

Publieke sector
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-033-DTS-2009-03096

**Evaluatie van de geluidemissie van de HSL-Zuid
(dienstregeling september 2009)**

Datum	15 oktober 2009
Auteur(s)	ir. A.R. Eisses, ir. M.G. Dittrich, J. van 't Hof, ing. F.H.M. Staats
Opdrachtgever	ProRail
Projectnummer	033.23971

Aantal pagina's	44 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	3

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.

© 2009 TNO

Samenvatting

TNO heeft in opdracht van ProRail geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd langs de Hogesnelheidslijn tussen Schiphol en Rotterdam (HSL-Zuid), ten behoeve van de analyse en de beoordeling van de geluidemissie bij de start van de dienstregeling op 7 september 2009.

In de eerste maanden van de dienstregeling rijden intercitytreinen op het tracé met een maximum snelheid van 160 km/h. De inzet van hogesnelheidsmaterieel (zoals de Thalys) in de dienstregeling is pas vanaf december 2009 voorzien. Daarmee is de dienstregeling van september 2009 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 in de dienstregeling van september 2009 minder treinen met lagere snelheden en is het materieel van een ander type dan het hogesnelheidsmaterieel dat later zal gaan rijden.

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. Uit het onderzoek blijkt dat dit uitgangspunt niet geldt voor het type treinen dat sinds september 2009 volgens de dienstregeling rijdt bij een snelheid van 160 km/h. De gemeten geluidniveaus langs het spoor liggen 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).

De resultaten van metingen in Berkel en Rodenrijs en Hoogmade laten zien dat de effectiviteit van de geluidbeperkende maatregelen voor het materieel uit de dienstregeling van september 2009 op korte afstand tot het spoor (25 meter) minder is dan de rekenmodellen aangeven. In combinatie met de hogere geluidemissie door de spoorconstructie op betonplaten levert dit in Berkel en Rodenrijs en Hoogmade plaatselijk een verschil van 14 dB(A) tussen de op basis van metingen en berekeningen vastgestelde geluidbelasting.

Indien het ter plaatse van meetpunten geconstateerde verschil representatief is voor de dichtstbijzijnde woningen (wat voor de meetlocatie in Hoogmade aannemelijk is), kan de dienstregeling van september 2009 niet gedurende een jaar worden gereden zonder in conflict te komen met de grenswaarden voor de geluidbelasting (die per woning zijn vastgelegd als een over een jaar gemiddelde etmaalwaarde).

Voor het antwoord op de vraag of de toekomstige dienstregeling past binnen de geluidruimte van het tracébesluit is onderzoek nodig naar zowel de geluidemissie als de effectiviteit van de geluidbeperkende maatregelen voor een ander type treinen (hogesnelheidsmaterieel).

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Doelstelling.....	7
1.3 Opzet van het onderzoek.....	8
2 Onderzoekslocaties	9
2.1 Keuze van de meetpunten	9
2.2 Locaties Schiebroek en Berkel en Rodenrijs	9
2.3 Locatie Hoogmade.....	10
2.4 Locatie Roelofarendsveen.....	11
3 Uitvoering van de geluid- en trillingsmetingen	13
3.1 Meetperioden en meetcondities	13
3.2 Metingen van de geluidemissie.....	13
4 Resultaten	15
4.1 Geluidemissie	15
4.2 Geluid langs het spoor in Schiebroek	18
4.3 Geluid langs het spoor in Berkel en Rodenrijs	19
4.4 Geluid langs het spoor in Hoogmade.....	20
4.5 Geluid langs het spoor Roelofarendsveen.....	20
5 Interpretatie van de resultaten	23
5.1 Geluidemissie	23
5.2 Oorzaken voor verschillen tussen metingen en berekeningen	24
5.3 Gemeten geluid in relatie tot de geluidruimte van het tracébesluit.....	25
6 Conclusie	27
Ondertekening	29
Referenties	31

Bijlage(n)

A BIJLAGE Meetlocaties en meetcondities

B BIJLAGE Afstandsdemping spoor

C BIJLAGE Resultaten geluidmetingen langs het spoor

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Met ingang van 7 september 2009 is de dienstregeling van start gegaan op het tracé van de Hogesnelheidslijn tussen Schiphol en Rotterdam (HSL-Zuid). Voorlopig rijdt intercitymaterieel (locomotieven met rytuigen van respectievelijk de geluidcategorieën¹ 3 en 2) met een snelheid van 160 km/h. Vanaf december 2009 zal ook hogesnelheidsmaterieel (binnen een nieuwe dienstregeling) op het tracé gaan rijden. De situatie van 7 september 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 materieel, de treinintensiteiten en de rijsnelheden. Belangrijk bij het type materieel is dat niet alleen de hoeveelheid geproduceerd geluid als functie van de rijsnelheid verschilt, maar ook de verdeling van de geluidbronnen over de hoogte van de trein².

Sinds de bouw van de HSL-Zuid hebben proefritten plaatsgevonden met de Thalys en intercitymaterieel, die aanleiding waren voor klachten van omwonenden. In verband met deze klachten heeft ProRail TNO opdracht gegeven te onderzoeken of de geluidniveaus langs het spoor van de HSL-Zuid hoger zijn dan mag worden verwacht op basis van rekenmodellen die bij het tracébesluit zijn gebruikt.

Voorliggend rapport beschrijft de metingen die zijn uitgevoerd om de geluidssituatie ter hoogte van drie locaties langs de HSL-Zuid met de dienstregeling van september 2009 te beoordelen. Het onderzoek loopt vooruit op de evaluatie van de milieueffecten, die conform het tracébesluit een jaar na inbedrijfstelling moet worden uitgevoerd.

1.2 Doelstelling

Het doel van het onderzoek is de beoordeling van de geluidssituatie langs de HSL-Zuid met de dienstregeling van september 2009, op basis van geluidmetingen ter hoogte van de locaties Berkel en Rodenrijs, Hoogmade en Roelofarendsveen. Indien de geluidniveaus langs het spoor afwijken van wat op grond van eerder uitgevoerde akoestische berekeningen mag worden verwacht, moet worden vastgesteld

- of de oorzaak hiervoor moet worden gezocht in de spoorconstructie (bovenbouw), het treinmaterieel of de gerealiseerde geluidbeperkende maatregelen en

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

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

- of de huidige dienstregeling (met minder treinen en lagere rijksnelheden dan voor de toekomst zijn voorzien) past binnen de geluidruimte van het tracébesluit³.

1.3 Opzet van het onderzoek

Het onderzoek richt zich op het geluid van de HSL-Zuid bij de dienstregeling van september 2009. Hiervoor zijn geluidmetingen uitgevoerd op korte afstand van het spoor (tot 25 meter) in Schiebroek, Berkel en Rodenrijs en Hoogmade en op grotere afstand (tot 250 meter) in Roelofarendsveen. Metingen bij de gevels van woningen zijn niet uitgevoerd⁴. In Schiebroek en Berkel en Rodenrijs zijn de geluidmetingen gecombineerd met trillingsmetingen op de spoorstaven.

TNO heeft de meetlocaties gekozen na inspectie van de plaatsen die op grond van door ProRail geregistreerde klachten de meeste aanleiding gaven voor nader onderzoek. Voor de metingen dichtbij het spoor hebben ook de toegankelijkheid van het spoor, veiligheidsaspecten en de complexiteit van de geluidoverdracht bij de keuze een rol gespeeld. In Schiebroek is gemeten in een open omgeving waar het spoor op maaiveldhoogte ligt en waar geen geluidsschermen staan. Een dergelijke situatie is geschikt om in combinatie met trillingsmetingen aan de spoorstaven de geluidemissie vast te stellen, zonder de invloed van obstakels langs het spoor (zoals geluidschermen of de wanden van een verdiepte ligging). Ook ter hoogte van Berkel en Rodenrijs, vier kilometer ten noorden van Schiebroek, zijn trillingsmetingen uitgevoerd, om de geluidemissie op verschillende locaties te kunnen vergelijken.

