

Stieltjesweg 1
Postbus 155
2600 AD Delft

www.tno.nl

T +31 15 269 20 00

F +31 15 269 21 11

info-lenT@tno.nl

TNO-rapport

MON-RPT-2010-00055

**Evaluatie van de geluidemissie van
hogesnelheidsmaterieel (Thalys) op de HSL-Zuid
(dienstregeling december 2009)**

Datum	11 januari 2010
Auteur(s)	ir. A.R. Eisses, ir. M.G. Dittrich, J. van 't Hof
Opdrachtgever	ProRail ir. C. Roovers Postbus 2038 3500 GA UTRECHT
Projectnummer	033.24179
Aantal pagina's	51 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	4

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke 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 onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

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

© 2010 TNO

Samenvatting

TNO heeft in opdracht van ProRail twee series geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd op verschillende locaties langs de Hogesnelheidslijn tussen Schiphol en Breda (HSL-Zuid), ten behoeve van de analyse en de beoordeling van de geluidemissie sinds de start van de dienstregeling op 7 september 2009. Voorliggend rapport beschrijft de tweede serie metingen¹, die buiten de normale dienstregeling is uitgevoerd op 7 november 2009 in Hoogmade, Schiebroek en De Wacht (gemeente Strijen). Op die dag hebben naast intercityrijtuigen (het materieel van de dienstregeling van 7 september 2009) ook treinen met hogesnelheidsmaterieel van het type Thalys over de lijn gereden met een snelheid van 160 km/h ten noorden van Rotterdam en 300 km/h ten zuiden van Rotterdam. Volgens plan is de Thalys vanaf 13 december 2009 met die snelheden in de dienstregeling gaan rijden.

Zowel de dienstregeling van september 2009 als van december 2009 is niet in overeenstemming met de uitgangspunten die zijn gehanteerd bij het akoestisch onderzoek dat voor het Tracébesluit uit 2001 is uitgevoerd. Ten opzichte van die uitgangspunten rijden minder treinen en rijden deze ten noorden van Rotterdam met lagere snelheid.

In het Tracébesluit zijn geluidbeperkende maatregelen (zoals geluidschermen) vastgelegd om bij de dienstregeling zoals in 2001 werd voorzien aan de geluidnormen te kunnen voldoen. Uitgangspunt daarbij was dat de spoorconstructie met railbevestiging op betonplaten, zoals voor de HSL-Zuid is aangelegd, voor hogesnelheidsmaterieel geen verhoging van de geluidemissie oplevert ten opzichte van een spoor op dwarsliggers in ballastbed. De metingen van december 2009 bevestigen de eerdere conclusie uit de metingen van september 2009, dat dit uitgangspunt niet geldt voor het intercitymaterieel dat sinds september 2009 in de dienstregeling rijdt. Voor dit type treinen liggen de gemeten geluidniveaus op korte afstand langs het spoor (zonder geluidschermen) 5 tot 6 dB(A) hoger dan verwacht mag worden op grond van het akoestisch rekenmodel van het Tracébesluit, wanneer dit model wordt aangepast aan de dienstregeling van september 2009 (voor wat betreft het materieel, de treinintensiteiten en de rijnsnelheid). Ten opzichte van de metingen van september 2009 is de gemeten geluidproductie met 1 dB(A) afgenomen, mogelijk als gevolg van onderhoud aan de wielen.

Voor het hogesnelheidsmaterieel van het type Thalys ligt de geluidproductie op het betonplatenspoor van de HSL-Zuid bij 160 km/h 4 dB(A) hoger dan het rekenmodel aangeeft voor spoor in ballastbed. Bij 285 km/h komt de gemeten geluidproductie in De Wacht dichterbij de buurt van het rekenmodel: het verschil bedraagt dan 1 dB(A). De invloed van het spoortype op de geluidproductie is bij hogere snelheid kleiner.

De geluidproductie van de Thalys is bij gelijke snelheid (160 km/h) gemiddeld 7 dB(A) lager dan van het intercitymaterieel. Geluidbeperkende maatregelen voor het tracé ten noorden van Rotterdam (waar beide type treinen vertegenwoordigd zijn in de dienstregeling vanaf 13 december 2009) zullen daarom vooral moeten worden gezocht in de vermindering van de geluidproductie van het intercitymaterieel.

¹ De eerste serie metingen is uitgevoerd in september 2009 binnen de normale dienstregeling, uitsluitend aan treinen met intercitymaterieel, rijdend met een snelheid van 160 km/h. Zie TNO-rapport MON-RPT-033-DTS-2009-03096 van 15 oktober 2009.

In de rapportage van de eerste serie metingen (september 2009, alleen voor intercity-materieel) is voor de locatie in Hoogmade vastgesteld dat het verschil tussen het gemeten en berekende geluid achter een geluidscherm op 25 meter afstand van het spoor 14 dB(A) bedraagt. De laatste metingen geven verschil van 12 dB(A) voor intercitymaterieel en 6 dB(A) voor de Thalys. Voor beide typen treinen is de afwijking bij 160 km/h groter dan kan worden verklaard op grond van de hogere geluidproductie (bronsterkte) van spoor en treinwielen. Dit rechtvaardigt nader onderzoek naar de effectiviteit van de gerealiseerde geluidbeperkende maatregelen langs het spoor, ook bij **hogere snelheden, en de mogelijkheden om deze maatregelen te verbeteren.**

Inhoudsopgave

	Samenvatting.....	3
1	Inleiding	7
1.1	Achtergrond	7
1.2	Doelstelling.....	8
1.3	Opzet van het onderzoek.....	8
2	Onderzoekslocaties	9
2.1	Keuze van de meetpunten	9
2.2	Locatie Schiebroek	9
2.3	Locatie Hoogmade.....	10
2.4	Locatie De Wacht	10
3	Uitvoering van de geluid- en trillingsmetingen	13
3.1	Meetperioden en meetcondities	13
3.2	Metingen van de geluidemissie.....	13
4	Resultaten en analyse.....	15
4.1	Geluidemissie en passageniveaus op 7,5 meter afstand van het spoor	15
4.2	Wiel/railruwheid en overdrachtfuncties.....	17
4.3	Conclusies met betrekking tot de geluidemissie	19
4.4	Vergelijking tussen gemeten en berekende geluidniveaus in De Wacht	21
4.5	Vergelijking tussen gemeten en berekende geluidbelasting in Hoogmade.....	21
5	Interpretatie van de resultaten	23
5.1	Geluidemissie	23
5.2	Oorzaken voor verschillen tussen metingen en berekeningen	23
6	Conclusies	25
	Ondertekening.....	27
	Referenties	29
	Bijlage(n)	
	A Meetlocaties en meetcondities	
	B Resultaten geluidmetingen langs het spoor	
	C Niveauperloop en spectogrammen	
	D Vergelijking meetresultaten met rekenuitkomsten bij verschillende emissiekentallen	

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Met ingang van 13 december 2009 zijn treinen met hogesnelheidsmaterieel van het type Thalys in de dienstregeling gaan rijden op het tracé van de Hogesnelheidslijn (HSL-Zuid) tussen Amsterdam en Parijs. Tussen Amsterdam en Rotterdam vormt de Thalys een aanvulling op de dienstregeling met treinen met intercitymaterieel (locomotieven met rytuigen van respectievelijk de geluidcategorieën² 3 en 2), die op 7 september 2009 is gestart. Beide type treinen rijden ten noorden van Rotterdam voorlopig met een snelheid van maximaal 160 km/h. Ten zuiden van Rotterdam rijdt de Thalys sinds 13 december 2009 maximaal 300 km/h.

De situatie van 13 december 2009 verschilt van de situatie die het uitgangspunt is geweest voor de akoestische onderzoeken uit 2001 ten behoeve van het Tracébesluit HSL-Zuid, waardoor de geluidbelasting hoger of lager kan zijn dan de prognose van destijds. De belangrijkste verschillen zijn de spoorconstructie (de bovenbouw), het type materieel³, de treinintensiteiten en de rijsnelheden.

In september 2009 heeft TNO metingen uitgevoerd [1] waaruit naar voren kwam dat de beschikbare geluidruimte (zoals vastgelegd in het Tracébesluit van de HSL-Zuid) plaatselijk kan worden overschreden. Die conclusie is gebaseerd op de dienstregeling van 7 september 2009 met intercitymaterieel (geluidcategorieën 2 en 3 van het Reken- en meetvoorschrift [2]). Vanwege de aanstaande uitbreiding van de dienstregeling is het onderzoek uitgebreid met metingen aan treinen van het type Thalys.

Vanzelfsprekend betekent de uitbreiding van de dienstregeling niet dat eerder geconstateerde problemen met de beschikbare geluidruimte worden opgelost. Om binnen de geluidruimte te kunnen blijven zijn maatregelen voorgesteld die de geluidproductie van het intercitymaterieel aanzienlijk moeten verminderen. Het belangrijkste deel van die maatregelen was ten tijde van laatste metingen nog niet gerealiseerd. De beoordeling van de geluidssituatie op diverse locaties aan de hand van de geluidruimte van het Tracébesluit zal in een later stadium nog plaatsvinden, wanneer ook het effect van gerealiseerde maatregelen in het onderzoek kan worden meegenomen.

² In het Reken- en meetvoorschrift [1] is het treinmaterieel dat in Nederland rijdt voor geluidberekeningen ingedeeld in verschillende categorieën. De (geluid)categorie, het type spoorconstructie (bovenbouw) en de rijsnelheid bepalen samen de geluidproductie (emissie) die in de berekeningen voor de betreffende categorie wordt aangehouden.

³ Bij intercitymaterieel uit de geluidcategorieën 2 en 3 liggen de geluidbronnen op spoor- en wielhoogte. Hogesnelheidsmaterieel heeft ook geluidbronnen op grotere hoogte, waar het aërodynamisch geluid wordt opgewekt dat bij snelheden vanaf 200 km/h een rol gaat spelen.

1.2 Doelstelling

Het doel van het onderzoek is het door middel van metingen vaststellen van de geluidproductie van hogesnelheidsmaterieel van het type Thalys op het spoor van de HSL-Zuid en het vergelijken van de gemeten geluidproductie met de uitgangspunten en uitkomsten van akoestische rekenmodellen die ten grondslag hebben gelegen aan de prognoses van de geluidbelasting, die voor het Tracébesluit zijn gemaakt.

1.3 Opzet van het onderzoek

Het onderzoek richt zich op de geluidemissie van de HSL-Zuid voor het materieel en de rijnsnelheden volgens de dienstregeling van 13 december 2009. Hiervoor is het geluid op korte afstanden tot het spoor van 7,5 meter en 25 meter gemeten ten noorden van Rotterdam in Schiebroek (nabij Berkel en Rodenrijs) en Hoogmade en ten zuiden van Rotterdam bij De Wacht (Gemeente Strijen). In Schiebroek en De Wacht zijn ook railtrillingen gemeten. Op deze laatste locatie zijn tijdens de metingen treinen gepasseerd van het type Thalys, met een gemiddelde snelheid van 285 km/h. Op de andere twee locaties zijn metingen uitgevoerd bij maximaal 160 km/h, met zowel intercitymaterieel als hogesnelheidsmaterieel (Thalys).

TNO heeft de meetlocaties Schiebroek en De Wacht gekozen omdat deze geschikt zijn voor het meten van de geluidproductie (emissiemetingen), zonder de invloed van schermen, viaducten, tunnelbakken of hoogteverschillen in het terrein. De metingen in Hoogmade zijn uitgevoerd achter een geluidscherm. De meetlocaties Schiebroek en Hoogmade zijn dezelfde als bij de metingen van september 2009 [1].

De gemeten geluidniveaus op 7,5 meter en (maximaal) 25 meter afstand van het spoor worden vergeleken met uitkomsten van geluidberekeningen op basis van de emissie (geluidproductie) van het betreffende type treinen volgens het Reken- en meetvoorschrift [2]. Daarnaast worden de wiel/rail ruwheid, de geluidproductie van het spoor en de bijdrage van aërodynamisch geluid in beschouwing genomen om eventuele verschillen te kunnen verklaren.

Ter plaatse van de meetlocatie in Hoogmade hebben de plaats van het scherm en de hoogteverschillen tussen spoor en maaiveld grote invloed op het geluid in het meetpunt. Verschillen tussen de berekende en gemeten geluidniveaus kunnen hier ook veroorzaakt worden door de prestaties van het geluidscherm en afwijkingen tussen de werkelijke en de ten behoeve van de geluidberekeningen gemodelleerde omgeving. Om bij de vergelijking met rekenuitkomsten zoveel mogelijk aan te sluiten bij het akoestisch onderzoek voor het Tracébesluit, is voor de situatie in Hoogmade gebruik gemaakt van het akoestisch rekenmodel van het Projectbureau HSL-Zuid.

2 Onderzoekslocaties

2.1 Keuze van de meetpunten

In overleg met ProRail zijn locaties voor het onderzoek gekozen die geschikt zijn voor emissiemetingen en in de buurt liggen van gemeenten waar omwonenden klachten hebben geuit over het geluid van passerende treinen. De locaties voor het in voorliggend rapport beschreven onderzoek liggen ter hoogte van Schiebroek, Hoogmade en De Wacht. De locaties in Schiebroek en De Wacht bevinden zich in een open omgeving, waar het spoor op maaiveldhoogte ligt en waar geen geluidschermen staan.

De meetpunten langs het spoor komen niet overeen met de rekenpunten in het Tracébesluit, die zich bevinden bij de gevels van woningen, op grotere afstand van het spoor en op veel plaatsen achter een geluidscherm.

