities

De geluidreductie op de verschillende meetdoersnedes is bepaald op twee afstanden en drie meethoogtes buiten de tunnelbak zoals in figuur 5 is weergegeven.

Voor de bepaling van de geluidreductie is het meetpunt op 22 m afstand en 3 m hoogte boven het maaiveld gekozen. De op dit punt gevonden reductie is naar verwachting ook maatgevend op grotere afstand aan dezelfde kant van het spoor (westkant). Op doorsnedes D3 en D4 is ook op 11 m afstand van het spoor gemeten bij de nameting. Praktische afwegingen bij de keuze van de meetposities waren toegankelijkheid en representativiteit voor het geluid buiten de tunnelbak. Er zijn geen microfoons in de tunnelbak aangebracht wegens de sterke luchtstroming, de nabijheid van de bron en de moeilijke interpretatie van dergelijke metingen. Wel zijn trillingsopnemers aan de rails bevestigd, waarmee de wiel/rail ruwheid kan worden bepaald en waaruit de rijnsnelheid nauwkeurig te herleiden is.

Invloed van de treinsnelheid

De treinsnelheid is sterk bepalend voor de twee belangrijkste geluidbronnen, rolgeluid en aerodynamisch geluid. Voor het totale A-gewogen geluidexpositieniveau is al eerder aangetoond dat het rolgeluid de sterkste bijdrage heeft in het vrije veld (zonder schermen). Het geluidexpositieniveau neemt daarom in het algemeen met 20 lg v toe (30 lg v voor het passageniveau $L_{pAeq,tp}$). De Thalys en de V250 rijden in Lansingerland niet met constante snelheid, de TraxxPrio treinen wel.

Invloed van de wiel- en railconditie (ruwheid)

Het rolgeluid van een treinpassage hangt sterk af van de gecombineerde wiel/rail ruwheid. Een verandering in de gecombineerde ruwheid L_R levert een evenredige verandering in het rolgeluidniveau op. De ruwheid kan in de loop van de tijd veranderen en dient daarom te worden gekwantificeerd in de voormeting en de nameting. Dit is het eenvoudigst via railtrillingen te bepalen, waarbij de gecombineerde ruwheid uit het trillingssignaal wordt bepaald. Als de railruwheid ook bekend is dan kan worden beoordeeld of eventuele verschillen te wijten zijn aan

een verandering in de wielruwheid of de railruwheid. De eenvoudigste manier om de gecombineerde ruwheid constant te houden is een gelijktijdige meting met dezelfde trein op identieke meetdoorsnedes met en zonder maatregelen, met identieke of zeer lage railruwheid. Wegens de variabele doorsnede van de spoorverdieping was dit alleen voor doorsnede D3 en D4 mogelijk.

Veel Thalys en TraxxPrio passages bevatten wielen met platte kanten, wat de effectieve ruwheid verhoogt en de spreiding in de metingen vergroot.

Invloed van de strekkende lengte van de maatregel

De beperkte lengte van de maatregelen (100 m) heeft als gevolg dat metingen naast de tunnelbak een bijdrage kunnen bevatten afkomstig van delen van het spoor zonder maatregelen. Als het niveauverloop van de passages bekend is, kan een correctie hiervoor worden uitgevoerd die afhangt van de bronkarakteristiek, de rijsnelheid, de meetafstand, de analysetijd en het verschil in niveau van spoor met en zonder maatregel. De correctie is altijd positief, dat wil zeggen dat de geluidreductie potentieel groter is dan feitelijk gemeten.

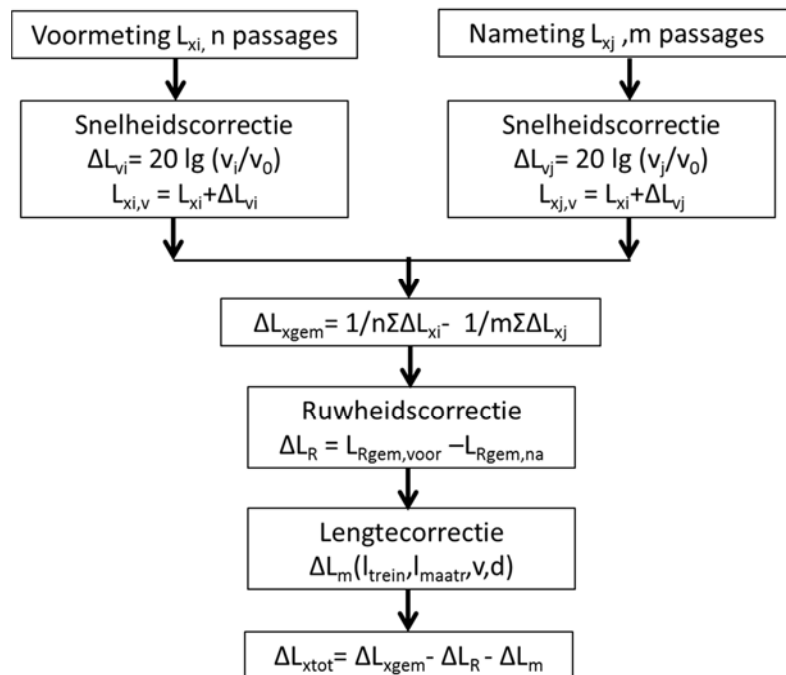
De methodiek hiervoor wordt beschreven in bijlage G. De schatting van deze correctie is alleen op basis van vrije veld situatie gemaakt. In de tunnelbak situatie kan de correctie lager uitvallen vanwege afscherming. Dit betekent dat geluidreducties bepaald met de lengte correctie soms een overschatting van de reductie kunnen zijn.

3.2 Gebruikte methodes

De geluidreductie kan op verschillende manieren worden bepaald. In de analyse zijn drie methodes gebruikt en met elkaar vergeleken. Voor alle drie methodes geldt dat voor deze metingen mogelijk een aanvullende correctie op het resultaat nodig is in verband met de beperkte lengte van de maatregel. Voor het effect van de raildemper is ook een TWINS berekening uitgevoerd.

Methode met aparte correcties voor snelheid en ruwheid

Hierbij worden de eenderde octaafspectra van de geluidexpositieniveaus van alle passages van de voormeting en de nameting eerst op snelheid gecorrigeerd en gemiddeld. Het verschil wordt dan indien nodig met het gemiddelde verschil in totale ruwheid gecorrigeerd. De methode is schematisch weergegeven in figuur 9.



Figuur 9 Bepaling geluidreductie met aparte correcties voor snelheid, ruwheid en lengte van de maatregel. L_x = spectrum geluidexpositieniveau, ΔL_{vi} = snelheidscorrectie voor passage i met snelheid v_i , L_R = gecombineerde ruwheidsspectrum, ΔL_m = lengtecorrectie, l_{trein} = treinlengte, l_{maat} = lengte maatregel.

Methode op basis van overdrachtfuncties (van ruwheid naar geluid)

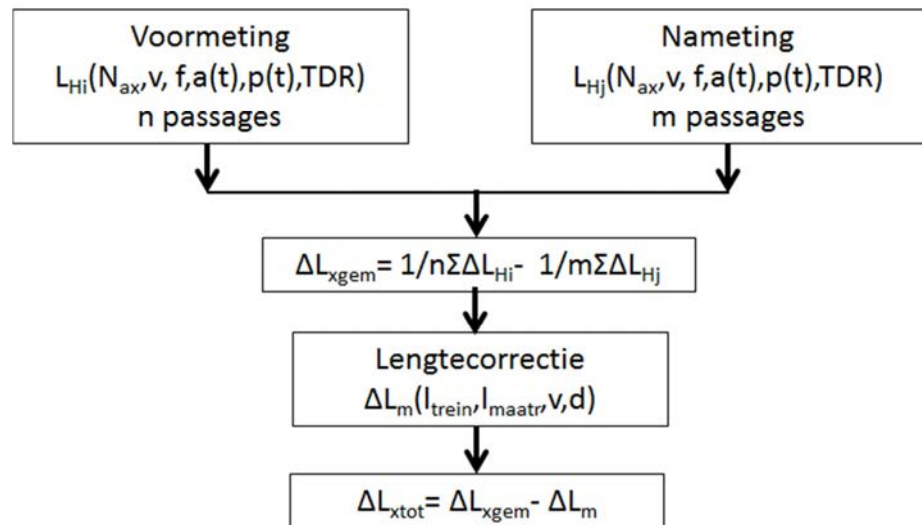
Hierbij worden de overdrachtfuncties van ruwheid naar geluiddruk gemiddeld voor de voormeting en de nameting. De overdrachtfunctie per passage $L_{Hpr,ni}$ is gelijk aan het verschil tussen de geluiddrukkniveau L_p en de totale ruwheid L_R , genormeerd naar de asdichtheid van de trein:

$$L_{Hpr,ni} = L_p - L_R - 10 \lg(N_{ax}/l)$$

Waarbij L_p het geluiddrukkniveau (passageniveau $L_{peq,tp}$) is, L_R het gecombineerde ruwheidsniveau, N_{ax} het aantal assen en l de treinlengte in meters is.

Afwijkingen kunnen ontstaan in het frequentiegebied waar aerodynamisch geluid overheerst, van 25 Hz tot ca. 250 Hz bij 240 km/h. Ook kunnen boven 6 kHz afwijkingen optreden ten gevolge van de positionering en bevestiging van de trillingsopnemers.

Een schema van deze methode staat in figuur 10.

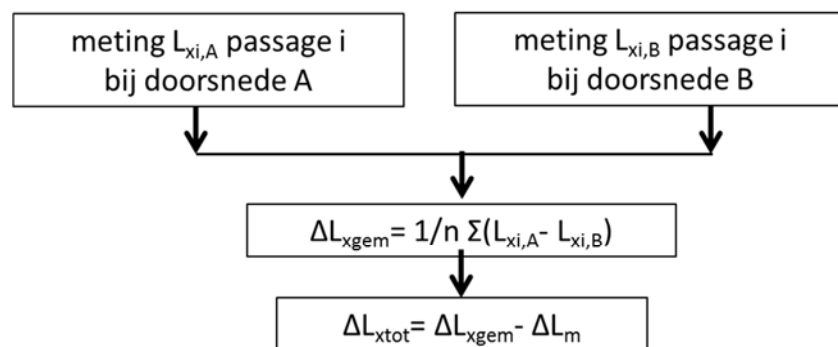


Figuur 10 Bepaling geluidreductie met uit verschillen in de overdracht L_H en lengte van de maatregel. N_{ax} = aantal assen, f = frequentie, $a(t)$ = versnellings signaal railtrilling, $p(t)$ = geluidruksignaal, TDR= verticale afstandsdeмпing van de rail.

Methode op basis van identieke passagecondities

Hierbij wordt het verschil tussen geluidruksniveaus van dezelfde treinpassage op gelijke doorsnedes met en zonder maatregel gemeten bij dezelfde treinsnelheid en railruwheid. Het verschil wordt gemiddeld over meerdere treinpassages.

Deze methode is in figuur 11 weergegeven.



Figuur 11 Bepaling geluidreductie uit identieke treinpassages en lengte van de maatregel (toegepast voor D3/D4).

Methode met TWINS berekening met gemeten afstandsdeмпing

Deze methode wordt alleen toegepast voor de raildeмпer en geeft een geldig resultaat voor onbepaalde lengte van de maatregel en zonder afscherming of verdiepte ligging. Een TWINS berekening wordt uitgevoerd voor een trein met TGV-wielen op Rhedaspoor. De verticale en laterale afstandsdeмпing gemeten met en zonder raildeмпers wordt ingevoerd in de berekening.

4 Metingen

4.1 Geluid

Overeenkomstig de richtlijnen van het Reken- en meetvoorschrift zijn minimaal vijf passages per treintype per richting gemeten. Wegens de beperkte invloed van meteo op relatief korte meetafstand is steeds op één of twee dagen gemeten. De rijsnelheid van de Thalys en de V250 op deze locatie is meestal niet maximaal wegens de nabijheid van Rotterdam enkele kilometers verderop. Er wordt vaak nog (geleidelijk) opgetrokken in de richting Amsterdam bij ca. 220 km/h en afgeremd in de richting Rotterdam bij ca. 245 km/h. De TraxxPrio treinen rijden 160 km/h.

Een overzicht van alle gemeten treinpassages van de voormeting en de nameting en de bijbehorende geluidexpositieniveaus staat in Bijlage A. De voormetingen zijn op 5 en 11 september 2012 uitgevoerd en de nameting op 13 augustus en 13 november 2013. Bij de nameting zijn meer passages gemeten, met name van de TraxxPrio treinen.

De meteocondities staan in Bijlage I samen met een overzicht van de gebruikte meetapparatuur.

In tabellen 1, 2 en 3 en figuren 9-11 staan de rekenkundig gemiddelde geluidexpositieniveaus voor 5 treinpassages van de Thalys en de V250 in beide richtingen. Gemiddelde spectrale resultaten van de voormeting zonder snelheidscorrectie staan in figuren 12-14. Enkele karakteristieke tijdverloopcurves van het A-gewogen niveau uit de voormeting staan in Bijlage B.

De gemiddelde expositieniveaus gelden voor een gemiddelde rijsnelheid, die echter per treintype en rijrichting verschilt. Daarom worden in tabellen 1, 2 en 3 ook resultaten gepresenteerd met een snelheidscorrectie per passage. De toegepaste correctie is $20 \lg(v_{ref}/v)$ voor geluidexpositieniveaus, overeenkomstig de $30 \lg v$ afhankelijkheid voor passageniveaus $L_{pAeq,tp}$. Hierbij is ook verondersteld dat rolgeluid voor het totale niveau bepalend is, wat uit eerdere metingen is gebleken.

De geluidexpositieniveaus van alle passages gemeten op microfoonhoogte 4,5 m en meetafstand 22 m zonder snelheidscorrectie zijn in figuren 10, 11 en 12 weergegeven voor de drie meetdoornedes. De gemiddelde octaafspectra van het expositieniveau op dezelfde meetpositie staan in figuren 13, 14 en 15.

Tabel 1 Gemiddelde geluidexpositieniveaus op meetdoorsnede 1, Thalys, V250 en TraxxPrio, zonder snelheidscorrectie en met 20 lg v snelheidscorrectie per passage naar 230 km/h voor Thalys en V250 (onder, gearceerd).

Treintype	Richting	Snelheid km/h (gemid.)	L _{Ax}	L _{Ax}	L _{Ax}	L _{Ax}	L _{Ax}	L _{Ax}
			dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
			D=22m H=1.5m	D=22m H=3m	D=22m H=4.5m	D=42m H=1.5m	D=42m H=3m	D=42m H=4.5m
Thalys	A'dam	235	82,6	84,1	86,5	79,7	81,1	82,3
Thalys	R'dam	226	84,1	86,8	90,4	82,2	84,0	85,6
V250	A'dam	219	79,8	81,5	84,3	77,1	78,8	80,2
V250	R'dam	258	83,5	86,4	90,0	81,5	83,7	85,3
TraxxPrio	A'dam	160	81,3	82,7	85,2	78,4	79,8	81,0
TraxxPrio	R'dam	160	83,7	86,5	89,9	81,9	83,8	85,5
Thalys	A'dam	230	82,4	83,9	86,4	79,5	80,9	82,1
Thalys	R'dam	230	84,4	87,1	90,6	82,4	84,2	85,9
V250	A'dam	230	80,3	82,0	84,8	77,5	79,3	80,6
V250	R'dam	230	82,5	85,4	89,0	80,5	82,7	84,3

Tabel 2 Gemiddelde expositieniveaus op meetdoorsnede 2, Thalys, V250 en TraxxPrio zonder snelheidscorrectie en met 20 lg v snelheidscorrectie per passage naar 230 km/h voor Thalys en V250 (onder, gearceerd).

Treintype	Richting	Snelheid km/h (gemid.)	L _{Ax}	L _{Ax}	L _{Ax}	L _{Ax}	L _{Ax}	L _{Ax}
			dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
			D=22m H=1.5m	D=22m H=3m	D=22m H=4.5m	D=33m H=1,5m	D=33m H=3m	D=33m H=4,5m
Thalys	A'dam	225	89,4	90,8	92,4	87,4	88,9	89,8
Thalys	R'dam	235	93,2	94,1	95,3	91,4	93,0	93,8
V250	A'dam	204	85,8	87,3	89,0	83,6	85,1	86,1
V250	R'dam	246	91,7	93,0	94,5	89,9	91,8	92,8
TraxxPrio	A'dam	160	88,8	90,7	92,3	86,7	88,7	89,8
TraxxPrio	R'dam	160	91,5	92,9	93,7	89,8	91,5	92,0
Thalys	A'dam	230	89,6	91,1	92,6	87,6	89,1	90,0
Thalys	R'dam	230	93,0	94,0	95,2	91,2	92,8	93,6
V250	A'dam	230	86,8	88,3	90,0	84,6	86,1	87,1
V250	R'dam	230	91,1	92,4	93,9	89,3	91,2	92,2

Tabel 3 Gemiddelde expositieniveaus op meetdoorsnede 3, Thalys, V250 en TraxxPrio, zonder snelheidscorrectie en met 20 lg v snelheidscorrectie per passage naar 230 km/h voor Thalys en V250 (onder, gearceerd).

Treintype	Richting	Snelheid km/h (gemid.)	L _{Ax}	L _{Ax}	L _{Ax}
			dB(A) D=22m H=1.5m	dB(A) D=22m H=3m	dB(A) D=22m H=4.5m
Thalys	A'dam	225	88,3	89,3	90,0
Thalys	R'dam	232	92,0	93,5	94,2
V250	A'dam	193	85,2	86,1	87,1
V250	R'dam	247	92,3	93,8	94,4
TraxxPrio	A'dam	160	85,5	86,8	87,9
TraxxPrio	R'dam	160	91,4	92,8	93,5
Thalys	A'dam	230	88,5	89,4	90,2
Thalys	R'dam	230	91,9	93,4	94,2
V250	A'dam	230	86,8	87,7	88,7
V250	R'dam	230	91,7	93,1	93,8

De gemeten geluidrukniveaus liggen bij doorsnedes 2 en 3 met gemiddeld 7 dB beduidend hoger dan bij doorsnede 1, voor beide treintypes. Dit is te verklaren door de afwezigheid van een geluidscherm aan de westzijde op die doorsnedes.

Zowel met als zonder snelheidscorrectie is er op alle drie meetdoorsnedes een verschil tussen treinen op het oost- en westspoor te zien in de orde grootte van 1-6 dB, waarbij de treinen op het westspoor richting Rotterdam de hoogste niveaus produceren. Dit effect treedt op voor alle treintypes, waarbij de grootste verschillen optreden op doorsnede D3 en het sterkste voor de TraxxPrio en de V250. De verschillen in snelheidsgecorrigeerde expositieniveaus

$\Delta L_{Ax} = L_{Ax,West} - \Delta L_{Ax,Oost}$ tussen het westspoor en het oostspoor staan in tabel 4.

Tabel 4 Verschillen in gemiddelde (snelheidsgecorrigeerde) expositieniveaus van de sporen richting Rotterdam en richting Amsterdam op de drie meetdoorsnedes voor de Thalys, de V250 en de TraxxPrio.

	ΔL_{Ax} dB	ΔL_{Ax} dB	ΔL_{Ax} dB
Thalys D1	2,0	3,2	4,3
V250 D1	2,3	3,5	4,2
TraxxP D1	2,3	3,8	4,7
Thalys D2	3,4	2,9	2,6
V250 D2	4,3	4,1	3,8
TraxxP D2	2,7	2,2	1,4
Thalys D3	3,4	4,0	4,0
V250 D3	4,9	5,5	5,1
TraxxP D3	5,9	6,1	5,6

Deze resultaten zijn als volgt te verklaren.

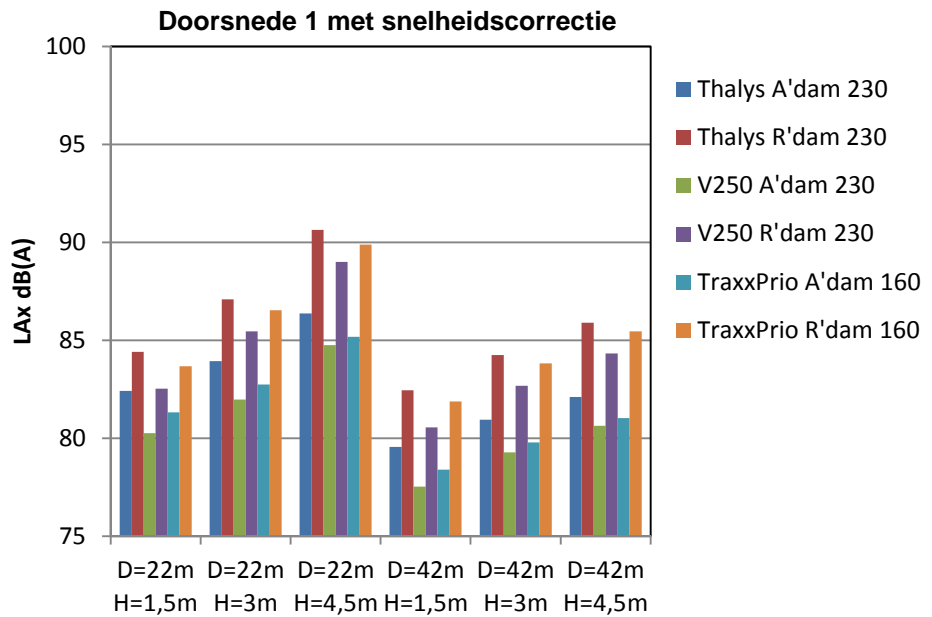
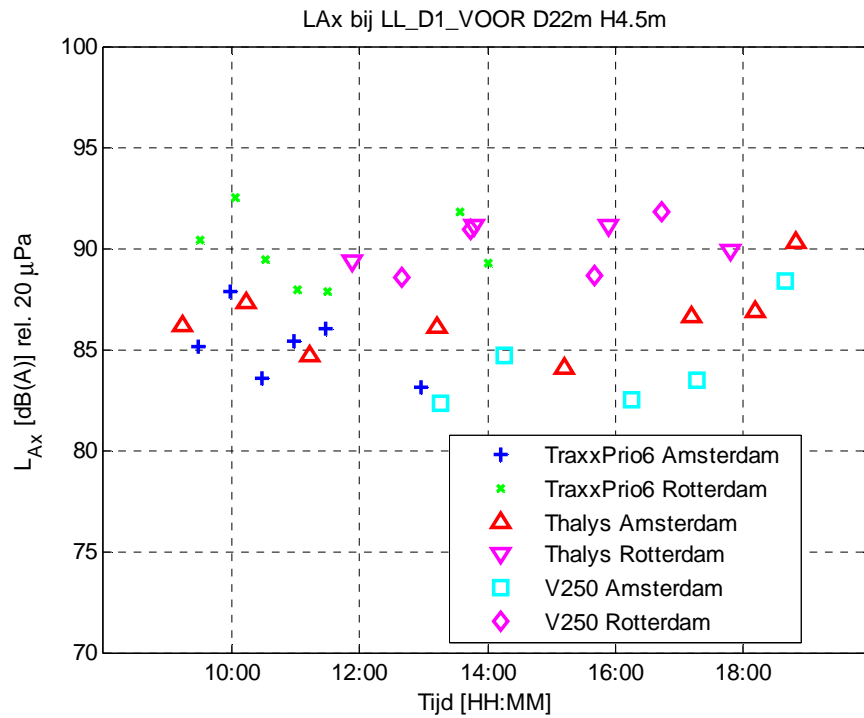
Invloed van reflecties

Op meetdoorsnede D1 neemt het verschil tussen het niveau op beide sporen toe met toenemende meethoogte. Dit is te verklaren met de afnemende invloed van reflectie van het scherm aan de oostkant op lagere meethoogte achter het geluidsscherm aan de westkant.

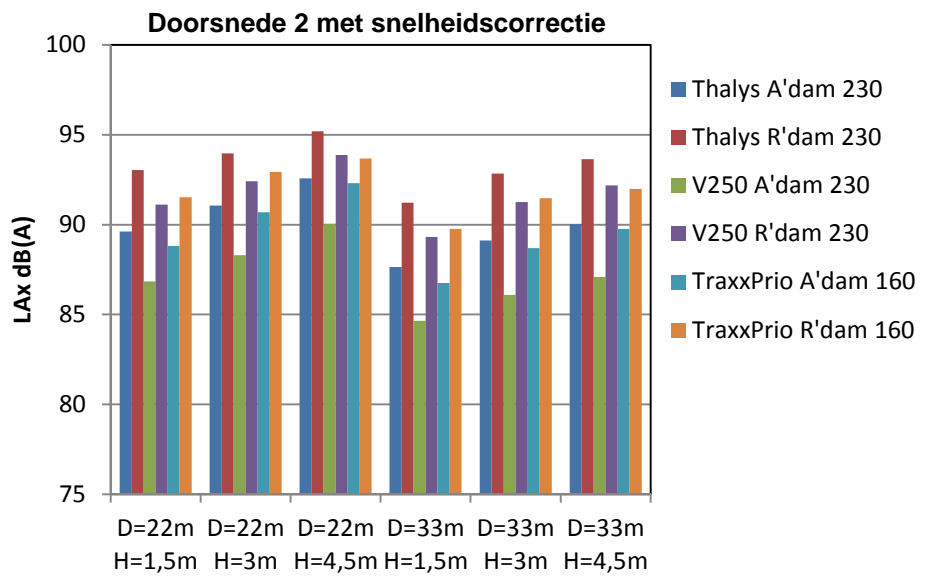
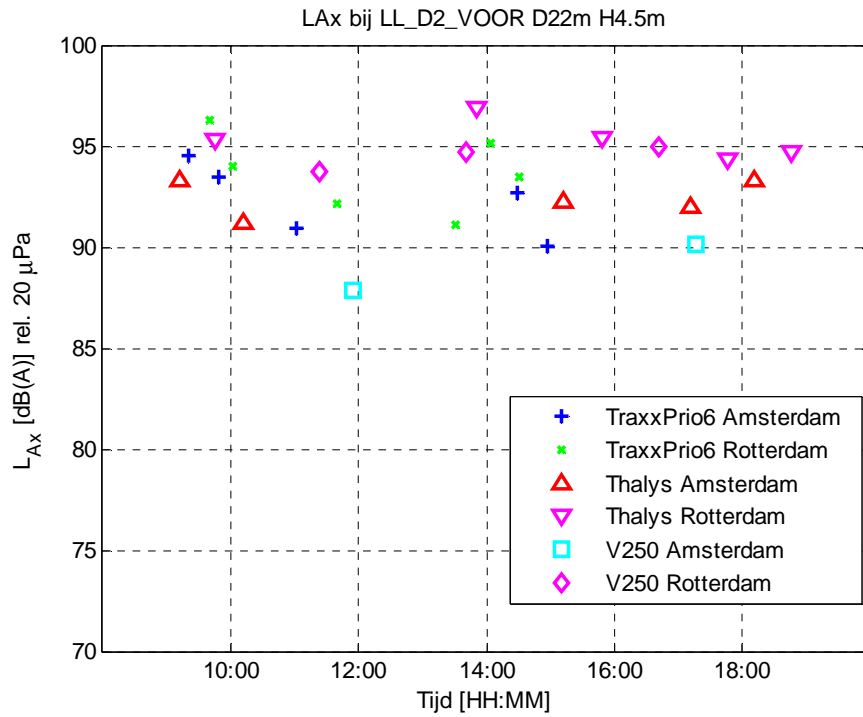
Bij doorsnedes D2 en D3 is geen scherm aan de westkant aanwezig waardoor reflecties van het scherm aan de oostkant beter tot uiting komen. Dit effect is sterker bij doorsnede D3 waar het spoor dieper ligt.

Invloed van wiel/rail ruwheid

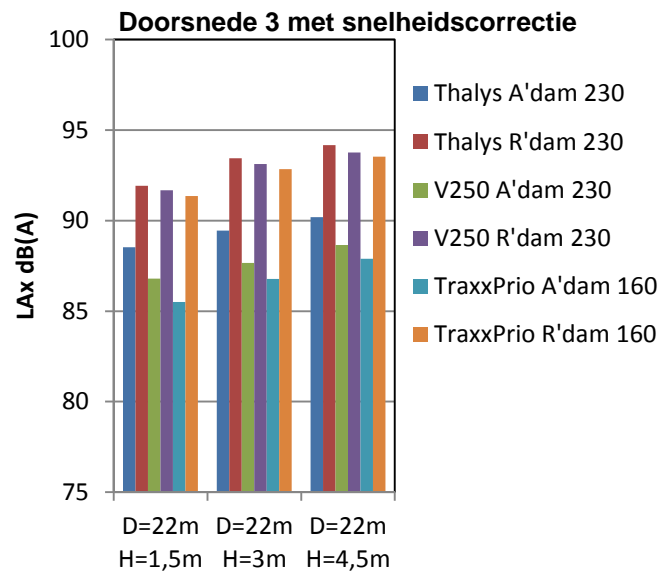
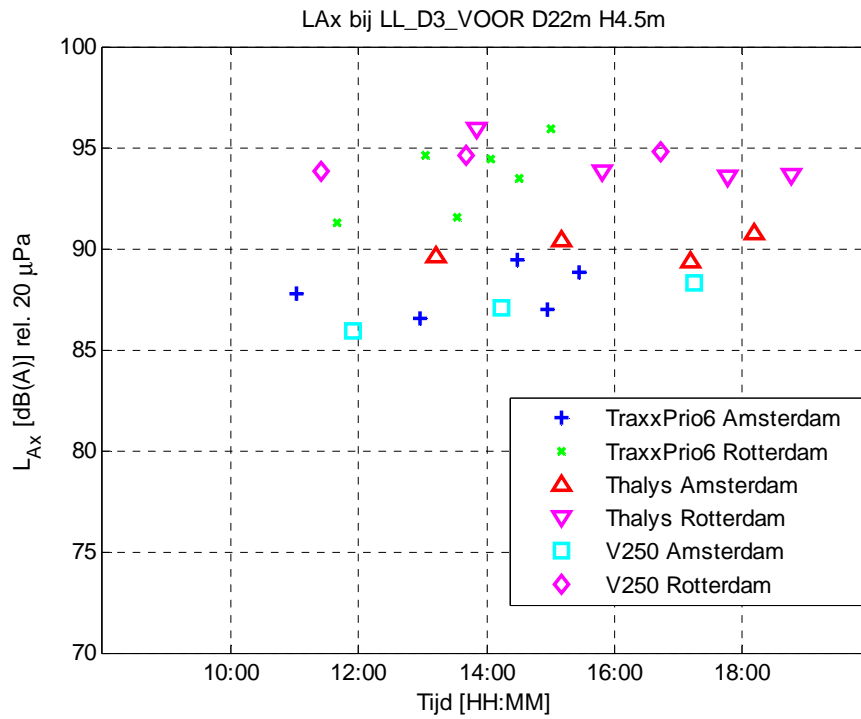
De gecombineerde wiel/rail ruwheid beïnvloedt de niveaus. In Bijlage C staat een overzicht van de gecombineerde wiel/rail ruwheden op meetdoorsnedes D2 en D3 op beide sporen voor de voormeting en de nameting, en de direct gemeten railruwheden bij de nameting. Voor de Thalys is de wielruwheid in het algemeen veel hoger dan de railruwheid, waardoor kleine verschillen in railruwheid op oost- en westspoor weinig effect op de passageniveaus zullen hebben.