Uit de vergelijking tussen de meetresultaten en de uitkomsten van de geluidberekeningen blijkt of de gemeten geluidniveaus tijdens treinpassages afwijken van de verwachting op basis van de rekenmodellen die voor het tracébesluit zijn gebruikt. Hiervoor zijn de berekeningen aangepast aan het treinmaterieel, de intensiteiten en de rijksnelheid volgens dienstregeling van september 2009 en zijn de meetpunten in het model als rekenpunten opgenomen. De berekeningen heeft het Projectbureau HSL-Zuid in samenwerking met TNO en op verzoek van ProRail uitgevoerd.

Om na te gaan of de dienstregeling van september 2009 past binnen de geluidruimte van het tracébesluit, zijn de resultaten van de geluidmetingen omgerekend naar een etmaalwaarde⁵ van de geluidbelasting met de dienstregeling van september 2009. In het tracébesluit is per woning de maximaal toelaatbare etmaalwaarde vastgelegd.

³ Het tracébesluit stelt grenzen aan de over een jaar gemiddelde geluidbelasting bij woningen (het gemiddelde geluid over de tijd, waarin zowel de hoogte van de geluidniveaus tijdens treinpassages als het aantal treinpassages een rol speelt). Bij railverkeer bestaan geen wettelijke grenswaarden voor het maximale geluid tijdens een treinpassage ter plaatse van woningen. Wel gelden er eisen voor het treinmaterieel ten aanzien van de geluidproductie [7].

⁴ Dergelijke metingen vergen een andere opzet van het onderzoek, meer gericht op het vaststellen van de geluidbelasting op een specifieke plaats dan op het geven van een beeld van de geluidsituatie in een groter gebied.

⁵ De etmaalwaarde is de hoogste van de volgende drie niveaus: het gemiddelde geluidniveau in de dagperiode, het gemiddelde geluidniveau in de avondperiode + 5 dB(A) en het gemiddelde geluidniveau in de nachtperiode + 10 dB(A). Voor de HSL-Zuid is zowel in de dienstregeling van september 2009 als in de dienstregeling van het tracébesluit de avondperiode bepalend voor de etmaalwaarde.

2 Onderzoekslocaties

2.1 Keuze van de meetpunten

In overleg met ProRail zijn de locaties voor het onderzoek gekozen binnen de 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, Berkel en Rodenrijs en Hoogmade en in Roelofarendsveen. De locatie in Schiebroek bevindt zich in een open omgeving, waar het spoor op maaiveldhoogte ligt en waar geen geluidsschermen staan. Op deze ‘referentielocatie’ is het mogelijk de geluidproductie van het spoor en materieel direct te meten, zonder invloed van afscherming.

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 geluidsscherm.

2.2 Locaties Schiebroek en Berkel en Rodenrijs

De referentielocatie in Schiebroek ligt nabij de weg N209 ter hoogte van km 6,9 (zie de kaartbijlage van het tracébesluit HSL-Zuid). 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: Foto's van de referentielocatie voor geluid- en trillingsmetingen in 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 op 7,5 meter en 20 meter afstand tot het spoor voor de richting Amsterdam (meethoogten respectievelijk 1,2 meter en 3,5 meter ten opzichte van spoorhoogte).

Ook vier kilometer ten noorden van Schiebroek, ter hoogte van Berkel en Rodenrijs, zijn geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd. Het spoor ligt hier verdiept, zie figuur 2.2, met geluidabsorberende platen op de wanden van de verdiepte ligging en transparante, naar het spoor toe hellende geluidschermen aan weerszijden van het spoor op de wanden. Het spoor is aan weerskanten voorzien van een perronconstructie. Richting het noorden gaat het spoor geleidelijk over van een verdiepte naar een verhoogde ligging.

De meetposities voor de geluidmetingen op de luchtfoto in figuur 2.2 liggen op 25 meter afstand van het spoor, net ten zuiden (A) en net ten noorden (B) van het viaduct van de Offenbachlaan, dat op de foto net als het spoor nog in aanbouw is. Toegang tot het spoor voor de trillingsmetingen was hier mogelijk bij een nooduitgang direct ten zuiden van het viaduct van de Offenbachlaan.



Figuur 2.2: Foto's van de locatie voor trillingsmetingen ter hoogte van Berkel en Rodenrijs, met rechtsboven de nooduitgang van het spoor, kijkend richting het zuiden vanaf het viaduct van de Offenbachlaan (foto links onder), dat op de luchtfoto net als de tunnelbak nog in aanbouw is. De twee meetposities A en B (rode punten op de luchtfoto links boven) liggen op 25 meter afstand tot het spoor voor de richting Rotterdam (meethoogte 3,5 meter ten opzichte van het maaiveld). De foto rechtsonder toont het uitzicht richting noorden, waar de verdiepte ligging overgaat in een verhoogde ligging.

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 2.3: De meetlocatie in Hoogmade. Links is de microfoonpositie (rode punt) op de luchtfoto aangegeven. Op de foto rechts ligt het meetpunt langs het geluidscherm aan de rechterkant, net achter de schuur die in het midden van de foto dicht langs het spoor staat (meethoogte 3,5 meter ten opzichte van het maaiveld).

2.4 Locatie Roelofarendsveen

In Roelofarendsveen is het geluid gemeten ter hoogte van het Westeinde, op de plaatsen die in figuur 2.4 zijn aangegeven. Rijksweg A4 ligt hier tussen de HSL en de meetpunten. Het geluidscherm aan de kant van Roelofarendsveen staat langs de oostzijde van rijksweg A4, dus niet direct langs het spoor.



Figuur 2.4: Foto's van de locatie in Roelofarendsveen. Op de luchtfoto links ligt het spoor van de HSL (hier nog in aanbouw) links van rijksweg A4. De rode punten in deze foto zijn de posities van de microfoons (A en B, meethoogte 3,5 meter ten opzichte van het maaiveld).

De meetpunten liggen op een afstand van respectievelijk 140 meter en 245 meter van de spoorlijn en op respectievelijk 45 en 150 meter van het geluidscherm langs rijks-weg A4. Meetpunt B staat op een dijk, met een meethoogte van 3,5 meter ten opzichte van de hoogte van de dijk. Het gebouw direct ten noorden van meetpunt B ligt voor het grootste deel lager dan het meetpunt en is daarom geen belangrijk obstakel voor afscherming of reflectie van het geluid van de spoorlijn.

3 Uitvoering van de geluid- en trillingsmetingen

3.1 Meetperioden en meetcondities

De metingen zijn vanaf 7 september 2009 uitgevoerd tijdens de normale dienstregeling die op die datum is ingegaan. Per locatie zijn tenminste vijf treinpassages per richting gemeten, bij een constante rijksnelheid van 160 km/h. De rijksnelheid is opgegeven door NS Highspeed en gecontroleerd met video-opnamen. De trein bestaat bij iedere passage uit zeven Prio-rijtuigen (intercitymaterieel voor de Benelux), getrokken door een Traxx-locomotief. Het spoortype van de HSL-Zuid is betonplaten spoor van het type Rheda met rails van het type UIC60.

Op de referentielocatie in Schiebroek zijn gelijktijdig geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd op 7 september tussen 10:30 en 16:00 uur voor het spoor in de richting Amsterdam. Ter hoogte van Berkel en Rodenrijs zijn de trillingen op de rails in de richting Rotterdam gemeten. De geluid- en trillingsmetingen zijn hier gedurende dezelfde meetperiode uitgevoerd bij passages van dezelfde treinen.

In Hoogmade is het geluid gemeten op 10 september (tussen 8:00 uur en 15:00 uur) en in Roelofarendsveen op 21 september (tussen 14:00 uur en 18:30), bij treinpassages in beide richtingen.

De metingen zijn uitgevoerd bij droog weer en zwakke tot matige wind. Vanwege de korte afstand van de microfoons tot de geluidbron in Schiebroek, Berkel en Rodenrijs en Hoogmade hebben de weerscondities geen significante invloed op de meetresultaten. Bij Roelofarendsveen is op grotere afstand van het spoor gemeten, omdat meetpunten binnen 50 meter afstand van het spoor niet mogelijk zijn vanwege de naast het spoor gelegen rijksweg A4. Voor deze locatie zijn de metingen uitgevoerd binnen de randvoorwaarden die het meteoraam van het meetvoorschrift [1] stelt aan de windrichting en de windsnelheid.