2.2 Locatie Schiebroek

De meetlocatie in Schiebroek ligt nabij de weg N209 ter hoogte van km 6,9 (volgens de kaartbijlage van het Tracébesluit; langs het spoor is km 106,9 aangegeven). Op deze plaats zijn geluidmetingen dicht langs het spoor en trillingsmetingen op de spoorstaven uitgevoerd. Figuur 2.1 toont foto's van de meetlocatie.



Figuur 2.1: De meetlocatie Schiebroek. De foto links is een luchtfoto in de situatie toen het spoor nog in aanbouw was. De rode punten in deze foto zijn de posities van de microfoons. De foto's rechts tonen het zicht richting noorden (Berkel en Rodenrijs/Amsterdam).

Er is op verschillende afstanden gemeten aan beide kanten van het spoor, op 1,2 meter en 3,5 meter hoogte ten opzichte van spoorhoogte. Bijlage A en het volgende hoofdstuk geven meer informatie over de posities van de microfoons en de trillingsopnemers.

2.3 Locatie Hoogmade

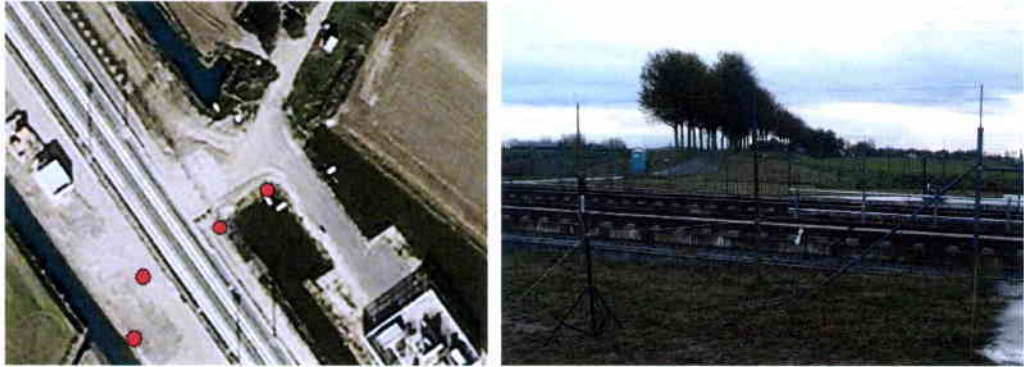
Figuur 2.3 toont de locatie Hoogmade, gelegen langs de Boskade aan de oostzijde van het spoor achter een geluidscherm. Hier zijn geluidmetingen uitgevoerd op 25 meter afstand van het dichtstbijzijnde spoor (richting Amsterdam). Achter het spoor (vanaf het meetpunt gezien) ligt rijksweg A4.



Figuur 2.2: De meetlocatie in Hoogmade. Links is de microfoonpositie op 25 m (rode punt) op de luchtfoto aangegeven. De foto rechts laat het meetpunt langs het geluidscherm zien, kijkend richting het zuiden.

2.4 Locatie De Wacht

De meetlocatie De Wacht ligt in de gemeente Strijen in de Hoeksche Waard, op de kruising van de spoorlijn met de Lagedijk (km 23,45 volgens de kaartbijlage van het Tracébesluit; langs het spoor is km 223,4 aangegeven). Het spoor ligt in een onbebouwde omgeving op maaiveldhoogte. Het geluid is op vier punten gemeten (twee aan de oostzijde en twee aan de westzijde) op 1,2 meter en 3,5 meter hoogte ten opzichte van spoorhoogte. Ook zijn op deze locatie trillingsmetingen aan de spoorstaven uitgevoerd. Bijlage A en het volgende hoofdstuk geven meer informatie over de posities van de microfoons en de trillingsopnemers.



Figuur 2.4: De meetlocatie in De Wacht. Op de luchtfoto links ligt het spoor van de HSL (hier nog in aanbouw). De rode punten in deze foto komen overeen met de microfoonposities.

3 Uitvoering van de geluid- en trillingsmetingen

3.1 Meetperioden en meetcondities

De metingen zijn op 7 november 2009 op de drie in hoofdstuk 2 beschreven locaties uitgevoerd tijdens een test van de dienstregeling die op 13 december ingaat. Per locatie zijn treinpassages in beide richtingen gemeten, bij een rijsnelheid van 160 km/h op de locaties ten noorden van Rotterdam en bij gemiddeld 285 km/h ten zuiden van Rotterdam (locatie De Wacht). De rijsnelheid is herleid uit de treinlengte en de passagetijd via de railtrillingen. In De Wacht is de rijsnelheid ook met radar gemeten. De treinen met intercitymaterieel bestaan bij iedere passage uit zeven Prio-rijtuigen (intercitymaterieel voor de Benelux, geluidcategorie 2 van het Reken- en meetvoorschrift [2]), getrokken door een Traxx-locomotief (geluidcategorie 3). De Thalys is van het type PBKA, bestaande uit 8 passagiersrijtuigen en 2 motorrijtuigen (geluidcategorie 9). Het spoortype van de HSL-Zuid is op alle meetlocaties betonplaten spoor van het type Rheda met rails van het type UIC60.

Op de meetlocatie in Schiebroek en Hoogmade zijn metingen uitgevoerd op 7 november tussen 07:00 en 15:00 uur voor beide sporen. Daar reden één Thalys-treinstel en twee intercitytreinstellen. In De Wacht zijn metingen uitgevoerd tussen 16:00 en 20:30. Hier reed één treinstel (Thalys-PBKA) heen en weer in beide richtingen, steeds op het oostelijke spoor.

De metingen zijn uitgevoerd bij wisselvallig weer en zwakke tot matige wind. Vanwege de korte afstand van de microfoons tot de geluidbron hebben de weerscondities geen significante invloed op de meetresultaten.

In bijlage A is meer informatie opgenomen over de meetlocaties, de meetcondities en de treinen.

3.2 Metingen van de geluidemissie

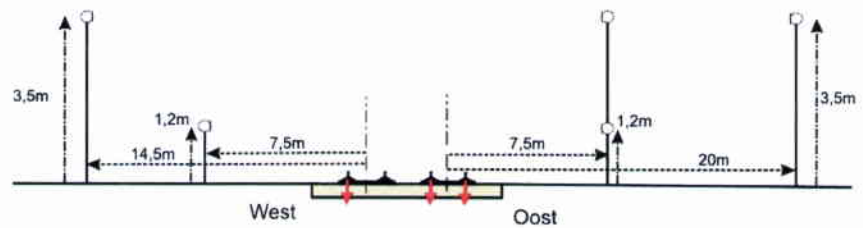
De locaties Schiebroek en De Wacht zijn gekozen om zo veel mogelijk binnen standaardcondities de geluidemissie (bronsterkte) te meten. Onder standaardcondities voor emissiemeting moet worden verstaan de condities van procedure A of B uit de *Technische regeling emissiemeetmethoden* [4] of de norm EN ISO 3095:2005 [5]. Er is gemeten volgens de norm [5], waarbij gekozen is voor een representatieve situatie (met het spoor van de HSL-zuid op betonnen platen) en één rijsnelheid van 160 km/h of 285 km/h. Het spoor op de meetlocaties ligt in een vlakke omgeving, zonder bijzondere infrastructuur zoals verdiepingen of viaducten, reflecterende objecten of schermen. In Schiebroek heeft het spoor een lichte gradiënt.

In Schiebroek is de geluiddruk tijdens passerende treinen gemeten aan beide kanten van het spoor, op 7,5 meter uit het hart van het spoor op 1,2 meter boven spoorhoogte (bovenkant spoor, BS). Wegens beperkte ruimte langs het spoor is op 20 meter afstand aan de oostkant en op 14,5 meter aan de westkant gemeten in plaats van op de meer gebruikelijke afstand van 25 meter. Daarnaast zijn verticale en horizontale railtrillingen op beide sporen gemeten ter bepaling van de wiel/railruwheid, de afstandsdeemping van het spoor en de totale overdrachtsfunctie (ruwheid naar geluiddruk).

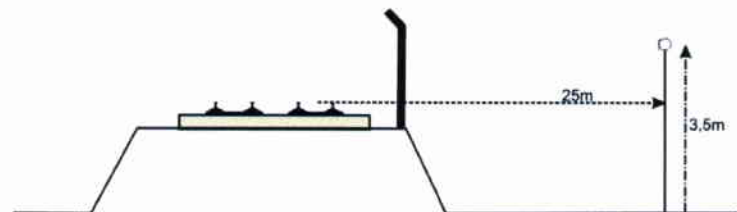
Op de locatie in Hoogmade is alleen de geluiddruk gemeten op 25 meter afstand van het spoor aan de oostzijde, achter een geluidscherm.

Ten zuiden van Rotterdam is ter hoogte van De Wacht aan beide zijden van het spoor de geluiddruk gemeten op 7,5 meter en 25 meter afstand. Ook zijn hier de railtrillingen gemeten op de spoorstaven. Op het westelijke spoor reden op de dag van de metingen geen treinen.

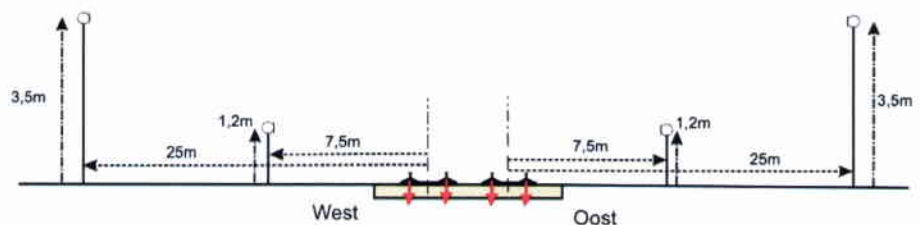
Schiebroek



Hoogmade



De Wacht



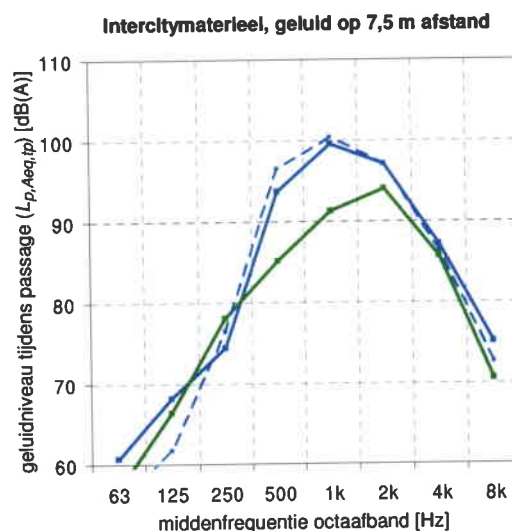
Figuur 3.1: Meetpunten in Schiebroek, De Wacht en Hoogmade. De pijlen op de rails geven de richtingen aan van de met versnellingsopnemers gemeten trillingen.

4 Resultaten en analyse

4.1 Geluidemissie en passageniveaus op 7,5 meter afstand van het spoor

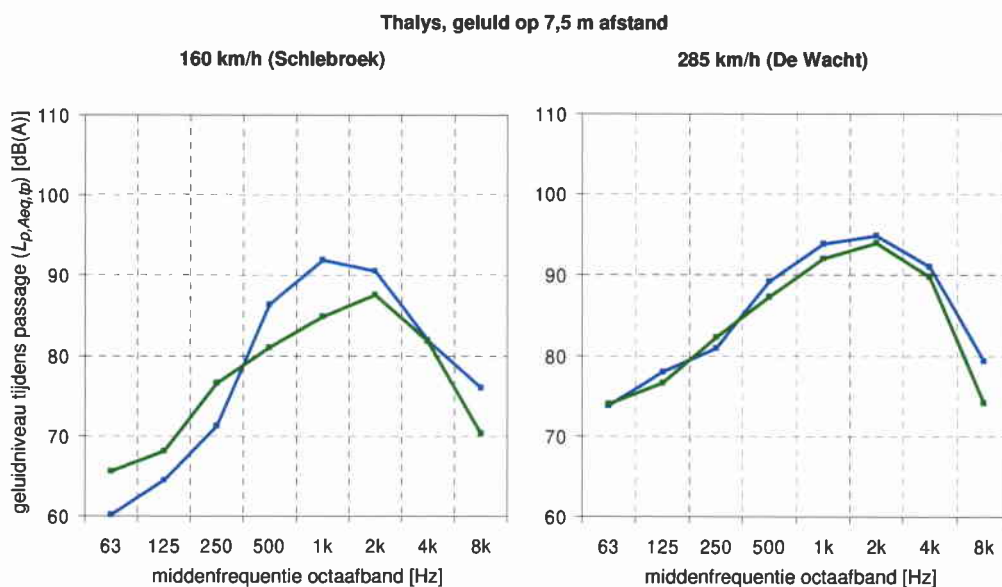
De geluidemissie is beoordeeld op basis van de te verwachten emissieniveaus volgens het *Reken- en meetvoorschrift* [2]. Hiervoor is het gemeten geluidniveau op 7,5 meter vergeleken met het berekende niveau dat hoort bij de betreffende treincategorieën op een spoor op betonnen dwarsliggers in ballastbed (bovenbouwcode $bb = 1$). De vergelijking met spoor in ballastbed is van belang, omdat deze spoorconstructie ten tijde van de uitvoering van het akoestisch onderzoek voor het Tracébesluit als uitgangspunt is genomen voor de geluidemissie.