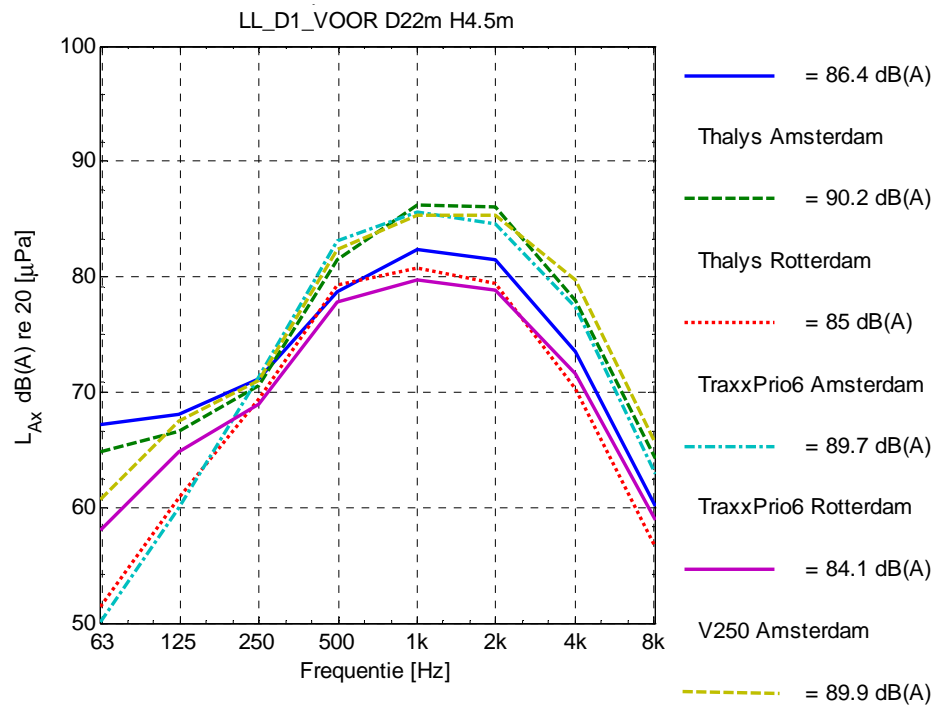
Figuur 12 Geluidexpositieniveaus van de Thalys, V250 en TraxxPrio bij meetdoorsnede 1. Boven: gemeten passages op 22 m uit het hart spoor, meethoogte 4,5 m boven maaiveld; onder: rekenkundig gemiddelde geluidexpositieniveaus op alle microfoonposities, met snelheidscorrectie naar 230 km/h voor Thalys en V250.



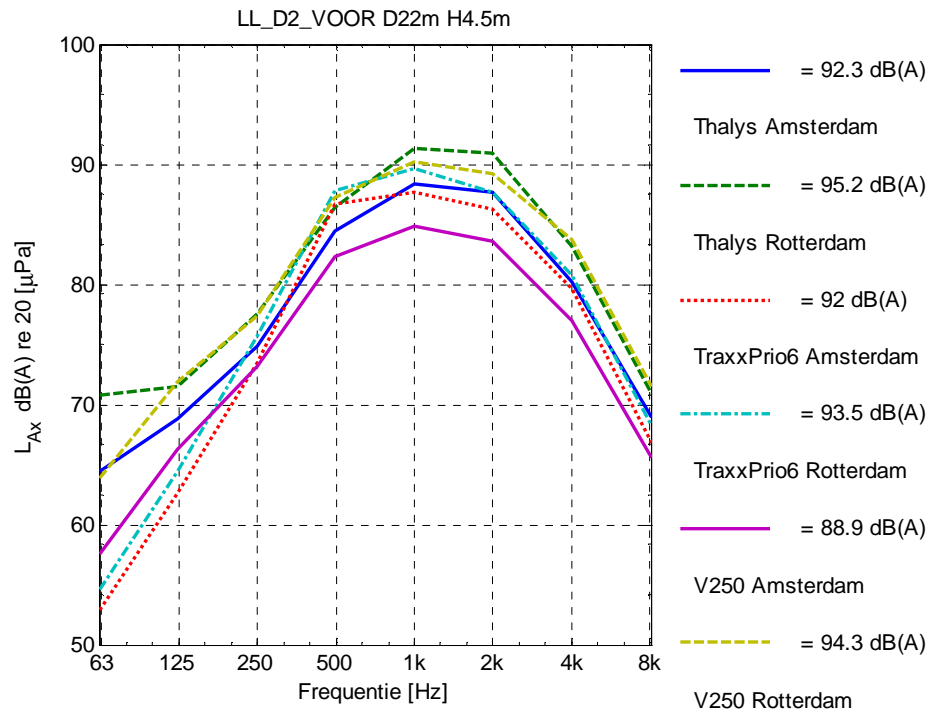
Figuur 13 Geluidexpositieniveaus van de Thalys, V250 en TraxxPrio bij meetdoorsnede 2. Boven: gemeten passages op 22 m uit het hart spoor, meethoogte 4,5 m boven maaiveld; onder: rekenkundig gemiddelde geluidexpositieniveaus op alle microfoonposities, met snelheidscorrectie naar 230 km/h voor Thalys en V250.



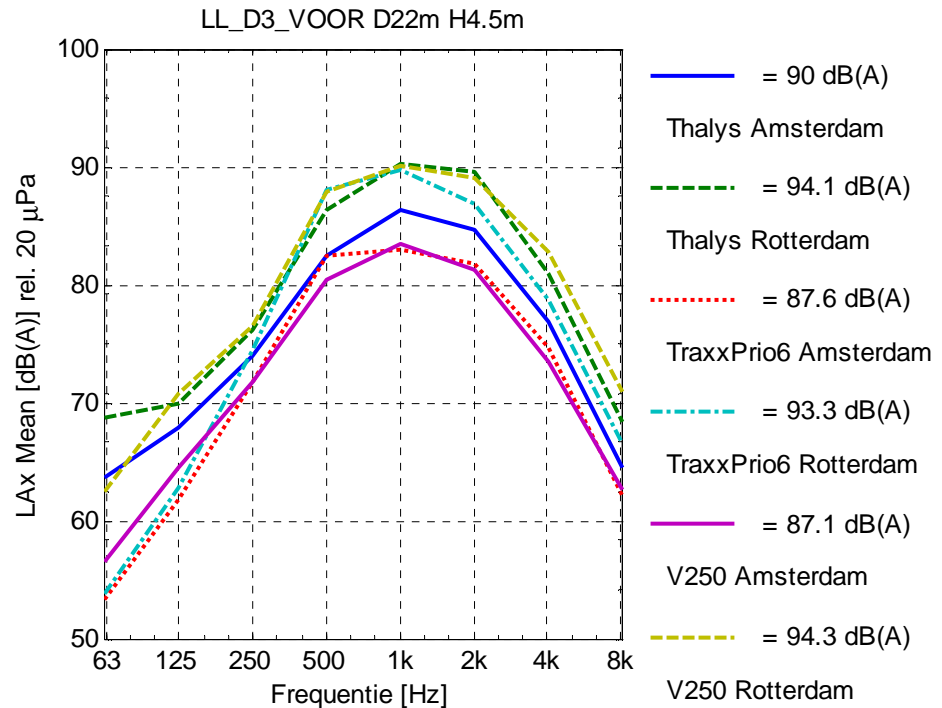
Figuur 14 Geluidexpositieniveaus van de Thalys, V250 en TraxxPrio bij meetdoorsnede 3. Boven: gemeten passages op 22 m uit het hart spoor, meethoogte 4,5 m boven maaiveld; onder: rekenkundig gemiddelde geluidexpositieniveaus op 3 microfoonposities op 22 m afstand, met snelheidscorrectie naar 230 km/h voor Thalys en V250.



Figuur 15 Gemiddelde octaafspectra van het geluidexpositieniveau bij meetdoorsnede 1, Thalys, V250 en TraxxPrio in beide richtingen.



Figuur 16 Gemiddelde octaafspectra van het geluidexpositieniveau bij meetdoorsnede 2, Thalys, V250 en TraxxPrio in beide richtingen.



Figuur 17 Gemiddelde octaafspectra van het geluidexpositieniveau bij meetdoorsnede 3, Thalys, V250 en TraxxPrio in beide richtingen.

4.2 Gecombineerde wiel/railruwheid uit railtrillingen

Op meetdoorsnedes D1, D2 en D3 is de gecombineerde wiel/railruwheid uit de railtrillingen van de treinpassages bepaald. Hiermee kan het effect van veranderde wiel- of railruwheid tussen de voor- en de nameting indien nodig worden verdisconteerd bij de bepaling van de geluidreducerende werking van maatregelen. Verticale railtrillingen zijn voor alle passages op deze doorsnedes gemeten op minstens één rail.

In bijlage C staan grafieken van de gemiddelde gecombineerde ruwheid van de gemeten passages als functie van de golflengte, de railruwheid en de verandering daarin tussen augustus en november 2013. Ook is voor de voor- en de nameting de gemiddelde verticale afstandsdeemping weergegeven en voor meetdoorsnede D2 west met raildempers ook de laterale afstandsdeemping.

De afstandsdeemping en de gecombineerde ruwheid zijn bepaald met behulp van de PBA software van TNO.

Uit de gecombineerde ruwheid is te zien dat de gecombineerde ruwheidsniveaus van de Thalys altijd enkele dB hoger zijn dan die van de V250. Dit wijst erop dat de wielruwheid van de Thalys hoger is dan die van de V250, en globaal hoger is dan de railruwheid. Voor de gecombineerde ruwheden van de V250 geldt dat wegens het lagere niveau de railruwheid een grotere invloed op het totale geluidniveau kan hebben. In bijlage E zijn foto's van het railloopvlak weergegeven.

5 Resultaten analyse geluidreductie raildempers en absorptieplaten

5.1 Resultaten meetdoorsnede D2, raildempers

Voor de raildempers is de reductie op verschillende manieren bepaald (zie beschrijving methodiek):

- op basis van overdrachtfuncties;
- op basis van snelheidsgecorrigeerde geluidexpositiespectra;
- op basis van een TWINS berekening uitgaande van de gemeten afstandsdemping.

In tabel 5 hieronder worden de geluidreducties in het A-gewogen expositie- of passageniveau niveau getoond voor de Thalys bij 200-232 km/h en voor de TraxxPrio bij 160 km/h. De toegepaste methode is aangegeven met

- ΔL_H voor het verschil in overdrachtspectra,
- $\Delta L_{x,v}$ voor het verschil in geluidexpositiespectra met snelheidscorrectie.

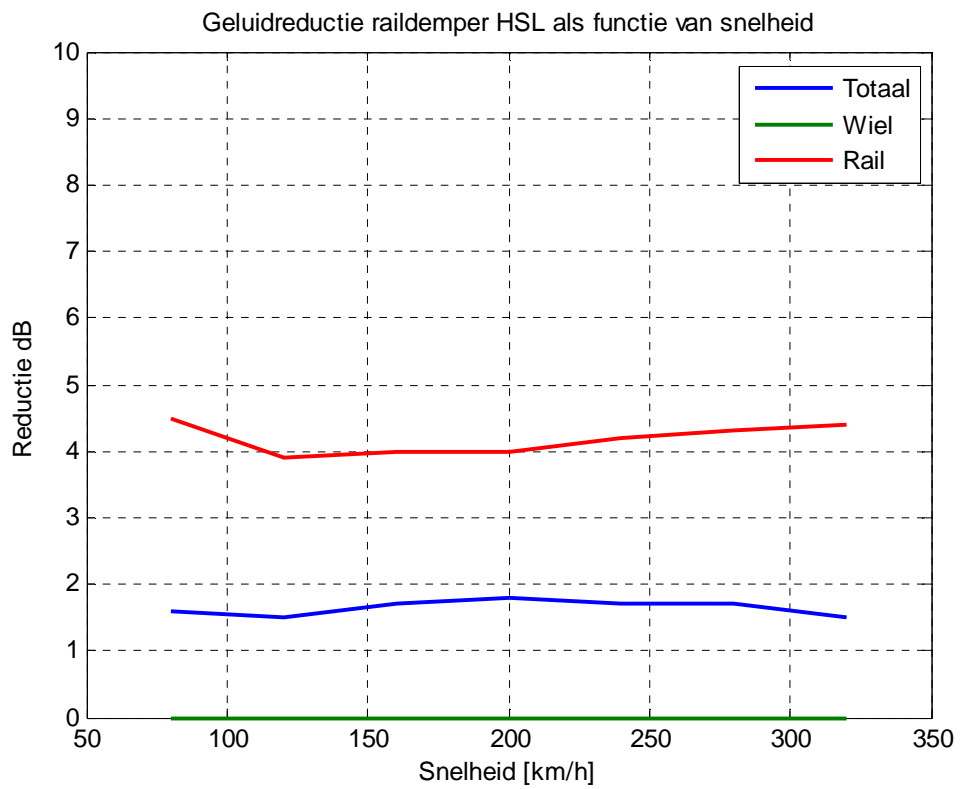
Daarnaast is ook het resultaat van een TWINS berekening op 7,5 m afstand weergegeven voor een trein met TGV-wielen op Rhedaspoor, met de gemeten afstandsdemping met en zonder raildempers, en voor de situatie zonder afscherming van de tunnelbak of geluidschermen. Dit resultaat geldt voor onbeperkte lengte van de maatregel.

Tabel 5 Geluidreductie voor de raildempers op het westspoor, bepaald uit metingen naast de tunnelbak en railtrillingen.

Reducties in dB zonder lengtecorrectie	D2W Raildempers	
	Zonder lengtecorrectie	Met lengtecorrectie
Thalys	216-250 km/h	
ΔL_H	1,7-2,8	2,2-3,8
$\Delta L_{x,v}$	2,2	2,7
TraxxPrio	160 km/h	
ΔL_H	2,0	2,5
$\Delta L_{x,v}$	1,6-1,9	2,0-2,3
TWINS met gemeten afstandsdemping (TGV wiel, open veld)	1,7	

Op basis van deze resultaten lijkt een afgeronde geluidreductiegetal van 2 dB gerechtvaardigd voor zowel de Thalys and de TraxxPrio en gezien de uitkomst van de TWINS berekening voor de vrije situatie lijkt een lengtecorrectie niet nodig. De potentiële spreiding wordt ingeschat op $\pm 0,6$ dB.

TWINS berekeningen bij een aantal snelheden, weergegeven in figuur 18, tonen aan dat deze reductie over een breed snelheidsgebied optreedt. De reden hiervoor is de sterke bijdrage van de rail over een breed frequentiegebied tot 2 kHz, waardoor een grote reductie van het railgeluid tot een relatief grote reductie van het totale geluidniveau leidt.



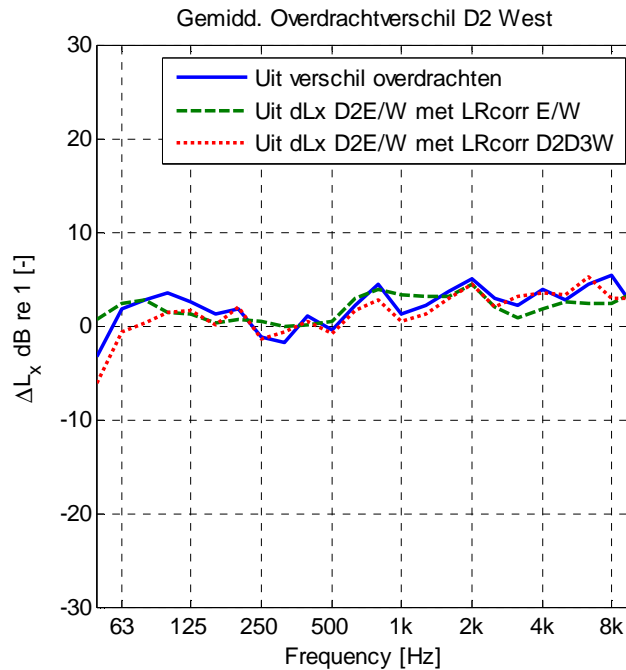
Figuur 18 Berekende geluidreductie van raildempers op het totale geluidniveau van wiel en rail (blauwe curve), op de bijdrage van de rail (bovenste curve) en van het wiel (groene vlakke lijn) voor de situatie in het vrije veld zonder afscherming.

De geluidreducties bepaald door de verschillende methodes zijn in de figuren hieronder weergegeven.

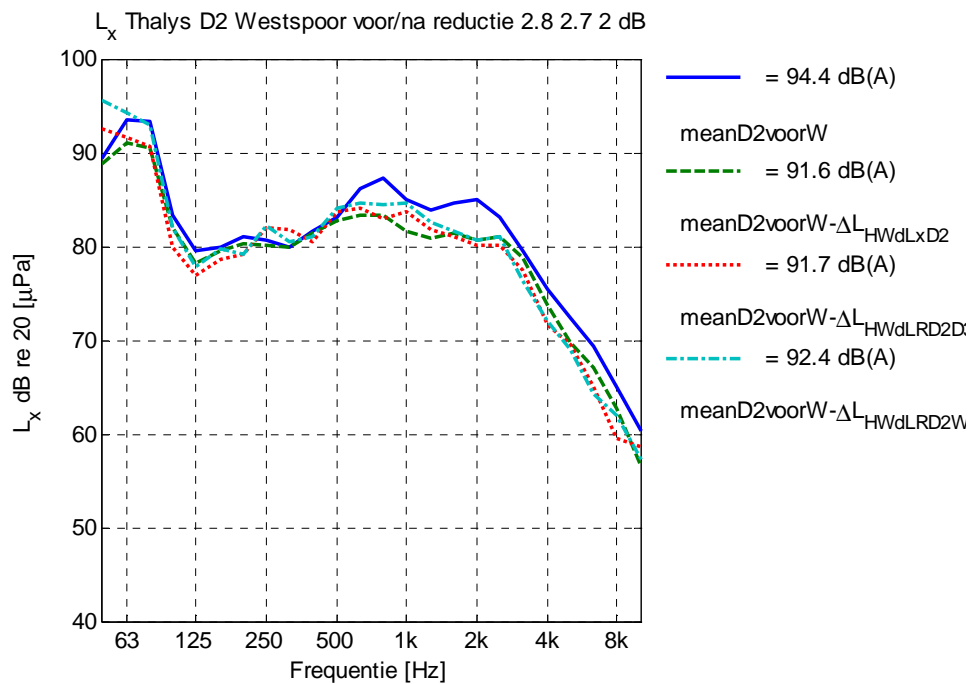
De spectrale resultaten van de TWINS berekening zijn weergegeven in Bijlage F.

5.2 Spectrale resultaten raildempers, Thalys

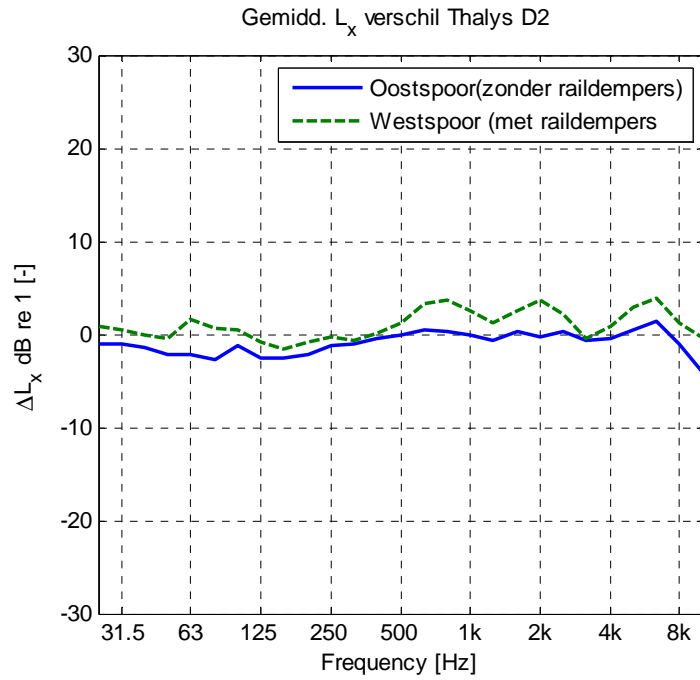
Hieronder zijn de resultaten voor de Thalys en raildempers op doorsnede D2 in een derde octaafspectra weergegeven op basis van verschillen in overdrachtspectra en op basis van de verschillen in snelheidsgecorrigeerde geluidexpositiespectra.



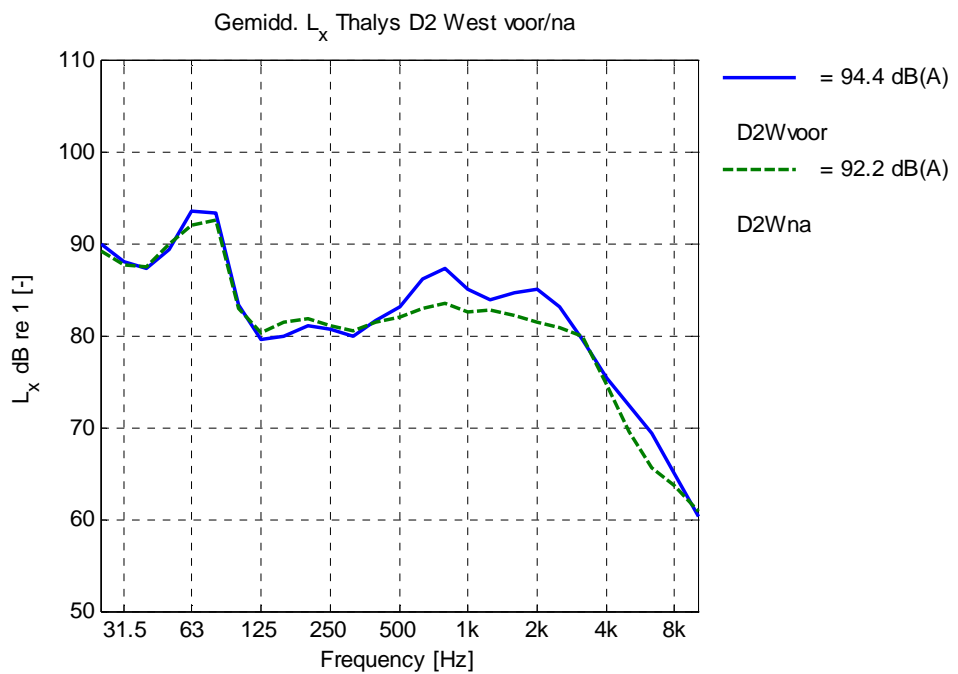
Figuur 19 Gemiddelde geluidreductie bij D2 west ten gevolge van de raildempers voor de Thalys bij 245 km/h, verschillende schattingen voor de overdrachtfunctie.



Figuur 20 Gemiddelde expositieniveau D2 west spoor zonder raildempers en met geluidreductie ten gevolge van de raildempers voor de Thalys bij 245 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde overdrachtfuncties.



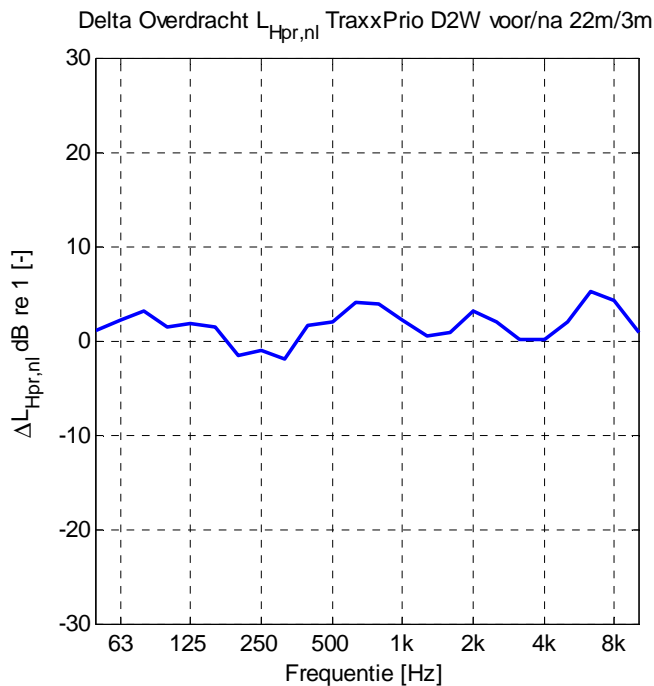
Figuur 21 Gemiddelde geluidreductie bij doorsnede D2 op het oostspoor zonder maatregel en op het westspoor zonder raildempers en met geluidreductie ten gevolge van de raildempers voor de Thalys bij 245 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde snelheidsgecorrigeerde geluidexpositieniveaus.



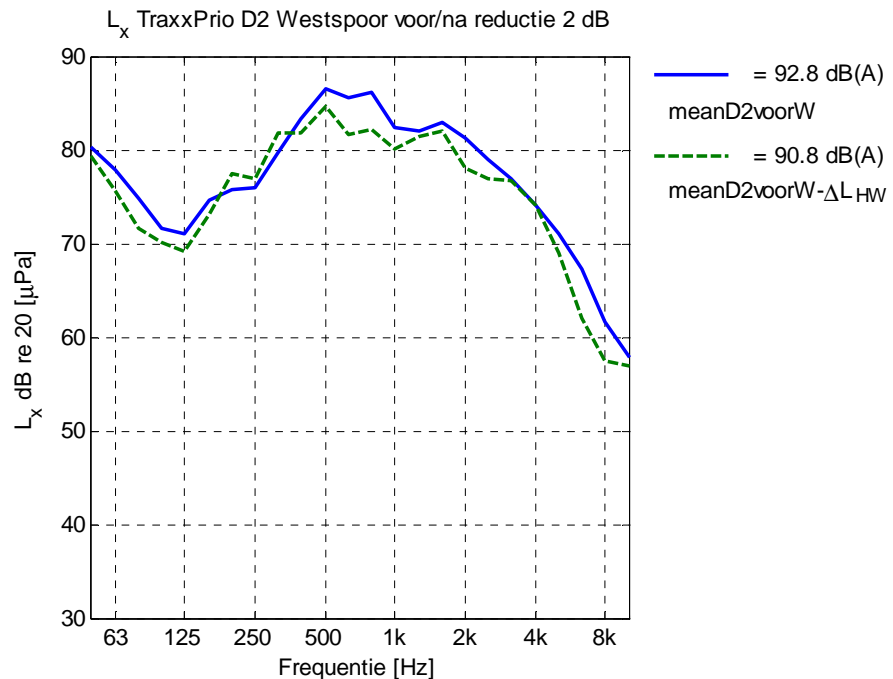
Figuur 22 Gemiddelde expositieniveau D2 west spoor zonder raildempers en met geluidreductie ten gevolge van de raildempers voor de Thalys bij 245 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde snelheidsgecorrigeerde geluidexpositieniveaus.

5.3 Spectrale resultaten raildempers, TraxxPrio

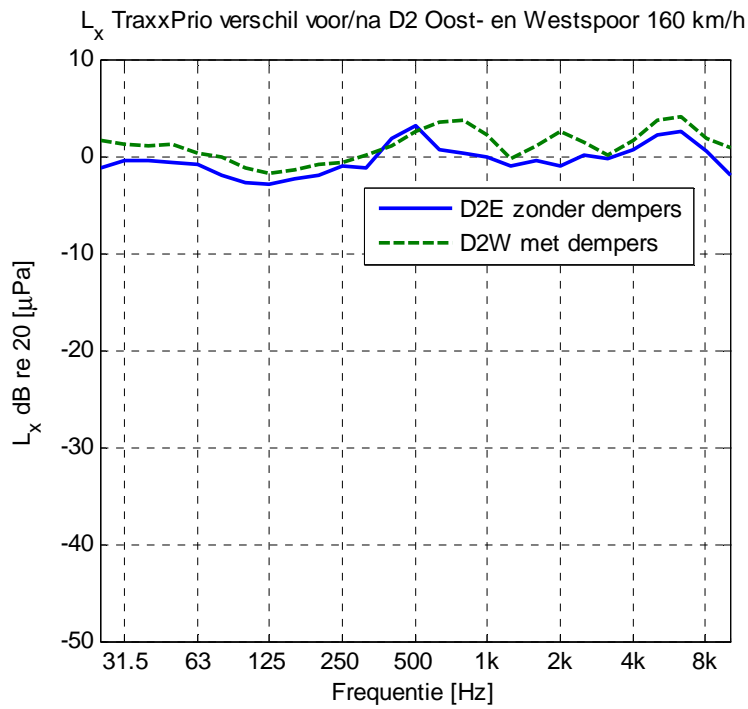
Hieronder zijn de resultaten voor de TraxxPrio en raildempers op doorsnede D2 in een derde octaafspectra weergegeven op basis van verschillen in overdrachtspectra en op basis van de verschillen in snelheidsgecorrigeerde geluidexpositiespectra.



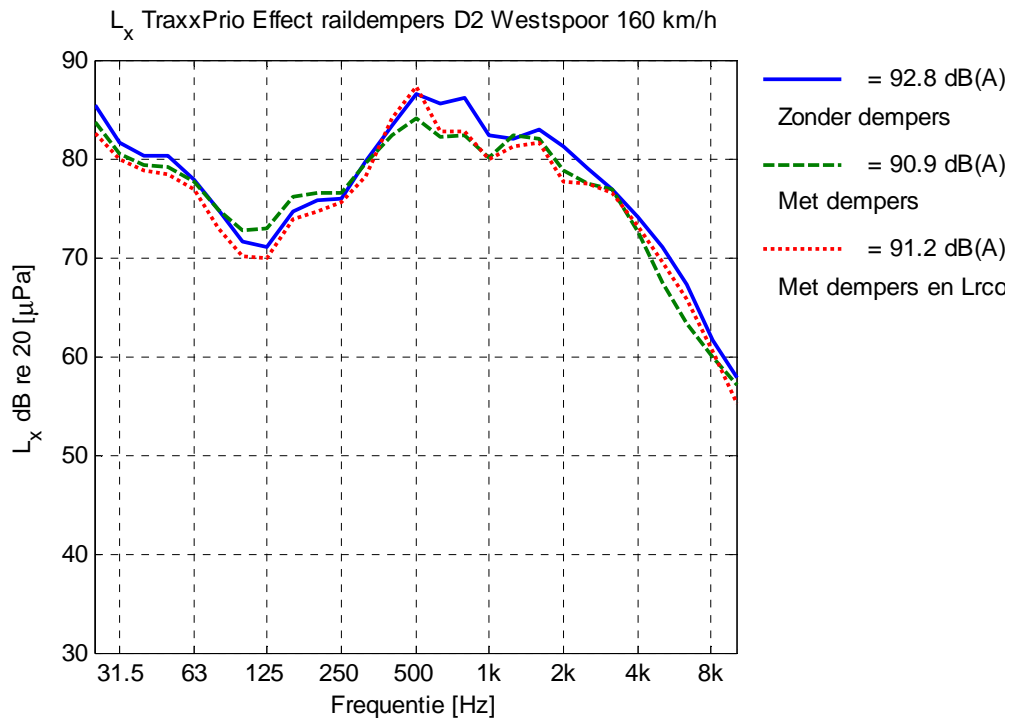
Figuur 23 Gemiddelde geluidreductie D2 westspoor ten gevolge van de raildempers voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde overdrachtfuncties.



Figuur 24 Gemiddelde exponentieniveau D2 west spoor zonder raildempers en met geluidreductie ten gevolge van de raildempers voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde overdrachtfuncties.



Figuur 25 Gemiddelde verandering van het geluidexpositieniveau bij D2 oostspoor zonder maatregel en de geluidreductie op D2 westspoor ten gevolge van de raildempers voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde snelheidsgecorrigeerde geluidexpositiespectra.



Figuur 26 Gemiddelde expositieniveau D2 westspoor zonder raildempers en met geluidreductie ten gevolge van de raildempers voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde geluidexpositiespectra, tevens met ruwheidscorrectie.