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

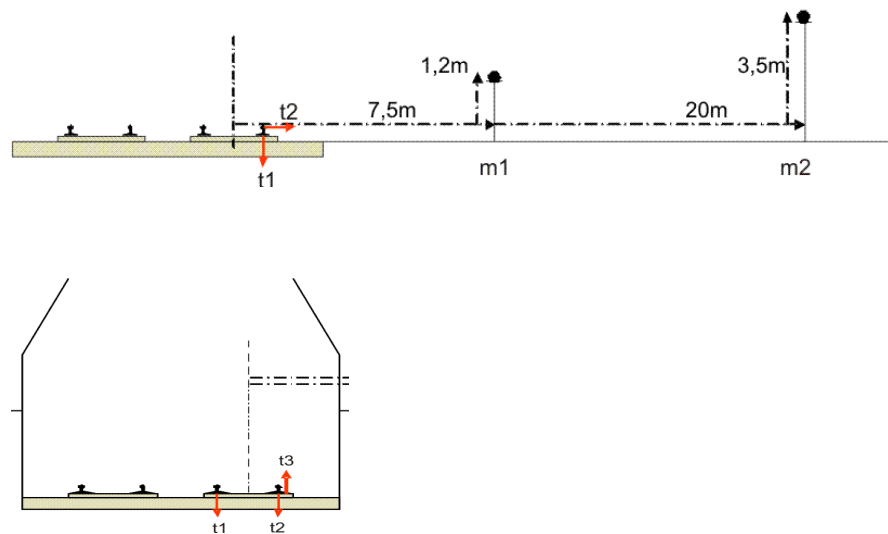
3.2 Metingen van de geluidemissie

De referentielocatie Schiebroek is gekozen om zo veel mogelijk binnen standaardcondities de geluidemissie (bronsterkte) te meten. Onder standaardcondities voor emissiemeting moet worden verstaan de procedure A of B uit de *Technische regeling emissiemetmethoden* [2] of de norm EN ISO 3095:2005 [3]. Er is gemeten volgens de norm [3], waarbij gekozen is voor een representatieve situatie (met het spoor van de HSL-zuid op betonnen platen) en één rijksnelheid van 160 km/h. Het spoor op de referentielocatie ligt in een vlakke omgeving, zonder bijzondere infrastructuur zoals verdiepingen of viaducten, reflecterende objecten of schermen. Ter plaatse van de meetlocatie heeft het spoor een lichte gradiënt.

Het is mogelijk de meetresultaten voor de combinatie van het betreffende type spoor en treinmaterieel bij één rijksnelheid te vergelijken met andere standaardgegevens en met andere locaties langs het traject van de HSL-Zuid.

Op de referentielocatie is geluid gemeten op 7,5 meter en 20 meter afstand uit het hart van het oostelijke spoor voor de richting Amsterdam, op respectievelijk 1,2 meter en 3,5 meter hoogte ten opzichte van de bovenkant van de rails. Daarnaast zijn verticale en horizontale railtrillingen op dit spoor gemeten ter bepaling van de wiel/railruwheid, de afstandsdemping van het spoor en de totale overdrachtsfunctie (ruwheid naar geluid-druk).

Ter hoogte van Berkel en Rodenrijs zijn de verticale railtrillingen gemeten in de tunnelbak op het andere spoor, richting Rotterdam. De meetposities zijn in figuur 3.1 weergegeven.



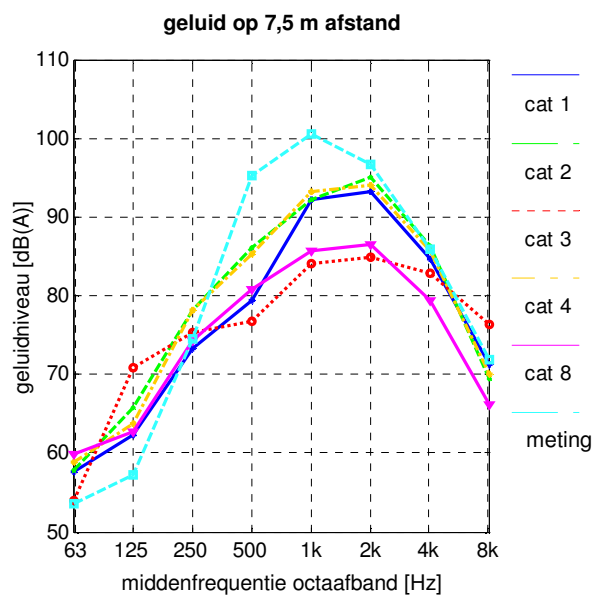
Figuur 3.1: Meetpunten op de referentielocatie in Schiebroek (boven) en de locatie ter hoogte van Berkel en Rodenrijs (onder). De pijlen op de rails geven de richtingen aan van de met versnellingsopnemers gemeten trillingen.

4 Resultaten

4.1 Geluidemissie

De geluidemissie is beoordeeld op basis van de te verwachten emissieniveaus volgens het *Reken- en meetvoorschrift* [1]. Hiervoor is het gemeten geluidniveau op 7,5 meter vergeleken met het niveau dat hoort bij verschillende categorieën treinen 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. (Zie paragraaf 5.1).

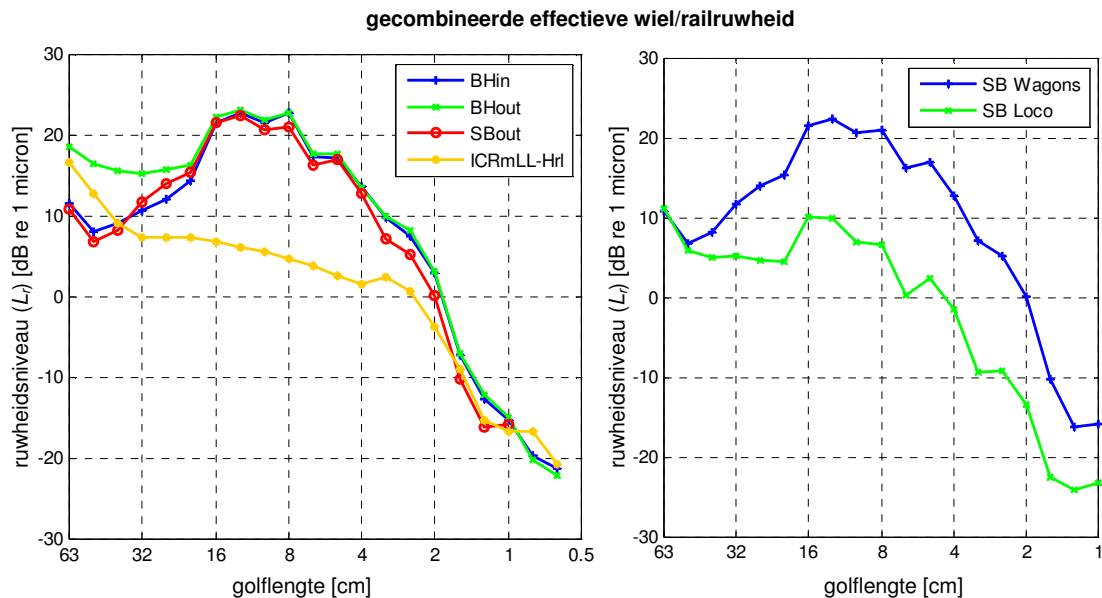
Figuur 4.1 laat deze vergelijking zien. Het gemeten niveau van de geluiddruk tijdens een treinpassage ($L_{pAeq,tp}$) op 7,5 meter afstand, weergegeven met de lichtblauwe lijn, ligt voor het belangrijkste deel van het frequentiegebied boven de niveaus voor de geluidcategorieën 1, 2, 3, 4 en 8, die op grond van het voorschrift [1] te verwachten zijn. Het totale gemeten geluidniveau ligt 5 dB(A) hoger dan het niveau van categorie 2.



Figuur 4.1: Gemeten geluidrukniveau op 7,5 meter afstand van het spoor bij 160 km/h (lichtblauwe lijn), vergeleken met de berekende geluiddruk voor treinmaterieel van categorieën 1 t/m 8 op spoor in ballastbed.