Figuur 4.1 laat deze vergelijking zien voor de het intercitymaterieel (Traxx-locomotieven met Prio-rijtuigen). Ter vergelijking zijn in de figuur ook de resultaten van de metingen opgenomen die op 7 september zijn uitgevoerd [1]. Alle gemeten waarden in figuur 4.1 zijn gemiddelden over een reeks passages, weergegeven als het gemiddelde niveau tijdens de passage ($L_{pAeq,tp}$). Het gemiddelde van de gemeten geluidniveaus van het intercitymaterieel op 7 november 2009 ligt gemiddeld 1 dB(A) lager dan het gemiddelde meetresultaat van 7 september 2009. Maar daarmee ligt het niveau nog steeds in de orde van 5 dB(A) boven het niveau van categorie 2 van het Reken- en meetvoorschrift [2], zoals ook is vastgesteld in het rapport van TNO van oktober 2009 [1].



Figuur 4.1: Gemeten geluidrukniveau op 7,5 meter afstand van het spoor bij 160 km/h (blauwe lijn), vergeleken met de berekende geluiddruk voor treinmaterieel van categorie 2 op spoor in ballastbed (groene lijn) Ter vergelijking is ook het meetresultaat van 7 september 2009 [1] weergegeven (onderbroken blauwe lijn).

De Thalys is in Schiebroek gemeten bij een snelheid van 160 km/h en in De Wacht bij (gemiddeld) 285 km/h. In figuur 4.2 zijn de gemeten passageniveaus op 7,5 meter afstand van het spoor bij deze snelheden weergegeven, samen met het berekende niveau⁴ voor categorie 9 op spoor in ballastbed.



Figuur 4.2: Gemeten gemiddelde geluidniveau tijdens passage van de Thalys (blauwe lijn) op 7,5 meter afstand van het spoor in Schiebroek bij 160 km/h (links) en in De Wacht bij 285 km/h (rechts), vergeleken met het berekende niveau voor hogesnelheidsmaterieel van categorie 9 op spoor in ballastbed.

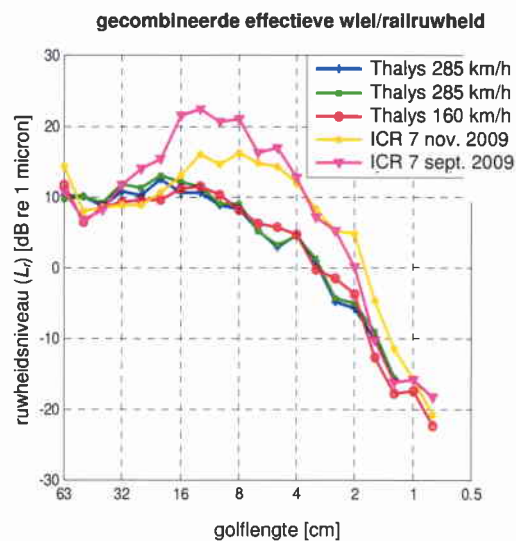
De Thalys produceert bij 160 km/h een 4 dB hoger geluidniveau op het spoor van de HSL-Zuid dan het rekenmodel aangeeft voor een spoor in ballastbed. Deze verhoging is gevolg van de akoestische eigenschappen van het spoor, zoals blijkt uit de vergelijking van overdrachtfuncties (zie volgende paragraaf). Bij 285 km/h komen de lijnen van de gemeten en berekende passageniveaus rechts in figuur 4.2 beter met elkaar overeen. Gemiddeld is het totale gemeten niveau tijdens de treinpassage 1 dB hoger dan de rekenuitkomst voor spoor in ballastbed. Het opmerkelijke verschil tussen de overeenkomst met de berekeningen bij 160 en 285 km/h is te verklaren door het feit dat bij hogere rijsnelheden de bijdrage van de wielen tot het totale geluidniveau, relatief ten opzichte van de bijdrage van de rails, toeneemt. Verder kunnen ook andere bronnen zoals aërodynamisch geluid bij hogere snelheid een rol gaan spelen. Maar de vorm van de overdrachtfuncties (in de volgende paragraaf) is een indicatie dat het rolgeluid vanaf 2000 Hz nog steeds de sterkste bron is.

⁴ De vergelijking is uitgevoerd met de emissiekentallen uit het Reken- en meetvoorschrift van 1996, die voor het hogesnelheidsmaterieel ook van toepassing waren ten tijde van de geluidberekeningen die voor het Tracébesluit zijn uitgevoerd. In 2009 zijn de emissiekentallen voor hogesnelheidsmaterieel (categorie 9) gewijzigd voor snelheden tot en met 160 km/h. In bijlage D is de vergelijking gemaakt tussen de gemeten en berekende geluidniveaus voor de Thalys bij 160 km/h, uitgaande van de in 2009 gewijzigde emissiekentallen [3].

In bijlage D worden de gemeten geluidniveaus op 7,5 meter afstand van het spoor vergeleken met de berekende geluidniveaus uitgaande van 'blokkenspoor' met bovenbouwcode 4 van het Reken- en meetvoorschrift [2] en uitgaande van een in 2004 vastgestelde bovenbouwcorrectie voor Rheda-spoor volgens [6].

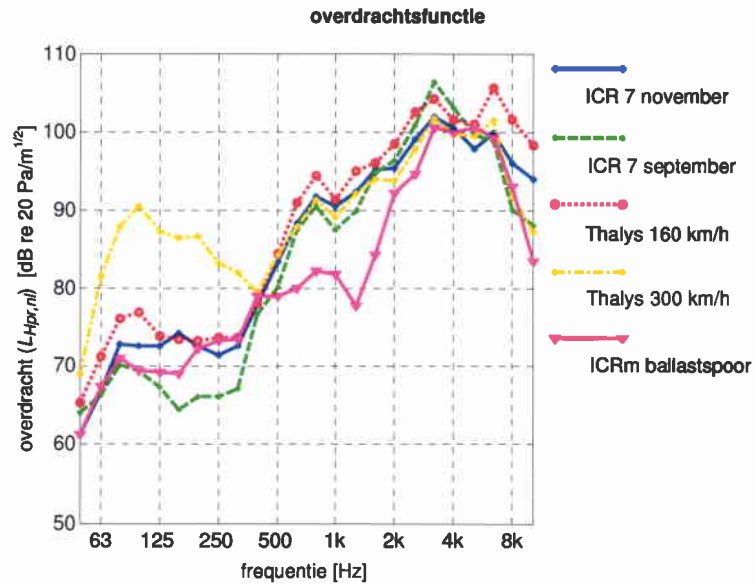
4.2 Wiel/railruwheid en overdrachtfuncties

In Schiebroek en in De Wacht zijn verticale railtrillingen gemeten, waaruit de gecombineerde ruwheid van wielen en rails is afgeleid. Het resultaat is weergegeven in figuur 4.3, waar een duidelijk verschil te zien is tussen de Thalys en het intercitymaterieel, maar ook tussen de metingen van september en november 2009. Het verschil met de resultaten van de vorige metingen [1] voor het intercitymaterieel kan te maken hebben met onderhoud aan de treinwielen. Voor het totale geluidniveau over het gehele frequentiegebied is het verschil relatief klein, omdat het golflengtegebied waar de ruweheidsafname het grootst is minder van belang is voor het waarneembare geluid.



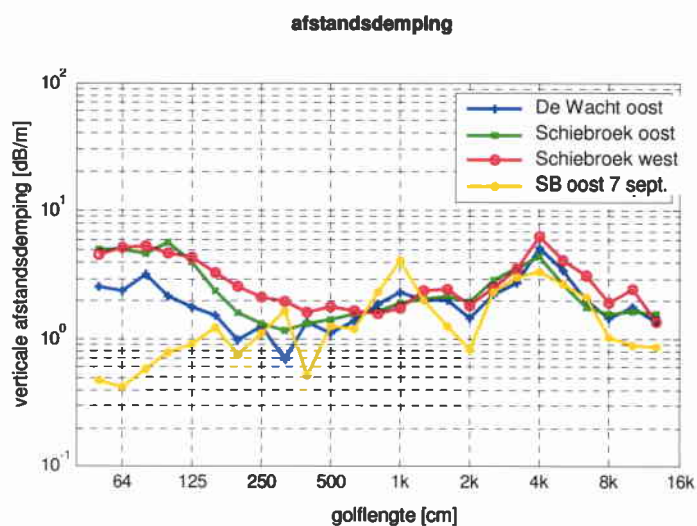
Figuur 4.3: *Gecombineerde effectieve ruwheid van wielen en rails, gemiddeld over treinpassages van de Thalys in Schiebroek bij 160 km/h en in De Wacht bij 285 km/h en over treinpassages van het intercitymaterieel (ICR) bij 160 km/h in Schiebroek. De resultaten zijn afgeleid uit trillingsmetingen op de spoorstaven.*

De dempingseigenschappen en de geluidafstraling van het spoor kunnen worden vergeleken met een spoor in ballastbed door middel van de zogenoemde afstands-demping en overdrachtsfunctie. De afstandsdemping is een maat voor de afname van de trillingen met toenemende afstand tot de plaats waar de trillingen ontstaan en wordt bepaald uit de railtrillingen als functie van de tijd. De dynamische stijfheid van de plaatjes waarmee de spoorstaven op de ondergrond zijn bevestigd is mede bepalend voor de afstandsdemping. De overdrachtsfunctie is de verhouding tussen het geluid-drukniveau op 7,5 meter afstand en de gecombineerde wiel/railruwheid en is mede afhankelijk van de afstandsdemping.



Figuur 4.4

Gemeten overdrachtsfuncties (verhouding tussen het geluid op 7,5 meter afstand van het spoor en de gecombineerde effectieve ruwheid van wielen en rails) op het spoor van de HSL-Zuid bij Schiebroek voor het intercitymaterieel (ICR, blauwe lijn) en de Thalys (rode lijn) bij 160 km/h en bij De Wacht voor de Thalys bij 300 km/h (gele lijn). Ter vergelijking is ook de gemeten overdrachtsfunctie opgenomen uit het rapport van de metingen op 7 september (groene lijn) en de overdrachtsfunctie voor intercitymaterieel van het type ICRm, gemeten op spoor op dwarsliggers in ballastbed op een andere locatie (paarse lijn).



Figuur 4.5

Gemeten verticale afstandsdemping, bepaald uit trillingsmetingen bij treinpassages van intercitymaterieel en de Thalys voor beide sporen in Schiebroek (bij 160 km/h) en voor het oostelijke spoor in De Wacht (bij 285 km/h). Ter vergelijking is ook het resultaat opgenomen uit het rapport van de metingen op 7 september (gele lijn, voor het oostelijke spoor in Schiebroek).

Uit de meetresultaten zijn overdrachtsfuncties afgeleid zoals weergegeven in figuur 4.4 voor de Thalys en het intercitymaterieel op de twee meetlocaties. Bij 160 km/h vertonen de overdrachtsfuncties voor de Thalys en het intercitymaterieel een vergelijkbaar verloop. Bij 285 km/h is een duidelijke verhoging tussen 63 en 250 Hz te zien, die wordt veroorzaakt door aërodynamisch geluid.

Ter vergelijking is ook een overdrachtfunctie weergegeven van materieel van het type ICRm, rijdend op een ballastspoor met betonnen dwarliggers, gemeten op een andere locatie. Duidelijk is te zien dat het spoor van de HSL-Zuid tussen 500 en 2000 Hz een hogere afstraling per eenheid ruwheid heeft dan het spoor in ballastbed.

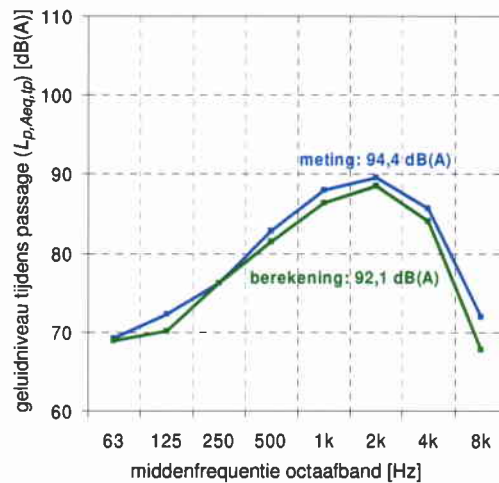
De afstandsdemping, weergegeven in figuur 4.5 is in Schiebroek en De Wacht bepaald uit railtrillingen. Het verloop komt grotendeels overeen voor de verschillende locaties en sporen. De spreiding is mogelijk het gevolg van variaties in de railbevestiging en eigenschappen van de plaatjes tussen de spoorstaven en de ondergrond. Daarnaast speelt de meetnauwkeurigheid een rol, die afneemt met toenemende golflengte.

4.3 Conclusies met betrekking tot de geluidemissie

De analyse van de meetresultaten leidt tot de volgende conclusies over de geluidemissie van treinen op het spoor van de HSL-Zuid.