5.4 Resultaten meetdoorsnede D3, absorptieplaten

Voor de absorptieplaten is de reductie op verschillende manieren bepaald (zie beschrijving methodiek):

- op basis van overdrachtfuncties;
- op basis van snelheidsgecorrigeerde geluidexpositiespectra;
- op basis van het gemiddelde verschil tussen geluidexpositiespectra van identieke treinpassages op doorsnede D3 en doorsnede D4.

De reductie is bepaald voor de Thalys en de TraxxPrio zowel op het oostspoor als op het westspoor bij doorsnede D3.

In tabel 6 hieronder worden de geluidreducties in het A-gewogen expositie- of passageniveau niveau getoond voor de Thalys bij 200-250 km/h en de TraxxPrio bij 160 km/h. De toegepaste methode is wederom aangegeven met

- ΔL_H voor het verschil in overdrachtspectra,
- $\Delta L_{x,v}$ voor het verschil in geluidexpositiespectra met snelheidscorrectie,
- $\Delta L_{x,D3/D4}$ voor het verschil in geluidexpositiespectra op basis van identieke treinpassages op doorsnedes D3 en D4, zowel op 22 m als 11 m afstand van het westspoor.

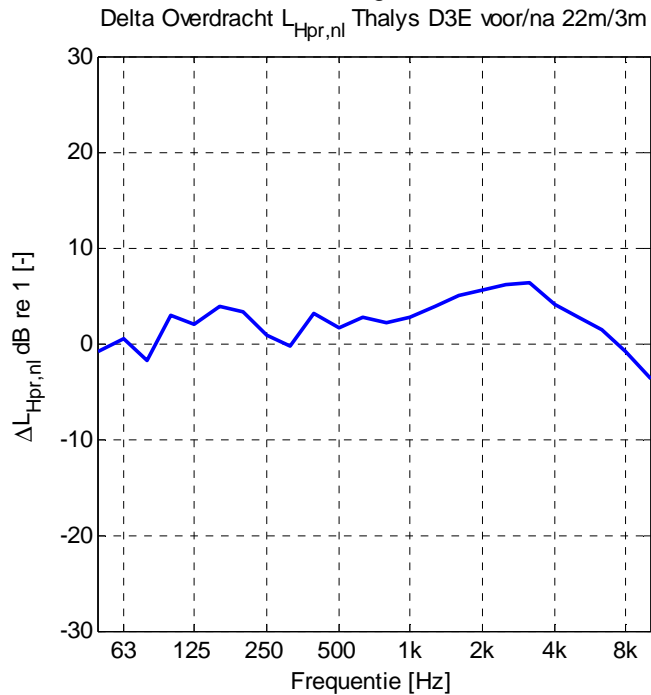
De gemiddelde reductie van de drie methodes inclusief lengtecorrectie bedraagt 3,9 dB voor de Thalys op het oostspoor en 3,8 dB op het westspoor. Voor de TraxxPrio is dit 2,9 dB voor het oostspoor en 3,5 dB op het westspoor. Op de kortere afstand van 11 m worden lagere reducties gevonden van 2,4-2,8 dB voor de Thalys en 2,0-3,2 dB voor de TraxxPrio. De potentiële spreiding wordt geschat op $\pm 0,9$ dB.

Tabel 6 Geluidreductie voor de absorptieplaten op het westspoor, bepaald uit metingen naast de tunnelbak en railtrillingen. Alle reducties zijn voor de microfoonpositie op 22 m vanaf het westspoor, behalve bij de D3/D4 meting waar ook op een positie op 11 m afstand gemeten is.

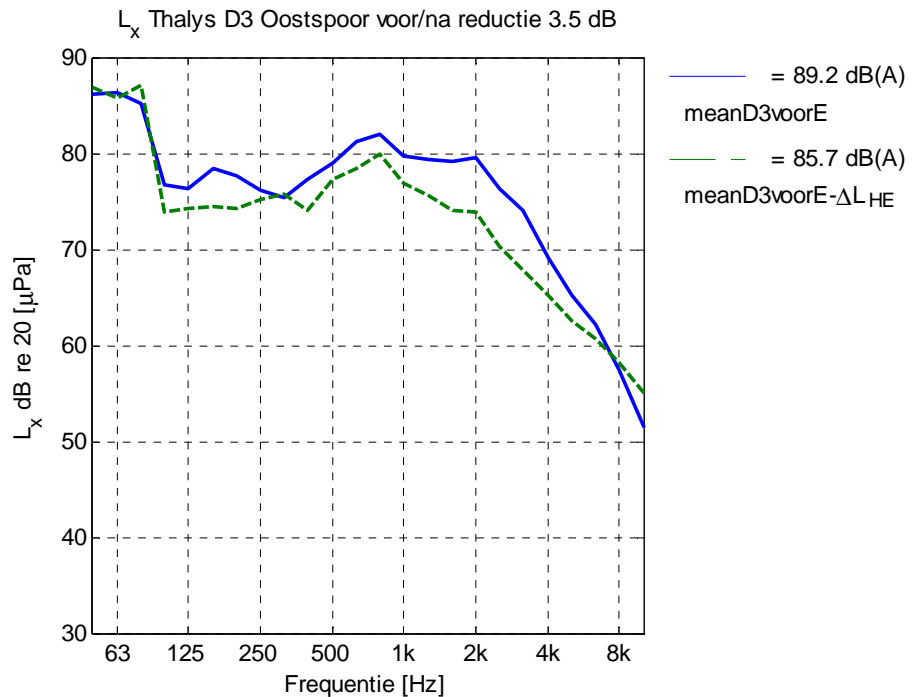
	D3E absorptieplaten Reductie in dB		D3W absorptieplaten Reductie in dB	
	Zonder lengtecorrectie	Met lengtecorrectie	Zonder lengtecorrectie	Met lengtecorrectie
Thalys	200-232 km/h		216-250 km/h	
ΔL_H	3,5	4,8	2,8	3,7
$\Delta L_{x,v}$	2,6	3,5	3,0	4,0
$\Delta L_{x,D4/D3}$	2,5 (11m: 2,2)	3,3 (11m:2,4)	2,8 (11m:2,5)	3,7 (11m:2,8)
Gemiddelde $\Delta L_H, \Delta L_{x,v},$ $\Delta L_{x,D4/D3}$	2,9	3,9	2,9	3,8
TraxxPrio	160 km/h		160 km/h	
ΔL_H	2,3	2,9	3,3	4,2
$\Delta L_{x,v}$	1,6	2,0	3,1	4,0
$\Delta L_{x,D4/D3}$	3,0 (11m:2,9)	3,8 (11m: 3,2)	1,8 (11m:1,8)	2,2 (11m: 2,0)
Gemiddelde $\Delta L_H, \Delta L_{x,v},$ $\Delta L_{x,D4/D3}$	2,3	2,9	2,7	3,5

5.5 Spectrale resultaten absorptieplaten, Thalys

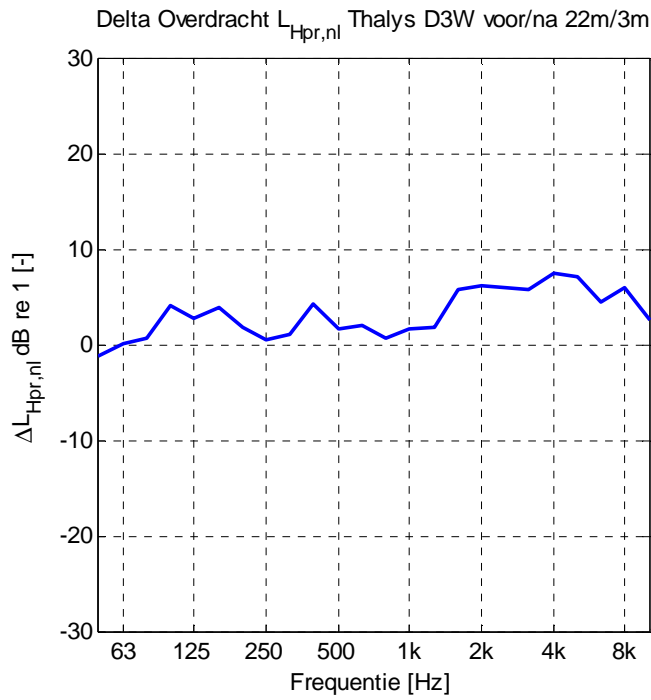
De spectrale resultaten voor de absorptieplaten met de Thalys staan in de figuren hieronder voor het oost- en westspoor. Het spectrum van de geluidreductie en van het gemiddelde en het gereduceerde spectrum zijn achtereenvolgens weergegeven voor de drie methodes, zonder lengtecorrectie.



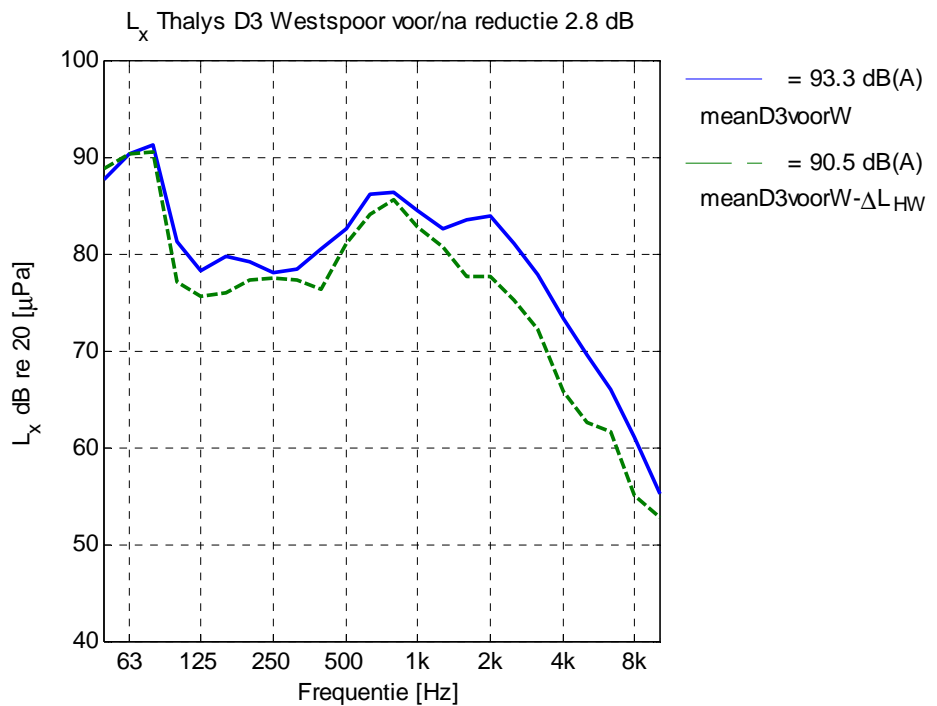
Figuur 27 Gemiddelde geluidreductie D3 oostspoor ten gevolge van de absorptieplaten voor de Thalys bij 230 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde overdrachtfuncties.



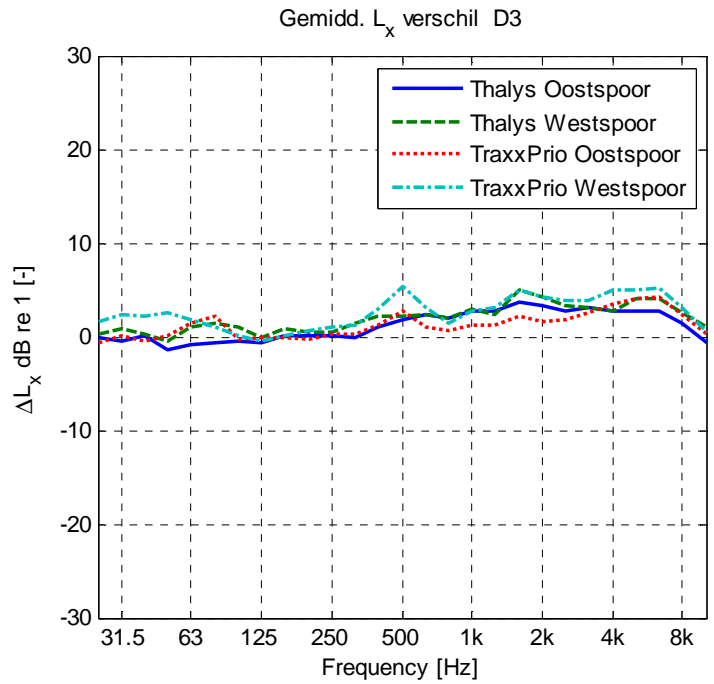
Figuur 28 Gemiddelde geluidexpositieniveau D3 oostspoor zonder en met absorptieplaten voor de Thalys bij 230 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde overdrachtfuncties.



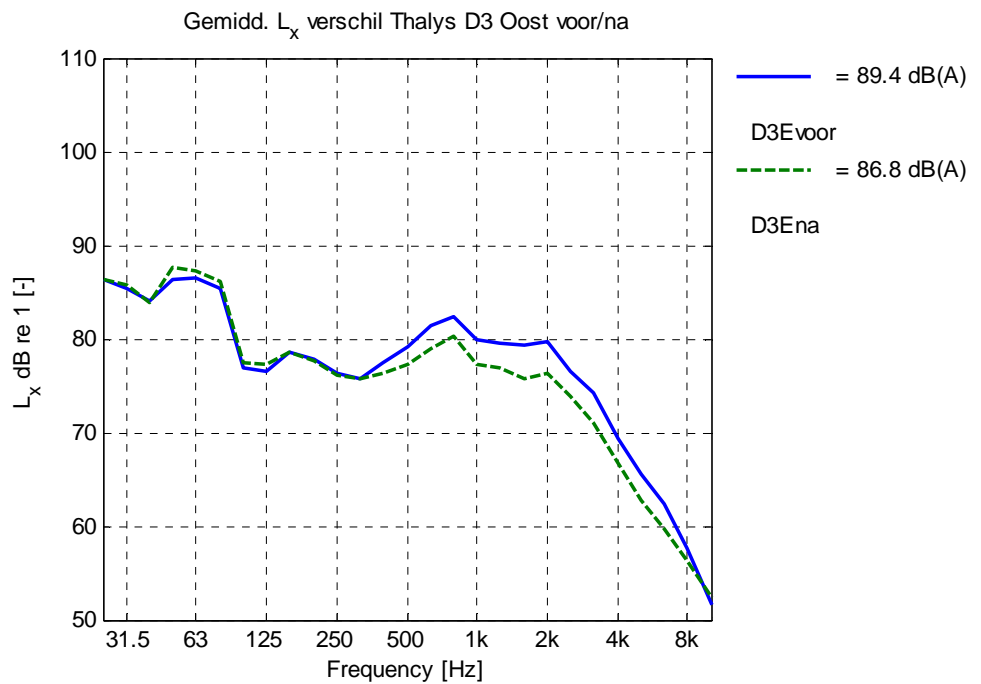
Figuur 29 Gemiddelde geluidreductie D3 westspoor ten gevolge van de absorptieplaten voor de Thalys bij 245 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde overdrachtfuncties.



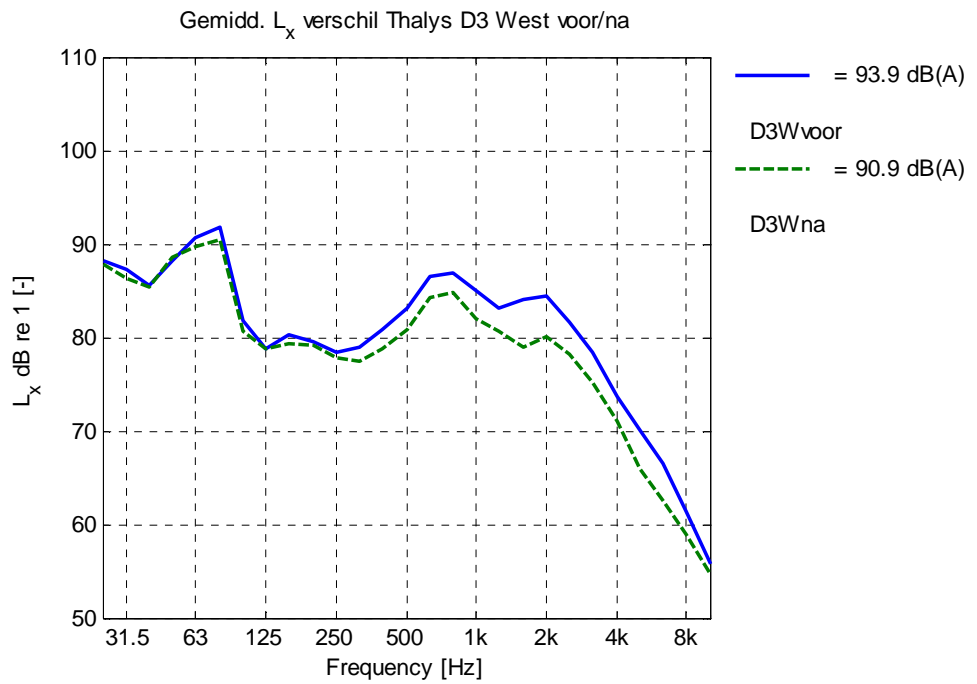
Figuur 30 Gemiddelde geluidexpositieniveau D3 westspoor zonder en met de absorptieplaten voor de Thalys bij 245 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde overdrachtfuncties.



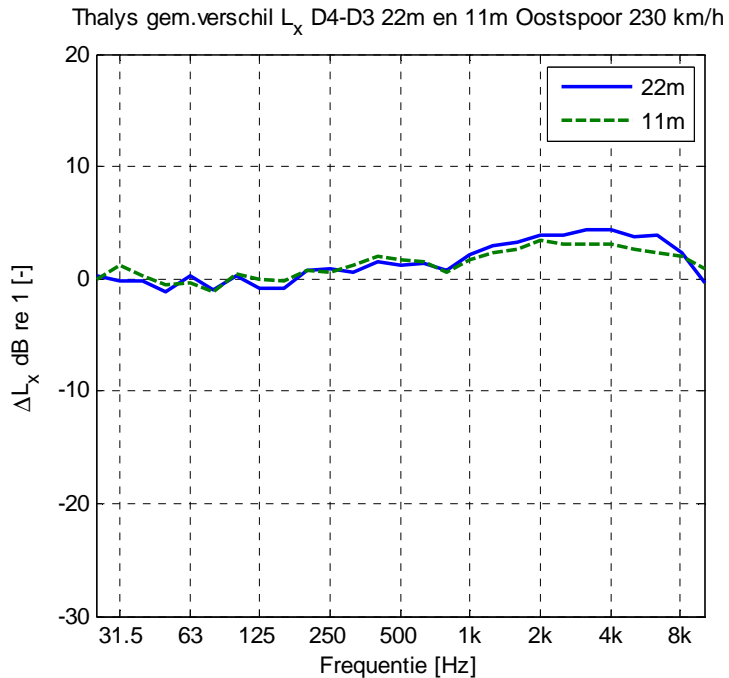
Figuur 31 Gemiddelde geluidreductie D3 oost- en westspoor ten gevolge van de absorptieplaten voor de Thalys bij 230-245 km/h en de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde geluidexpositiespectra met snelheidscorrectie.



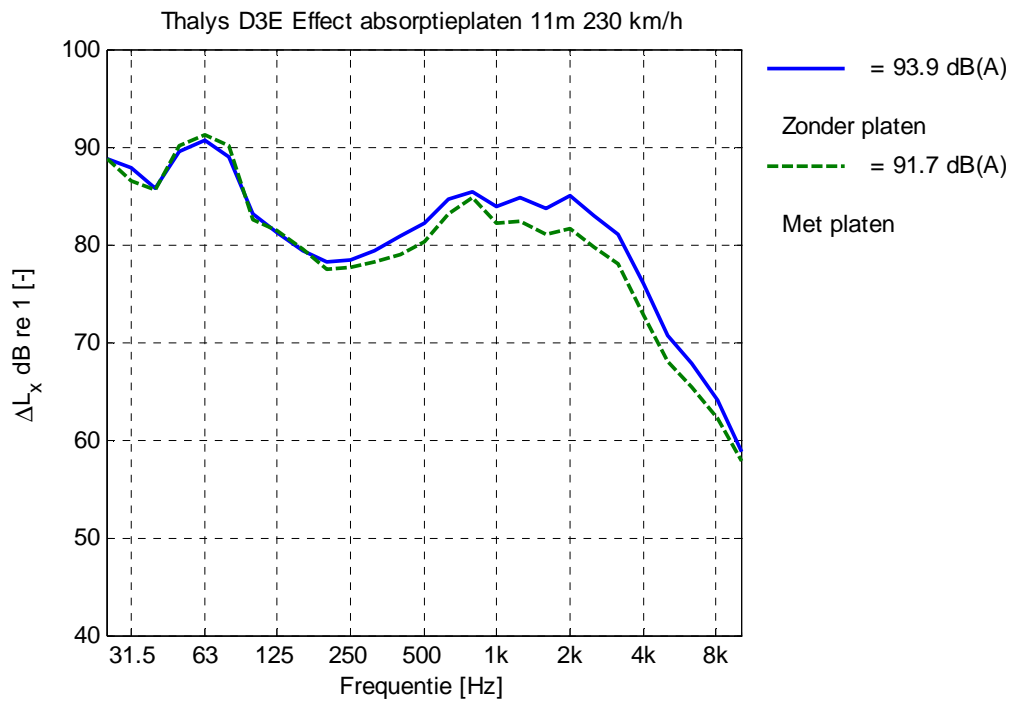
Figuur 32 Gemiddelde geluidexpositieniveau D3 oostspoor zonder en met de absorptieplaten voor de Thalys bij 230 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde geluidexpositiespectra met snelheidscorrectie.



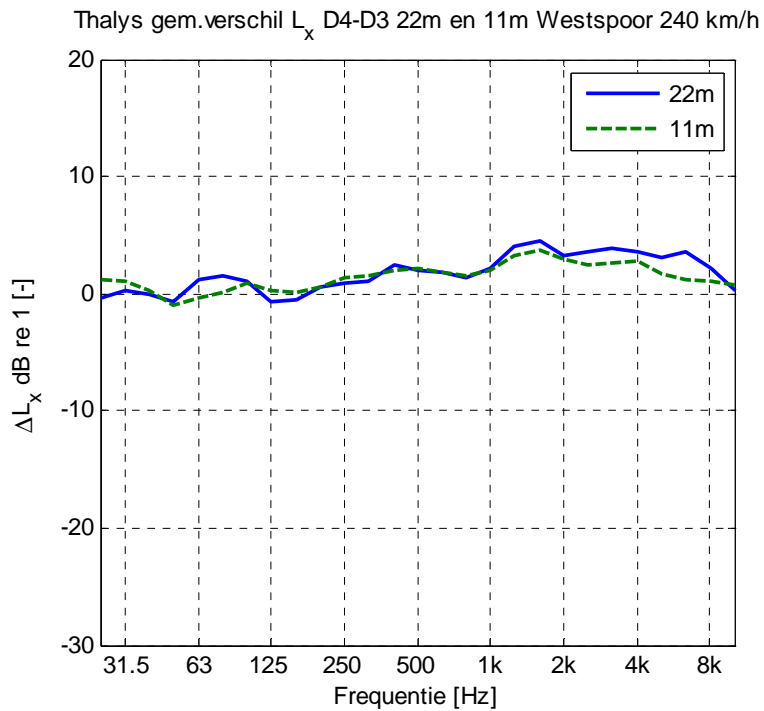
Figuur 33 Gemiddelde geluidexpositieniveau D3 westspoor zonder en met de absorptieplaten voor de Thalys bij 245 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde geluidexpositiespectra met snelheidscorrectie.



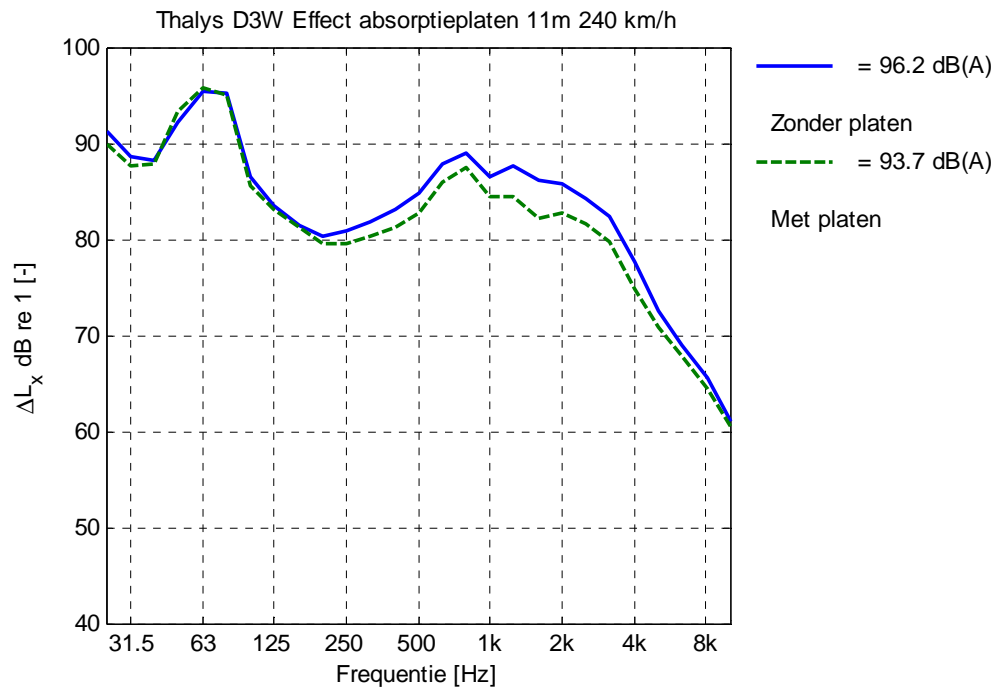
Figuur 34 Gemiddelde geluidreductie D3 oostspoor op 22 en 11 m afstand ten gevolge van de absorptieplaten voor de Thalys bij 230 km/h, bepaald uit het gemiddelde verschil tussen identieke treinpassages bij D3 en D4.



Figuur 35 Gemiddelde geluidexpositieniveau D3 oostspoor zonder en met de absorptieplaten voor de Thalys bij 230 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde geluidexpositiespectra van identieke treinpassages bij D3 en D4.



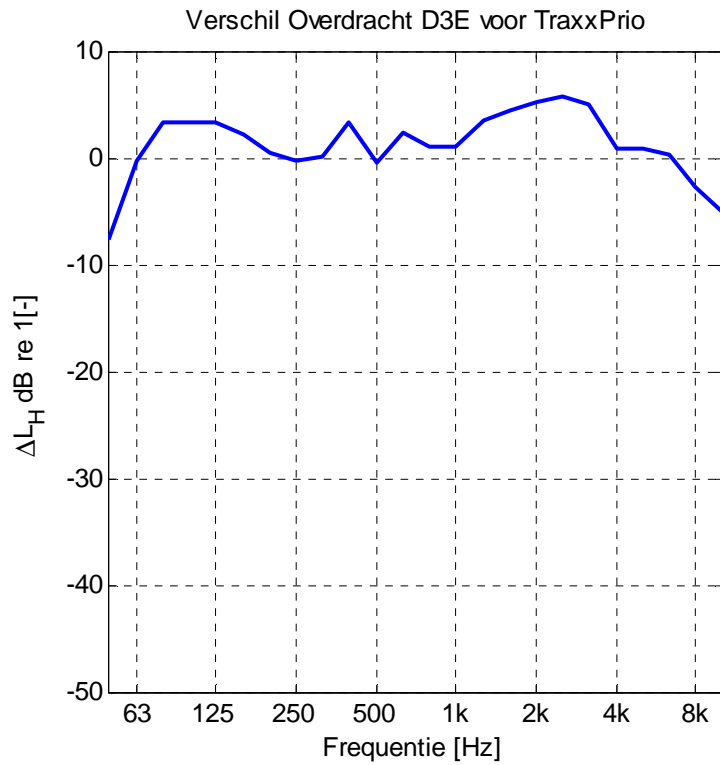
Figuur 36 Gemiddelde geluidreductie D3 westspoor op 22 en 11 m afstand ten gevolge van de absorptieplaten voor de Thalys bij 245 km/h, bepaald uit het gemiddelde verschil tussen treinpassages bij D3 en D4.



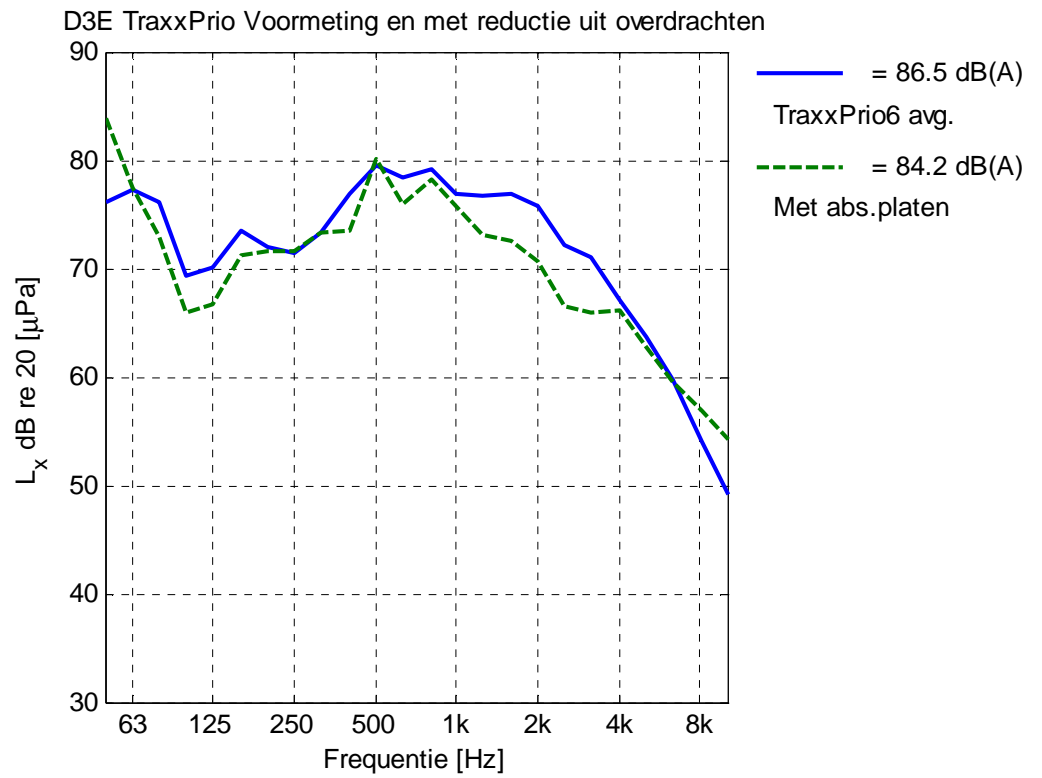
Figuur 37 Gemiddelde geluidexpositieniveau D3 westspoor zonder en met de absorptieplaten voor de Thalys bij 240 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde geluidexpositiespectra van identieke treinpassages bij D3 en D4.