De gecombineerde effectieve wiel/railruwheid is zowel in Schiebroek als bij Berkel en Rodenrijs bepaald uit railtrillingen van vijf treinpassages. Uit de linker grafiek in figuur 4.2 blijkt dat de totale effectieve ruwheidsspectra op beide locaties sterk op elkaar lijken. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de opwekking van het rolgeluid en daarmee het emissiegetal op beide locaties nagenoeg hetzelfde is. De kleine verschillen in de gecombineerde ruwheid kunnen gevolg zijn van variatie van de rijlijn op de rails.

De rechter grafiek in figuur 4.2 laat zien dat de gecombineerde effectieve ruwheid van wielen en rails bij de locomotieven veel lager is dan bij de rijtuigen. Hieruit volgt dat de totale ruwheid en dus ook het geluid tijdens een passage wordt gedomineerd door de rijtuigen. Verder is dit een indicatie dat de railruwheid relatief laag of gemiddeld is.

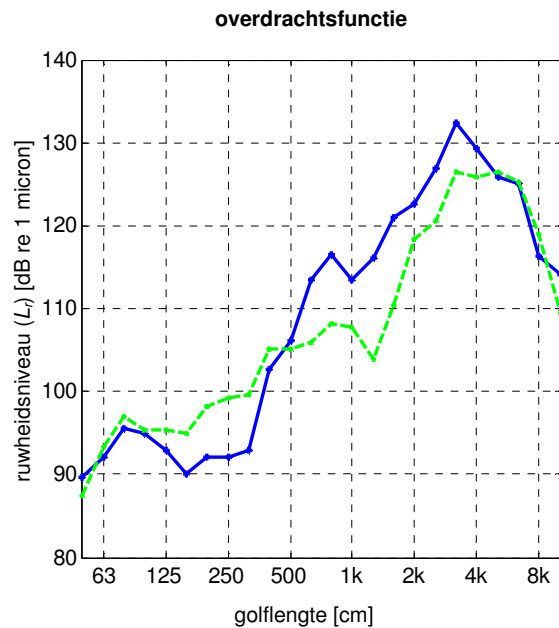


Figuur 4.2: Links: Gecombineerde effectieve ruwheid van wielen en rails, gemiddeld over 5 treinpassages op de locaties Schiebroek (SB, spoor Oost, rode lijn) en Berkel en Rodenrijs (BH, spoor West, groene en blauwe lijn), en ter vergelijking het ruwheidsniveau van ICRm-materieel met LL-remblokken op ballastspoor (gele lijn).

Rechts: Gecombineerde effectieve ruwheid van wielen en rails bij de locomotieven (groene lijn) en de rijtuigen (blauwe lijn), afgeleid uit de resultaten van de 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 afstandsdemping 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. De overdrachtsfunctie is de verhouding tussen het geluid-drukniveau op 7,5 meter afstand en de gecombineerde wiel/railruwheid.

Uit de meetresultaten zijn de afstandsdemping en de overdrachtsfunctie afgeleid. Zoals blijkt uit de gegevens in bijlage B, is de afstandsdemping van het spoor van de HSL-Zuid lager dan van een spoor op betonnen dwarsliggers in ballastbed. De overdrachtsfunctie in figuur 4.3 geeft aan dat in vergelijking met het spoor in ballastbed de afstraling van het geluid tussen 600 Hz en 4000 Hz hoger is en tussen 100 Hz en 400 Hz lager.

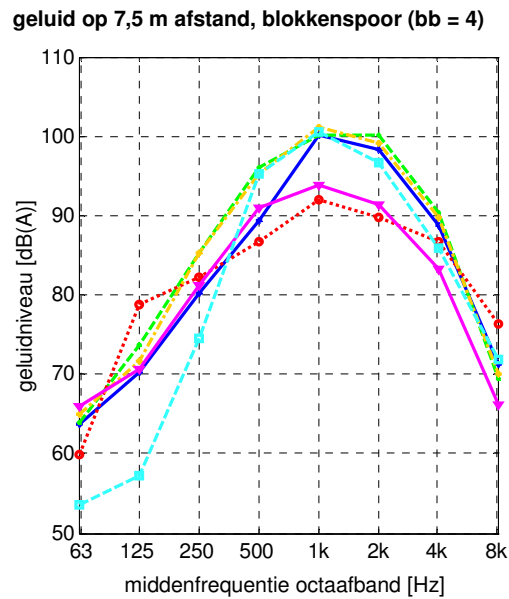


Figuur 4.3: Verhouding tussen het geluid op 7,5 meter afstand van het spoor en de gecombineerde effectieve ruwheid van wielen en rails, zoals gemeten bij Schiebroek voor het HSL-spoor (blauwe lijn), in vergelijking met een spoor op dwarsliggers in ballastbed (groene lijn).

De analyse van de meetresultaten leidt tot de volgende conclusies over de gecombineerde wiel/railruwheid en de daarmee samenhangende geluidemissie:

- De gecombineerde ruwheidsniveaus op de locatie Berkel en Rodenrijs en de referentielocatie Schiebroek zijn vrijwel gelijk. Voor de beide locaties kan daarom worden uitgegaan van dezelfde geluidemissie voor het intercitymaterieel van geluidscategorieën 2 en 3. Aangezien de spoorconstructie op het tracé van de HSL-Zuid tussen Hoofddorp en Schiebroek overal gelijk is, mag op andere locaties dezelfde geluidemissie voor dit type materieel worden verwacht, zolang er geen variaties in de railruwheid voorkomen die voor de geluidemissie significant zijn.
- De geluidemissie van de rytuigen bij de gemeten treinpassages komt overeen met categorie 2 op ballastloos platenspoor (blokkenspoor) en is hoger dan de geluidemissie op spoor op betonnen dwarsliggers in ballastbed.

Om de geluidemissie in geluidberekeningen zo goed mogelijk te laten aansluiten bij de gemeten geluidemissie van categorie 2 in de dienstregeling van september 2009, kan worden uitgegaan van de bovenbouw die de Standaard rekenmethode 2 van het Reken- en meetvoorschrift [1] met 'blokkenspoor' is aangeduid ($bb = 4$). Uit figuur 4.4 blijkt dat de lichtblauwe lijn van de meting dan vanaf 500 Hz goed overeenkomt met de emissie van geluidscategorie 2. Voor berekeningen met de Standaard rekenmethode 1 is een correctie van 5 dB(A) passend, die overeenkomt met de bovenbouwconstructie voor 'baan met blokkenspoor in ballastbed' ($b = 5$).



Figuur 4.4: Gemeten geluidrukniveau op 7,5 meter afstand van het spoor bij 160 km/h (lichtblauwe lijnen), vergeleken met de berekende geluiddruk voor treinmaterieel van categorieën 1 t/m 8 op spoor in ballastbed.

4.2 Geluid langs het spoor in Schiebroek

Voor de referentielocatie in Schiebroek is een vergelijking gemaakt tussen het gemeten geluid op een afstand van 20 meter van het spoor (3,5 meter ten opzichte van de hoogte 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.

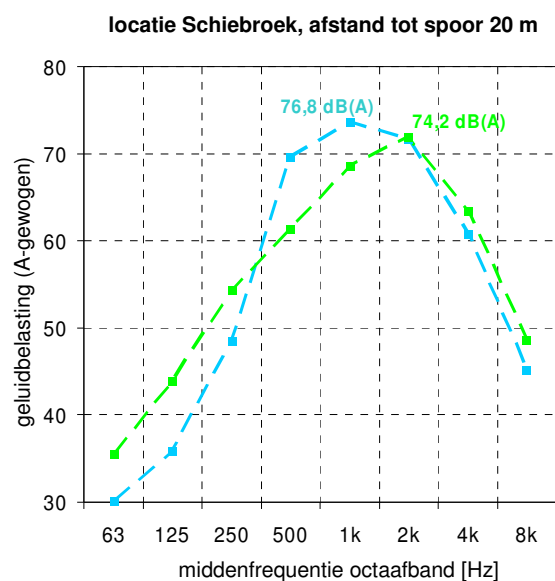
In figuur 4.5 is het gemeten geluid vergeleken met de uitkomsten van modelberekeningen. Bij de berekeningen is uitgegaan van spoor in ballastbed (zoals ook bij het akoestisch onderzoek voor het tracébesluit is gedaan) en de dienstregeling van september 2009, met materieel van categorie 2 en 3 bij een snelheid van 160 km/h.