- De geluidemissie van de Thalys bij 285 km/h op het betonplaten­spoor van de HSL-Zuid komt goed overeen met de emissie volgens het Reken- en meetvoorschrift [2] voor treincategorie 9 (hogesnelheidsmaterieel) op spoor in ballastbed. Bij lagere snelheid, 160 km/h, ligt de gemeten emissie van de Thalys 4 dB(A) hoger dan volgens het Reken- en meetvoorschrift.
- De gemeten geluidemissie van de Thalys is 7 dB(A) lager dan de gemeten geluidemissie van het intercitymaterieel (Prio-rijtuigen). Ten opzichte van de eerder uitgevoerde metingen (op 7 september 2009) aan intercitymaterieel van hetzelfde type op hetzelfde spoor bedraagt het verschil 8 dB(A).
- De geluidemissie van het intercitymaterieel is ongeveer 1 dB(A) afgenomen ten opzichte van het resultaat van de metingen van 7 september 2009. Er is een afname geconstateerd van de wielruwheid, mogelijk als gevolg van onderhoud aan het loopvlak van de wielen.
- De hogere geluidemissie van de Thalys bij 160 km/h ten opzichte van de geluidemissie op ballastspoor volgens het Reken- en meetvoorschrift hangt samen met de hogere geluidafstraling van de rails op het betonplaten­spoor van de HSL-Zuid. Bij hogere rij­snel­heden domineert de afstraling van de wielen en is de afstraling van het spoor minder belangrijk.
- De geluidemissie van de Thalys is verder te reduceren door gericht onderhoud van de wielen en het akoestisch slijpen van de rails. Het is aan te bevelen het effect van het verminderen van de ruwheid van de wielen en de rails apart van elkaar te meten.

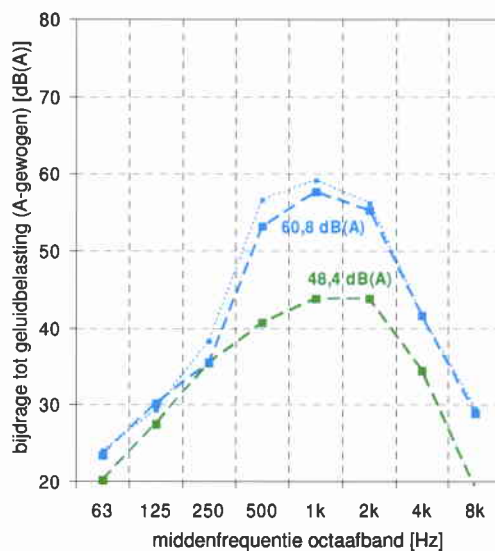
Thalys, geluid op 25 m afstand, 285 km/h (De Wacht)



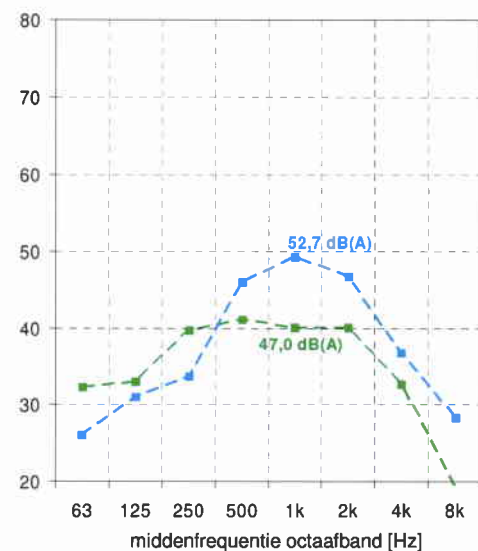
Figuur 4.6: Gemeten gemiddelde geluidniveau tijdens treinpassages van de Thalys met 285 km/h in op 25 meter afstand van het spoor in De Wacht (blauwe lijn), vergeleken met de uitkomst van modelberekeningen (groene lijn), uitgaande van de geluidemissie bij spoor in ballastbed ($bb = 1$).

bijdrage tot de geluidbelasting op 25 m afstand, locatie Hoogmade, 160 km/h

Intercitymaterieel



Thalys



Figuur 4.7: Gemeten bijdragen tot de geluidbelasting (etmaalwaarde) op 25 meter afstand van het spoor achter het geluidscherm bij de Boskade in Hoogmade (blauwe lijn) voor intercitymaterieel (links) en voor de Thalys (rechts), vergeleken met de uitkomst van modelberekeningen (groene lijn), uitgaande van de geluidemissie bij spoor in ballastbed ($bb = 1$) met twee treinen per uur met een snelheid van 160 km/h. De dunne blauwe lijn in de linker grafiek is het resultaat van de meting die is uitgevoerd in september 2009 [1].

4.4 Vergelijking tussen gemeten en berekende geluidniveaus in De Wacht

Voor de locatie in De Wacht is in figuur 4.6 een vergelijking gemaakt tussen het gemeten geluid (gemiddelde niveaus gedurende de treinpassage, $L_{pAeq,tp}$) op een afstand van 25 meter van het spoor (op 3,5 meter hoogte ten opzichte van de bovenkant van de rails) en het geluidniveau dat verwacht mag worden op basis van het rekenmodel dat is gebruikt voor de prognoses van de geluidbelasting bij het Tracébesluit.

Bij de berekeningen is uitgegaan van spoor in ballastbed (zoals ook bij het akoestisch onderzoek voor het Tracébesluit is gedaan), treincategorie 9 voor de Thalys en de gemiddelde snelheid van de passerende treinen tijdens de metingen (285 km/h). Het gemeten geluid is het gemiddelde over treinpassages van de Thalys in twee richtingen, allen op het oostelijke spoor.

4.5 Vergelijking tussen gemeten en berekende geluidbelasting in Hoogmade

Het meetpunt in Hoogmade ligt op 25 meter afstand van het spoor achter een geluidscherm (zie paragraaf 2.3). In figuur 4.7 is de vergelijking gemaakt tussen het gemeten en berekende geluid, zowel voor treinen met intercityrijtuigen als de Thalys. Beide typen treinen passeerden in Hoogmade met een snelheid van 160 km/h.

De geluidniveaus in figuur 4.7 zijn weergegeven als de bijdrage van het betreffende type trein tot de etmaalwaarde van de geluidbelasting⁵, wanneer van het treintype twee treinen per uur passeren (één per rijrichting). Bij de berekeningen is uitgegaan van spoor in ballastbed (zoals ook bij het akoestisch onderzoek voor het Tracébesluit is gedaan), treincategorieën 2 en 3 voor het intercitymaterieel en categorie 9 voor de Thalys en een snelheid van 160 km/h.

Voor het intercitymaterieel geldt dat het resultaat van de meting die in september 2009 is uitgevoerd [1] (de dunne blauwe lijn links in figuur 4.7) 1 dB(A) hoger ligt dan het resultaat van de metingen van 7 november 2009. Dit verschil is in paragraaf 4.1 ook gevonden op de meetlocatie in Schiebroek.

⁵ De etmaalwaarde van de geluidbelasting is de hoogste van de volgende drie waarden: $L_{Aeq,dag}$, $L_{Aeq,avond} + 5$ dB en $L_{Aeq,nacht} + 10$ dB. Omdat 's nachts veel minder treinen rijden, is de avondperiode bepalend, zowel voor de dienstregeling van 2009 als voor de dienstregeling waarvan bij het Tracébesluit is uitgegaan.

5 Interpretatie van de resultaten

5.1 Geluidemissie

Voor de geluidemissie van het intercitymaterieel blijven de conclusies gelden uit het onderzoek van september 2009 [1]. De hoge wielruwheid in combinatie met de hogere geluidafstraling van het betonplaten spoor zijn beide oorzaken voor het feit dat het niveau van de geluidemissie op het spoor van de HSL-Zuid hoger ligt dan het rekenmodel volgens het Reken- en meetvoorschrift aangeeft voor het betreffende type treinmaterieel op spoor met betonnen dwarsliggers in ballastbed. Ook voor de Thalys is er bij 160 km/h een significant verschil tussen de gemeten geluidemissie en de emissie volgens het rekenmodel bij spoor in ballastbed. De geluidafstraling van het spoor van de HSL-Zuid is hiervoor de oorzaak. Bij hogere snelheid is de bijdrage van het door het spoor afgestraalde geluid kleiner dan de bijdrage van de wielen, waardoor het verschil tussen de gemeten en berekende geluidemissie kleiner wordt. Op de meetlocatie in De Wacht blijkt de gemeten geluidemissie van de Thalys bij een gemiddelde snelheid van 285 km/h dicht in de buurt te liggen van de geluidemissie die het rekenmodel geeft voor treincategorie 9 op spoor in ballastbed.

Het verlagen van de ruwheid van de rail is een effectieve maatregel om de trillingen van zowel wielen als rails en de daarmee gepaard gaande afstraling van geluid te verminderen, wanneer wielen en rail een gelijkwaardig aandeel hebben in de totale ruwheid. Bij het materieel van categorie 2 is dit niet het geval, omdat de wielen bepalend zijn voor de totale ruwheid. Verlaging van de geluidemissie moet hier worden gezocht in gladde wielen, waarvoor ook een aanpassing van het remsysteem nodig is⁶. Ten noorden van Rotterdam, waar het intercitymaterieel de grootste bijdrage levert tot de geluidbelasting, zal het slijpen van de rails om de railruwheid te verlagen pas effect kunnen hebben nadat de maatregelen aan de treinen zijn genomen.

5.2 Oorzaken voor verschillen tussen metingen en berekeningen

In de paragrafen 4.4 en 4.5 zijn vergelijkingen gemaakt tussen het gemeten geluid en het geluid dat verwacht mag worden op grond van het rekenmodel dat in 1998 is gebruikt voor de prognoses ten behoeve van het Tracébesluit. Bij de vergelijking zijn de treinintensiteiten, het type materieel en de rijnsnelheden in de berekeningen aangepast aan de situatie ter plaatse van de meetlocaties.

De spoorconstructie in de geluidberekeningen is niet aangepast en is dus dezelfde als waarvan bij de prognoses voor het Tracébesluit is uitgegaan. Een deel van de verschillen tussen de resultaten van metingen en berekeningen is daarom het gevolg van de hogere geluidemissie ten opzichte van de geluidemissie op spoor in ballastbed. Dit geldt zowel voor het intercitymaterieel als voor de Thalys bij een snelheid van 160 km/h.

⁶ Het intercitymaterieel dat sinds september 2009 rijdt op het spoor van de HSL-Zuid heeft een remsysteem met gietijzeren remblokken op het loopvlak van de wielen, wat zorgt voor een hoge wielruwheid.

Voor de locatie in Hoogmade moet de oorzaak van het verschil voor een deel worden gezocht in de geluidoverdracht tussen de geluidbron en de waarneempunten op korte afstand (25 meter) van het spoor. De effectiviteit van het geluidscherm speelt hierbij een belangrijke rol (zie ook [1], paragraaf 5.2). Vooral in de octaafband van 1 kHz ligt het gemeten geluid aanzienlijk (10 tot 15 dB) hoger dan het berekende geluid, wat niet kan worden verklaard op grond van het verschil tussen de gemeten geluidproductie en de geluidproductie volgens het rekenmodel.

Opvallend is dat achter het scherm in Hoogmade het verschil tussen het gemeten en berekende geluid van ruim 12 dB(A) voor het intercitymaterieel aanzienlijk groter is dan het verschil van 6 dB(A) voor de Thalys, terwijl de rijsnelheid van beide type treinen gelijk is (160 km/h⁷). Dit komt voor een deel doordat de geluidproductie van de Thalys bij lage frequenties volgens het rekenmodel hoger is dan de gemeten geluidproductie. Het aandeel van het laagfrequente geluid telt in een situatie achter een geluidscherm zwaarder mee in het totale niveau in dB(A), omdat een geluidscherm voor lage frequenties minder goed werkt dan voor hoge frequenties.

⁷ Er zijn nog geen metingen uitgevoerd op locaties met geluidbeperkende maatregelen bij hogere snelheid. Het verschil tussen het gemeten en berekende geluid achter een geluidscherm kan bij 300 km/h anders zijn dan bij 160 km/h.

6 Conclusies

De hogesnelheidstreinen van het type Thalys, die vanaf 13 december 2009 in de dienstregeling rijden op het tracé van de HSL-Zuid, hebben bij snelheden rond 300 km/h een geluidemissie die vrijwel overeenkomt met de emissie die voor het betreffende materieeltype en rijnsnelheid mag worden verwacht op basis van het rekenmodel, dat bij het Tracébesluit is gehanteerd voor de prognoses van de geluidbelasting. Het verschil tussen de gemeten emissie en de emissie volgens het rekenmodel bedraagt bij hoge snelheid 1 dB(A). Bij 160 km/h ligt de geluidemissie van de Thalys 4 dB hoger dan volgens het rekenmodel, als gevolg van de hogere geluidafstraling van de spoorconstructie, die bij 160 km/h een relatief grote bijdrage levert. Bij hogere rijnsnelheden domineert de afstraling van de wielen en is de afstraling van het spoor minder belangrijk.

De geluidproductie van de Thalys is bij gelijke snelheid (160 km/h) gemiddeld 7 dB(A) lager dan van het intercitymaterieel (Prio-rijtuigen). Geluidbeperkende maatregelen voor het tracé ten noorden van Rotterdam (waar beide type treinen vertegenwoordigd zijn in de dienstregeling vanaf 13 december 2009) zullen vooral moeten worden gezocht in de vermindering van ruwheid van de wielen van het intercitymaterieel. Het slijpen van de rails om de railruwheid te verlagen zal pas effect kunnen hebben nadat de maatregelen aan de treinen zijn genomen.

Voor de locatie in Hoogmade, op 25 meter afstand van het spoor achter een geluidscherm, is het gemeten geluid van passerend intercitymaterieel 12 dB(A) hoger dan het rekenmodel aangeeft. Het verschil is voor de Thalys met dezelfde snelheid op dezelfde plaats aanzienlijk kleiner: 6 dB(A). Maar ook voor de Thalys geldt dat de afwijking bij 160 km/h groter is dan kan worden verklaard op grond van het geconstateerde verschil tussen de gemeten geluidproductie en de geluidproductie van het betreffende type materieel volgens het Reken- en meetvoorschrift. Dit rechtvaardigt nader onderzoek naar de effectiviteit van de gerealiseerde geluidbeperkende maatregelen langs het spoor, ook bij hogere snelheden, en de mogelijkheden om deze maatregelen te verbeteren.