5.6 Spectrale resultaten absorptieplaten, TraxxPrio

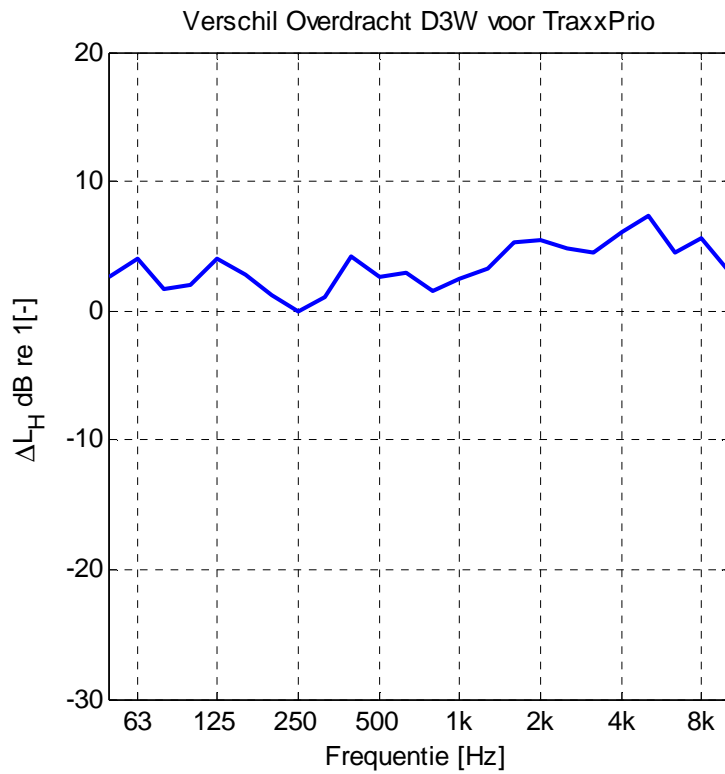
De spectrale resultaten voor de absorptieplaten met de TraxxPrio treinen staan in de volgende figuren voor het oost- en westspoor. Het spectrum van de geluidreductie en van het gemiddelde en het gereduceerde spectrum zijn achtereenvolgens weergegeven voor de drie methodes, zonder lengtecorrectie.



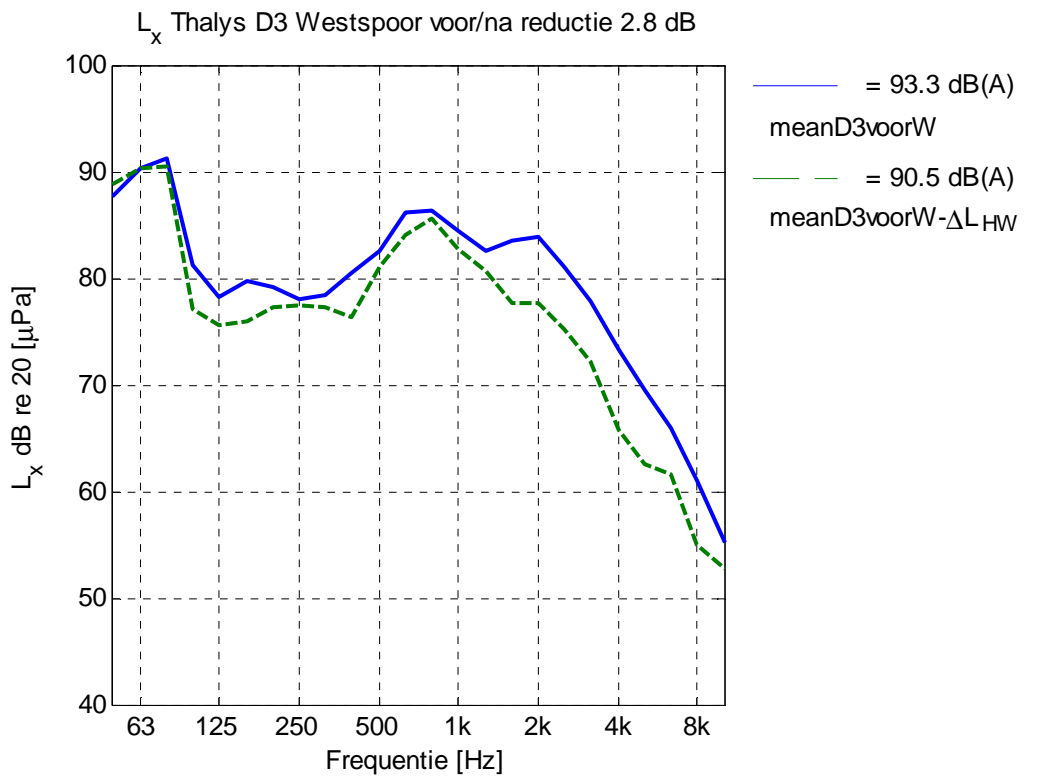
Figuur 38 Gemiddelde geluidreductie D3 oostspoor ten gevolge van de absorptieplaten voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde overdrachtfuncties.



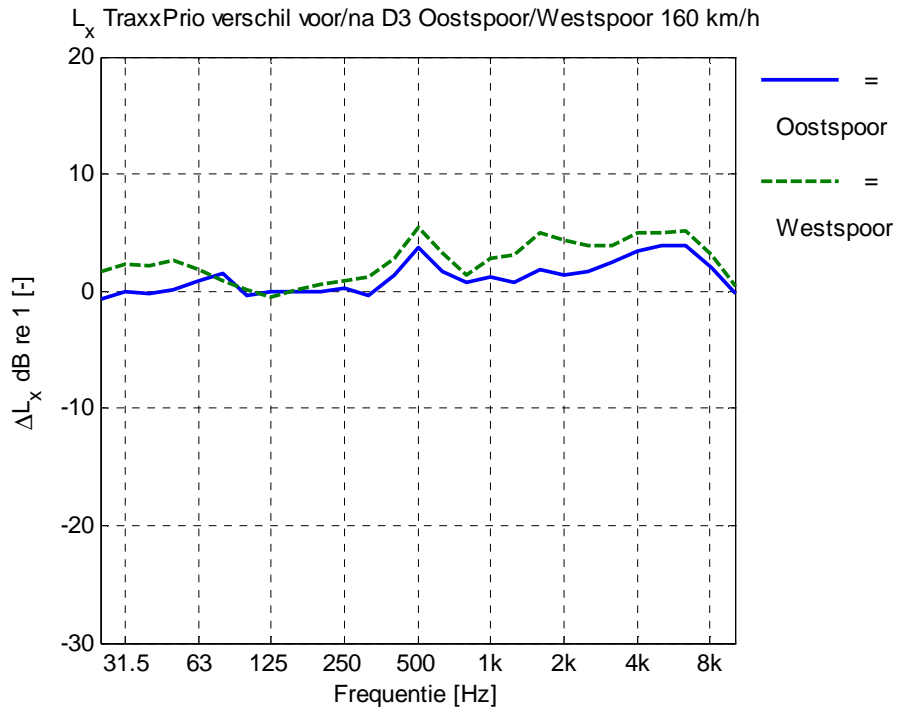
Figuur 39 Gemiddelde geluidexpositieniveau D3 oostspoor zonder en met de absorptieplaten voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde overdrachtfuncties.



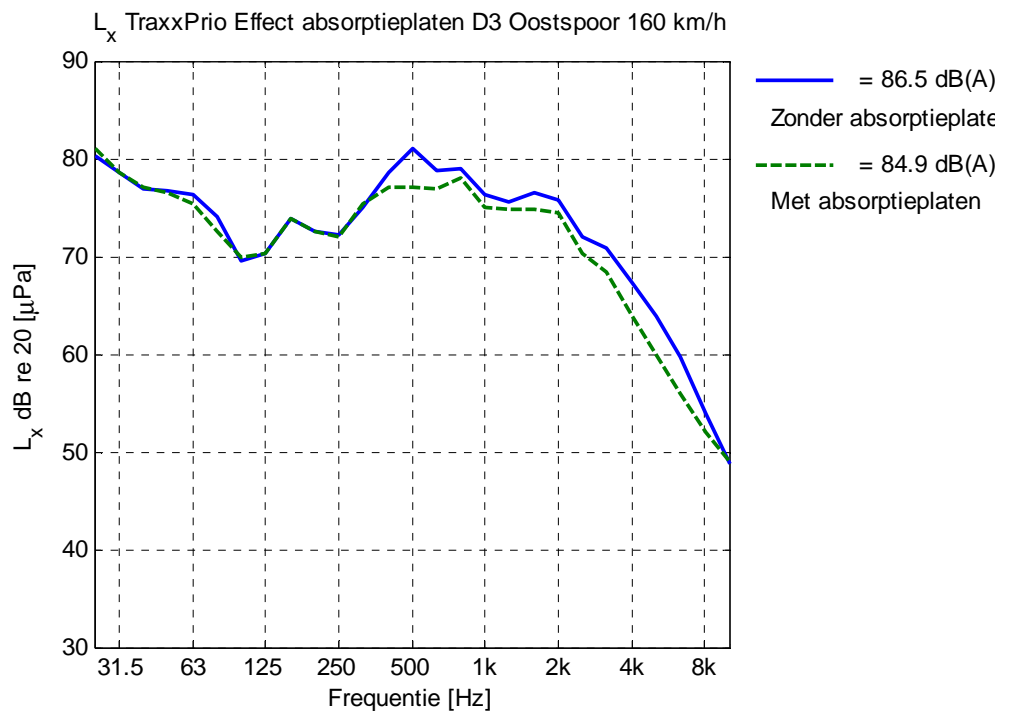
Figuur 40 Gemiddelde geluidreductie D3 westspoor ten gevolge van de absorptieplaten voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde overdrachtfuncties.



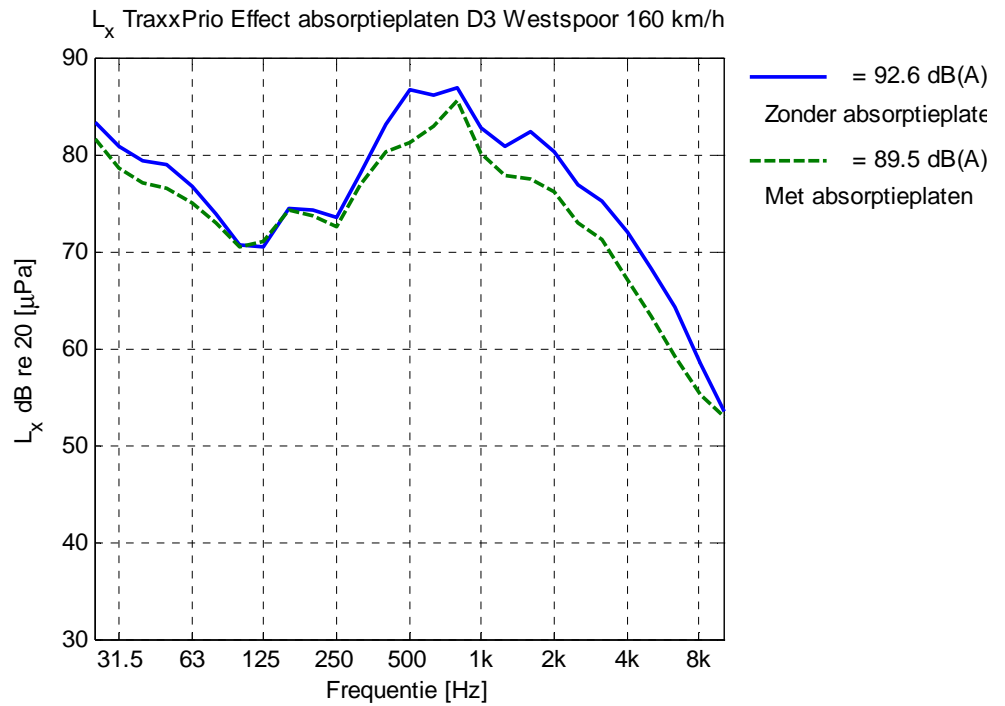
Figuur 41 Gemiddelde geluidexpositieniveau D3 westspoor zonder en met de absorptieplaten voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde overdrachtfuncties.



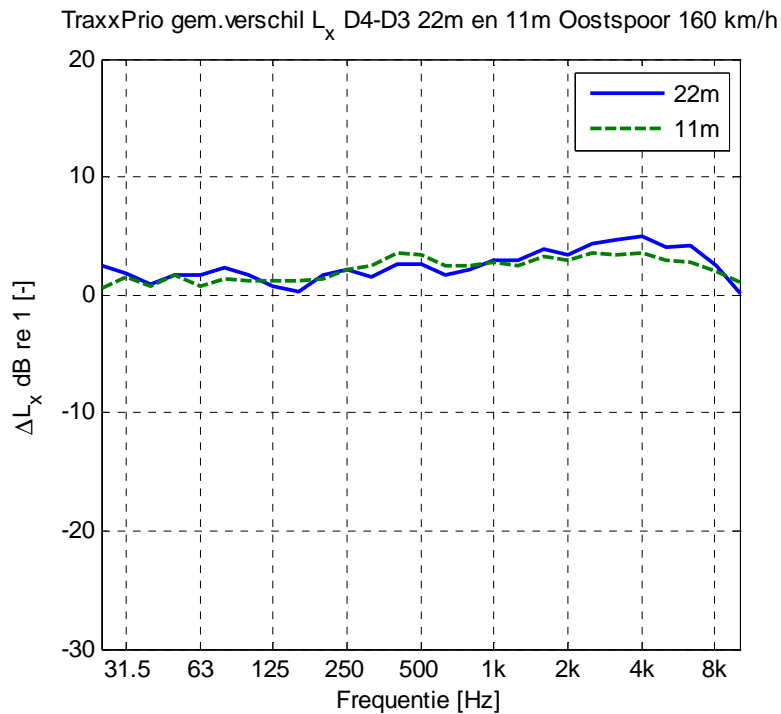
Figuur 42 Gemiddelde geluidreductie D3 oost- en westspoor ten gevolge van de absorptieplaten voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde geluidexpositiespectra.



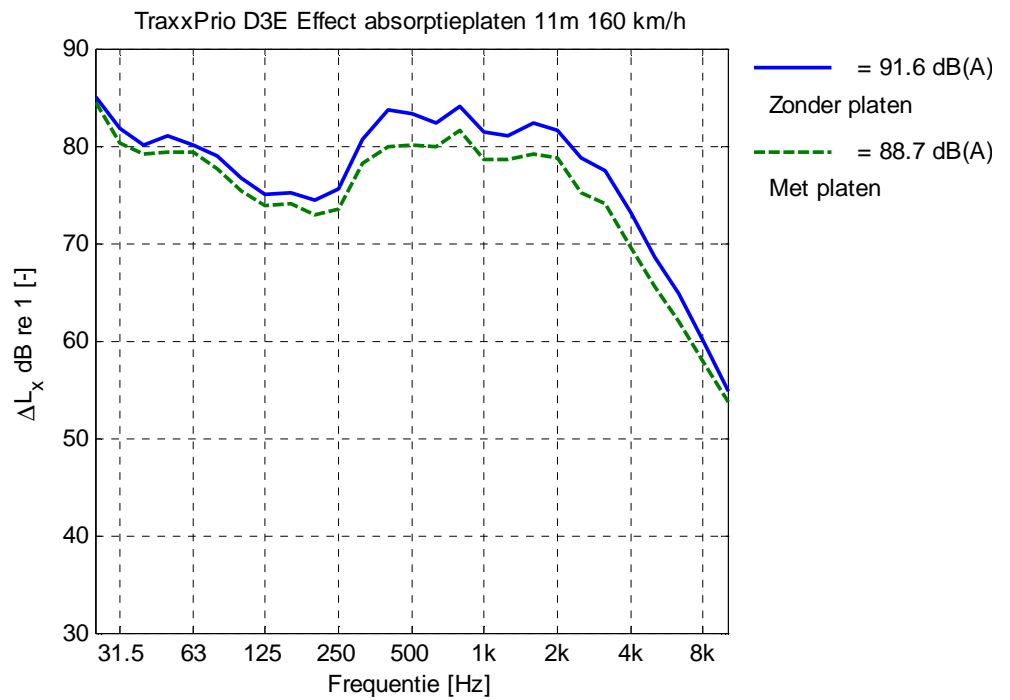
Figuur 43 Gemiddelde geluidexpositieniveau D3 oostspoor zonder en met de absorptieplaten voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde geluidexpositiespectra.



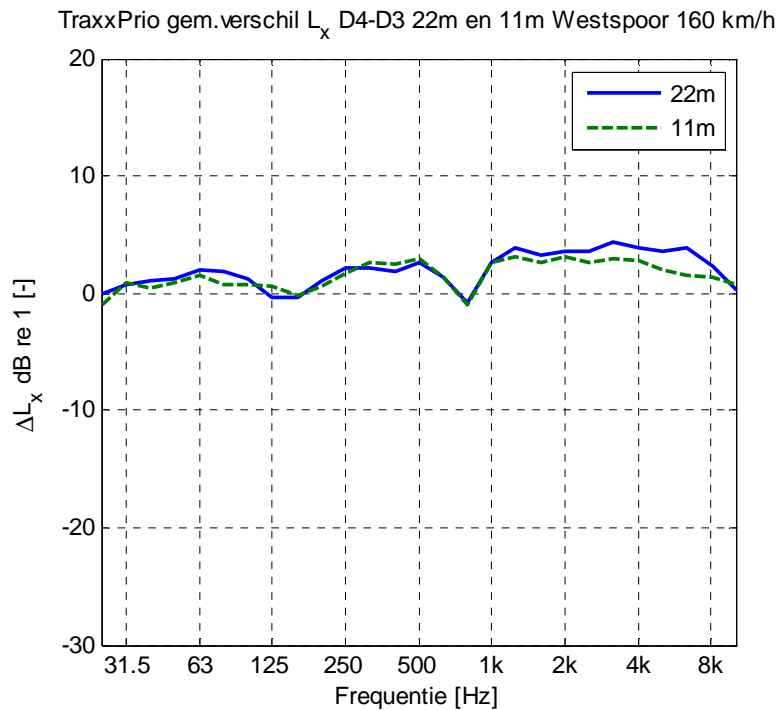
Figuur 44 Gemiddelde geluidexpositie niveau D3 westspoor zonder en met de absorptieplaten voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen gemiddelde geluidexpositie spectra.



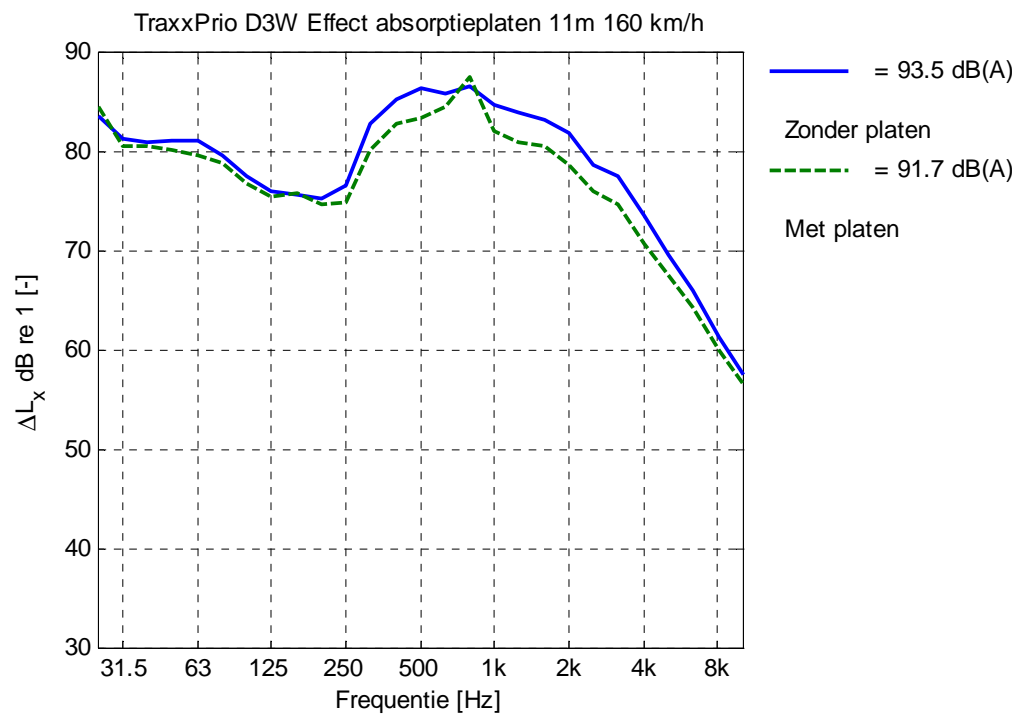
Figuur 45 Gemiddelde geluidreductie D3 oostspoor op 11m en 22m afstand ten gevolge van de absorptieplaten voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen geluidexpositie spectra van identiek treinpassages op D3 en D4.



Figuur 46 Gemiddelde geluidexpositieniveau D3 oostspoor zonder en met de absorptieplaten voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen geluidexpositiespectra van identieke treinpassages op D3 en D4.



Figuur 47 Gemiddelde geluidreductie D3 westspoor op 11m en 22m afstand ten gevolge van de absorptieplaten voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen geluidexpositiespectra van identiek treinpassages op D3 en D4.



Figuur 48 Gemiddelde geluidexpositieniveau D3 westspoor zonder en met de absorptieplaten voor de TraxxPrio bij 160 km/h, bepaald uit het verschil tussen geluidexpositiespectra van identieke treinpassages op D3 en D4.

6 Conclusies

Geluid- en trillingsmetingen zijn uitgevoerd bij het verdiepte spoor in Lansingerland ter bepaling van het geluidreducerend effect van raildempers en absorptieplaten. De geluidreductie is op basis van drie verschillende methodes bepaald voor treinpassages van de Thalys en de TraxxPrio treinen bij hun normale snelheden op deze locatie, 200-250 km/h voor de Thalys en 160 km/h voor de TraxxPrio treinen.

De geluidreductie bedraagt 1,7 - 2 dB voor de raildempers voor zowel de Thalys als de TraxxPrio. Dit effect is ook te verwachten op open spoor zonder afscherming. De potentiële spreiding in deze waarden wordt geschat op ca. $\pm 0,6$ dB. Het geluidreducerend effect van de raildemper op de bijdrage van de rail bedraagt 4 dB. Voor treinen met sterker gedempte wielen is een totale reductie van 3 tot 4 dB te verwachten.

De absorberende platen op het spoor geven een geluidreductie van 3,8-3,9 dB voor de Thalys op het oost- en westspoor, voor de TraxxPrio 2,9 dB op het oostspoor en 3,5 dB op het westspoor. De potentiële spreiding in deze waarden wordt geschat op ca. $\pm 0,9$ dB. De reducties zijn gemiddelden voor de tunnelbaksituatie en de gemeten treinsnelheden en dienen eventueel te worden aangepast voor de situatie zonder afscherming of andere snelheden. In de open situatie zonder afscherming zijn lagere reducties te verwachten, die ook zullen afhangen van de plaatbreedte tussen spoor en meetpositie.

De gevonden relatief hoge reducties van de absorptieplaten zijn misschien deels ook het gevolg van de gedeeltelijke railafscherming door de platen. Dit effect is hier verder niet onderzocht.

Op alle meetdoornedes is een verschil tussen treinen op het oost- en westspoor gevonden van 1 tot 6 dB, waarbij de treinen op het westspoor richting Rotterdam de hoogste niveaus produceren. Dit verschil is het sterkste bij doorsnede 3 waar bij het verdiepte spoor alleen aan de oostzijde een geluidscherm staat.

De gemeten geluidrukniveaus liggen bij meetdoornedes 2 en 3, waar geen geluidscherm aan de westzijde staat, met gemiddeld 7 dB beduidend hoger dan bij meetdoornede 1 voor beide treintypes.

De metingen van de gecombineerde ruwheid tonen aan dat de Thalys gemiddeld een hogere wielruwheid heeft dan de V250, en die over het algemeen hoger is dan de railruwheid. De ruwheid van de TraxxPrio-treinen vertoont een relatief grote spreiding. Platte wielkanten bij de Thalys maar vooral bij de TraxxPrio kan spreiding tot 4 dB of meer in de passageniveaus veroorzaken, hetgeen bij de beoordeling van metingen bijzondere aandacht verdient.

7 Referenties

- [1] A.H.W.M. Kuijpers: Plan van aanpak - Evalueren maatregelen verdiepte ligging HSL in Lansingerland. M+P rapport nr. RAIL.11.23.01, revisie 2, 26 november 2012.
- [2] M.G. Dittrich, H.W. Jansen, J. van 't Hof, F.H.M. Staats: Geluidemissiemetingen aan V250 en Thalys treinen op HSL Rheda- en ballastspoor, TNO-rapport MON-RPT-2010-03023, 13 december 2010.
- [3] M.G. Dittrich, F.H.M. Staats, J. van 't Hof: Geluidmissie van de HSL bij woningen in Lansingerland (metingen oostkant), TNO rapport nr. TNO-RPT-2011-00896, 12 mei 2011.
- [4] M.G. Dittrich, H.W. Jansen, F.H.M. Staats, J. van 't Hof, Geluidmissie van de HSL bij woningen in Lansingerland (metingen westkant), TNO rapport nr. MON-RPT-2010-03056, 22 december 2010.
- [5] M.G. Dittrich, H.W. Jansen: Nieuwe emissiegegevens en bovenbouwcorrectie voor hogesnelheidsmaterieel op HSL-Rhedaspoor, TNO-rapport TNO-DV 2011 C390, Den Haag, 5 december 2011.

8 Ondertekening

Den Haag, februari 2014

TNO

Ing. P. Hendriksen
Afdelingshoofd

Ir. M.G. Dittrich
Auteur

A Gemeten geluidniveaus per treinpassage

In de tabellen hieronder staan de A-gewogen geluidexpositieniveaus voor de doorsnedes D1, D2 en D3 voor de voormeting en D2, D3 en D4 voor de nameting. De nameting omvat meer data, van 13 augustus en 13 november 2013, en een extra meetdoorsnede D4 met kortere meetafstand en identieke treinpassages.

Tabel A.1 Geluidexpositieniveaus passages voormeting op meetdoorsnede D1, Thalys, V250 en TraxxPrio.

Tijd	Treintype	Richting	Snelheid km/h	L _{Ax} D1	L _{Ax} D1	L _{Ax} D1	L _{Ax} D1	L _{Ax} D1	L _{Ax} D1
				dB(A) A 22m H 1,5m	dB(A) A 22m H 3m	dB(A) A 22m H 4,5m	dB(A) A 42m H 1,5m	dB(A) A 42m H 3m	dB(A) A 42m H 4,5m
9:13	Thalys	A'dam	215	82,3	83,8	86,2	79,2	81,1	82,1
10:14			242	83,3	84,7	87,3	80,6	82,0	83,0
11:13			224	81,1	82,4	84,7	78,3	79,4	80,4
13:12			237	82,4	83,7	86,1	78,9	80,3	81,5
15:12			236	80,7	81,8	84,1	77,9	78,9	80,1
17:12			235	83,3	84,6	86,6	80,4	81,6	82,9
18:12			237	83,5	85,0	86,9	80,6	81,8	82,8
18:50			254	84,1	86,9	90,4	81,9	83,9	85,4
11:53	Thalys	R'dam	160	83,2	85,8	89,3	81,5	83,4	84,8
13:48			250	84,7	87,6	91,1	83,1	84,6	86,3
15:54			245	85,5	87,9	91,1	82,2	84,3	85,9
17:48			250	83,1	85,9	89,9	81,8	83,5	85,4
13:16	V250	A'dam	217	78,3	79,8	82,3	75,8	77,3	78,6
14:15			216	80,5	82,1	84,7	77,9	79,5	80,6
16:15			207	78,8	80,1	82,5	75,6	77,2	78,7
17:16			200	79,6	80,9	83,5	76,4	78,0	79,0
18:40			253	81,7	84,6	88,4	79,6	82,0	83,9
12:40	V250	R'dam	253	82,3	85,1	88,6	80,3	82,2	83,6
13:45			255	84,3	87,4	90,9	82,3	84,4	86,1
15:41			256	82,3	85,1	88,6	80,0	82,4	84,2
16:43			266	85,1	88,1	91,8	83,5	85,6	87,3
9:28	TraxxPrio	A'dam	160	81,3	82,7	85,1	78,5	79,7	81,3
9:58			157	83,8	85,2	87,8	81,2	82,4	83,6
10:28			163	79,4	80,9	83,6	76,6	78,2	79,5
10:58			163	81,8	83,2	85,4	78,7	80,4	81,2
11:28			163	82,5	83,8	86,0	79,2	80,7	81,7
12:57			164	79,2	80,7	83,2	76,0	77,3	78,8
9:30	TraxxPrio	R'dam	162	84,3	87,2	90,4	82,6	84,6	85,9
10:03			155	86,4	89,4	92,5	84,8	86,8	88,2
10:32			161	83,0	86,0	89,5	81,1	83,1	85,0
11:01			162	81,3	84,5	87,9	80,0	81,9	83,4
11:30			166	82,1	84,4	87,9	79,8	81,6	83,6
13:34			160	85,4	88,4	91,8	83,9	85,9	87,6
14:00			160	83,1	85,7	89,3	80,9	82,9	84,4

Tabel A.2 Geluidexpositieniveaus passages voormeting van 5-11 september 2012 op meetdoorsnede 2, Thalys, V250 en TraxxPrio.

Tijd	Treintype	Richting	Snelheid km/h	L _{Ax} D2	L _{Ax} D2	L _{Ax} D2	L _{Ax} D2	L _{Ax} D2	L _{Ax} D2
				dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
				A 22m H 1,5m	A 22m H 3m	A 22m H 4,5m	A 33m H 1,5m	A 33m H 3m	A 33m H 4,5m
9:12	Thalys	A'dam	226	89,9	92,2	93,3	88,9	90	90,9
10:12			205	88,3	90	91,1	86,5	87,8	88,6
13:12			228	89,4	91,1	92,3	87,8	89	89,7
15:12			236	89,3	90,2	92,2	86,6	88,5	89,5
17:12			212	89	90	91,9	86,4	88,1	89,3
18:12			240	90,5	91,5	93,3	88,3	90	90,8
9:46	Thalys	R'dam	243	93,4	95	95,3	91,7	93,3	94
13:51			248	94,6	95,5	96,9	92,7	94,1	95,1
15:49			242	92,7	93,5	95,4	91	92,3	93,4
17:47			195	92,4	93,1	94,4	90,5	92,7	93,1
18:47			245	92,8	93,4	94,7	90,9	92,5	93,3
11:54	V250	A'dam	205	84,8	86,7	87,9	83	84,1	84,9
17:16			203	86,8	87,8	90,1	84,2	86	87,2
11:24	V250	R'dam	246	91,8	93,4	93,7	90,6	91,7	92,2
13:41			245	91,3	92,5	94,7	89,1	91,6	92,9
16:42			247	92	93,1	95	90	92,2	93,2
9:20	TraxxPrio	A'dam	161	90,9	93,0	94,5	89,2	90,8	91,9
9:49			157	89,9	92,0	93,4	87,8	89,7	90,8
11:01			153	87,3	89,5	90,9	85,4	87,3	88,6
14:29			155	89,3	90,8	92,7	86,6	88,9	90,2
14:58			158	86,6	88,2	90,0	84,8	86,7	87,3
9:41	TraxxPrio	R'dam	156	94,6	95,6	96,2	93,1	94,1	94,3
10:02			158	92,4	93,8	94,0	90,5	92,3	92,2
11:39			161	89,6	91,5	92,2	87,9	89,6	90,2
13:31			157	89,0	90,4	91,1	87,9	89,1	89,8
14:04			158	92,5	94,1	95,1	90,2	92,6	93,5
14:30			160	91,1	92,2	93,5	88,9	91,2	91,8

Tabel A.3 Geluidexpositieniveaus passages nameting op meetdoorsnede 2, Thalys en TraxxPrio.