Het gemeten geluid is 'vertaald' naar een over een de avondperiode gemiddeld geluidniveau (L_{Aeq}), uitgaande van de dienstregeling van september 2009, waarbij per uur twee treinen passeren. Bij het niveau over de avondperiode is een toeslag opgeteld van +5 dB(A). Deze waarde ($L_{Aeq,avond} + 5$) is gelijk aan de etmaalwaarde van de geluidbelasting⁶, waaraan in het tracébesluit grenzen zijn gesteld bij de gevels van woningen.

⁶ De etmaalwaarde van de geluidbelasting is de hoogste van de volgende drie waarden: $L_{Aeq,dag}$, $L_{Aeq,avond} + 5$ en $L_{Aeq,nacht} + 10$. Omdat 's nachts veel minder treinen rijden, is de avondperiode bepalend, zowel voor de dienstregeling van 7 september 2009 als voor de dienstregeling waarvan bij het tracébesluit is uitgegaan.

Figuur 4.5 bevestigt het beeld van figuur 4.1. In de octaafbanden van 500 en 1000 Hz ligt het meetresultaat hoger dan het resultaat van de modelberekening, als gevolg van de hogere geluidemissie van het HSL-spoor ten opzichte van de emissie bij een spoor op dwarsliggers in ballastbed. Over het gehele frequentiespectrum leidt dit tot een verschil van 2,6 dB(A).

Dit verschil is kleiner dan het verschil van 5 dB(A) dat in de vorige paragraaf voor 7,5 meter afstand van het spoor is vastgesteld. De belangrijkste oorzaak hiervoor is een verschil tussen de werkelijke en de berekende invloed van de bodem op de geluid-overdracht. Voor het betreffende meetpunt⁷ blijkt de bodem in werkelijkheid voor een sterkere demping van het geluid te zorgen in de octaafband van 500 Hz, wat een voor een deel het effect van de hogere geluidemissie compenseert.



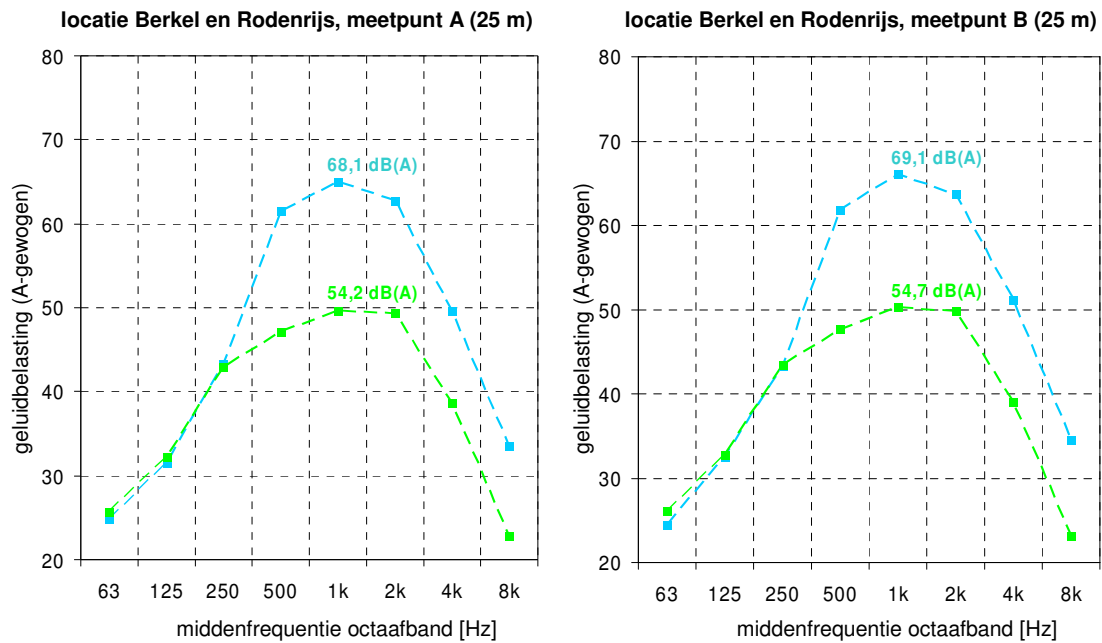
Figuur 4.5: Gemeten geluidbelasting (etmaalwaarde) op 20 meter afstand van het spoor in Schiebroek (blauwe lijn), vergeleken met de uitkomst van modelberekeningen (groene lijn), uitgaande van de geluidemissie bij spoor in ballastbed ($bb = 1$) en de dienstregeling van september 2009.

4.3 Geluid langs het spoor in Berkel en Rodenrijs

De twee meetpunten in Berkel en Rodenrijs liggen op 25 meter afstand van het dichtstbijzijnde spoor (richting Rotterdam), net ten zuiden (A) en net ten noorden (B) van het viaduct van de Offenbachlaan (zie paragraaf 2.2). Zowel voor de metingen als de modelberekeningen geldt dat de geluidniveaus in de twee punten nagenoeg gelijk zijn. Figuur 4.6 laat zien dat de verschillen tussen de op basis van metingen en berekeningen vastgestelde geluidbelasting (etmaalwaarde) in Berkel en Rodenrijs aanzienlijk groter zijn dan in Schiebroek. Voor beide punten bedraagt het verschil 14 dB(A).

⁷ De akoestische eigenschappen van de bodem zijn van plaats tot plaats verschillend en kunnen op een bepaalde plaats ook over de tijd variëren, bijvoorbeeld als gevolg van neerslag of temperatuur.

Dit verschil kan niet alleen het gevolg zijn van de hogere geluidemissie (bronsterkte) van trein en spoor, die in paragraaf 4.1 is vastgesteld. Een deel van de verklaring moet worden gezocht in de geluidoverdracht tussen de bron en het meetpunt, waarin de wanden van de verdiepte ligging en de geluidschermen (door afscherming en reflectie van geluid) een belangrijke rol spelen. Hoofdstuk 5 gaat hier nader op in.



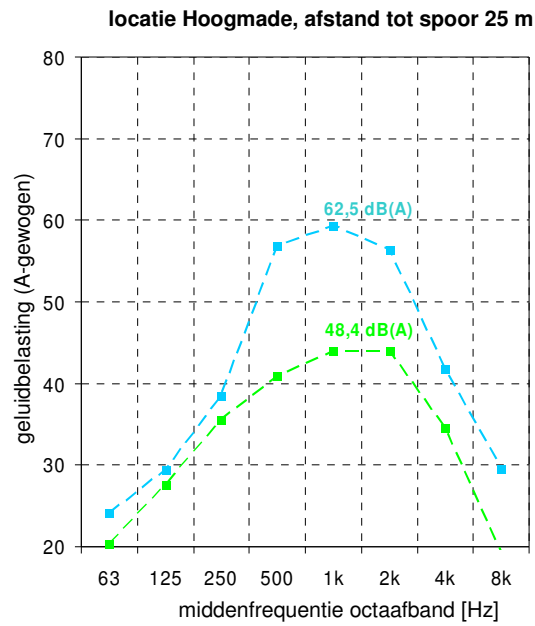
Figuur 4.6: Gemeten geluidbelasting (etmaalwaarde) op twee plaatsen langs het spoor in Berkel en Rodenrijs (blauwe lijn), vergeleken met de uitkomst van modelberekeningen (groene lijn), uitgaande van de geluidemissie bij spoor in ballastbed ($bb = 1$) en de dienstregeling van september 2009.