Ondertekening

Delft, 11 januari 2010

TNO Industrie en Techniek

ing. P. Hendriksen
Afdelingshoofd

ir. A.R. Eisses
Auteur

ir. M.G. Dittrich
Auteur

Referenties

- [1] Evaluatie van de geluidemissie van de HSL-Zuid (dienstregeling september 2009)
TNO-rapport MON-RPT-033-DTS-2009-03096, 15 oktober 2009.
- [2] Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006
Regeling van de Staatssecretaris van VROM van 12 december 2006,
nr. LMV 2006 332519, houdende regels voor het berekenen en meten van de
geluidsbelasting ingevolge de Wet geluidhinder.
- [3] Zie [1], met wijzigingen zoals gepubliceerd in de Staatscourant van
24 augustus 2009: Regeling van de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke
Ordening en Milieubeheer van 17 augustus 2009, nr. DGR/LOK 2009048714,
houdende wijziging van het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006.)
- [4] Technische regeling emissiemeetmethoden railverkeer 2006
CROW, december 2006.
- [5] EN ISO 3095:2005, 'Railway applications - Acoustics –
Measurement of noise emitted by railbound vehicles'.
- [6] Specification of acoustic measures for the Rheda track in the HSL-Zuid line
(step 1): an emission model for Rheda track
Rapport M+P Raadgevende ingenieurs BV, nr. M+P.ISP.03.1.S1.1, maart 2004.

A BIJLAGE Meetlocaties en meetcondities

A.1 Locatie Schiebroek

Meetdatum: 7 november 2009
 Meetperiode: 08:30 uur tot 16.00 uur

Meetapparatuur

Tabel A1.1: Overzicht gebruikte meetapparatuur.

Meetlocatie	Apparaat	Fabrikant	type	Ser.nr.
t1	versnellingsopnemer	Bruel&Kjær	5958	02056237
t2	versnellingsopnemer	Bruel&Kjær	5958	02056239
t3	versnellingsopnemer	Bruel&Kjær	5958	02056236
m1	microfoon	Bruel&Kjær	4193	2516186
m2	microfoon	Bruel&Kjær	4193	1863896
m3	microfoon	Bruel&Kjær	4193	2594113
m4	microfoon	Bruel&Kjær	4193	1863898
m5	microfoon	Bruel&Kjær	4192	2569914
m1	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	2659645
m2	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	2569346
m3	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	2569345
m4	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	2053567
m5	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	2083412

Weersomstandigheden

Locatie: Vliegveld Zestienhoven
 Periode: 7 november 2009, 08.30 uur tot 16.00 uur (bron Buienradar.nl)

Tabel A1.2: Meteogegevens.

windrichting	210 ° - ZW
windsnelheid	1 – 6 m/s
temperatuur	9 °C
relatieve vochtigheid	90 %

A.2 Locatie Hoogmade

Meetdatum: 7 november 2009
 Meetperiode: 07.00 uur tot 16.00 uur

Meetapparatuur

Tabel A 2.1 Overzicht gebruikte meetapparatuur.

Meetlocatie	Apparaat	Fabrikant	type	Ser.nr.
m1	microfoon	Bruel&Kjær	4192	2569913
m1	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	1866138

Weersomstandigheden

Locatie: Vliegveld Schiphol
 Periode: 7 november 2009, 07.00 uur tot 16.00 uur (bron Buienradar.nl)

Tabel A2.2: Meteogegevens.

windrichting	160 – 240 °
windsnelheid	2 – 7 m/s
temperatuur	9 °C
relatieve vochtigheid	80 – 98 %

A.3 Locatie De Wacht

Meetdatum: 7 november 2009
 Meetperiode: 16:00 uur tot 20.30 uur

Meetapparatuur

Tabel A 3.1: Overzicht gebruikte meetapparatuur.

Meetlocatie	Apparaat	Fabrikant	type	Ser.nr.
t1	versnellingsopnemer	Bruel&Kjær	5958	02056232
t2	versnellingsopnemer	Bruel&Kjær	5958	02056240
t3	versnellingsopnemer	Bruel&Kjær	5958	02056234
t4	versnellingsopnemer	Bruel&Kjær	5958	02056233
m1	microfoon	Bruel&Kjær	4193	1886698
m2	microfoon	Bruel&Kjær	4193	2516180
m3	microfoon	Bruel&Kjær	4193	2413693
m4	microfoon	Bruel&Kjær	4193	2516188
m5	microfoon	Bruel&Kjær	4193	2594074
m1	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	1866142
m2	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	2569347
m3	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	2659646
m4	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	2646480
m5	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	2351870

Weersomstandigheden

Locatie: vliegveld Zestienhoven
 Periode: 7 november 2009, 16:00 uur tot 20.30 uur (bron Buienradar.nl)

Tabel A3.2: Meteogegevens.

windrichting	190 °
windsnelheid	3 – 4 m/s
temperatuur	6 - 8 °C
relatieve vochtigheid	86 – 95 %

B BIJLAGE Resultaten geluidmetingen langs het spoor

B.1 Analyse en presentatie

De geluidmetingen zijn geanalyseerd met de applicatie Pulse time edit analyse van Pulse Lapshop, version 14.0.0 van Bruel&Kjær,

Deze bijlage geeft per gemeten treinpassage en per meetpositie het A-gewogen geluidexpositieniveau L_{Ax} (of sound exposure level, *SEL*) [dB re. 20 μ Pa] als totale niveau in dB(A) en in 1/1 octaafbanden van 63 Hz tot 8 kHz. Het geluidexpositieniveau bevat alle geluidenergie van de passage. Het verschil tussen het passageniveau $L_{p,Aeq,tp}$ en het geluidexpositieniveau is gelijk aan $10 \cdot \lg(\text{meetijd/passagetijd})$.

De lengte van de Thalys is 200,2 meter. Bij een snelheid van 300 km/h is de passagetijd 2,4 s en bij 160 km/h 4,5 s. De lengte van de intercitytrein met één Traxx-locomotief en zeven Prio-rijtuigen is 203,7 meter. Bij 160 km/h is de passagetijd 4,6 s.

B.2 Geluidexpositieniveaus per locatie en passage

Tabel B 2.1a: A-gewogen geluidexpositieniveau L_{Ax} in dB(A), meetposities 7,5 m (oost en west), 14,5 m (west) en 20 m (oost) in *Schiebroek*, intercitymaterieel (Prio-rijtuigen) bij 160 km/h.

Passage	2	3	5	7	8	9
Richting R'dam						
14,5/3,5 meter West	106		107	107	107	
7,5/1,2 meter West	109		110	109	110	
7,5/1,2 meter Oost	107		107	107	107	
7,5/3,5 meter Oost	106		106	106	106	
20 meter Oost	102		103	103	103	
Richting A'dam						
14,5/3,5 meter West		104				104
7,5/1,2 meter West		104				105
7,5/1,2 meter Oost		109				110
7,5/3,5 meter Oost		110				110
20/3,5 meter Oost		103				104

Tabel B 2.1b: A-gewogen geluidexpositieniveau $L_{A,r}$ in dB(A), meetposities 7,5 m (oost en west), 14,5 m (west) en 20 m (oost) in *Schiebroek*, Thalys bij 160 km/h.

Passage	4	6	10
Richting R'dam			
14,5/3,5 meter West	100		99
7,5/1,2 meter West	103		102
7,5/1,2 meter Oost	100		99
7,5/3,5 meter Oost	99		98
20/3,5 meter Oost	95		95
Richting A'dam			
14,5/3,5 meter West		97	
7,5/1,2 meter West		97	
7,5/1,2 meter Oost		102	
7,5/3,5 meter Oost		102	
20/3,5 meter Oost		96	

Tabel B 2.2a: A-gewogen geluidexpositieniveau $L_{A,r}$ in dB(A), meetpositie 25 m aan de oostkant van het spoor in *Hoogmade*, intercitymaterieel (Prio-rijtuigen) bij 160 km/h.

Passage	2	4	6	7
Richting Rotterdam				
25 meter Oost			85	
Richting Amsterdam				
25 meter Oost	89	91		90

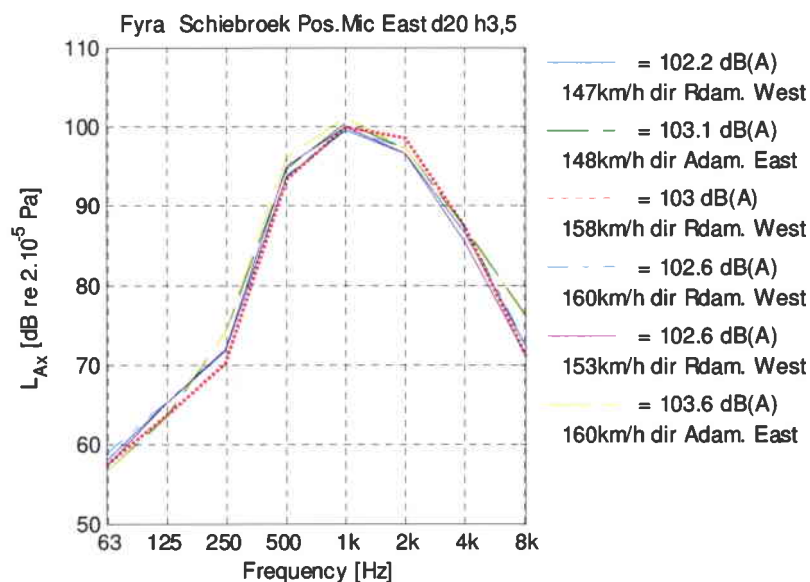
Tabel B 2.2b: A-gewogen geluidexpositieniveau $L_{A,r}$ in dB(A), meetpositie 25 m aan de oostkant van het spoor in *Hoogmade*, Thalys bij 160 km/h.

Passage	1	3	5
Richting Rotterdam			
25 meter Oost		78	
Richting Amsterdam			
25 meter Oost	82		81

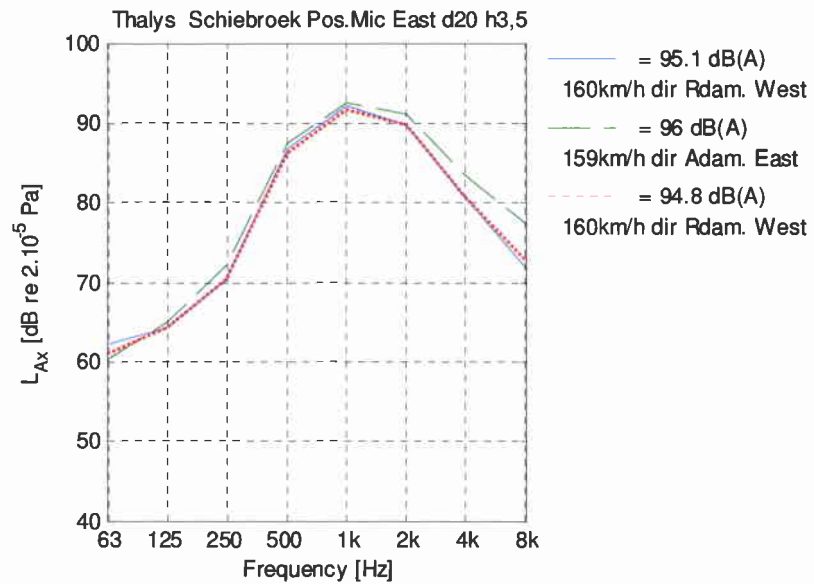
Tabel B 2.3: A-gewogen geluidexpositieniveau L_{Ax} in dB(A), meetposities 7,5 en 25 m in *De Wacht*, Thalys bij snelheden van 265-301 km/h (steeds op het oostelijke spoor).