	Tijd	Treintype	Richting	Snelheid km/h	L _{Ax} D2	L _{Ax} D2	L _{Ax} D2
					dB(A)	dB(A)	dB(A)
					A 22m H 1,5m	A 22m H 3m	A 22m H 4,5m
13-aug-2013	9:17	Thalys	A'dam	234	89,0	90,4	92,1
	10:48		A'dam	199	86,1	87,5	89,0
	11:17		A'dam	234	87,8	89,0	90,6
	15:13		A'dam	209	86,8	88,2	89,7
	17:14		A'dam	233	87,7	89,3	90,7
13-nov-2013	9:13		A'dam	231	90,9	92,4	94,0
	10:10		A'dam	210	92,6	94,2	95,9
	11:11		A'dam	232	91,9	93,5	95,2
	13:10		A'dam	232	91,2	92,9	94,7
	15:14		A'dam	200	89,1	90,6	92,4
	15:42		A'dam	227	91,5	92,9	94,6
13-aug-2013	8:56	Thalys	R'dam	247	90,5	91,5	92,2
	9:51		R'dam	251	90,0	91,1	92,0
	11:51		R'dam	245	90,2	91,5	92,4
	13:53		R'dam	228	88,9	90,6	91,6
	15:50		R'dam	244	91,3	92,0	92,8
	17:50		R'dam	248	89,7	91,2	91,8
13-nov-2013	8:57		R'dam	216	91,5	92,8	93,9
	9:51		R'dam	223	92,5	93,9	95,0
	11:57		R'dam	248	91,6	92,8	93,7
	12:50		R'dam	247	93,6	94,5	95,4
	13:49		R'dam	230	92,7	93,9	94,8
	15:48		R'dam	246	92,6	93,8	94,7

(vervolg volgende pagina)

	Tijd	Treintype	Richting	Snelheid km/h	L _{Ax} D2 dB(A)	L _{Ax} D2 dB(A)	L _{Ax} D2 dB(A)
					A 22m H 1,5m	A 22m H 3m	A 22m H 4,5m
13-aug-2013	9:04	TraxxPrio	A'dam	161	86,9	88,6	90,3
	9:36		A'dam	160	86,3	87,8	89,6
	10:40		A'dam	160	86,9	88,5	90,3
	10:44		A'dam	160	87,2	88,9	90,5
	11:39		A'dam	160	88,9	90,8	92,3
	11:45		A'dam	159	88,5	90,4	91,9
	13:34		A'dam	160	86,3	87,9	89,6
	14:03		A'dam	160	87,2	88,8	90,4
	14:39		A'dam	161	86,9	88,5	90,4
	15:05		A'dam	160	88,4	90,2	91,7
	16:03		A'dam	160	87,6	89,4	91,1
	16:35		A'dam	160	88,6	90,6	92,4
	17:05		A'dam	160	86,6	88,2	89,8
	17:34		A'dam	161	87,9	89,6	91,3
13-nov-2013	9:04	TraxxPrio	A'dam	160	87,6	89,2	91,2
	9:34		A'dam	160	88,7	90,5	92,5
	10:02		A'dam	160	89,3	91,2	93,4
	10:31		A'dam	160	89,2	90,7	92,7
	11:00		A'dam	160	88,5	90,3	92,2
	11:32		A'dam	160	89,1	90,8	92,5
	12:01		A'dam	160	87,9	89,7	91,6
	12:31		A'dam	160	88,0	89,6	91,5
	13:02		A'dam	160	89,0	90,0	91,5
	13:32		A'dam	160	89,3	91,2	93,1
	14:00		A'dam	160	89,9	91,3	93,1
	14:31		A'dam	160	87,4	89,2	91,3
15:30		A'dam	160	88,5	90,2	91,9	
15:02		A'dam	160	89,8	91,3	92,9	

(vervolg volgende pagina)

	Tijd	Treintype	Richting	Snelheid km/h	L _{Ax} D2 dB(A)	L _{Ax} D2 dB(A)	L _{Ax} D2 dB(A)
					A 22m H 1,5m	A 22m H 3m	A 22m H 4,5m
13-aug-2013	9:03	TraxxPrio	R'dam	159	89,5	90,5	91,2
	9:30		R'dam	160	89,3	90,4	91,3
	10:00		R'dam	160	91,1	92,0	92,6
	10:29		R'dam	159	89,5	90,9	91,7
	11:00		R'dam	160	87,6	88,9	89,9
	11:29		R'dam	160	87,6	88,8	89,4
	12:31		R'dam	158	88,1	89,4	90,1
	13:00		R'dam	160	87,5	89,0	89,8
	13:29		R'dam	160	89,3	90,7	91,3
	14:02		R'dam	160	91,0	91,8	92,3
	14:29		R'dam	159	88,1	89,3	90,1
	15:00		R'dam	160	89,7	91,0	91,9
	15:34		R'dam	160	89,3	91,1	92,6
	15:41		R'dam	160	88,5	89,5	90,1
	16:00		R'dam	157	88,6	89,8	90,6
	16:29		R'dam	160	88,5	89,8	90,8
	16:59		R'dam	160	89,0	90,1	91,0
17:29		R'dam	162	90,3	92,0	92,5	
13-nov-2013	9:28		R'dam	160	90,5	91,6	92,3
	10:05		R'dam	160	91,6	92,9	93,5
	10:26		R'dam	160	90,1	91,3	92,0
	10:59		R'dam	160	90,3	91,4	91,9
	11:33		R'dam	160	88,1	89,4	90,1
	12:07		R'dam	160	92,2	93,3	93,9
	12:30		R'dam	160	89,7	91,0	91,8
	12:57		R'dam	160	88,6	90,1	91,3
	13:28		R'dam	160	90,7	91,8	92,8
	13:57		R'dam	160	87,3	88,8	89,8
	14:28		R'dam	160	89,7	90,9	92,1
	14:58		R'dam	160	89,3	90,4	91,5
15:26		R'dam	160	91,2	92,5	93,2	

Tabel A.4 Geluidexpositieniveaus passages voormeting 5-11 sep 2012 op meetdoorsnede 3, Thalys, V250 en TraxxPrio.

Tijd	Trein type	Richting	Snelheid km/h	L _{Ax} D3 dB(A)	L _{Ax} D3 dB(A)	L _{Ax} D3 dB(A)
				A 22m H 1,5m	A 22m H 3m	A 22m H 4,5m
13:12	Thalys	A'dam	224	87,9	88,8	89,6
15:11			232	88,7	89,7	90,4
17:12			209	87,6	88,5	89,3
18:12			235	89,1	90	90,7
13:51	Thalys	R'dam	246	94,1	95,5	95,9
15:49			240	91,4	92,9	93,8
17:47			196	90,7	92,5	93,5
18:46			245	91,6	93	93,6
11:54	V250	A'dam	200	84,4	85	85,9
14:14			175	85	86	87,1
17:15			203	86,3	87,3	88,3
11:25	V250	R'dam	250	92,1	93,1	93,8
13:41			245	92,2	93,9	94,6
16:43			247	92,6	94,3	94,8
11:01	TraxxPrio	A'dam	159	85,2	86,5	87,8
12:57			158	84,3	85,5	86,5
14:29			162	86,7	88,3	89,4
14:58			163	84,7	85,9	87,0
15:27			159	86,6	87,7	88,8
11:39	TraxxPrio	R'dam	162	89,8	90,8	91,3
13:03			160	92,1	93,6	94,6
13:32			158	89,4	90,9	91,5
14:04			161	92,0	93,6	94,5
14:30			160	91,2	92,7	93,5
15:00			160	93,6	95,4	95,9

Tabel A.5 Geluidexpositieniveaus passages nameting op meetdoorsnede 3, Thalys en TraxxPrio.

	Tijd	Treintype	Richting	Snelheid km/h	L _{Ax} D3	L _{Ax} D3	L _{Ax} D3	L _{Ax} D3
					dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
					A 22m H 1,5m	A 22m H 3m	A 22m H 4,5m	A 11m H 2m
13-aug-2013	9:20	Thalys	A'dam	231	85,4	86,6	87,3	
	10:52		A'dam	202	83,3	84,7	85,4	
	11:20		A'dam	231	84,6	85,8	86,5	
	13:17		A'dam	230	86,7	87,8	88,3	
	15:16		A'dam	210	82,4	84,1	84,5	
13-nov-2013	9:12		A'dam	231	87,1	87,9	89,0	91,5
	10:10		A'dam	210	89,0	89,4	90,9	93,1
	11:11		A'dam	232	88,2	88,2	89,6	92,3
	13:10		A'dam	232	88,0	87,7	89,2	92,0
	15:13		A'dam	200	85,5	85,5	87,4	89,8
13-aug-2013	15:42		A'dam	227	87,7	87,8	89,4	92,0
	8:58	Thalys	R'dam	247	89,2	90,7	91,1	
	9:55		R'dam	251	88,2	89,8	90,1	
	11:55		R'dam	245	88,6	90,7	91,3	
	13:56		R'dam	228	86,8	88,9	89,5	
	15:54		R'dam	244	89,1	90,8	91,5	
13-nov-2013	17:54		R'dam	248	88,5	90,2	91,0	
	8:57		R'dam	216	89,7	91,2	92,1	92,8
	9:51		R'dam	223	90,7	91,8	92,7	93,6
	11:57		R'dam	248	90,2	90,8	92,2	93,3
	12:50		R'dam	247	92,3	92,8	94,2	95,3
	15:48		R'dam	246	91,1	91,5	93,0	94,3

(vervolg op volgende pagina)

	Tijd	Treintype	Richting	snelheid km/h	L _{Ax} D3 dB(A)	L _{Ax} D3 dB(A)	L _{Ax} D3 dB(A)	L _{Ax} D3 dB(A)
					A 22m H 1,5m	A 22m H 3m	A 22m H 4,5m	A 11m H 2m
13-aug-2013	8:08	TraxxPrio	A'dam	160	84,0	85,6	86,7	
	8:37		A'dam	160	84,2	85,7	86,7	
	9:06		A'dam	161	82,7	84,2	85,2	
	9:40		A'dam	160	81,9	83,2	84,2	
	10:44		A'dam	160	83,0	84,6	85,5	
	10:48		A'dam	160	82,7	84,3	85,1	
	11:44		A'dam	160	83,8	85,0	86,2	
	11:49		A'dam	159	84,4	85,8	86,6	
	12:42		A'dam	160	82,2	83,5	84,6	
	13:39		A'dam	160	82,6	83,8	84,4	
	14:08		A'dam	160	83,4	84,9	85,9	
	14:43		A'dam	161	83,9	85,1	85,8	
	15:09		A'dam	160	84,4	85,7	86,5	
	15:38		A'dam	160	84,6	86,1	86,9	
	16:06		A'dam	160	83,2	84,4	85,3	
	16:39		A'dam	160	84,2	85,5	87,0	
13-nov-2013	17:38		A'dam	161	83,5	84,5	85,6	
	9:04	TraxxPrio	A'dam	160	83,9	84,7	86,3	88,3
	9:34		A'dam	160	84,8	85,7	87,0	89,1
	10:01		A'dam	160	85,6	86,6	87,9	90,0
	10:31		A'dam	160	84,6	85,3	86,8	88,8
	11:00		A'dam	160	84,3	84,8	86,5	88,6
	11:31		A'dam	160	84,9	85,5	87,3	89,3
	12:01		A'dam	160	83,9	84,2	86,0	88,3
	12:32		A'dam	160	83,9	84,2	86,2	88,5
	13:02		A'dam	160	83,8	83,9	85,7	88,0
	13:32		A'dam	160	85,3	85,9	87,7	89,8
	14:00		A'dam	160	85,2	85,8	87,7	89,6
	14:32		A'dam	160	84,0	84,1	86,1	88,4
15:02		A'dam	160	85,5	86,0	87,9	89,7	
15:31		A'dam	160	84,2	84,5	86,5	88,7	

(vervolg op volgende pagina)

	Tijd	Treintype	Richting	snelheid km/h	L _{Ax} D3 dB(A)	L _{Ax} D3 dB(A)	L _{Ax} D3 dB(A)	L _{Ax} D3 dB(A)
					A 22m H 1,5m	A 22m H 3m	A 22m H 4,5m	A 11m H 2m
13-aug-2013	9:05	TraxxPrio	R'dam	159	88,8	90,6	91,0	
	9:33		R'dam	160	88,4	89,8	90,4	
	10:04		R'dam	160	90,7	92,4	92,7	
	10:33		R'dam	159	88,5	90,4	91,2	
	11:03		R'dam	160	87,1	88,8	89,3	
	11:32		R'dam	160	87,2	88,8	89,4	
	12:35		R'dam	158	88,7	90,8	91,1	
	13:04		R'dam	160	86,5	88,2	89,0	
	13:33		R'dam	160	88,9	90,4	90,8	
	14:06		R'dam	160	90,4	92,4	92,6	
	14:32		R'dam	159	86,8	88,4	89,0	
	15:03		R'dam	160	89,0	90,6	91,1	
	15:44		R'dam	160	87,5	88,9	89,6	
	16:04		R'dam	157	88,4	90,5	91,2	
	16:34		R'dam	160	88,6	90,1	90,7	
	17:03		R'dam	160	89,2	90,9	91,2	
17:33		R'dam	162	90,1	92,2	92,6		
13-nov-2013	9:05	TraxxPrio	R'dam	160	89,4	90,6	91,7	92,4
	9:28		R'dam	160	89,0	90,0	90,9	91,6
	10:05		R'dam	160	90,0	91,5	92,4	92,9
	10:26		R'dam	160	88,6	89,5	90,7	91,5
	10:59		R'dam	160	87,9	88,5	89,9	90,6
	11:32		R'dam	160	87,8	88,7	89,8	90,8
	12:07		R'dam	160	90,4	91,2	92,7	93,2
	12:31		R'dam	160	89,3	90,0	91,6	92,2
	12:57		R'dam	160	88,3	89,1	90,6	91,3
	13:28		R'dam	160	91,0	91,8	93,0	93,8
	13:58		R'dam	160	86,4	87,2	88,7	89,4
	14:29		R'dam	160	87,6	88,3	90,0	90,6
	14:58		R'dam	160	88,2	88,8	90,3	91,0
15:27		R'dam	160	90,2	90,8	92,2	92,8	

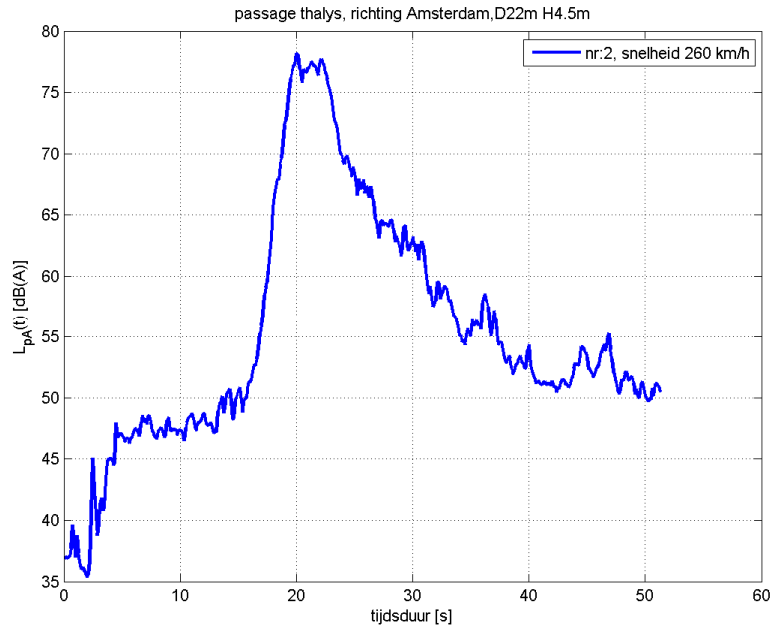
Tabel A.6 Geluidexpositieniveaus passages nameting op meetdoorsnede 4, Thalys en TraxxPrio.

Tijd	Treintype	Richting	Snelheid km/h	L _{Ax} D4	L _{Ax} D4
				dB(A) A 11m H 2m	dB(A) A 22m H 3m
9:12	Thalys	A'dam	231	93,5	90,0
10:10			210	95,2	91,6
11:11			232	94,6	91,0
13:10			232	94,2	90,3
15:13			200	92,1	88,5
15:42			227	94,3	90,7
8:57	Thalys	R'dam	216	95,4	93,8
9:51			223	95,6	93,9
11:57			248	96,0	94,0
12:50			247	97,9	95,8
13:50			230	96,8	94,4
15:48			246	96,6	94,7
9:04	TraxxPrio	A'dam	160	90,9	87,3
9:33			160	91,7	88,2
10:01			160	93,0	89,4
10:31			160	91,9	88,1
11:00			160	91,7	87,9
11:31			160	92,3	88,6
12:00			160	91,3	87,4
12:31			160	91,0	87,1
13:02			160	90,9	86,7
13:32			160	93,1	89,1
14:00			160	92,6	88,7
14:31			160	91,3	87,9
15:02			160	92,7	88,8
15:30			160	91,8	87,8

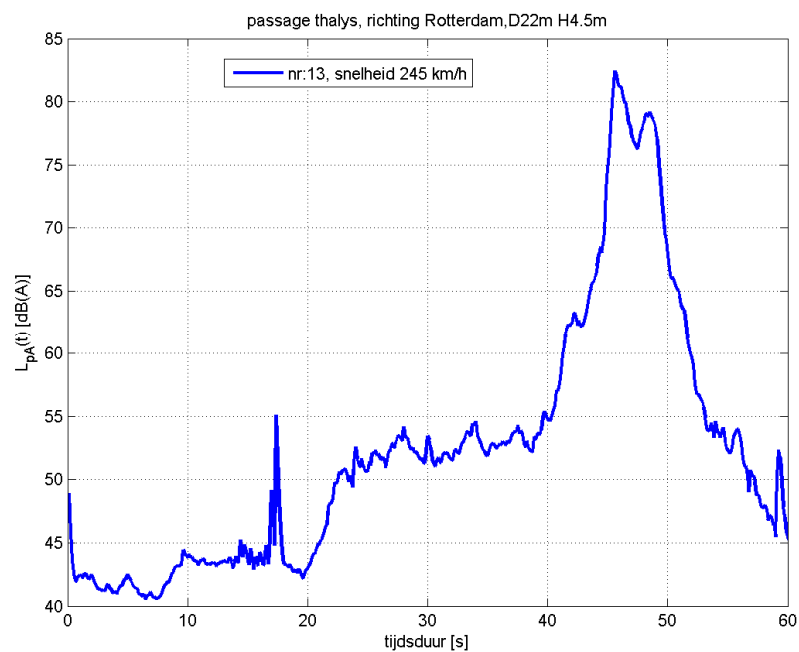
(vervolg op volgende pagina)

Tijd	Treintype	Richting	Snelheid km/h	L _{Ax} D4 dB(A)	L _{Ax} D4 dB(A)
				A 11m H 2m	A 22m H 3m
9:05	TraxxPrio	R'dam	160	93,6	91,9
9:28			160	93,6	92,0
10:05			160	95,0	93,2
10:26			160	93,1	91,4
10:59			160	92,1	90,3
11:32			160	92,1	90,0
12:07			160	95,6	93,9
12:31			160	93,9	91,9
12:57			160	93,3	90,9
13:28			160	95,4	93,3
13:58			160	93,4	91,4
14:29			160	92,8	90,6
14:58			160	92,8	90,7
15:27			160	95,2	93,2

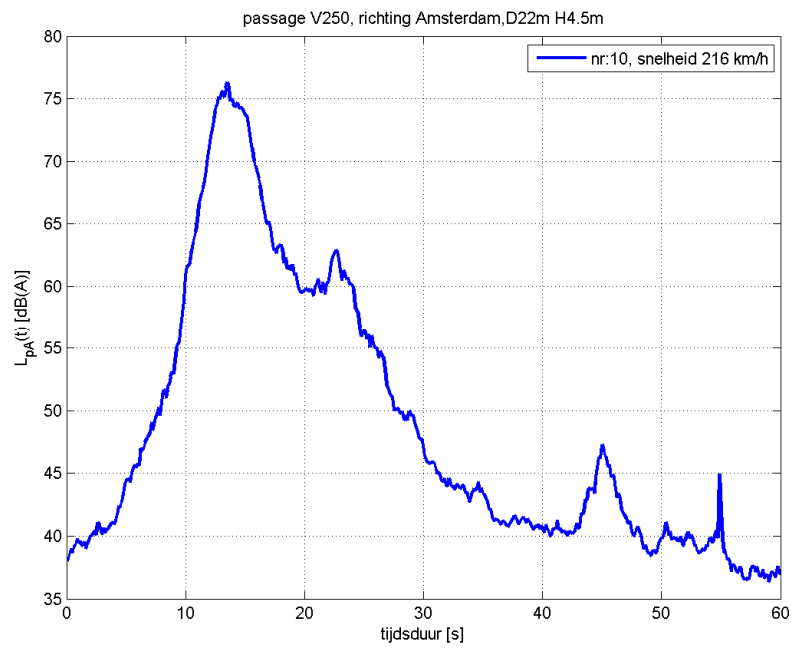
B Figuren van het niveauverloop



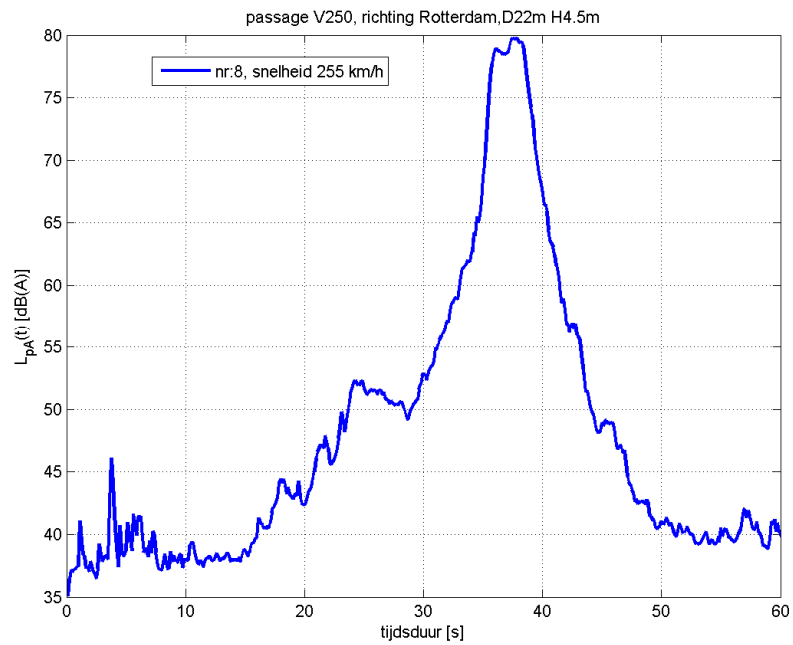
Figuur 49 Tijdsverloop A-gewogen geluidrukniveau meetdoersnede 1, op afstand 22m, meethoogte 4,5m, Thalys richting Amsterdam, snelheid 260 km/h.



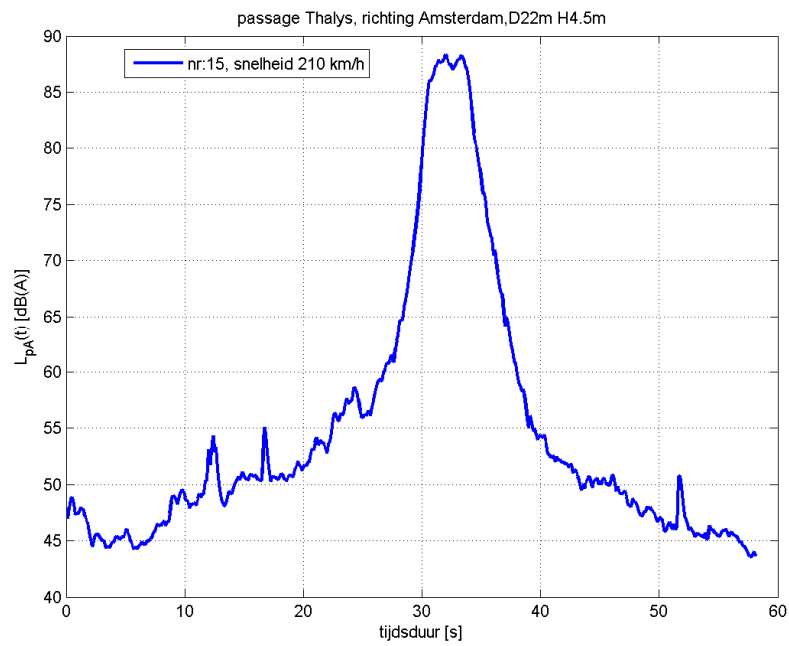
Figuur 50 Tijdsverloop A-gewogen geluidrukniveau meetdoersnede 1, op afstand 22m, meethoogte 4,5m, Thalys richting Rotterdam, snelheid 245 km/h.



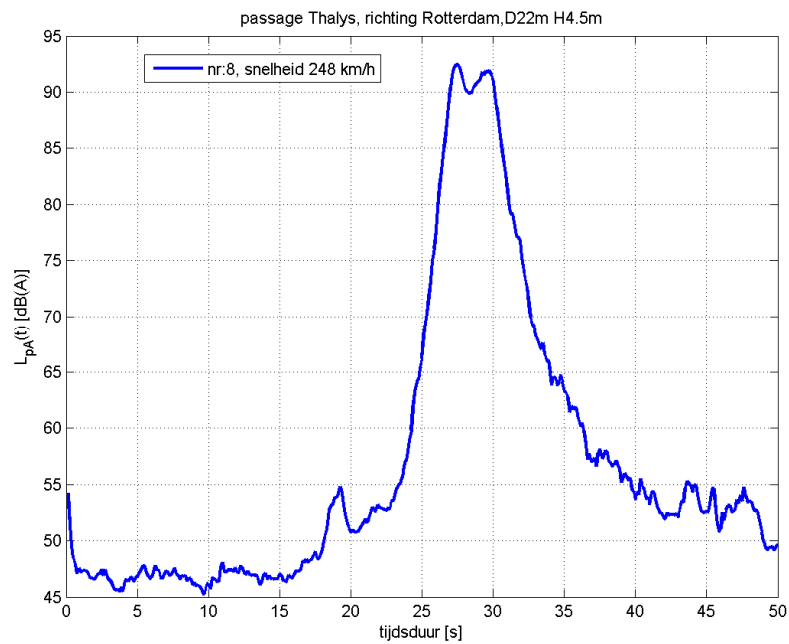
Figuur 51 Tijdsverloop A-gewogen geluidrukniveau meetdoorsnede 1, op afstand 22m, meethoogte 4,5m, V250 richting Amsterdam, snelheid 216 km/h.



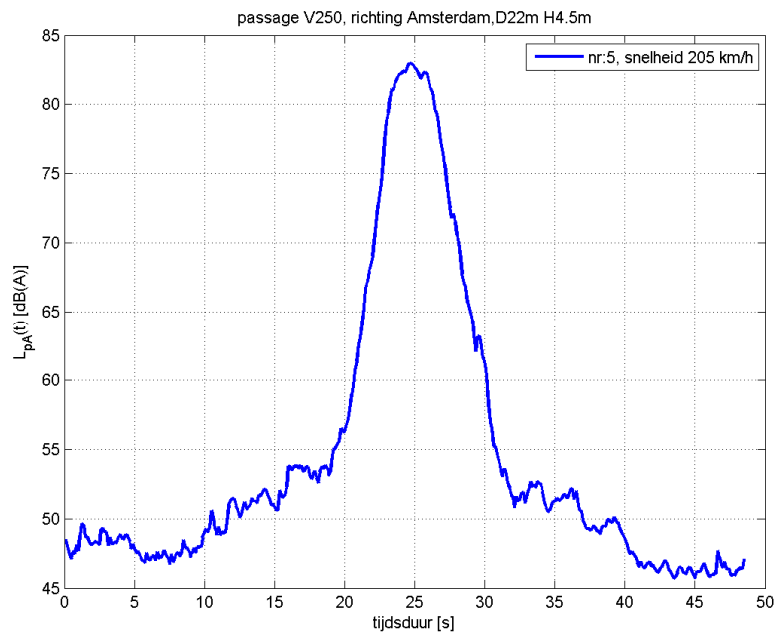
Figuur 52 Tijdsverloop A-gewogen geluidrukniveau meetdoorsnede 1, op afstand 22m, meethoogte 4,5m, V250 richting Rotterdam, snelheid 255 km/h.



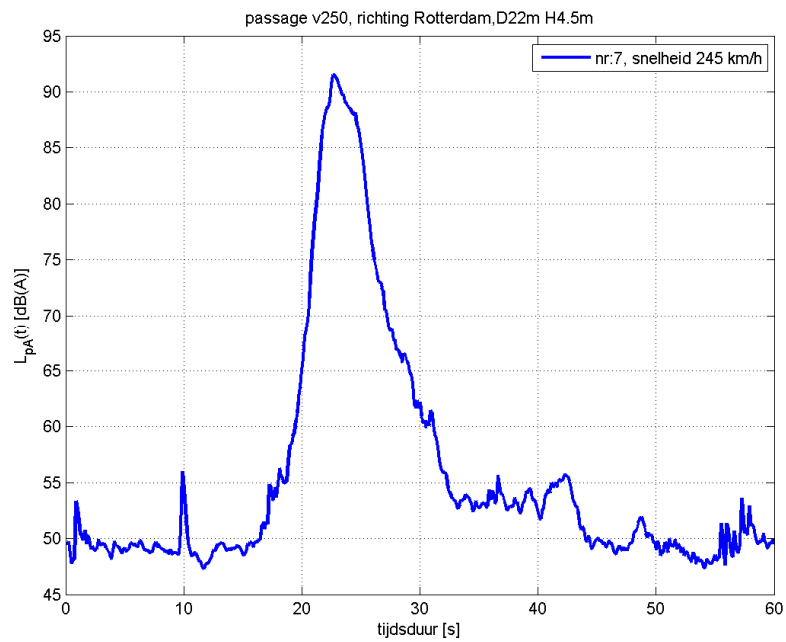
Figuur 53 Tijdsverloop A-gewogen geluidrukniveau meetdoornede 2, op afstand 22m, meethoogte 4,5m, Thalys richting Amsterdam, snelheid 210 km/h.



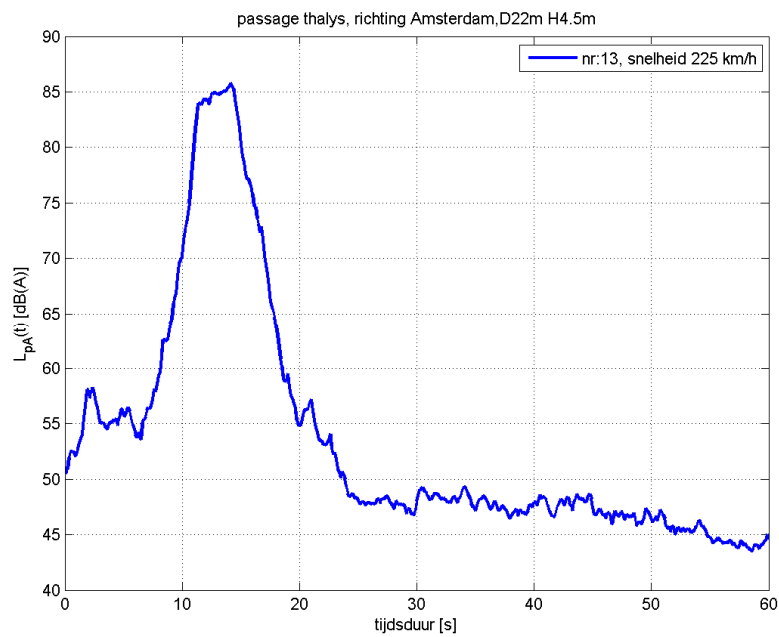
Figuur 54 Tijdsverloop A-gewogen geluidrukniveau meetdoornede 2, op afstand 22m, meethoogte 4,5m, Thalys richting Rotterdam, snelheid 248 km/h.