4.4 Geluid langs het spoor in Hoogmade

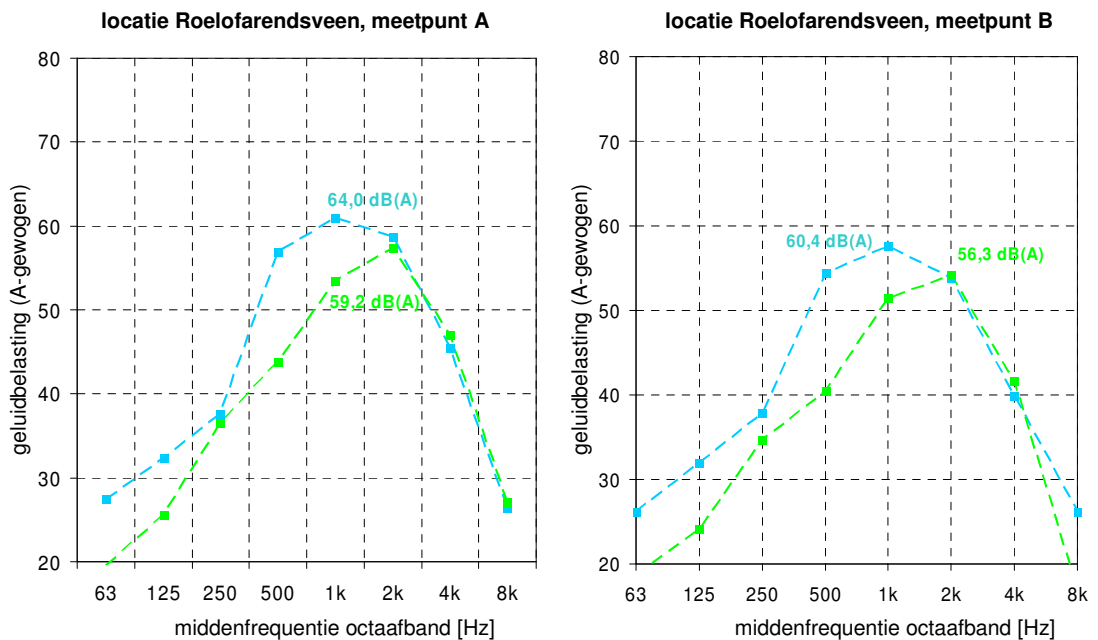
Het meetpunt in Hoogmade ligt op 25 meter afstand van het spoor achter een geluidscherm (zie paragraaf 2.3). Vanwege de hoge ligging van het spoor is de invloed van het scherm relatief groot en zijn de geluidniveaus langs het spoor lager dan in Berkel en Rodenrijs. Ook hier bedraagt het verschil tussen de op basis van metingen en modelberekeningen vastgestelde geluidbelasting (etmaalwaarde) 14 dB(A), zoals figuur 4.7 laat zien.

4.5 Geluid langs het spoor Roelofarendsveen

In Roelofarendsveen is het geluid gemeten op grotere afstand van het spoor, ten oosten van rijksweg A4. (De locatie met meetpunten is beschreven in paragraaf 2.4.) Figuur 4.8 toont de op basis van metingen vastgestelde geluidbelastingen (etmaalwaarde) in vergelijking met de uitkomsten van de modelberekening voor de betreffende meetpunten.



Figuur 4.7: Gemeten geluidbelasting (etmaalwaarde) op 25 meter afstand van het spoor bij de Boskade in Hoogmade (blauwe lijn), vergeleken met de uitkomst van modelberekeningen (groene lijn), uitgaande van de geluidemissie bij spoor in ballastbed ($bb = 1$) en de dienstregeling van september 2009.



Figuur 4.8: Gemeten geluidbelasting (etmaalwaarde) op twee plaatsen langs het spoor in Roelofarendsveen (blauwe lijn), vergeleken met de uitkomst van modelberekeningen (groene lijn), uitgaande van de geluidemissie bij spoor in ballastbed ($bb = 1$) en de dienstregeling van september 2009.

Over het gehele frequentiegebied bedraagt het verschil tussen de gemeten en berekende geluidbelasting 5 dB(A) voor meetpunt A en 4 dB(A) voor meetpunt B. Voor beide meetpunten ligt het belangrijkste verschil in de octaafbanden van 500 en 1000 Hz. Het verschil is vergelijkbaar met de verschillen die in paragraaf 4.1 gevonden zijn tussen de geluidemissie die op korte afstand van het spoor is gemeten en de geluidemissie waarvan in de modelberekeningen is uitgegaan.

De resultaten van de metingen in Roelofarendsveen zijn indicatief, omdat slechts gedurende één dag metingen zijn uitgevoerd, terwijl volgens het Reken- en meetvoorschrift drie metingen op verschillende dagen zijn vereist⁸.

⁸ Verschillende metingen zijn noodzakelijk om een representatief gemiddelde van de geluidbelasting uit de resultaten af te kunnen leiden, vanwege de in de tijd variërende invloed van weersomstandigheden op de geluidoverdracht naar grotere afstanden. De meteorocorrectie uit het Reken- en meetvoorschrift [1] is niet op de meetresultaten toegepast.

5 Interpretatie van de resultaten

5.1 Geluidemissie

Op het tracé van de HSL-Zuid tussen Hoofddorp en de Belgische grens (met uitzondering van een gedeelte op conventioneel spoor in Rotterdam) is ballastloos spoor toegepast van het type Rheda 2000. Bij dit type spoor zijn de spoorstaven bevestigd op betonplaten. Het ballastloos spoor wijkt af van de spoorconstructie (bovenbouw) met rails op betonnen dwarsliggers in ballastbed, die het uitgangspunt is geweest bij de voor het tracébesluit uitgevoerde akoestische berekeningen uit 1998. Bij het tracébesluit van 2001 is verondersteld dat de aan te leggen spoorconstructie voor wat betreft de geluidemissie gelijkwaardig is met de uitgangspunten voor de geluidberekeningen uit 1998.

Voor de dienstregeling van september 2009 en het daarbij horende type materieel is in paragraaf 4.1 uit de meetresultaten geconcludeerd dat die veronderstelling niet juist is. Het is mogelijk dat de ruwheid van de wielen van het materieel waarbij de metingen zijn uitgevoerd hoger is dan het gemiddelde van het materieel in de betreffende geluidcategorie 2. Dit kan echter slechts een deel van de verklaring zijn voor de verhoging van de geluidemissie ten opzichte van de gemiddelde geluidemissie van materieel van categorie 2 op een spoor in ballastbed. De andere oorzaak is dat het spoor van de HSL-Zuid vanwege de spoorconstructie op betonplaten meer geluid afstraalt in het voor treingeluid belangrijke frequentiegebied van 500 tot 2000 Hz. Met andere woorden, als dezelfde treinstellen zouden rijden op een spoor in ballastbed, is de geluidproductie lager dan op het spoor van de HSL-Zuid.

In de spoorconstructie van de HSL-Zuid zijn de akoestisch harde (reflecterende) betonplaten en de lagere afstandsdemping van de spoorstaven (ten opzichte van spoor in ballastbed) ongunstig voor het beperken van de geluidemissie. De oorzaak van de lagere afstandsdemping ligt niet in de spoorstaven zelf, maar in de bevestiging op de betonplaten door middel van een relatief zachte railoplegging (railpads). (Bij de keuze van de bevestiging hebben ook andere aspecten dan geluid een rol gespeeld, zoals de stabiliteit van de trein en trillingen in de ondergrond.)

De verhoging van de geluidemissie bij materieel van categorie 2 op het spoor van het type Rheda 2000 ten opzichte van spoor in ballastbed is op grond van het bovenstaande te verklaren, maar was al eerder voorzien. In 2001 heeft TNO bij de beoordeling [4] van de akoestische onderzoeken voor het tracébesluit opgemerkt dat het risico bestaat dat de toepassing van ballastloos spoor leidt tot een hogere geluidemissie dan waar in de berekeningen vanuit is gegaan. Infrasppeed (het consortium dat de HSL-Zuid heeft gerealiseerd) heeft sinds 2003 onderzoek uitgevoerd naar de geluidemissie van het spoor van het type Rheda 2000. Ook hieruit is naar voren gekomen dat de geluidemissie in de octaafbanden van 500, 1000 en 2000 Hz hoger ligt dan bij spoor in ballastbed [5], maar dat de verhoging teniet kan worden gedaan door het 'akoestisch slijpen' van de rails [6]. Hiermee krijgen de spoorstaven een lagere de ruwheid dan de gemiddelde ruwheid bij conventionele sporen, zodat de geluidemissie vermindert. Het ministerie van VROM heeft in 2005 een plan van aanpak geaccepteerd voor het 'akoestisch slijpen' en de daarbij horende controle die de akoestische gelijkwaardigheid met het referentiespoor (railtype UIC60 op betonnen dwarsliggers in ballastbed) moet waarborgen.