Passage	1	2	3	4	5
Richting Antwerpen					
7,5/1,2 meter Oost	104		104		105
25/3,5 meter Oost	99		99		99
7,5/1,2 meter West	103		103		104
7,5/3,5 meter West	103		103		104
25/3,5 meter West	98		98		99
Richting R'dam					
7,5/1,2 meter Oost		104		104	
25/3,5 meter Oost		99		99	
7,5/1,2 meter West		102		103	
7,5/3,5 meter West		103		103	
25/3,5 meter West		98		98	

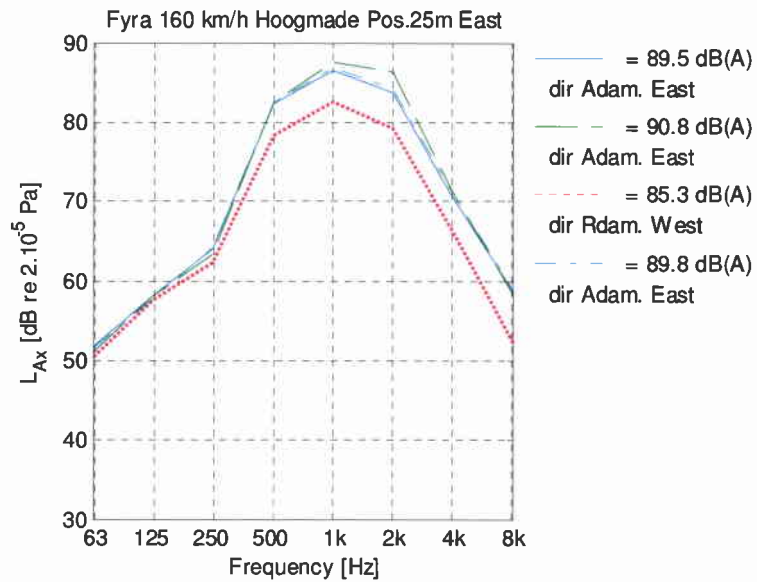
B.3 Octaafbandspectra



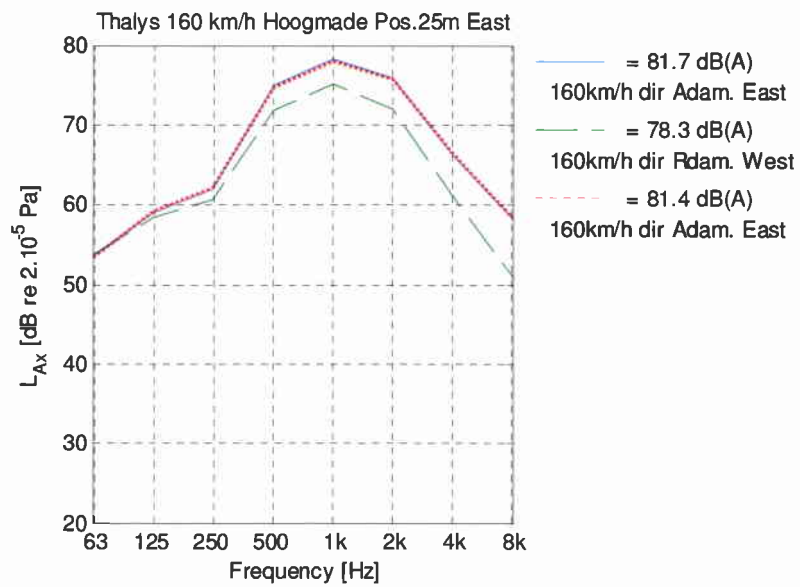
Figuur B 3.1a: A-gewogen geluidexpositieniveaus L_{Ax} in dB(A) in octaafbanden per treinpassage richting Rotterdam, westkant, meetlocatie *Schiebroek*, intercitymaterieel (Priortuigen) bij 160 km/h op 20 m uit het hart spoor aan de oostkant.



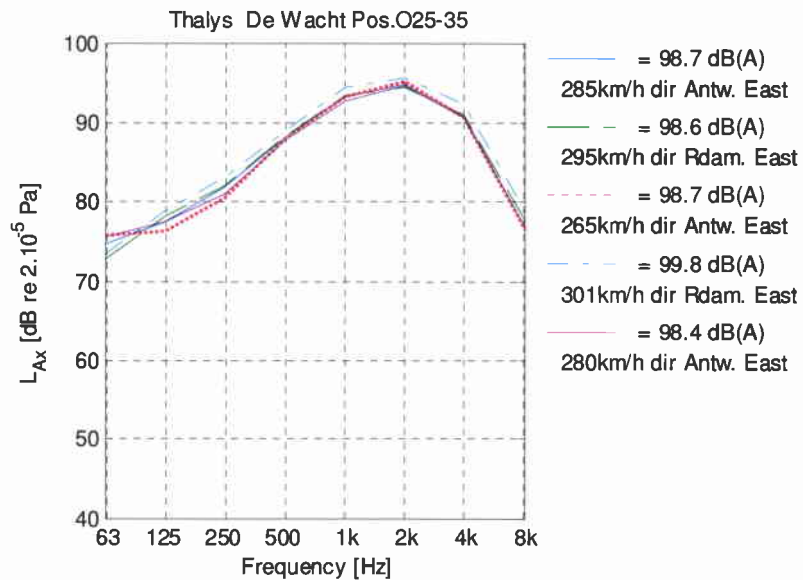
Figuur B 3.1b: A-gewogen geluidexpositieniveaus L_{Ax} in dB(A) in octaafbanden per treinpassage richting Amsterdam, oostkant, meetlocatie Schiebroek, Thalys bij 160 km/h op 20 m uit het hart spoor aan de oostkant.



Figuur B 3.2a: A-gewogen geluidexpositieniveaus L_{Ax} in dB(A) in octaafbanden per treinpassage op 25 m uit het spoor aan de oostkant (achter het geluidscherm), meetlocatie Hoogmade, intercitymaterieel (Prio-rijtuigen) bij 160 km/h, 3 passages richting Amsterdam, 1 passage richting Rotterdam.



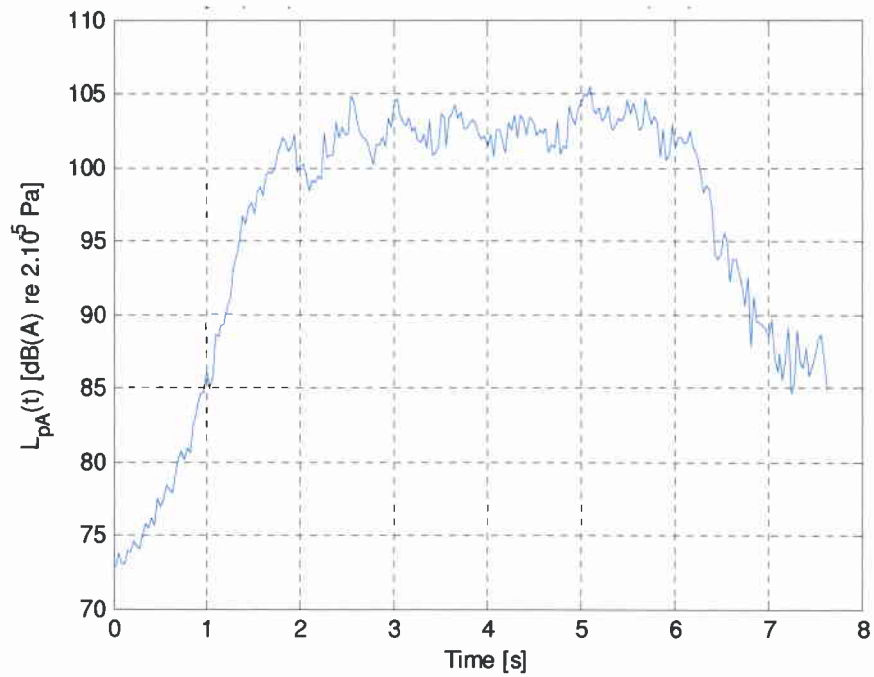
Figuur B 3.2b: A-gewogen geluidexpositieniveaus L_{Ax} in dB(A) in octaafbanden per treinpassage op 25 m uit het spoor aan de oostkant (achter geluidscherm), meetlocatie Hoogmade, Thalys bij 160 km/h, 2 passages richting Amsterdam, 1 passage richting Rotterdam.



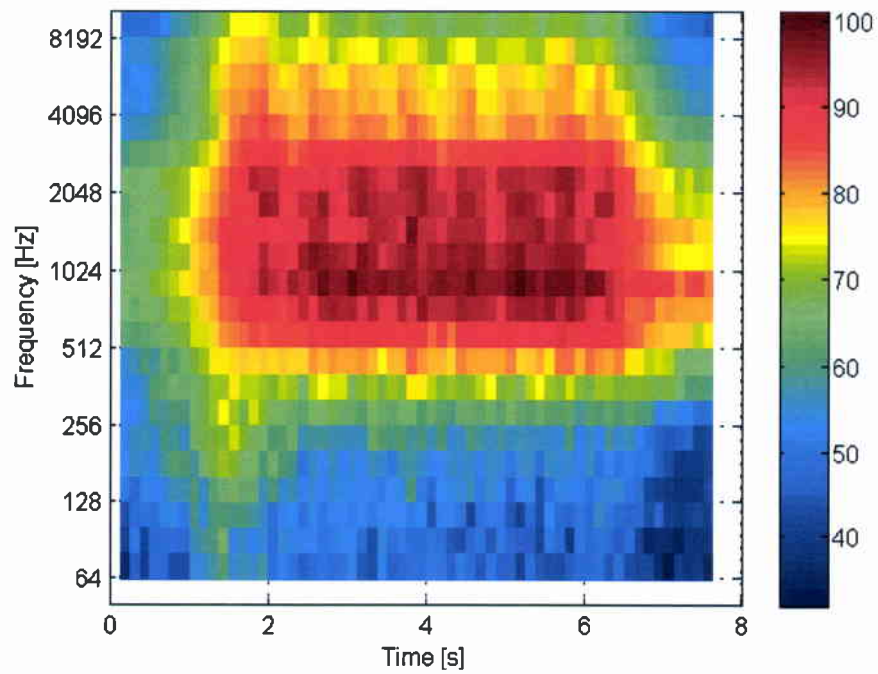
Figuur B 3.3: A-gewogen expositieniveaus L_{Ax} in dB(A) in octaafbanden per treinpassage richting Antwerpen en richting Rotterdam, treinpassage op 25 m uit het spoor, beide op hetzelfde spoor (oostspoor), in De Wacht, Thalys bij snelheden van 265-301 km/h.

C BIJLAGE: Niveauverloop en spectrogrammen

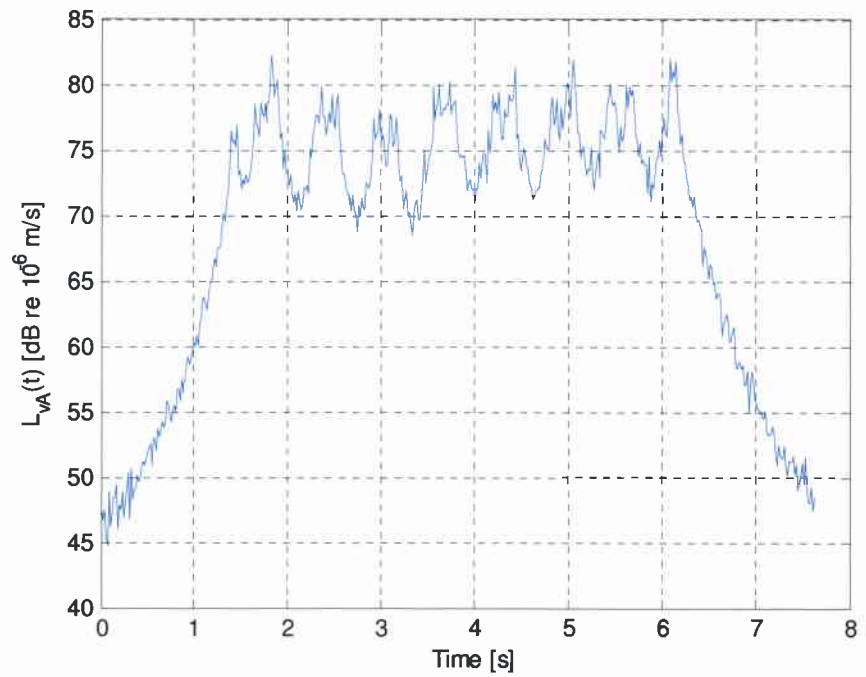
In deze bijlage wordt steeds voor één passage van het intercitymaterieel met Priortuigen en van de Thalys bij 160 km/h en bij (ca.) 300 km/h het tijdsverloop van het A-gewogen geluiddrukkniveau en van het verticale trillingsniveau van de rail als functie van de tijd en in de vorm van een spectrogram gegeven. Voor het geluid is te zien of bepaalde delen van de trein meer of minder geluid produceren. Uit de trillingen is te zien in hoeverre de ruwheid van de wielen onderling verschilt. De kop van de trein is steeds aan de linkerkant van de figuren.



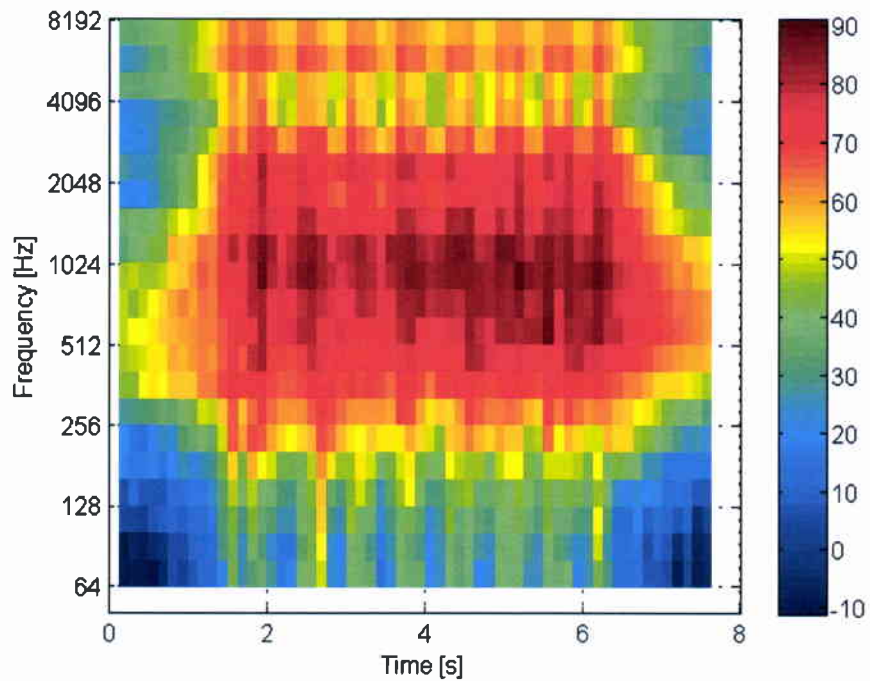
Figuur C.1: Niveauperloop van het A-gewogen geluidrukniveau op 7,5 m afstand van het spoor, passage van intercitymaterieel in Schiebroek op het oostspoor richting Amsterdam bij 160 km/h.