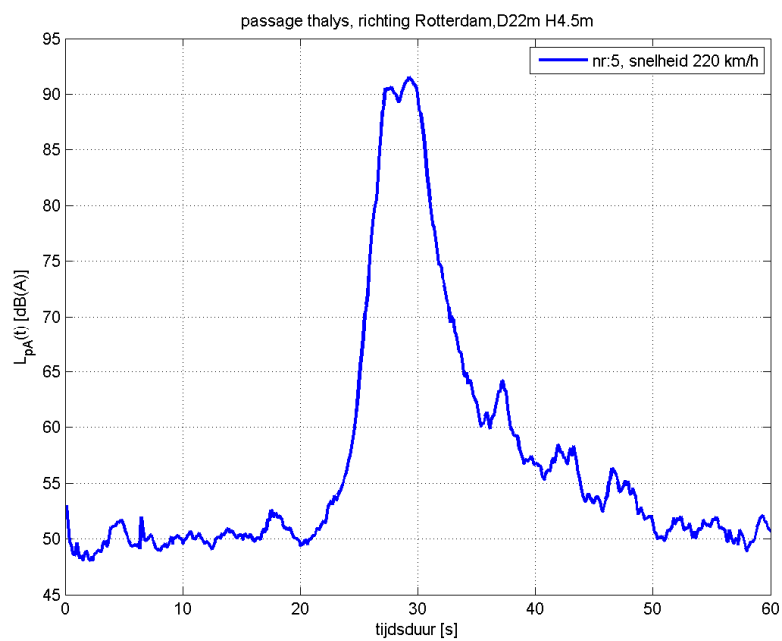
Figuur 55 Tijdsverloop A-gewogen geluidrukniveau meetdoorsnede 2, op afstand 22m, meethoogte 4,5m, V250 richting Amsterdam, snelheid 206 km/h.



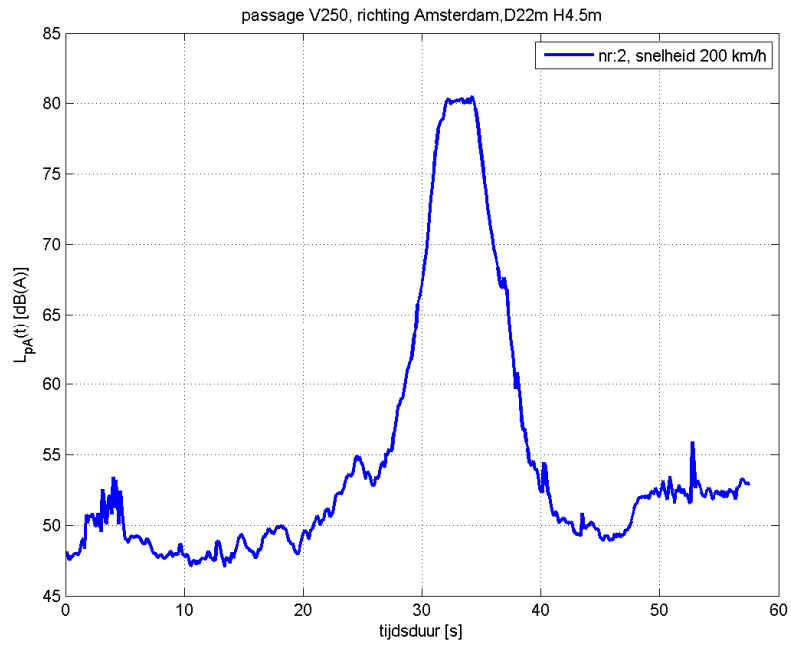
Figuur 56 Tijdsverloop A-gewogen geluidrukniveau meetdoorsnede 2, op afstand 22m, meethoogte 4,5m, V250 richting Rotterdam, snelheid 245 km/h.



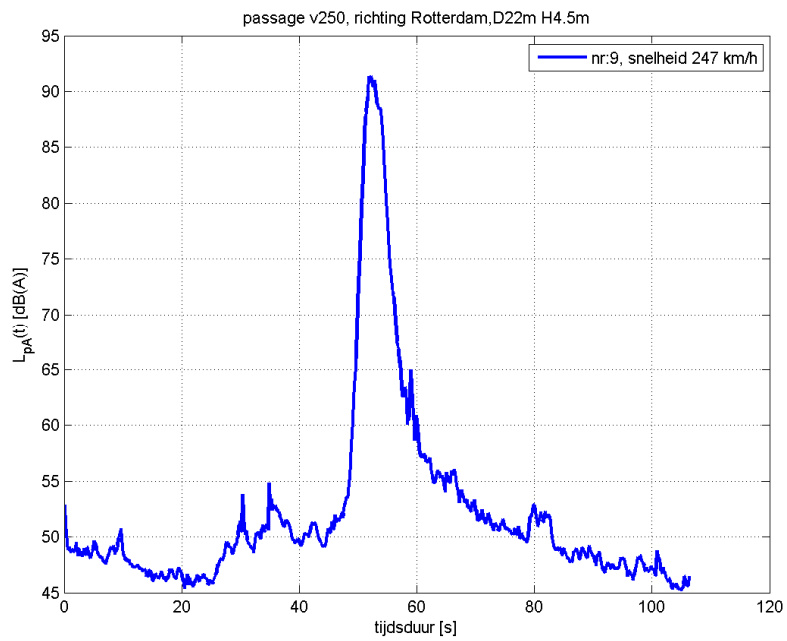
Figuur 57 Tijdsverloop A-gewogen geluidrukniveau meetdoorsnede 3, op afstand 22m, meethoogte 4,5m, Thalys richting Amsterdam, snelheid 225 km/h.



Figuur 58 Tijdsverloop A-gewogen geluidrukniveau meetdoorsnede 3, op afstand 22m, meethoogte 4,5m, Thalys richting Rotterdam, snelheid 220 km/h.



Figuur 59 Tijdsverloop A-gewogen geluidrukniveau meetdoornede 3, V250 richting Amsterdam, snelheid 200 km/h.



Figuur 60 Tijdsverloop A-gewogen geluidrukniveau meetdoornede 3, op afstand 22m, meethoogte 4,5m, V250 richting Rotterdam, snelheid 247 km/h.

C Gecombineerde ruwheid, railruwheid en afstandsdemping

In de onderstaande figuren 61-64 staat de gemiddelde gecombineerde ruwheid als functie van de golflengte van gemeten Thalys passages voor meetdoornedes D2 en D3 op het oost- en westspoor, vóór en na de maatregelen (13 november 2013). Daarna worden in figuren 65 en 66 de verschillen in de vóór- en nameting getoond, als functie van de golflengte en als functie van de frequentie bij de gemiddelde snelheid. In figuur 66 staat ook het verschil in geluidexpositieniveau van de vóór- en nameting voor D2 oostspoor, waar aan het spoor niets veranderd is. Dit verschil is vergelijkbaar met het gevonden verschil in gecombineerde ruwheid.

Railtrillingen zijn alleen geanalyseerd voor de voormeting en voor de tweede nameting op 13 november 2013.

De verschillen die te zien zijn in de vóór- en nameting zijn te verklaren vooral met verschillen in de wielruwheid, doordat de treinexemplaren en hun conditie anders kunnen zijn, en voor de Thalys de wielruwheid gemiddeld veel hoger dan de railruwheid is.

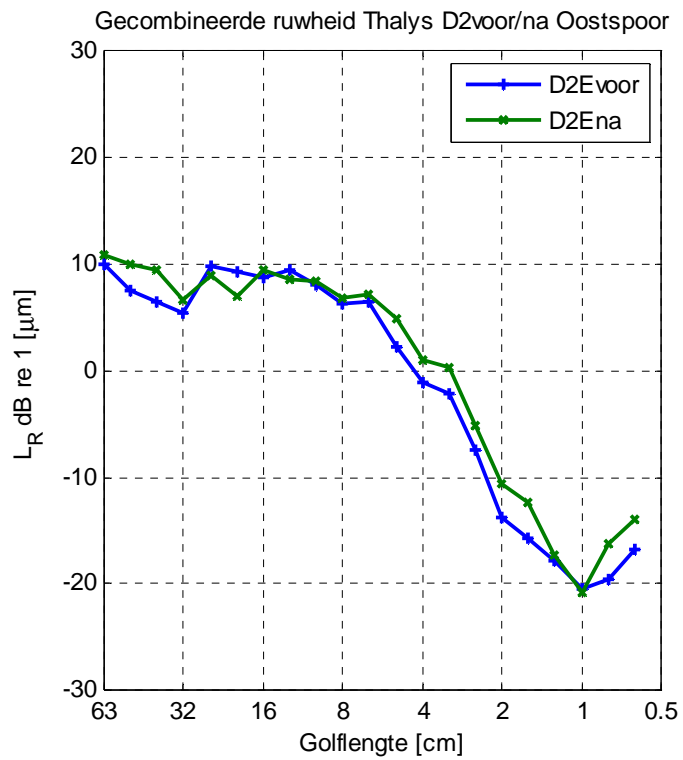
In figuren 67-70 worden selecties van gecombineerde ruwheden per passage getoond voor de Thalys, V250 en de TraxxPrio, op oost- en westspoor.

De gemiddelde gecombineerde ruwheden per treintype worden vergeleken in figuren 71-72.

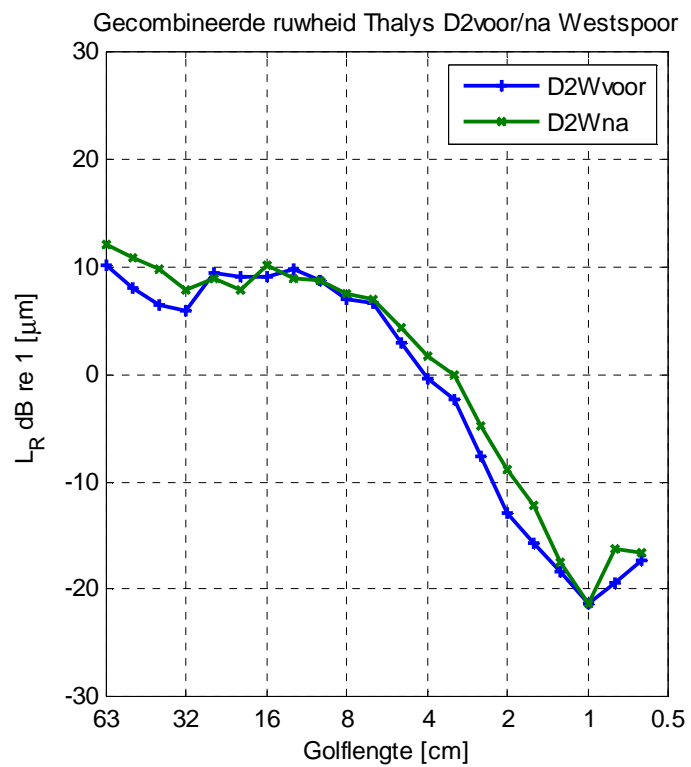
De gemeten railruwheden op de verschillende meetdoornedes vóór en na het aanbrengen van de maatregelen zijn weergegeven in figuren 73-76. Deze meetgegevens zijn geleverd door M+P. De verandering in de railruwheid voor en na de aanleg van de absorptieplaten is weergegeven in figuren 77 en 78.

Een vergelijking van gecombineerde ruwheid van een Thalys passage en de railruwheid is in figuur 79 weergegeven. Hierin is te zien dat voor de Thalys en de TraxxPrio de gecombineerde ruwheid het sterkst door de wielruwheid wordt bepaald aangezien de railruwheid over het algemeen veel lager ligt. Het tabel daaronder toont het verband tussen golflengte en frequentie voor verschillende rijnsnelheden.

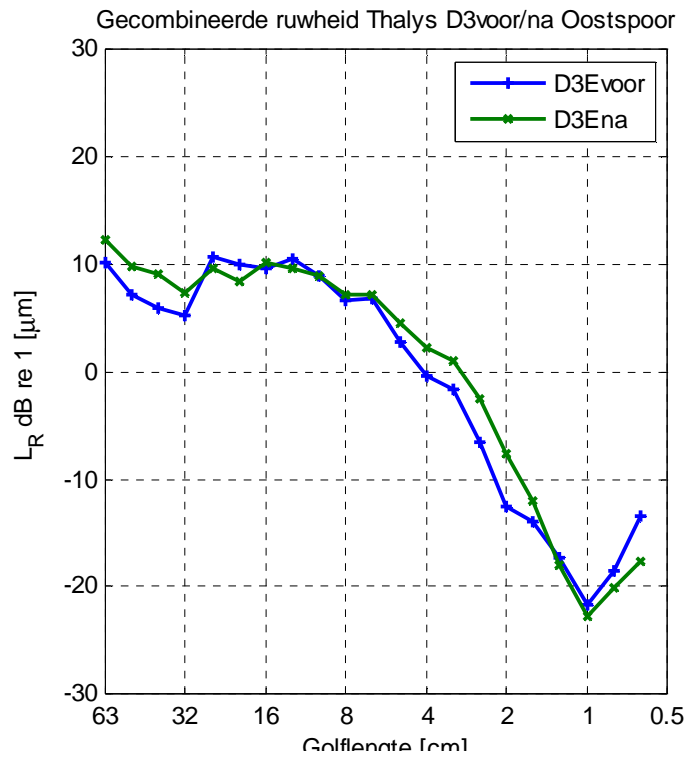
In figuren 80-81 is de afstandsdemping weergegeven die als input dient voor de bepaling van de gecombineerde ruwheid, samen met het verticale trillingsniveau. De laterale afstandsdemping met en zonder raildemper staat in figuren 82-83. De afstandsdemping en gecombineerde ruwheid zijn bepaald met behulp van de PBA-software van TNO. De grote verschillen in afstandsdemping bij de raildemper zowel in verticale als laterale richting zijn een indicatie dat de railtrillingen en daarmee het afgestraalde rolgeluid van het spoor sterk wordt gereduceerd. Deze reductie komt het sterkst tot uiting bij lagere snelheden, maar voor het Rhedaspoor is de reductie zelfs nog bij 240 km/h rond de 2 dB voor de Thalys. Dit komt overeen met wat met het reken- en meetvoorschrift te voorspellen is, uitgaande van de nieuwe categorie 9 (RMV 2012) en de bovenbouwcorrectie voor Rhedaspoor.



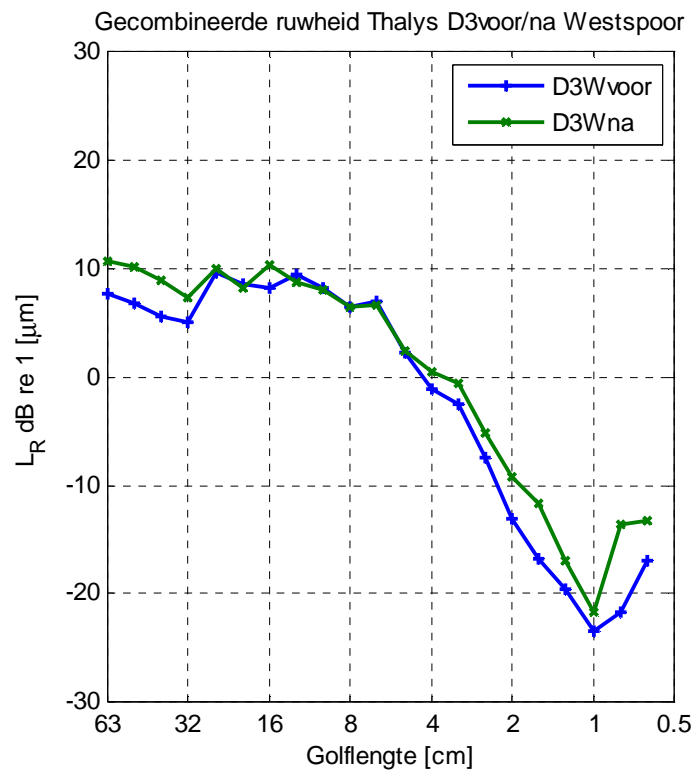
Figuur 61 Gecombineerde ruwheid van Thalys passages op meetdoorsnede D2 richting Amsterdam, oostspoor.



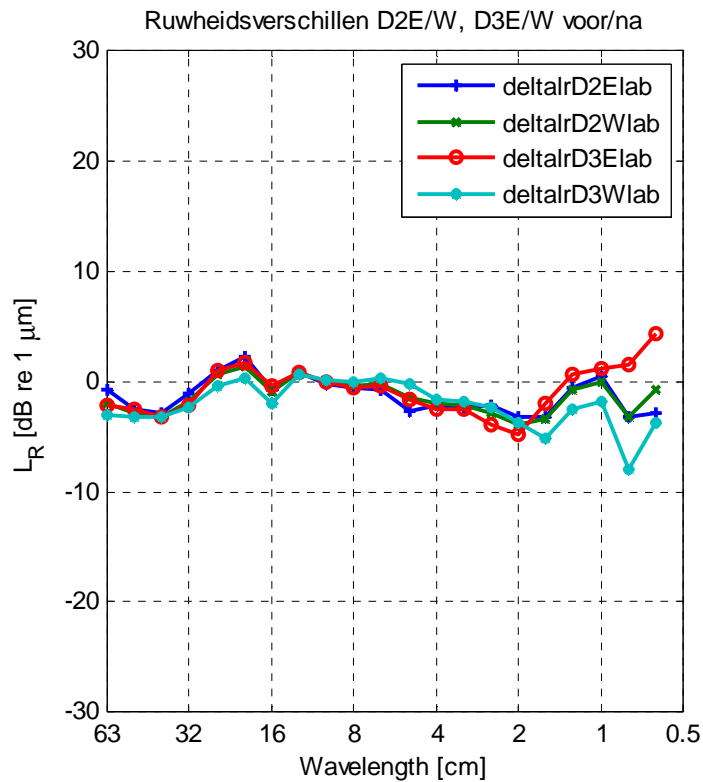
Figuur 62 Gecombineerde ruwheid van Thalys passages op meetdoorsnede D2 richting Rotterdam, westspoor.



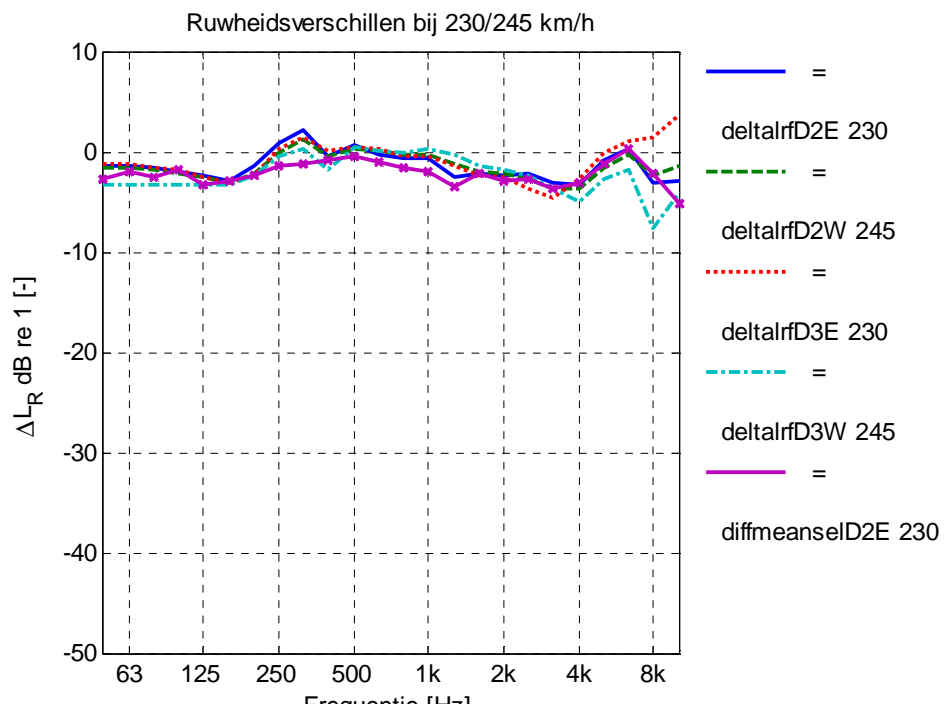
Figuur 63 Gecombineerde ruwheid van Thalys passages op meetdoorsnede D3 richting Amsterdam, oostspoor.



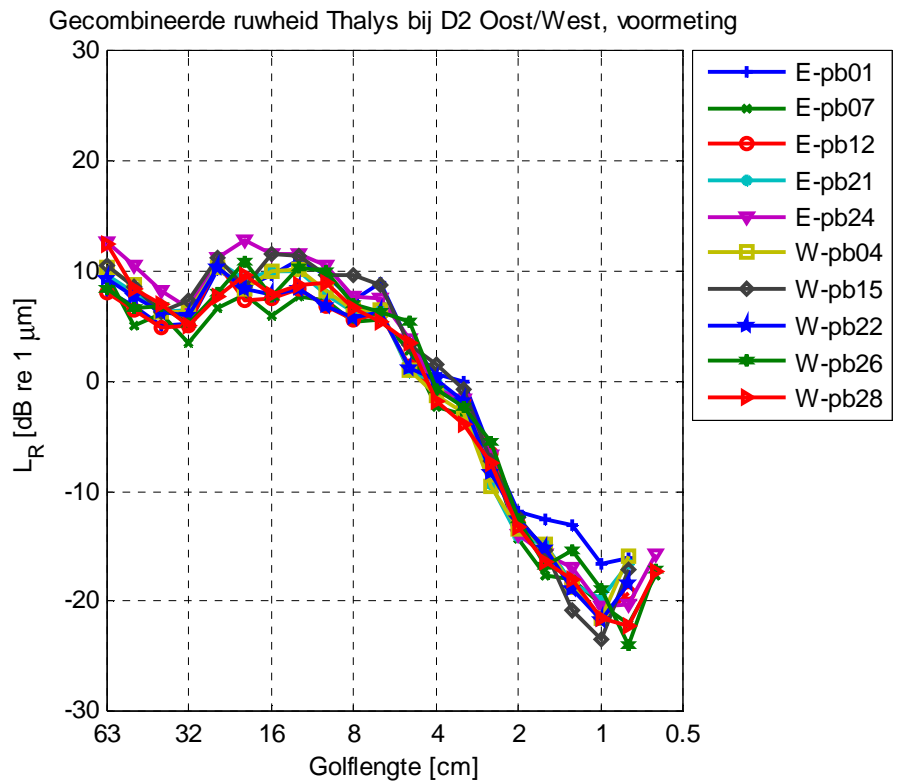
Figuur 64 Gecombineerde ruwheid van Thalys passages op meetdoorsnede D3 richting Rotterdam, westspoor.



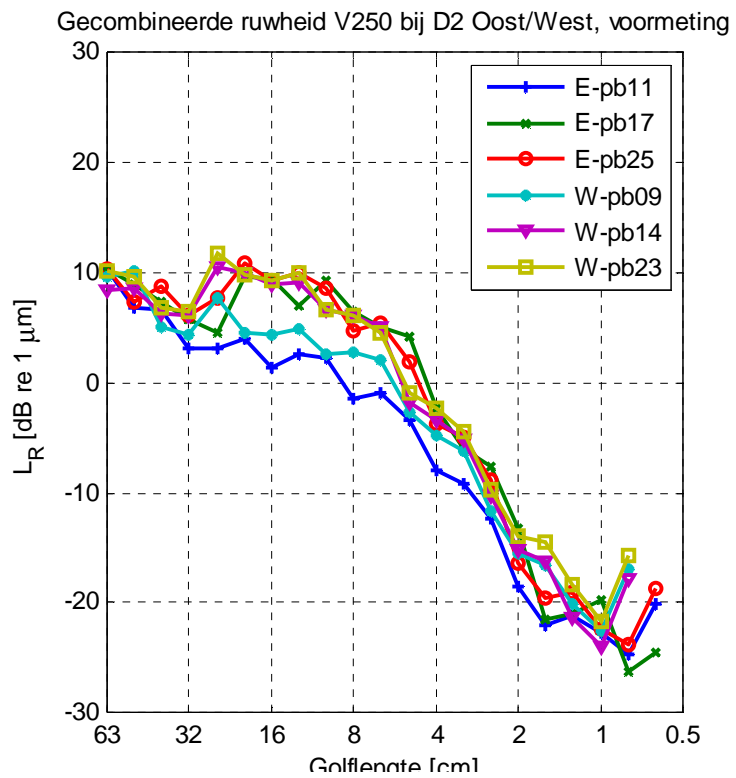
Figuur 65 Verskil in vóór- en nameting (13 nov 2013) van de gecombineerde ruwheid van Thalys passages op meetdoorsnede D2 en D3 op oost- en westspoor.



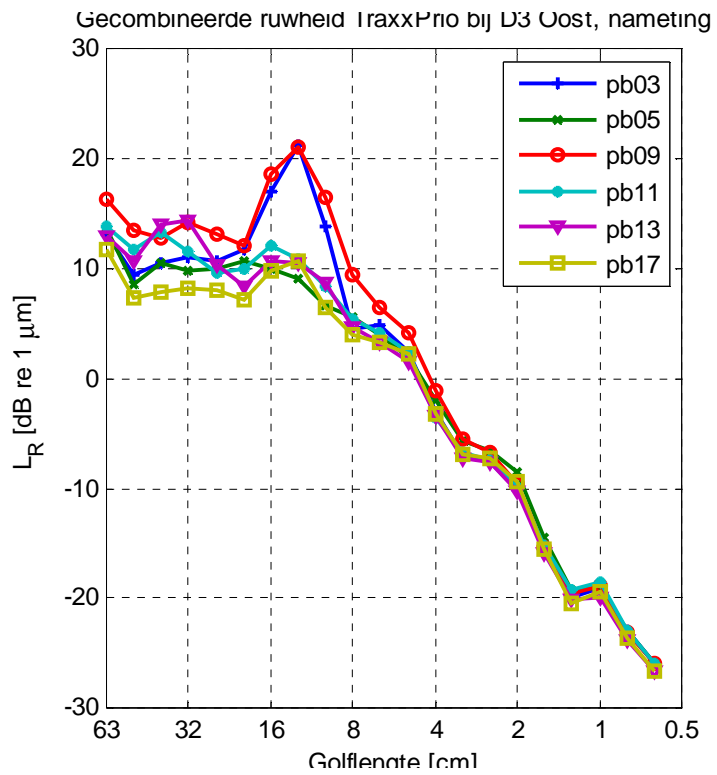
Figuur 66 Verskil in vóór- en nameting (13 november2013) van de gecombineerde ruwheid van Thalys passages op meetdoorsnede D2 en D3 op oost- en westspoor, nu als functie van de frequentie voor de gemiddelde rijnsnelheden op beide sporen. Tevens is het verschil in geluidexpositieniveau van de vóór- en nameting op D2 oostspoor weergegeven, hetgeen vergelijkbaar is met het verschil in de gecombineerde ruwheid.



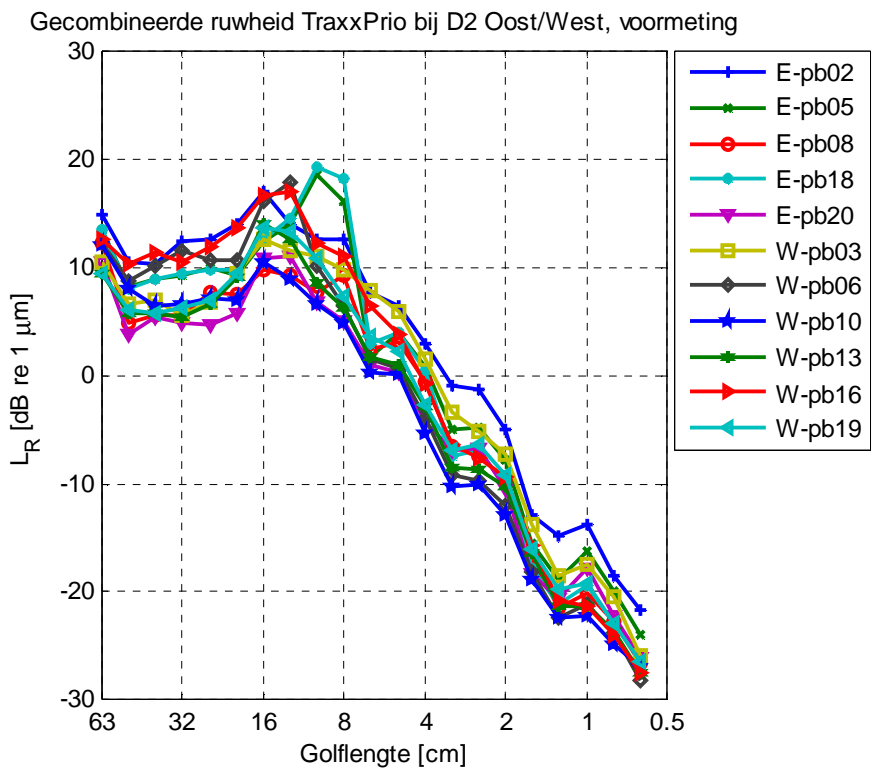
Figuur 67 Gecombineerde ruwheid van Thalys passages op meetdoorsnede 2, oost- en westspoor, voormeting.



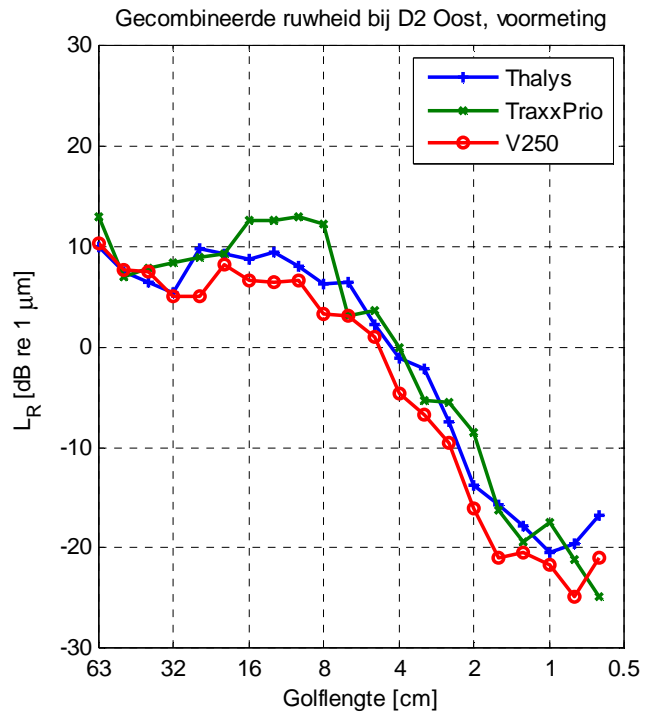
Figuur 68 Gecombineerde ruwheid van V250 passages op meetdoorsnede 2, oost- en westspoor, voormeting.



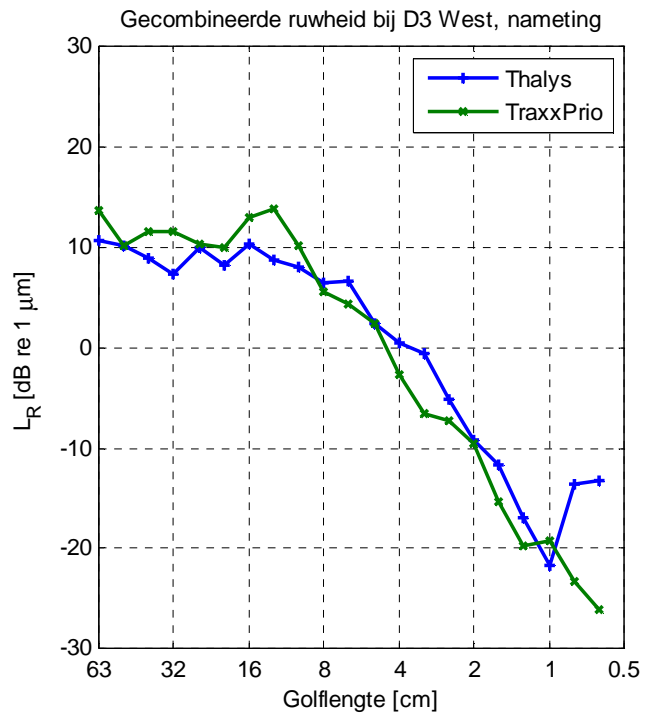
Figuur 69 Gecombineerde ruwheid van TraxxPrio passages op meetdoorsnede 3 oostspoor, nameting.