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 zijn de wielen bepalend voor de totale ruwheid. In dat geval is het niet effectief om de ruwheid van de rails te verlagen. Voor het materieel in de dienstregeling van september 2009 kan de hogere geluidemissie vanwege de spoorconstructie dus nauwelijks door gladdere rails worden gecompenseerd.

Bij het hogesnelheidsmaterieel in de toekomstige dienstregeling kan het akoestisch slijpen wel effectief zijn, indien de ruwheid van de treinwielen laag genoeg is. Hogesnelheidsmaterieel heeft gemiddeld gladdere wielen vanwege een ander remsysteem (zonder remblokken op het loopvlak van de wielen), waardoor de ruwheid van de rails mede bepalend wordt voor de totale ruwheid. Het akoestisch slijpen is bovendien afgestemd op de snelheid van het toekomstige materieel en de daarmee samenhangende golf lengte waarbij de ruwheid moet worden geminimaliseerd.

5.2 Oorzaken voor verschillen tussen metingen en berekeningen

In de paragrafen 4.2 tot en met 4.5 zijn vergelijkingen gemaakt tussen de op basis van metingen vastgestelde geluidbelasting langs het spoor en de berekende geluidbelasting. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de modellen die in 1998 zijn gebruikt voor de prognoses ten behoeve van het tracébesluit, waarbij de treinintensiteiten, het type materieel en de rij snelheden in de berekeningen zijn aangepast aan de dienstregeling van september 2009.

De spoorconstructie in de geluidberekeningen is niet aangepast en is dus dezelfde als in de rekenmodellen van 1998. 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. Met die hogere emissie is voor de locaties in Schiebroek en Roelofarendsveen het verschil in de orde van 5 dB(A) tussen metingen en berekeningen te verklaren.

Voor de locaties in Berkel en Rodenrijs en Hoogmade moet de oorzaak van het veel grotere verschil van 14 dB(A) 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 de geluidbeperkende maatregelen speelt hierbij een belangrijke rol.

In Berkel en Rodenrijs is een voor geluidberekeningen complexe situatie, waarbij de wanden van de verdiepte ligging en de daarop geplaatste geluidschermen zorgen voor zowel afscherming als reflectie van geluid. Mogelijk is met de reflectie onvoldoende rekening gehouden. Er moet worden onderzocht of de eigenschappen van het geluid-absorberende materiaal tegen de wanden en de schuine plaatsing van de geluidschermen de in de berekeningen gekozen uitgangspunten rechtvaardigen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de uitgangspunten en de modellering van de omgeving in de berekeningen in de meeste situaties zijn afgestemd op grotere afstanden tot het spoor dan de meetafstand van 25 meter, omdat (op enkele uitzonderingen na) woningen niet binnen 25 meter afstand van het spoor liggen.

Daarnaast is van belang dat het effect van de geluidbeperkende maatregelen bij het materieel volgens de dienstregeling van september 2009 anders kan zijn dan bij het toekomstige materieel. De effectiviteit van de geluidbeperkende maatregelen moet dus vooral in de omgeving van woningen worden onderzocht bij passages met verschillende treintypen (rijdend met verschillende snelheden).

Ook voor Hoogmade is nader onderzoek nodig naar de geluidbeperkende maatregelen. Het gekozen meetpunt ligt diep in de 'geluidschaduw' van het scherm langs de oostzijde van het spoor, dat volgens het rekenmodel een geluidreductie levert van bijna 25 dB(A). Om dit in de praktijk te realiseren, is een scherm nodig met een geluidisolatie van 35 dB(A). In dat geval geldt dat het geluid dat door het scherm heen gaat verwaarloosd mag worden ten opzichte van het geluid dat over het scherm heen gaat, zoals wordt verondersteld in de berekeningen. Wanneer de geluidisolatie van de gerealiseerde schermconstructie lager is (bijvoorbeeld door geluidlekken bij aansluitingen tussen schermpanelen of tussen panelen en stijlen) is de veronderstelling niet juist (er gaat dan te veel geluid door het scherm heen) en is het werkelijke geluidniveau vooral op korte afstand achter het scherm hoger dan berekend.

Gezien de toekomstige dienstregeling (waar rekening mee is gehouden bij het baanontwerp) is het aannemelijk dat de constructie van het scherm inderdaad niet is afgestemd op een geluidisolatie van 35 dB(A). De reden hiervoor is dat voor materieel dat met hogere snelheid rijdt het effect van het geluidscherm (ook volgens het rekenmodel) ruim 10 dB lager is dan bij het materieel uit de dienstregeling van september 2009. Dit heeft te maken met de hoogte van de geluidbronnen van de treinen. Bij hogesnelheidsmaterieel wordt aerodynamisch geluid opgewekt, bijvoorbeeld bij de stroomafnemer op het dak van de trein, terwijl bij een snelheid van 160 km/h vooral het rolgeluid ter hoogte van rails en wielen van belang is. Met toenemende bronhoogte neemt het effect (de geluidreductie) van het scherm af. Als bij hogesnelheidsmaterieel de maximaal te behalen geluidreductie met het scherm 15 dB(A) bedraagt, is een geluidisolatie van 25 dB(A) voldoende en is het niet effectief om de geluidisolatie te verhogen. Voor het materieel uit de dienstregeling van september 2009 is een hogere geluidisolatie wel effectief, maar dit materieel is geen uitgangspunt geweest bij het baanontwerp.

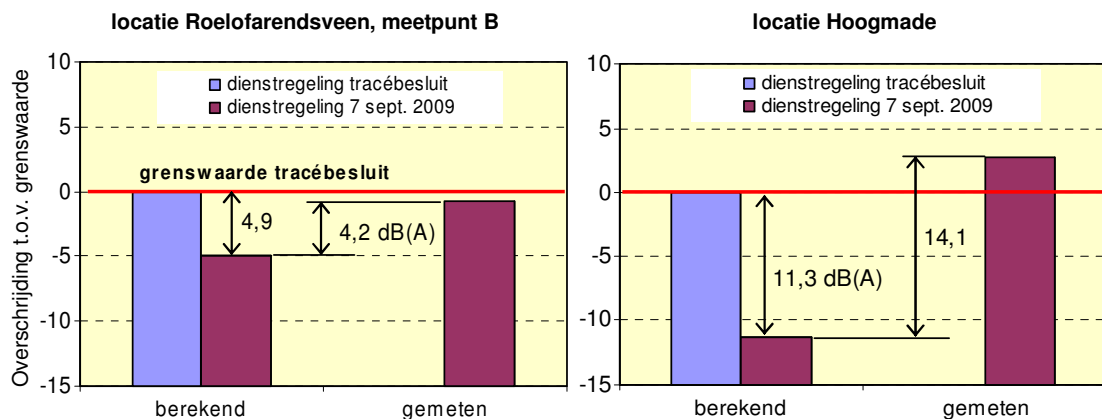
5.3 Gemeten geluid in relatie tot de geluidruimte van het tracébesluit

In het tracébesluit zijn de grenzen vastgelegd voor het geluid van de HSL-Zuid, gebaseerd op de toekomstige dienstregeling met hogesnelheidsmaterieel, zoals destijds was voorzien. Geluidbeperkende maatregelen zijn gekozen om ervoor te zorgen dat de berekende geluidbelasting (over een jaar gemiddelde etmaalwaarde) van de meeste woningen niet hoger is dan de voorkeursgrenswaarde van 57 dB(A). (Voor woningen waar dit om praktische of financiële redenen niet mogelijk was is een hogere grenswaarde vastgesteld.)

Om na te gaan of op grond van de resultaten van het onderzoek de dienstregeling van september 2009 past binnen de geluidruimte van het tracébesluit, is van belang dat de na 7 september 2009 gemeten geluidniveaus langs het spoor hoger zijn dan de rekenmodellen aangeven. Daartegenover staat dat de geluidruimte is gebaseerd op de toekomstige dienstregeling zoals het uitgangspunt was bij het tracébesluit, met hogere treinintensiteiten en rijnsnelheden.