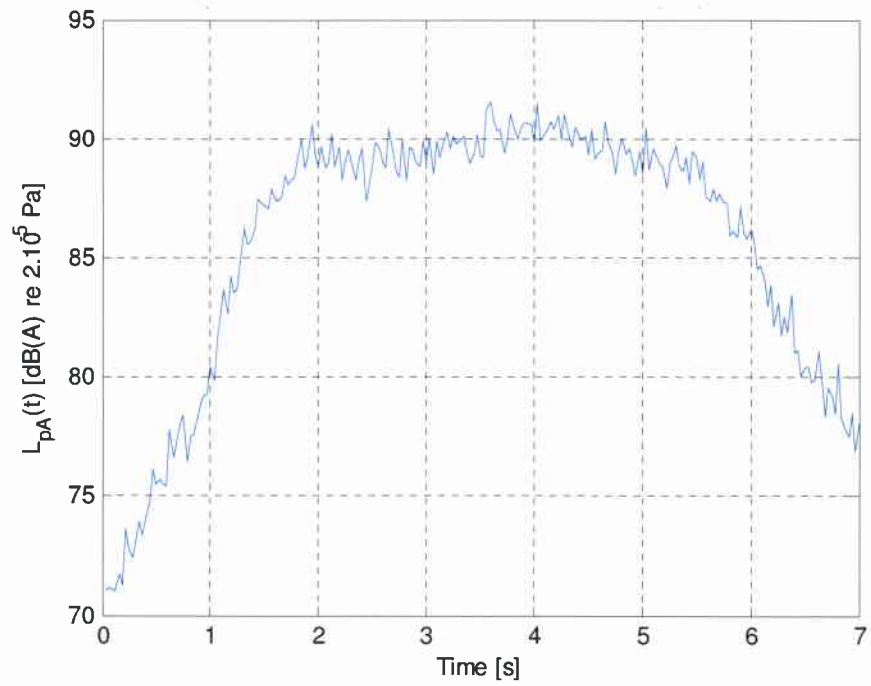
Figuur C.2: Spectrogram van het A-gewogen geluidrukniveau op 7,5 m afstand van het spoor, passage van intercitymaterieel in Schiebroek op het oostspoor richting Amsterdam bij 160 km/h.



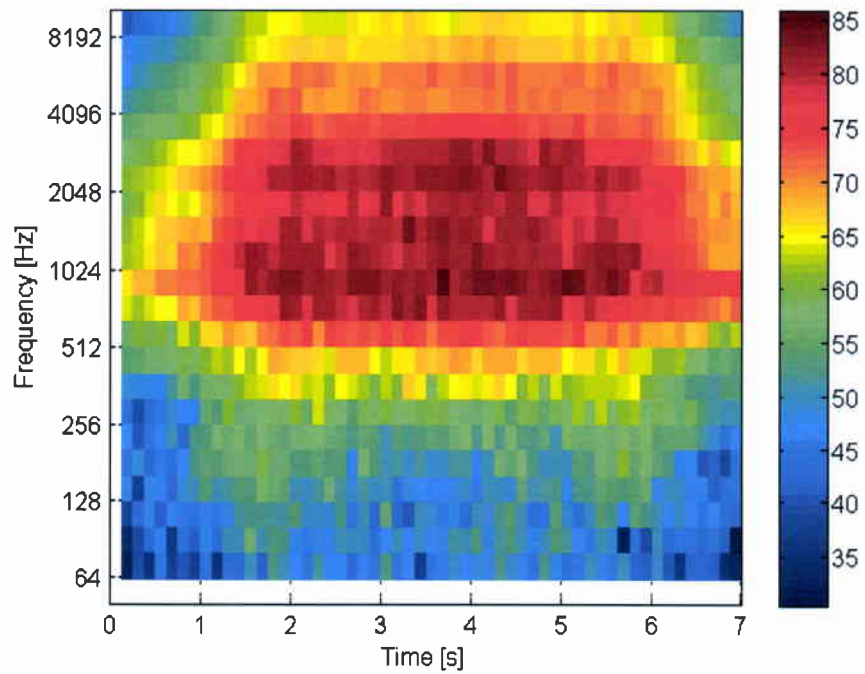
Figuur C.3: Niveauperloop van de A-gewogen verticale trillingsnelheid van de rail, passage van intercymaterieel in Schiebroek op het oostspoor richting Amsterdam bij 160 km/h.



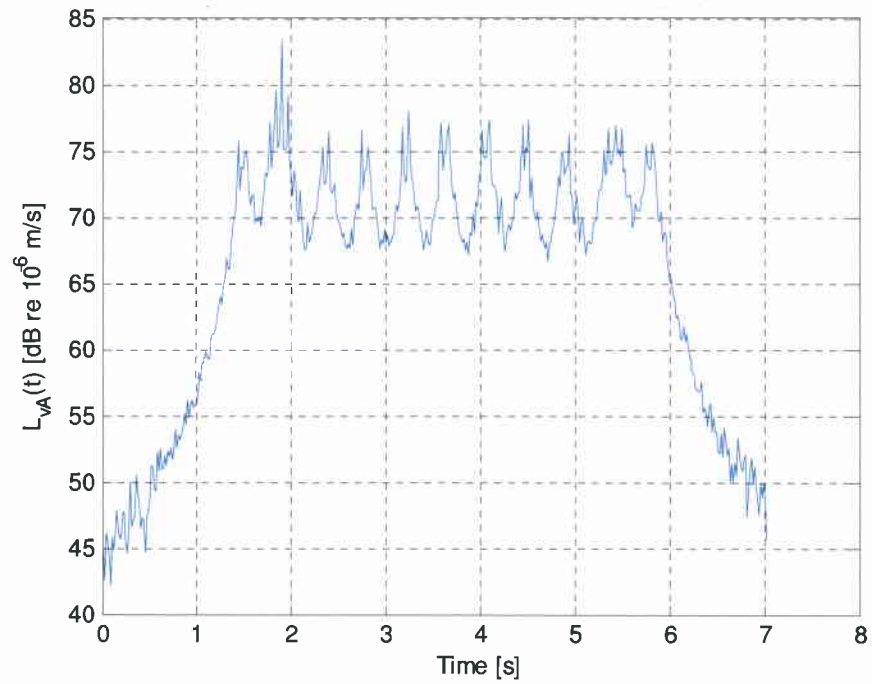
Figuur C.4: Spectrogram van de A-gewogen verticale trillingsnelheid van de rail, passage van intercymaterieel in Schiebroek op het oostspoor richting Amsterdam bij 160 km/h.



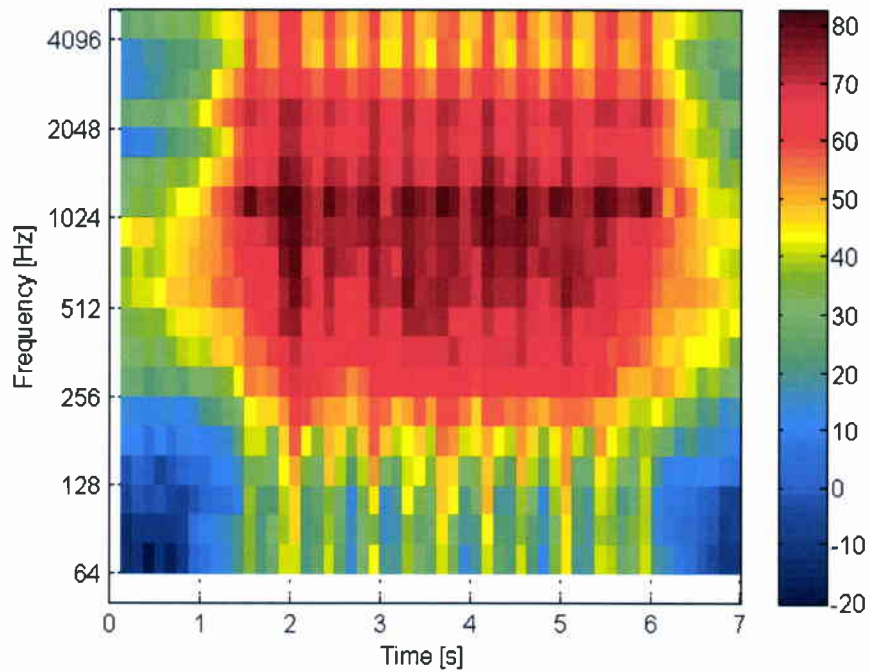
Figuur C.5: Niveauperloop van het A-gewogen geluidrukniveau op 7,5 m afstand van het spoor, passage van de Thalys in Schiebroek op het oostspoor richting Amsterdam bij 160 km/h.



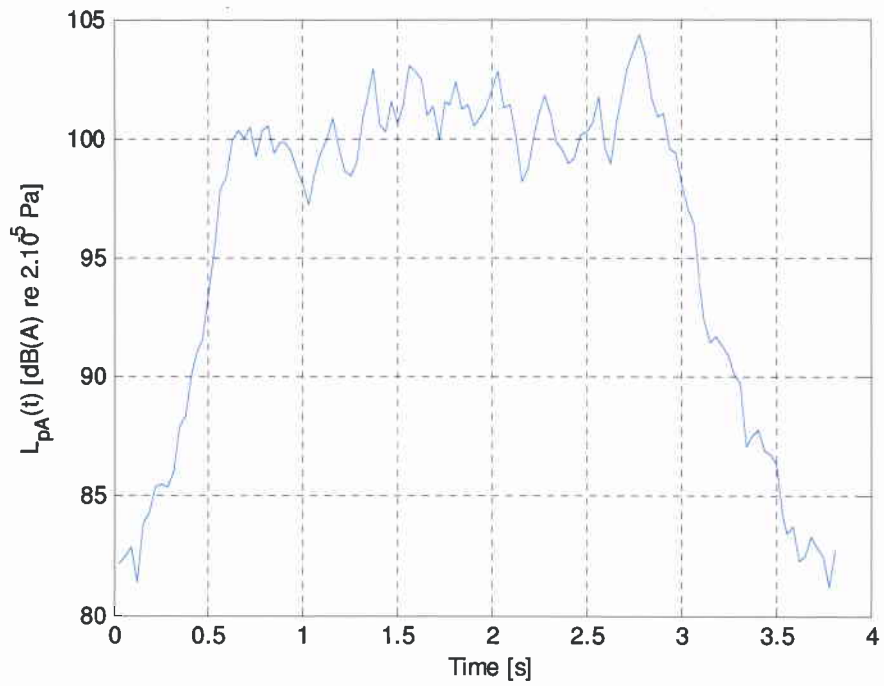
Figuur C.6: Spectrogram van het A-gewogen geluidrukniveau op 7,5 m afstand van het spoor, passage van de Thalys in Schiebroek op het oostspoor richting Amsterdam bij 160 km/h.



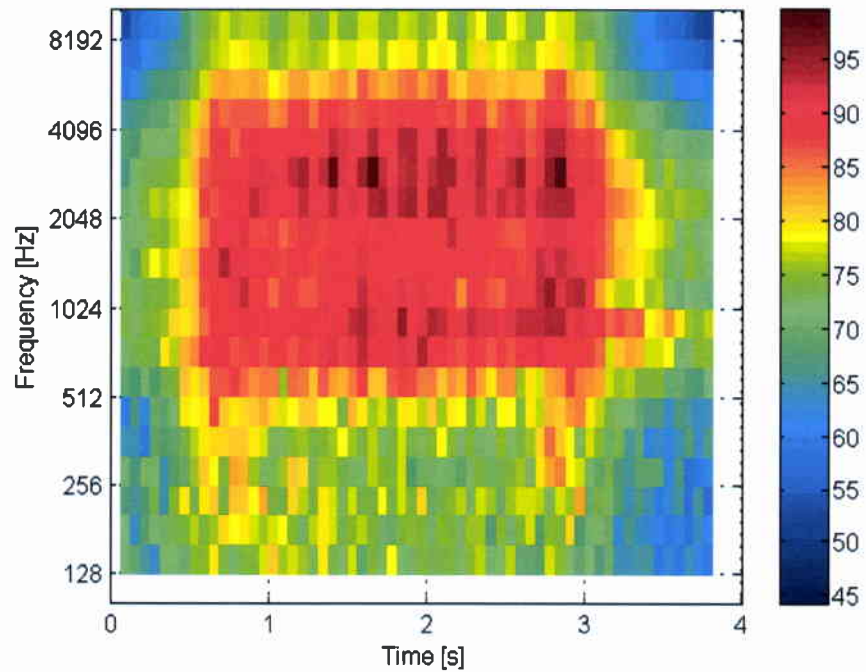
Figuur C.7: Niveauperloop van de A-gewogen verticale trillingssnelheid van de rail, passage van de Thalys in Schiebroek op het oostspoor richting Amsterdam bij 160 km/h.