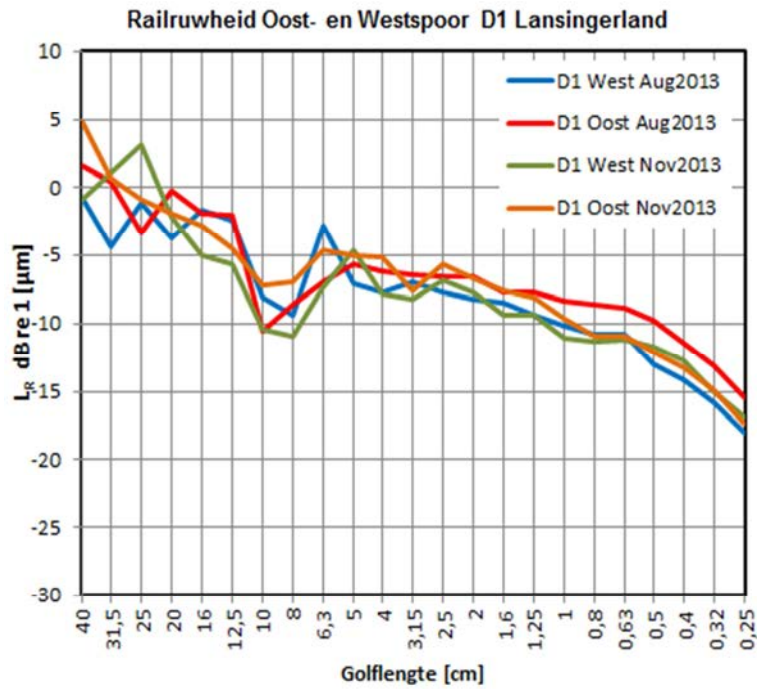
Figuur 70 Gecombineerde ruwheid van TraxxPrio passages op meetdoorsnede 3 oostspoor, vormeting.



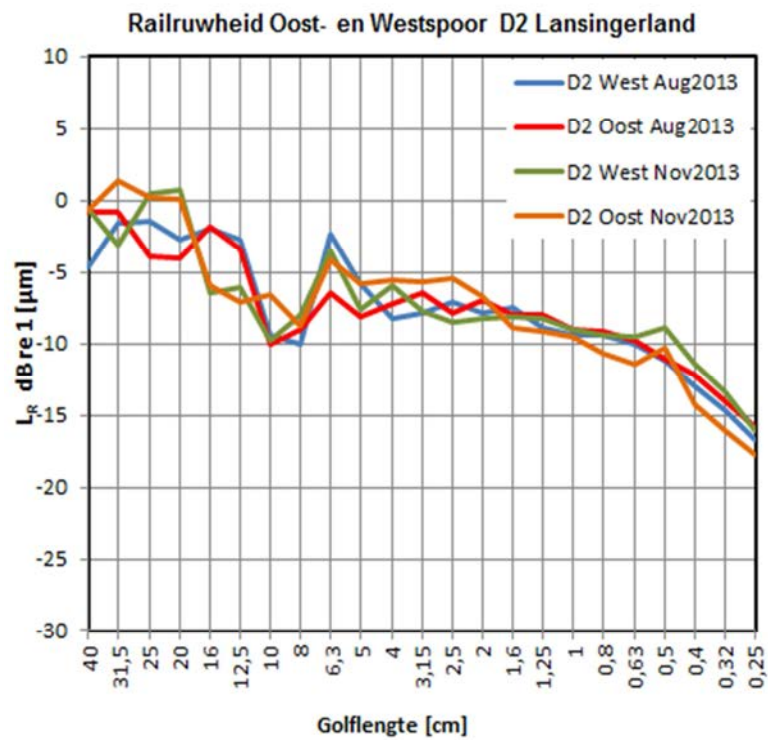
Figuur 71 Gemiddelde gecombineerde ruwheid van Thalys, V250 en TraxxPrio passages op meetdoorsnede 2, voormeting.



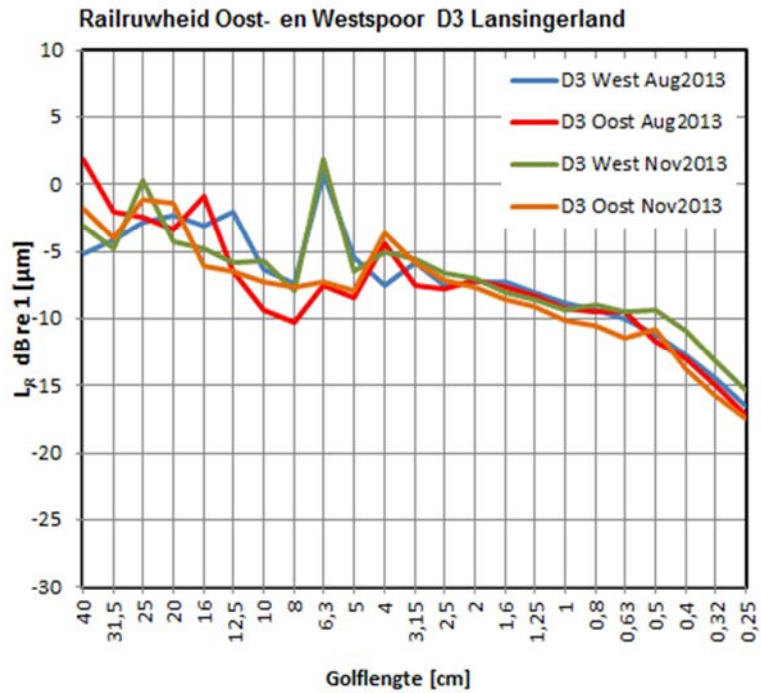
Figuur 72 Gemiddelde gecombineerde ruwheid van Thalys, en TraxxPrio passages op meetdoorsnede 3 westspoor, nameting.



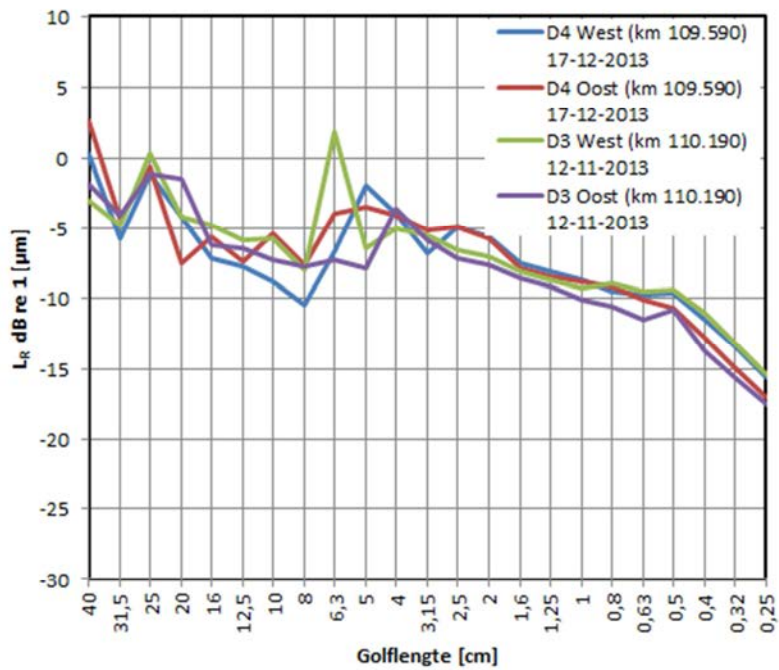
Figuur 73 Railruwheid op doorsnede D1 oost- en westspoor in augustus en november 2013.



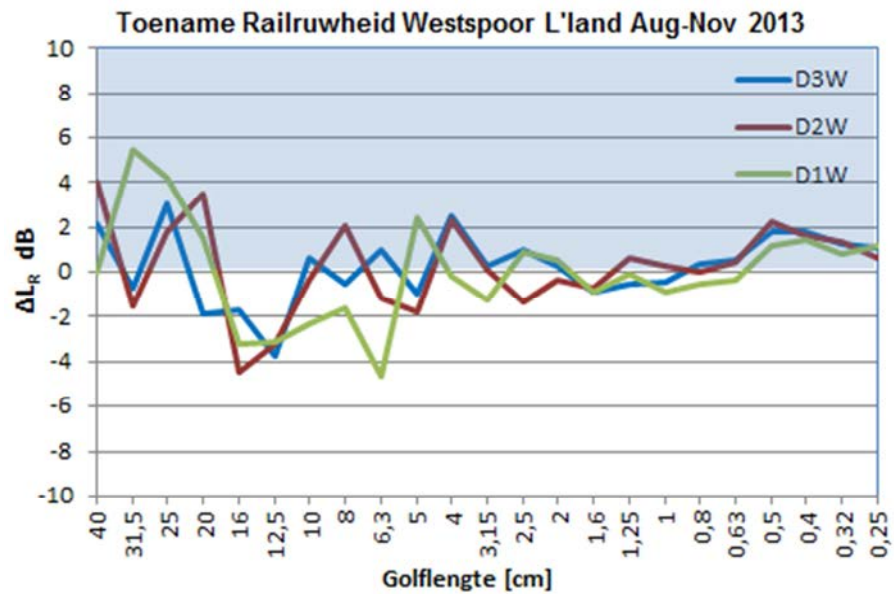
Figuur 74 Railruwheid op doorsnede D2 oost- en westspoor in augustus en november 2013.



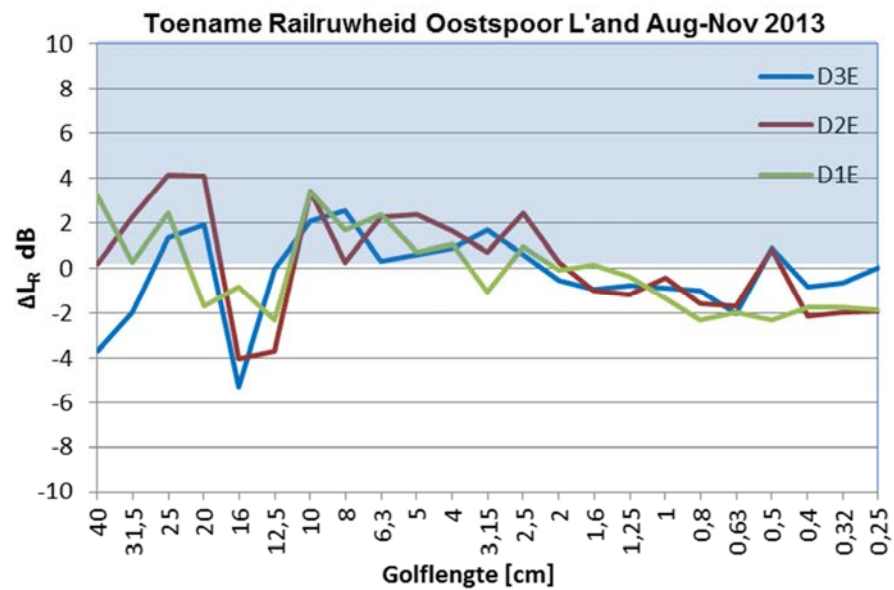
Figuur 75 Railruwheid op Doorsnede D3 oost- en westspoor in augustus en november 2013.



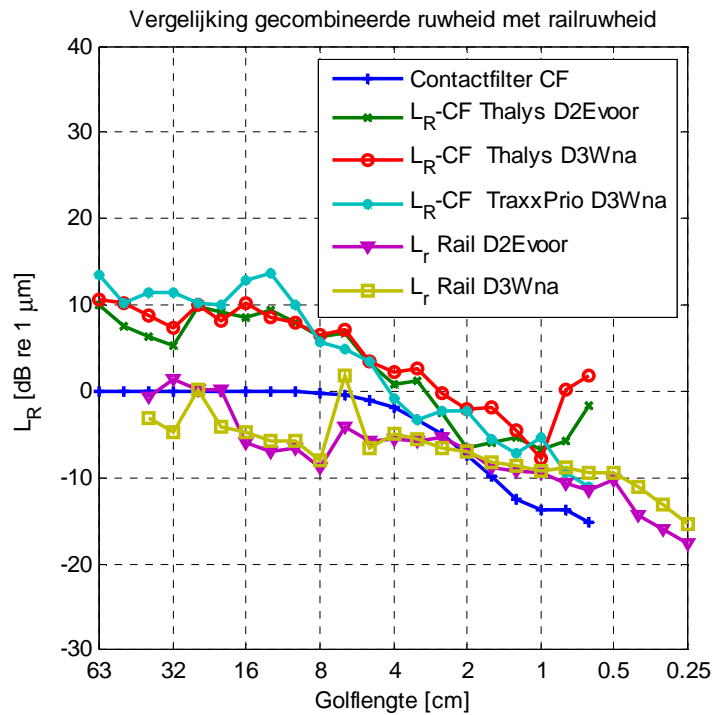
Figuur 76 Railruwheid op Doorsnede D3 en D4 oost- en westspoor in november en december 2013.



Figuur 77 Toename van de railruwheid op doorsnedes D1m D2 en D3 op het westspoor tussen augustus 2013, vlak voor de aanleg van raildempers en absorptieplaten, en november 2013.



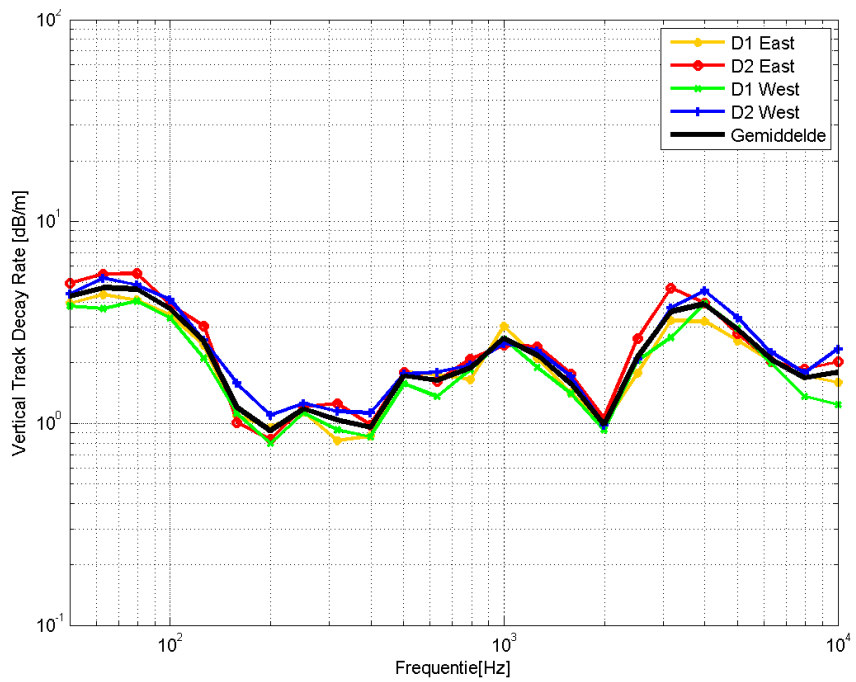
Figuur 78 Toename van de railruwheid op doorsnedes D1, D2 en D3 op het oostspoor tussen augustus 2013, vlak voor de aanleg van raildempers en absorptieplaten, en november 2013.



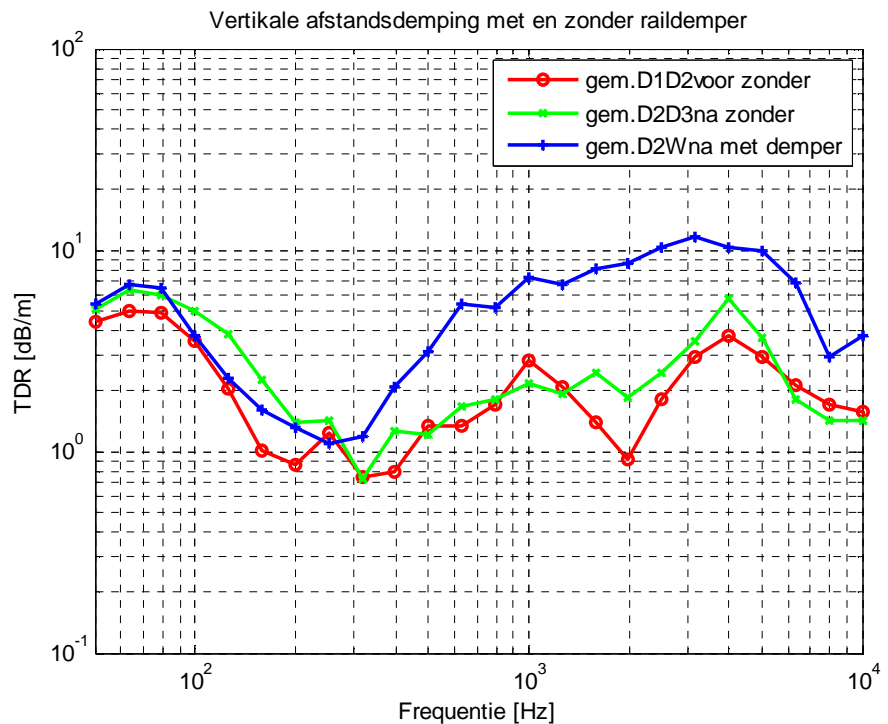
Figuur 79 Gemiddelde gecombineerde ruwheid van Thalys en TraxxPrio passages op doorsnede D2 oost, voormeting en D3 west, nameting, beide met correctie voor het contactfilter, en vergelijking met de railruwheid gemeten met een taster op dezelfde locaties.

Tabel C.1 Conversietabel voor golflengte naar frequentie bij enkele snelheden.

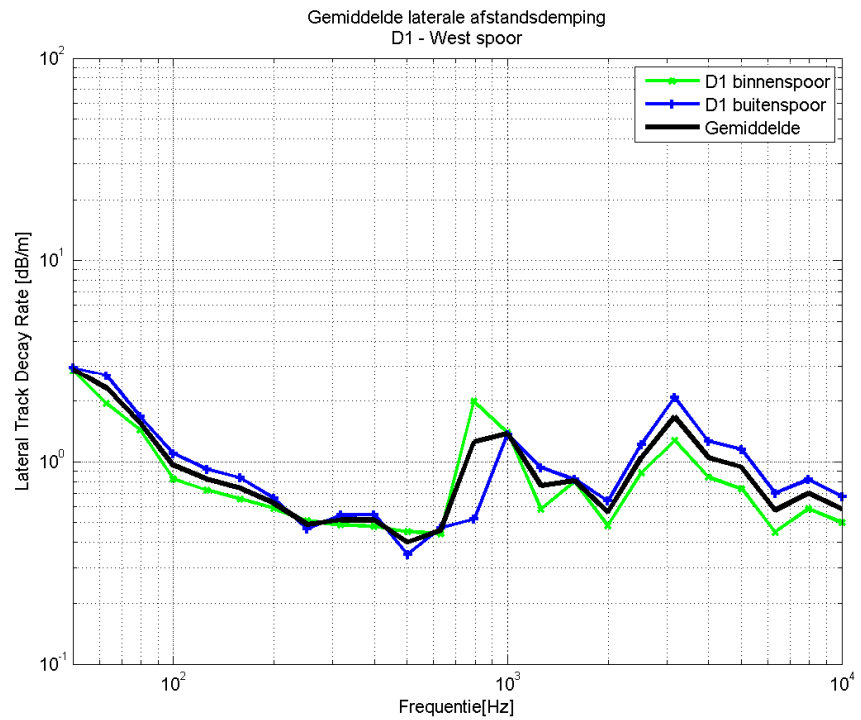
Golflengte [cm]	16	8	4	2
v [km/h]	Freq. [Hz]	Freq. [Hz]	Freq. [Hz]	Freq. [Hz]
160	278	556	1111	2222
200	347	694	1389	2778
250	434	868	1736	3472
300	521	1042	2083	4167



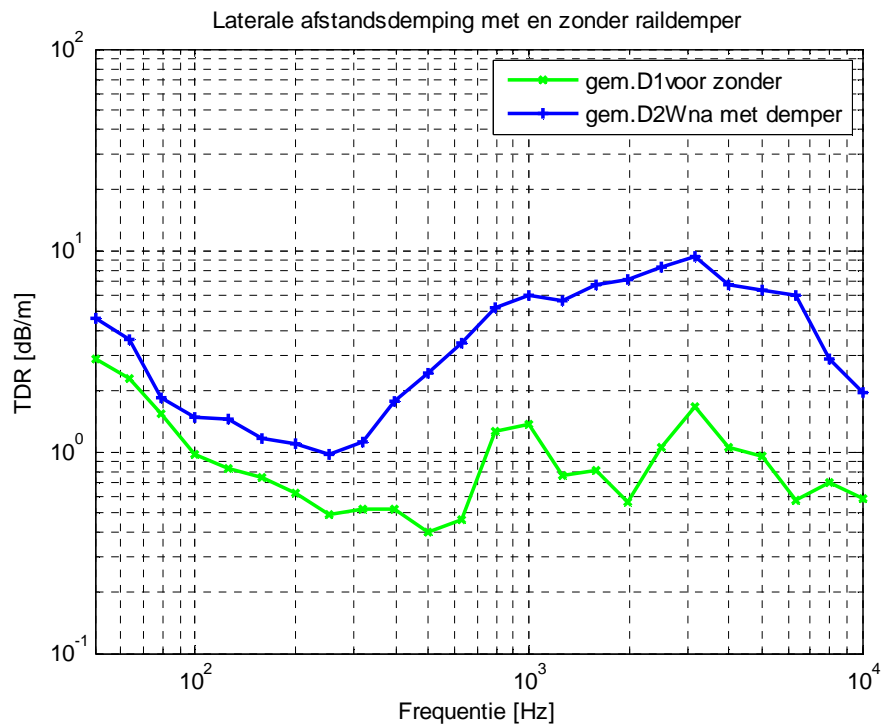
Figuur 80 Verticale afstandsdeping op meetdoorsnedes 1 en 2, oost- en westspoor binnenrail, gemiddeld voor enkele passages van Thalys en V250, en het totale gemiddelde.



Figuur 81 Vertikale afstandsdeping gemiddeld op D1 en D2 bij de voormeting, gemiddeld op D2(oost) en D3 bij de nameting, en bij D2 op het westspoor bij de nameting met raildempers. Gemiddeld uit passages van de Thalys en V250 bij de voormeting en van de Thalys bij de nameting.



Figuur 82 Laterale afstandsdeмпing op meetdoorsnede 1, westspoor binnen- en buitenrail, gemiddeld voor enkele passages van Thalys en V250, en het totale gemiddelde.



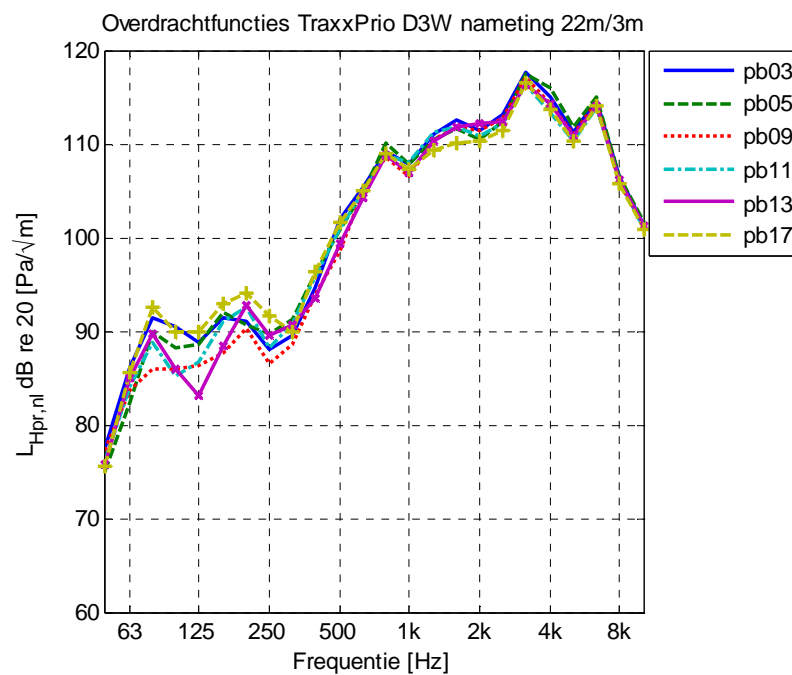
Figuur 83 Gemiddelde laterale afstandsdeмпing van D1 westspoor bij de voormeting en D2 westspoor met raildempers bij de nameting.

D Overdrachtspectra

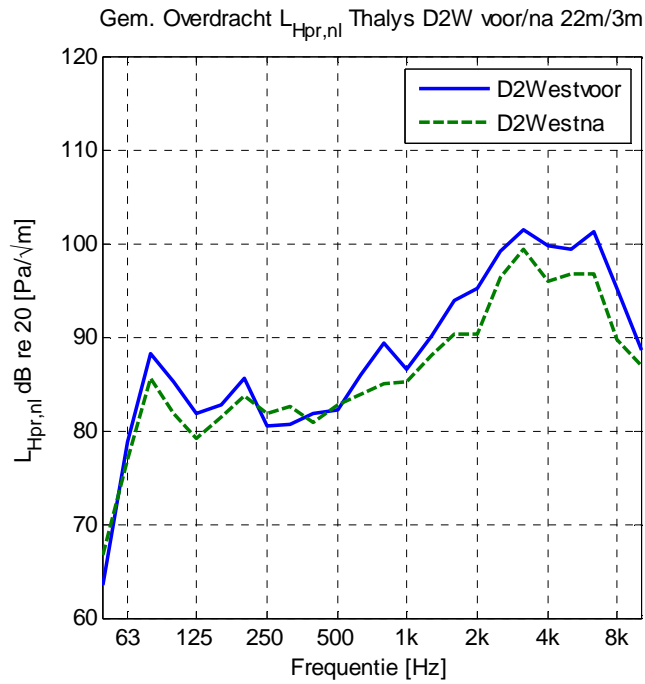
De overdrachtfunctie is het verschil tussen de geluidspassageniveau en de gecombineerde ruwheid, genormeerd naar het aantal assen per eenheid lengte. Het verschil tussen overdrachtfuncties sluit de invloed van verschillen in de wiel/rail ruwheid uit. De hier getoonde spectra zijn zonder eventuele correctie voor de lengte van de maatregel langs het spoor. Het frequentiegebied onder 250 Hz wordt gedeeltelijk beïnvloed door de bijdrage van aerodynamisch geluid.

Figuur 84 hieronder toont afzonderlijke overdrachtfuncties per passage op D3 westspoor bij de nameting. De overdrachtfuncties liggen dicht op elkaar boven 250 Hz dankzij normalisatie op de gecombineerde ruwheid.

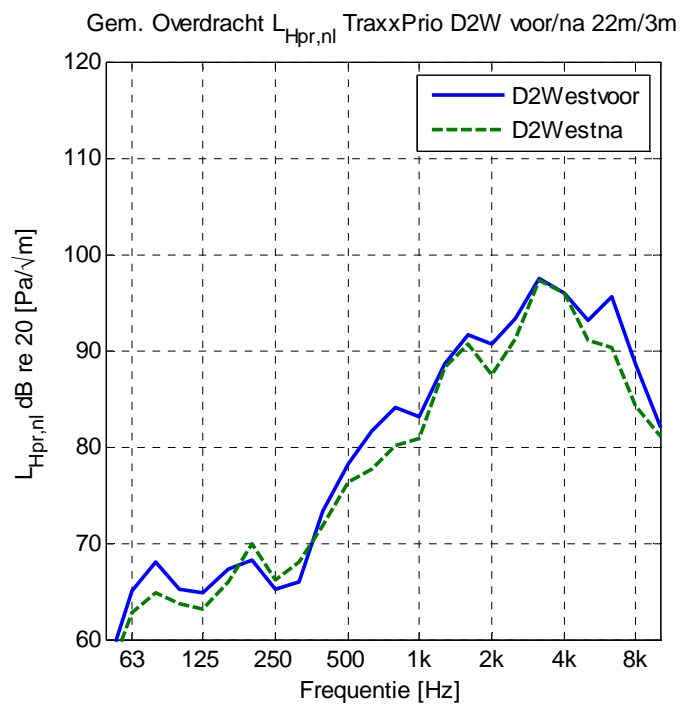
In de resterende figuren worden gemiddelde overdrachtspectra L_H getoond waaruit de geluidreducties zijn bepaald, voor de Thalys en de TraxxPrio op doorsnedes D2 en D3.



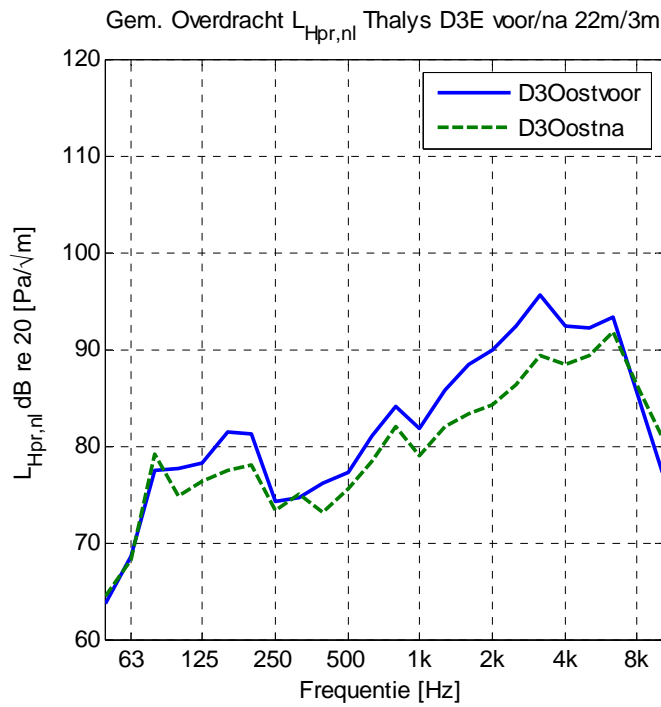
Figuur 84 Overdrachten L_H voor de TraxxPrio bij 160 km/h op D3 westspoor nameting, voor individuele treinpassages.



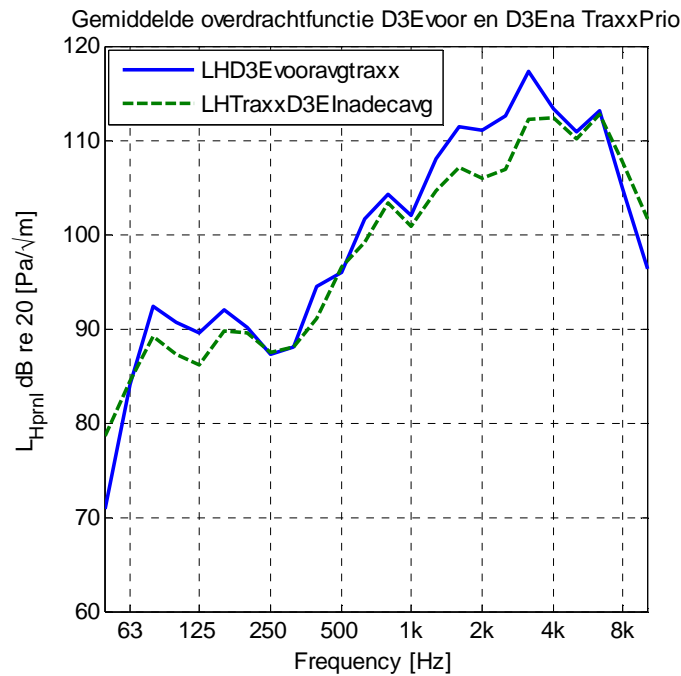
Figuur 85 Gemiddelde overdrachten L_H voor de Thalys bij 245 km/h op D2 westspoor voor de vóór- en nameting, zonder en met raildempers.



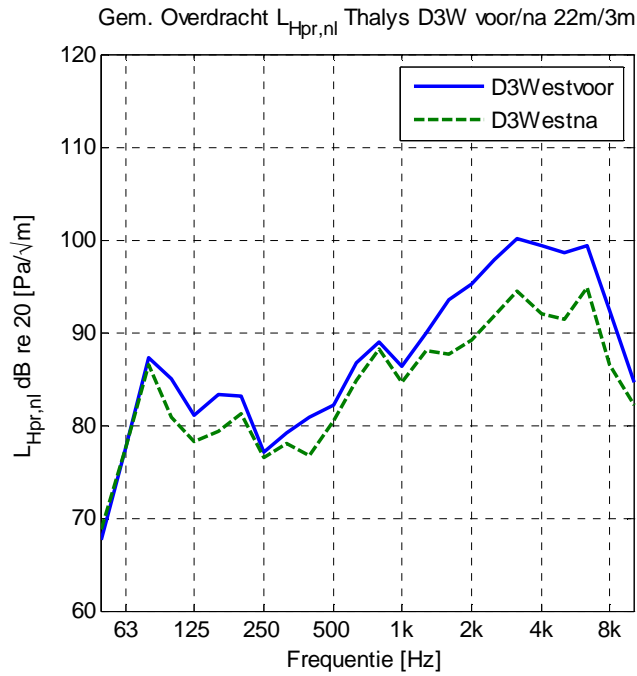
Figuur 86 Gemiddelde overdrachten L_H voor de TraxxPrio bij 160 km/h op D2 westspoor voor de vóór- en nameting, zonder en met raildempers.



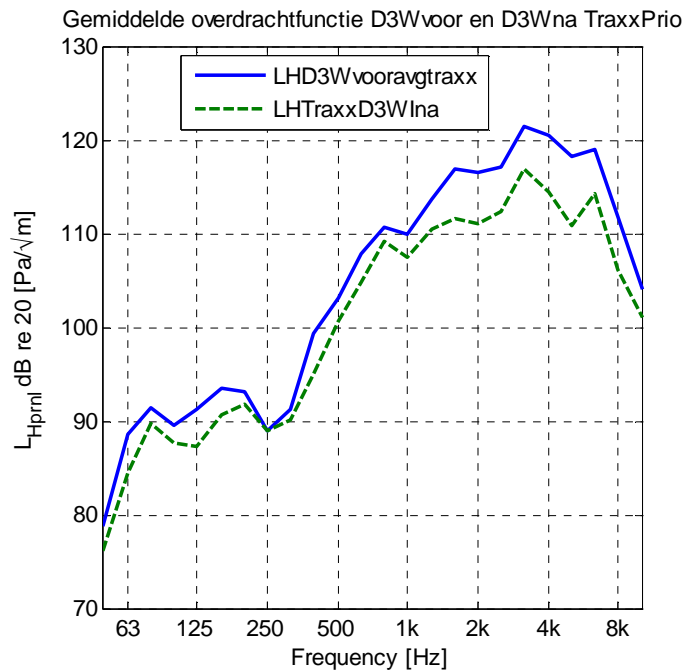
Figuur 87 Gemiddelde overdrachten L_H voor de Thalys bij 230 km/h op D3 oostspoor voor de vóór- en nameting, zonder en met absorptieplaten.



Figuur 88 Gemiddelde overdrachten L_H voor de TraxxPrio bij 160 km/h op D3 oostspoor voor de vóór- en nameting, zonder en met absorptieplaten.



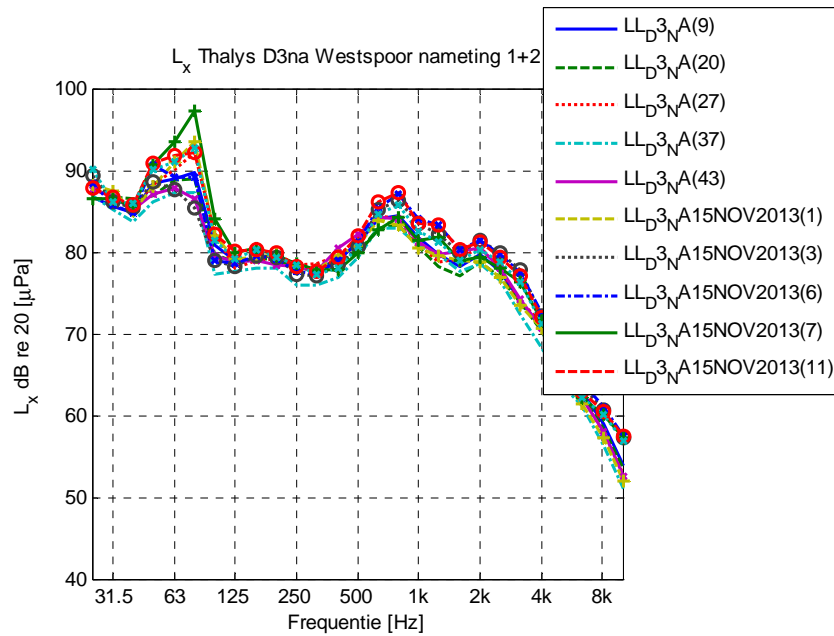
Figuur 89 Gemiddelde overdrachten L_H voor de Thalys bij 245 km/h op D3 westspoor voor de vóór- en nameting, zonder en met absorptieplaten.



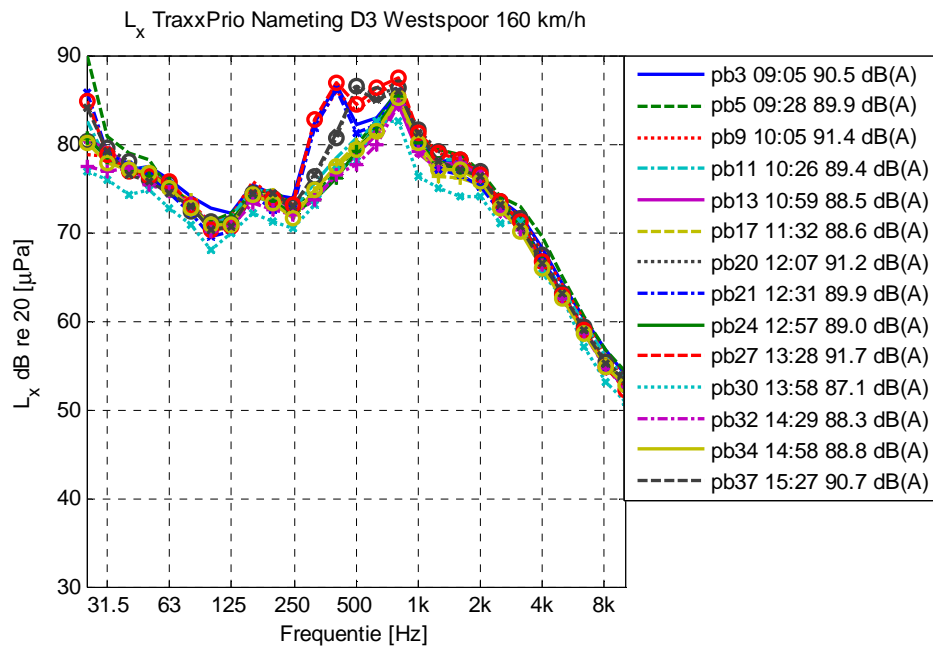
Figuur 90 Gemiddelde overdrachten L_H voor de TraxxPrio bij 160 km/h op D3 westspoor voor de vóór- en nameting, zonder en met absorptieplaten.

E Geluidexpositiespectra

Hieronder worden enkele voorbeelden van geluidexpositiespectra getoond van de Thalys en TraxxPrio ter illustratie van de potentiële spectrale spreiding.



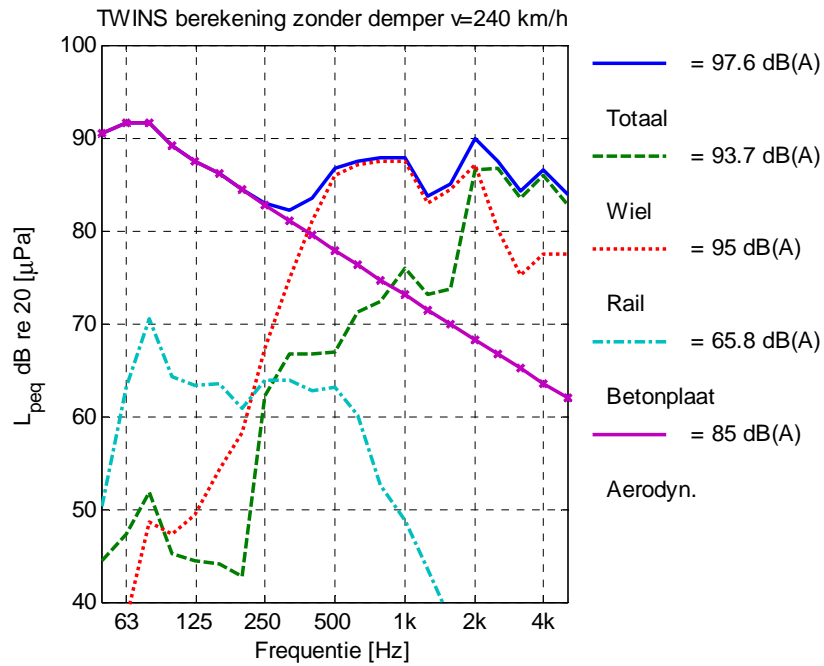
Figuur 91 Gemiddelde geluidexpositiespectra L_x voor de Thalys bij 216-248 km/h op D3 westspoor bij de nameting met absorptieplaten.



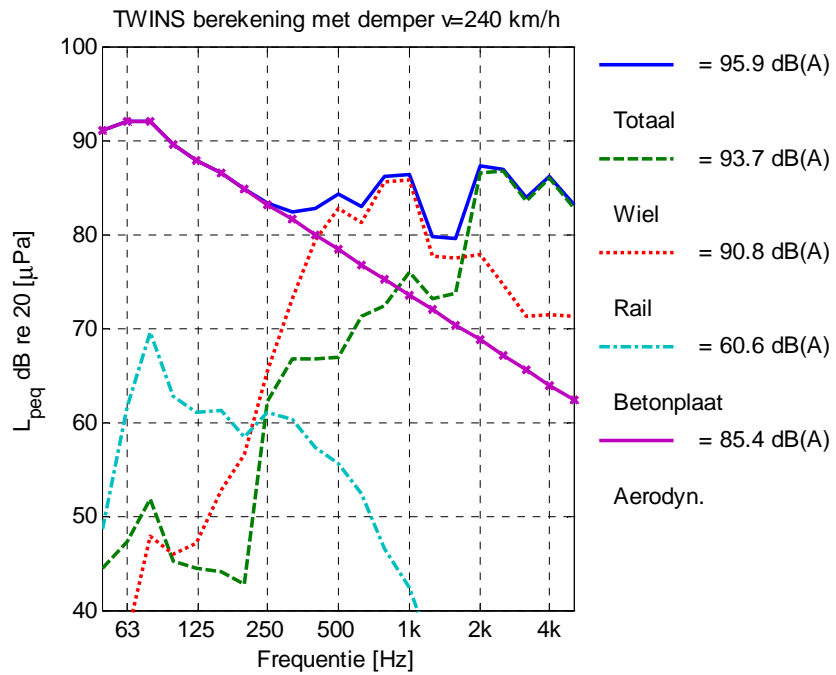
Figuur 92 Gemiddelde geluidexpositiespectra L_x voor de TraxxPrio bij 160 km/h op D3 westspoor bij de nameting met absorptieplaten.

F Resultaten TWINS berekening

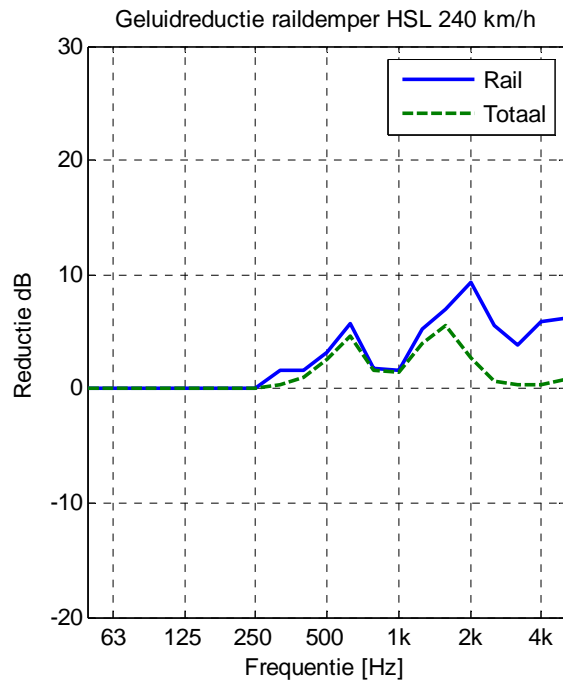
De resultaten van de TWINS berekening voor een trein met TGV wielen bij 240 km/h op Rhedaspoor met en zonder raildempers staan in de figuren hieronder. De berekeningen zijn op basis van de gemeten gecombineerde wiel/rail ruwheid en de gemeten afstandsdemping met en zonder raildemper.



Figuur 93 TWINS berekening voor een trein met TGV-wielen op Rhedaspoor bij 240 km/h op 7,5 m afstand, op basis van gemeten afstandsdemping, en met benaderde bijdrage van het aeroakoestisch geluid.



Figuur 94 TWINS berekening voor een trein met TGV-wielen op Rhedaspoor met raildempers bij 240 km/h op 7,5 m afstand, op basis van gemeten afstandsdemping, en met benaderde bijdrage voor het aeroakoestisch geluid.



Figuur 95 TWINS berekening voor de geluidreductie op het totale passagespectrum en op de bijdrage van de rail, voor een trein met TGV-wielen op Rhedaspoor met en zonder raildempers, bij 240 km/h op 7,5 m afstand, op basis van gemeten afstandsdemping, en met benaderde bijdrage voor het aeroakoestisch geluid.

G Methode ter bepaling van de lengtecorrectie

De lengtecorrectie voor het verschil tussen het geluiddrukkniveau van een treinpassage met een geluidreducerende maatregel over onbeperkte lengte en over een beperkte lengte is als volgt af te leiden.

Op een willekeurig moment tijdens de treinpassage, die wordt gemeten op afstand R_0 van het spoor, wordt een deel van het geluid afgestraald door de trein op het spoor zonder maatregel en een deel op het spoor met maatregel. Terwijl de trein het traject inrijdt en de microfoon passeert, verandert steeds de verhouding van spoor met en zonder maatregel. De mate waarin dit effect heeft hangt af van de treinlengte en de lengte van de maatregel. Voor het geval van deze metingen gaat het om een treinlengte van steeds 200 m en een maatregel lengte van 100 m.

Het momentane geluiddrukkniveau L_2 ten gevolge van treinlengte zonder maatregel over openingshoek Φ_2 is uitgaande van een monopoolkarakteristiek te formuleren als

$$L_2 = 10 \lg \frac{\Phi_2}{R_0} + C$$

En het momentane geluiddrukkniveau L_1 ten gevolge van treinlengte met maatregel met effect ΔL over openingshoek Φ_1 is te formuleren als

$$L_1 = 10 \lg \frac{\Phi_1}{R_0} + C - \Delta L$$

Waarbij

Φ_1 = openingshoek treinlengte zonder maatregel,

Φ_2 = openingshoek treinlengte met maatregel,

R_0 = loodrechte afstand tot het spoor

en C = constante.

Het momentane geluidniveau gemeten bij de microfoon L_m is de energetische som van L_1 en L_2

$$L_m = 10 \lg(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10})$$

Hieruit is te zien dat voor kleine openingshoek zonder maatregel Φ_2 , de gemeten geluidreductie niet veel zal verschillen van de geluidreductie voor onbeperkte lengte.

Het geluidexpositieniveau over de meettijd T wordt bepaald uit de tijdsintegratie van $L_m(t)$ over de hele treinpassage:

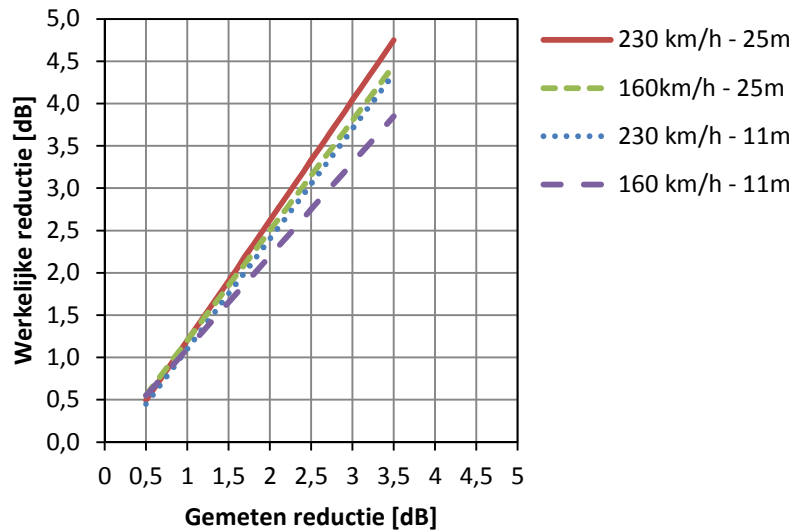
$$L_x = 10 \lg \int_T 10^{L_m(t)/10} dt$$

waaruit blijkt dat de meettijd mede bepalend is voor de bijdrage van de spoorlengte zonder maatregel. Verder is de meettijd ook afhankelijk van de snelheid.

De lengtecorrectie is dan gelijk aan het verschil tussen ΔL en L_m . L_m nadert ΔL voor korte meetafstanden en een lange maatregellengte.

Voor gegeven maatregellengte, meetafstand, bekende geluidreductie ΔL , rijsnelheid en meettijd is het te verwachten gemeten niveau te berekenen.

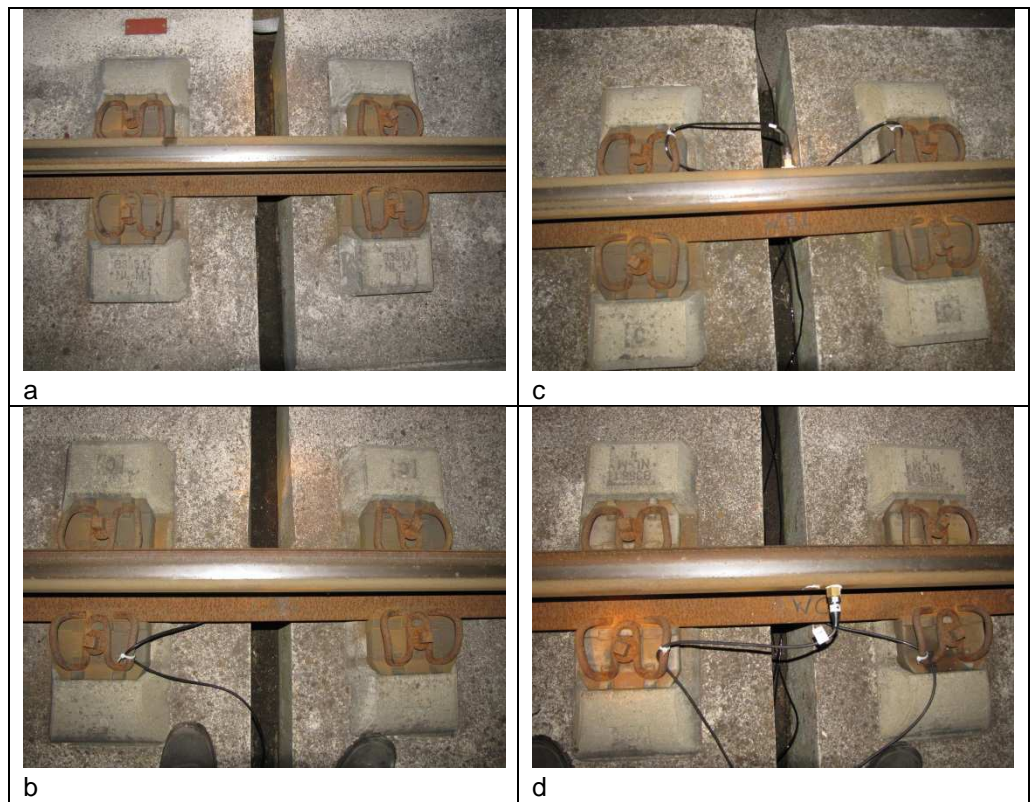
Hieronder wordt de lengtecorrectie getoond als functie van de gemeten reductie, voor treinen van 200 m lengte, een maatregellengte van 100 m, bij 230 en 160 km/h, op 25 m en 11 m afstand.



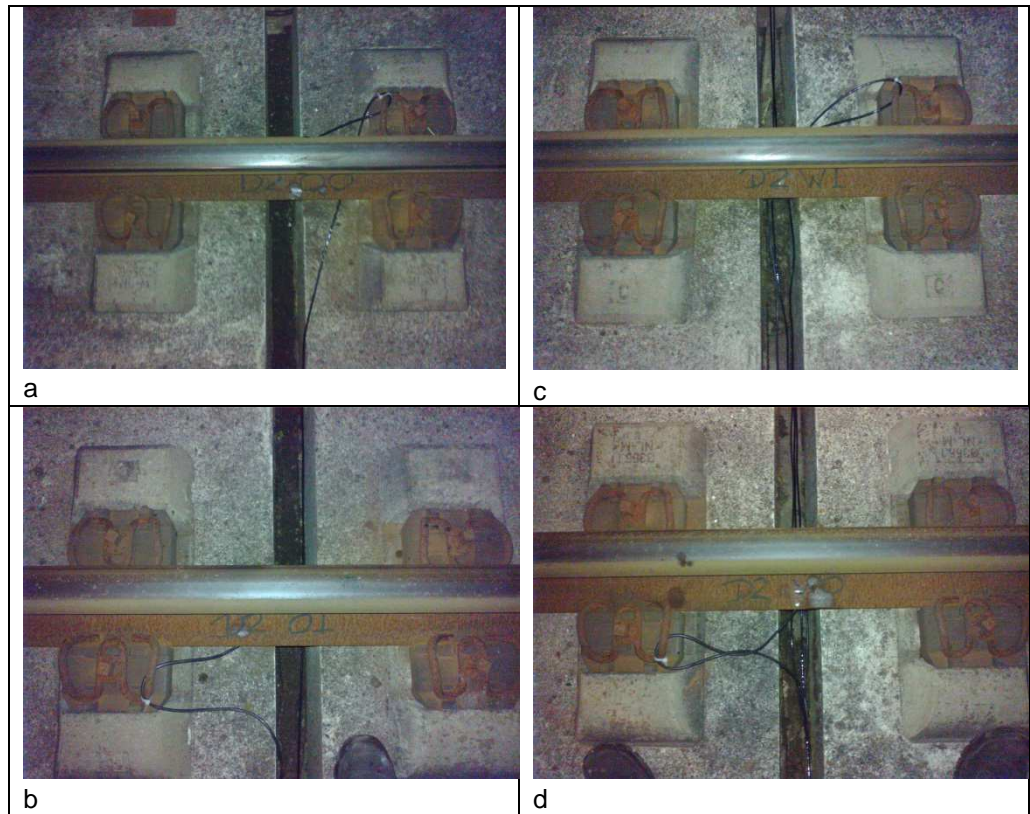
Figuur 96 Benadering voor de lengtecorrectie bij verkorte uitvoering van de maatregel.

Deze lengtecorrectie geldt voor een situatie zonder afscherming en gaat uit van deelbronnen langs de trein met een monopool karakteristiek. Voor de situatie in de tunnelbak kan de correctie lager uitvallen wegens de daadwerkelijke karakteristieken.

H Foto's van het railloopvlak



Figuur 97 Railloopvlak vóór de referentiemeting op meetdoorsnede 1, a) oostspoor buitenrail, b) oostspoor binnenrail, c) westspoor binnenrail, d) westspoor buitenrail.



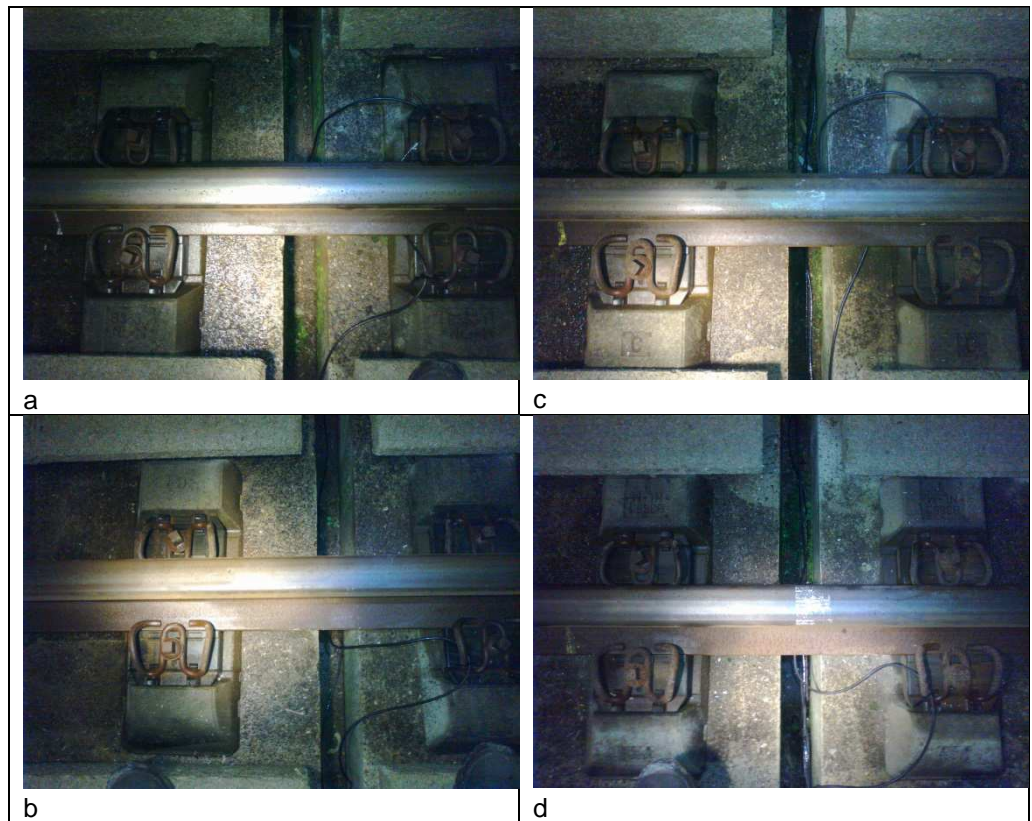
Figuur 98 Railloopvlak vóór de referentiemeting op meetdoorsnede 2, a) oostspoor buitenrail, b) oostspoor binnenrail, c) westspoor binnenrail, d) westspoor buitenrail.



Figuur 99 Railloopvlak vóór de referentiemeting op meetdoornede 3, a) oostspoor buitenrail, b) oostspoor binnenrail, c) westspoor binnenrail, d) westspoor buitenrail.



Figuur 100 Railloopvlak bij de nameting op meetdoorsnede 2, a) oostspoor buitenrail, b) oostspoor binnenrail, c) westspoor binnenrail, d) westspoor buitenrail.



Figuur 101 Railloopvlak bij de nameting op meetdoorsnede 3, a) oostspoor buitenrail, b) oostspoor binnenrail, c) westspoor binnenrail, d) westspoor buitenrail.

I Meteogegevens en gebruikte meetapparatuur

Tabel I.1 Meteorologische omstandigheden voor Rotterdam op 5 en 11 september 2012 en 13 augustus en 13 november 2013, overgenomen van de internetsite van het KNMI.

Datum meetdag	Windrichting [grd.]	Windsnelheid [m/s]	Temperatuur [grd. Celsius]
5 september 2012	342	2,5 – 5	15,6 – 19,2
11 september 2012	247	4,1 – 7	15,8 – 18,7
13 augustus 2013	280	3,6 – 6	15,4-19,2
13 november 2013	224	2 – 4	6,2-12,2

Tabel I.2 Gebruikte meetapparatuur

Doorsnede 1					
<i>Microfoons</i>					
			Microfoon	Voorversterker	Kalibrator
Positie		hoogte [m]	4193	2669	4231
22mtr_top		4,5	1886698	2082095	2147248
22mtr_medium		3	2594074	2351869	2147248
22mtr_bottom		1,5	2413694	1866142	2147248
42mtr_top		4,5	2413693	2083412	2147248
42mtr_medium		3	2516180	1866138	2147248
42mtr_bottom		1,5	1863896	2082097	2147248
<i>Trillingsopnemers</i>					
Merk	B&K	Vertikaal	serial	Horizontaal	serial
Type	5958	West out	30250	West out	2056239
Gevoeligheid	1 mV/m/s ²	West in	30213	West in	2056234
		East in	30335		
<i>Data acquisitie (2x)</i>					
Multiframe 5-modules			Data acquisitie (2x)		
Merk	B&K		Merk	B&K	
Type	3660-C-000		Type	LANXI 3050-A-060	
			Serials	105056	Lemo
				105058	BNC

Doorsnede 2					
<i>Microfoons</i>					
			Microfoon	Voorversterker	Kalibrator
Positie		hoogte [m]	4193	2669	4231
22mtr_top		4,5	2413693	2083412	2313269
22mtr_medium		3	1863896	2082097	2313269
22mtr_bottom		1,5	2413694	1866142	2313269
42mtr_top		4,5	1886698	2082095	2313269
42mtr_medium		3	2594074	2351869	2313269
42mtr_bottom		1,5	2516180	1866138	2313269
<i>Trillingsopnemers</i>					
Merk	B&K	Vertikaal	serial	Vertikaal	
Type	5958	West out	30247	East in	2056233
Gevoeligheid	1 mV/m/s2	West in	2056240	East out	2056237
<i>Data aquisitie (2x)</i>					
Multiframe 5-modules			Data aquisitie (2x)		
Merk	B&K		Merk	B&K	
Type	3660-C-000		Type	LANXI 3050-A-060	
			Serials	105056	Lemo
				105058	BNC

Doorsnede 3					
<i>Microfoons</i>					
			Microfoon	Voorversterker	Kalibrator
Positie		hoogte [m]	4193	2669	4231
22mtr_top		4,5	2594074	2351869	2313266
22mtr_medium		3	1863896	2082097	2313266
22mtr_bottom		1,5	1918583	1866139	2313266
<i>Trillingsopnemers</i>					
Merk	B&K	Vertikaal	serial	Vertikaal	
Type	5958	West out	30335	East in	30250
Gevoeligheid	1 mV/m/s2	West in	30213	East out	2056239
<i>Data aquisitie (2x)</i>					
Multiframe 11-modules			Data aquisitie (2x)		
Merk	B&K		Merk	B&K	
Type	3660-D-000		Type	LANXI 3050-A-060	
			Serials	105053	Lemo
				100170	BNC