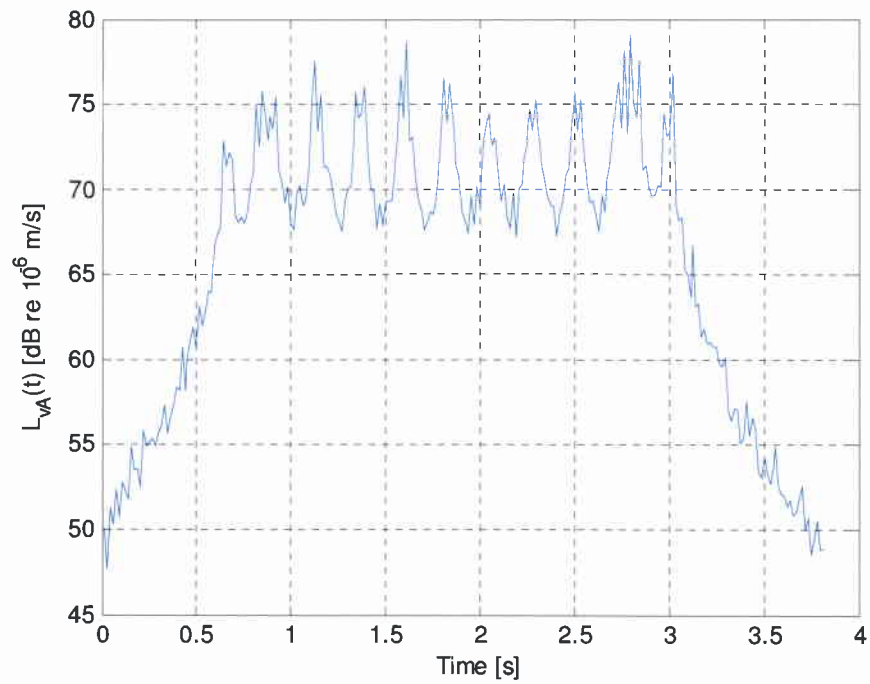
Figuur C.8: Spectrogram van de A-gewogen verticale trillingssnelheid van de rail, passage van de Thalys in Schiebroek op het oostspoor richting Amsterdam bij 160 km/h.



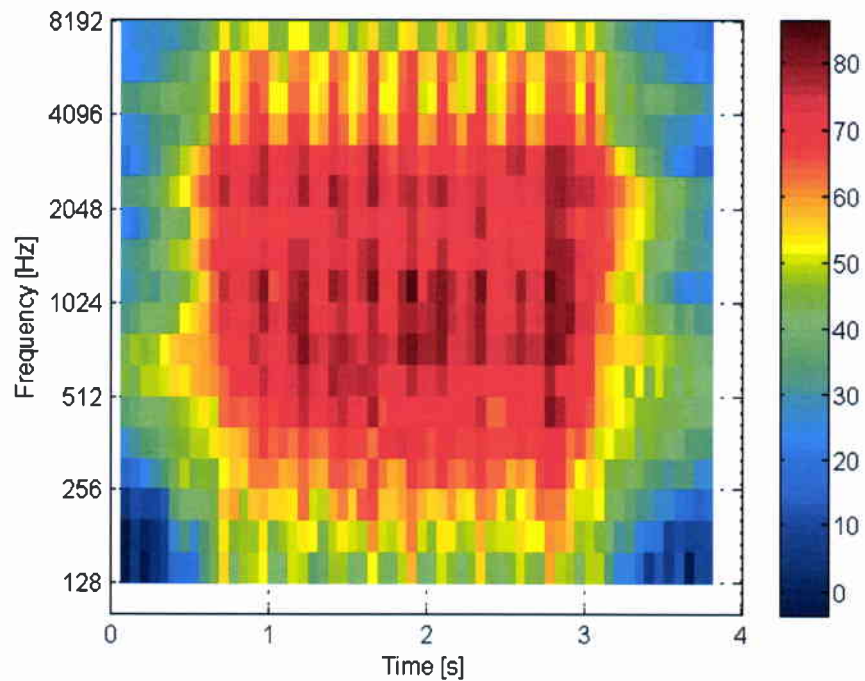
Figuur C.9: Niveauperloop van het A-gewogen geluiddruk niveau op 7,5 m afstand van het spoor, passage van de Thalys in De Wacht richting Rotterdam op het oostspoor bij 300 km/h.



Figuur C.10: Spectrogram van het A-gewogen geluiddruk niveau op 7,5 m afstand van het spoor, passage van de Thalys in De Wacht richting Rotterdam op het oostspoor bij 300 km/h.



Figuur C.11: Niveauperloop van de A-gewogen verticale trillingssnelheid van de rail, passage van de Thalys in De Wacht richting Rotterdam op het oostspoor bij 300 km/h.



Figuur C.12: Spectrogram van de A-gewogen verticale trillingssnelheid van de rail, passage van de Thalys in De Wacht richting Rotterdam op het oostspoor bij 300 km/h.

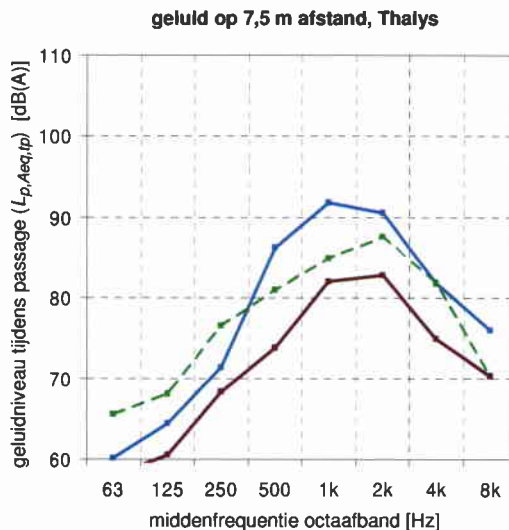
D BIJLAGE: Vergelijking meetresultaten met rekenuitkomsten bij verschillende emissiekentallen

D.1 Vergelijking Thalys bij 160 km/h met emissiekentallen Reken- en meetvoorschrift 2009

In paragraaf 4.1 is het gemeten geluidniveau op 7,5 meter afstand van het spoor voor de Thalys bij 160 km/h vergeleken met het berekende geluidniveau. Hierbij is in de berekeningen uitgegaan van de emissiekentallen van categorie 9 volgens het Reken- en meetvoorschrift van 2006. Deze zijn gelijk aan de emissiekentallen van het Reken- en meetvoorschrift van 1996, op basis waarvan de geluidberekeningen voor het Tracébesluit zijn uitgevoerd.

In 2009 zijn de emissiekentallen voor categorie 9 gewijzigd voor snelheden tot en met 160 km/h. Volgens het nu geldende Reken- en meetvoorschrift is dus bij 160 km/h een andere geluidemissie van toepassing, zodat de hiermee berekende geluidniveaus langs het spoor afwijken van de geluidniveaus die voor het Tracébesluit zijn berekend. De emissiekentallen van 2009 resulteren in lagere geluidniveaus bij snelheden tot en met 160 km/h. (Bij hogere snelheid is er geen verschil met de berekeningen volgens de oude emissiekentallen.)

In figuur D 1.1 zijn de gemeten passageniveaus op 7,5 meter afstand van het spoor bij 160 km/h weergegeven voor de Thalys (meetlocatie Schiebroek), samen met het berekende niveau voor categorie 9 op spoor in ballastbed, zowel uitgaande van de oude als de nieuwe emissiekentallen.

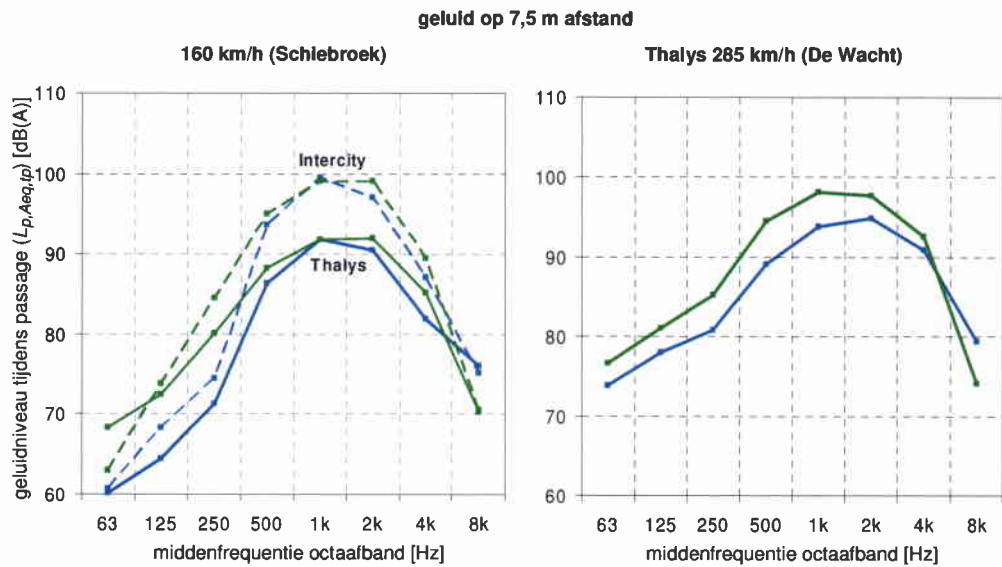


Figuur D 1.1: Gemeten geluiddruk niveau van de Thalys op 7,5 meter afstand van het spoor bij 160 km/h (blauwe lijn), vergeleken met de berekende geluiddruk voor hogesnelheidsmaterieel van categorie 9 op spoor in ballastbed conform de emissiekentallen van 2006 (groene lijn) en conform de emissiekentallen van 2009 (rode lijn).

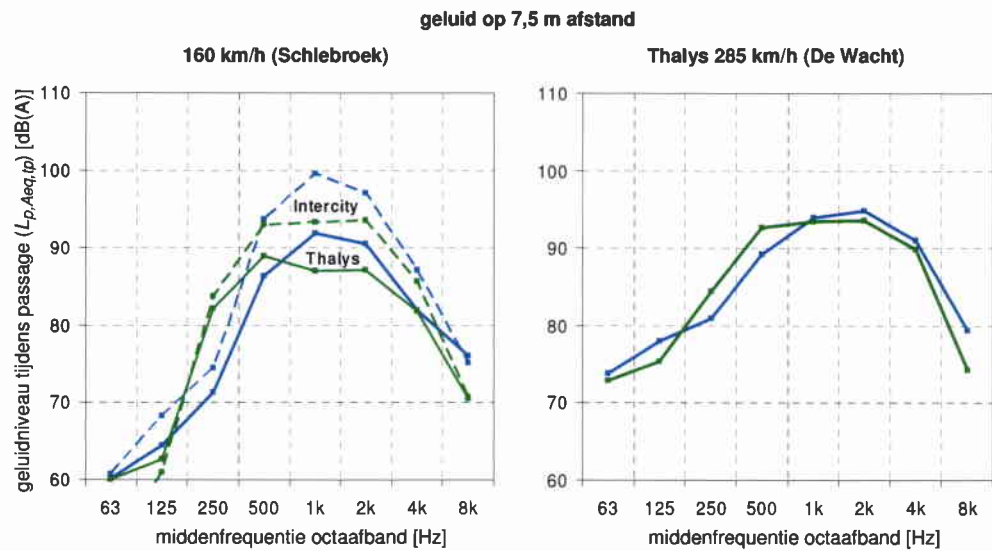
Het verschil tussen het meetresultaat en de berekening met de nieuwe emissiekentallen bij 160 km/h bedraagt 9 dB(A).

D.2 Vergelijking met emissiekentallen voor blokkenspoor en Rheda-spoor

In de geluidberekeningen volgens het Reken- en meetvoorschrift wordt de geluidemissie van treinen bepaald door het materieeltype (treincategorie) het type bovenbouw. De vergelijking tussen gemeten en berekende geluidniveaus langs het spoor in hoofdstuk 4 is uitgevoerd op basis van berekeningen die uitgaan van spoor in ballastbed (bovenbouwcode bb = 1). In figuur D 2.1 wordt de vergelijking gemaakt tussen het gemeten geluidniveau op 7,5 meter afstand van het spoor en de uitkomsten van berekeningen (met de emissiekentallen van 2006) die uitgaan van het bovenbouwtype 'blokkenspoor' (bb = 4). Figuur D 2.2 maakt de vergelijking met de berekening waarin voor de geluidemissie is uitgegaan van de bovenbouwcorrectie voor Rheda-spoor, zoals opgenomen in het rapport *Specification of acoustic measures for the Rheda track in the HSL-Zuid line (step 1)* van M+P Raadgevende ingenieurs BV, nr. M+P.ISP.03.1.S1.1, uit maart 2004.



Figuur D 2.1: Gemeten gemiddelde geluiddruk niveau tijdens treinpassages (blauwe lijnen) op 7,5 meter afstand van het spoor in Schiebroek bij 160 km/h (links) en in De Wacht bij 285 km/h (rechts), vergeleken met het berekende niveau (groene lijnen) voor het betreffende treintype op 'blokkenspoor' (bb = 4).



Figuur D 2.2: *Gemeten gemiddelde geluidrukniveau tijdens treinpassages (blauwe lijnen) op 7,5 meter afstand van het spoor in Schiebroek bij 160 km/h (links) en in De Wacht bij 285 km/h (rechts), vergeleken met het berekende niveau (groene lijnen) voor het betreffende treintype op Rheda-spoor (met bovenbouwcorrectie volgens rapport M+P.ISP.03.1.S1.1).*

Onderstaande tabel geeft de verschillen tussen de gemeten geluidniveaus tijdens een treinpassage op 7,5 meter afstand van het spoor en de berekende geluidniveaus met de verschillende typen bovenbouw.

	Verschil tussen gemeten en berekend geluidniveau tijdens treinpassage op 7,5 m afstand van het spoor	
	berekening met blokkenspoor	berekening met Rheda-spoor
Intercity 160 km/h	-0,8 dB(A)	3,8 dB(A)
Thalys 160 km/h	-1,1 dB(A)	1,9 dB(A)
Thalys 285 km/h	-3,6 dB(A)	0,1 dB(A)