In figuur 5.1 is dit geïllustreerd voor twee meetpunten in Roelofarendsveen en Hoogmade. Beide punten liggen in de nabijheid van woningen, waar het tracébesluit grenzen stelt aan de geluidbelasting. Voor de situatie ter plaatse van meetpunt B in Roelofarendsveen is er een marge van 5 dB(A) tussen de prognose van de geluidbelasting met de dienstregeling van het tracébesluit en de prognose met de dienstregeling van september 2009. De 4 dB(A) hogere geluidbelasting, die in Roelofarendsveen is gemeten, valt hier nog net binnen. In Hoogmade is er een grotere marge van 11 dB(A) tussen de prognoses van de geluidbelastingen met de verschillende dienstregelingen, maar deze is niet toereikend voor het verschil van 14 dB(A) tussen de op basis van metingen en berekeningen vastgestelde geluidbelasting.

Bij de toetsing aan de grenswaarden van het tracébesluit in figuur 5.1 moet worden opgemerkt dat er voor de meetpunten feitelijk geen grenswaarden gelden. Grenswaarden zijn alleen voor woningen vastgesteld. Voor de situatie in Hoogmade is het echter aannemelijk dat de overschrijding in figuur 5.1 representatief is voor de dichtbij gelegen woning (op ongeveer 10 meter afstand van het meetpunt) aan de Boskade 10B. In dat geval kan de dienstregeling van september 2009 niet een geheel jaar worden gereden zonder in conflict te komen met de in het tracébesluit vastgelegde grenswaarden.



Figuur 5.1: Geluidbelasting ter plaatse van meetpunt B in Roelofarendsveen (links) en Hoogmade (rechts) ten opzichte van de grenswaarde van het tracébesluit. Ter illustratie is aangenomen dat de grenswaarde gelijk is aan de berekende geluidbelasting volgens het akoestisch rekenmodel van het tracébesluit, uitgaande van de dienstregeling van het tracébesluit. (Feitelijk is er geen grenswaarde voor de betreffende meetpunten, omdat grenswaarden alleen direct bij de gevels van woningen gelden.) Volgens ditzelfde rekenmodel is de geluidbelasting bij de dienstregeling van september 2009 lager: het verschil is 4,9 dB(A) voor Roelofarendsveen en 11,3 dB(A) voor Hoogmade. Vanwege een gemeten verschil in de geluidemissie bij de dienstregeling van september 2009 is de geluidbelasting in Roelofarendsveen 4,2 dB(A) hoger dan volgens het rekenmodel, maar blijft binnen de grenswaarde van het tracébesluit. In Hoogmade kan het verschil tussen de gemeten en berekende geluidbelasting van 14,1 dB(A) niet worden opgevangen binnen de grenswaarde.

6 Conclusie

Het intercitymaterieel dat sinds 7 september volgens de dienstregeling rijdt, produceert op het spoor van de HSL-Zuid meer geluid dan voor het betreffende materieeltype en rijdsnelheid mag worden verwacht op basis van het rekenmodel, dat bij het tracébesluit is gehanteerd voor de prognoses van de geluidbelasting en het vaststellen van de grenswaarden (over een jaar gemiddelde etmaalwaarden ter plaatse van woningen).

In het tracébesluit zijn geluidbeperkende maatregelen (zoals geluidschermen) vastgelegd om bij de dienstregeling zoals in 2001 werd voorzien voor de meeste woningen de voorkeursgrenswaarde van 57 dB(A) niet te overschrijden. Uitgangspunt daarbij was dat de spoorconstructie van de HSL-Zuid, die is aangelegd als spoor op betonplaten, geen verhoging van de geluidemissie oplevert ten opzichte van een spoor op dwarsliggers in ballastbed. In vergelijking met de geluidemissie volgens het rekenmodel van het betreffende materieeltype (geluidcategorie 2) op spoor in ballastbed ligt de gemeten geluidemissie significant hoger in een voor treingeluid belangrijk deel van het frequentiegebied (octaafbanden van 500 en 1000 Hz).

Op grond van de gemeten geluidemissie is de verwachting dat geluidbelasting langs de HSL-Zuid bij de dienstregeling van september 2009 in de orde van 5 dB(A) hoger ligt dan het rekenmodel aangeeft. De resultaten van de geluidmetingen die zijn uitgevoerd in Roelofarendsveen bevestigen dit. Desondanks past de dienstregeling van september 2009 met de gemeten geluidemissie in Roelofarendsveen wel binnen de geluidruimte van het tracébesluit, omdat er ten opzichte van de dienstregeling van het tracébesluit met minder treinen en met lagere snelheid wordt gereden. Voor Roelofarendsveen is er een marge van ongeveer 5 dB(A) tussen de prognose van de geluidbelasting met de dienstregeling van het tracébesluit en de prognose met de dienstregeling van september 2009. Een verhoging van de geluidbelasting van 4 tot 5 dB(A) door een hogere geluidemissie valt nog net binnen deze marge.

In Berkel en Rodenrijs en Hoogmade kan het verschil tussen het gemeten en berekende geluid van 14 dB(A) niet alleen worden verklaard door de hogere geluidemissie en moet de oorzaak ook worden gezocht in de effectiviteit van de geluidbeperkende maatregelen. Indien het ter plaatse van de meetpunten geconstateerde verschil representatief is voor de dichtstbijzijnde woningen (wat voor de meetlocatie in Hoogmade aanemelijk is), kan de dienstregeling van september 2009 niet gedurende een jaar worden gereden zonder in conflict te komen met de grenswaarden voor de geluidbelasting (die per woning zijn vastgelegd als een over een jaar gemiddelde etmaalwaarde).

Geluidmetingen bij passages van hogesnelheidsmaterieel moeten uitwijzen welke toekomstige dienstregeling mogelijk is binnen de geluidgrenzen van het tracébesluit.

Ondertekening

Delft, 15 oktober 2009

TNO Industrie en Techniek



ing. P. Hendriksen
Afdelingshoofd



ir. A.R. Eisses
Auteur



ir. M.G. Dittrich
Auteur

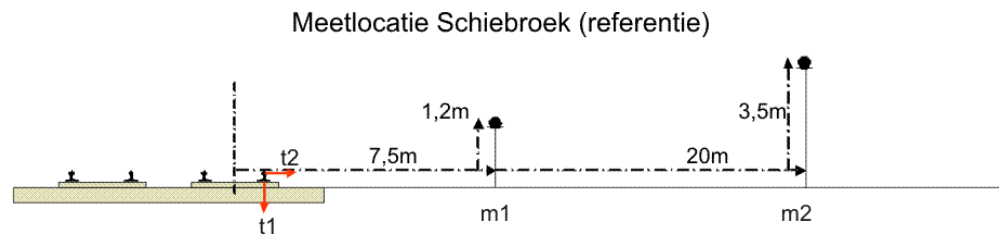
Referenties

- [1] 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.
(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.*)
- [2] Technische regeling emissiemeetmethoden railverkeer 2006
CROW, december 2006.
- [3] EN ISO 3095:2005, 'Railway applications - Acoustics –
Measurement of noise emitted by railbound vehicles'.
- [4] Beoordeling akoestisch onderzoek voor de HSL-Zuid
TNO-rapport HAG-RPT-010046, april 2001.
- [5] 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.
- [6] The acoustics of rail grinding
Rapport M+P Raadgevende ingenieurs BV, nr. M+P.ISP.04.2.1, mei 2005.
- [7] European Commission: '2006/66/EC Commission Decision of 23 December 2005
concerning the technical specification for interoperability relating to the
subsystem 'rolling stock — noise' of the trans-European conventional rail
system', Official Journal of the European Union L 37/1, 8.2.2006.

A BIJLAGE Meetlocaties en meetcondities

A.1 Locatie Schiebroek

Meetdatum: 7 september 2009
 Meetperiode: 10.30 uur tot 16.00 uur



Figuur A1.1: Schematisch overzicht meetlocatie Schiebroek.

Meetapparatuur

Tabel A1.1: Overzicht gebruikte meetapparatuur.

Meetlocatie	Apparaat	Fabrikant	type	Ser.nr.
t1	Trillingsopnemers	Bruel & Kjaer	5858	2056239
t2	Trillingsopnemers	Bruel & Kjaer	5858	2056232
m1	Microfoon	Bruel & Kjaer	4193	2516180
m2	Microfoon	Bruel & Kjaer	4193	2594113
	Calibrator	Bruel & Kjaer	4231	33000532
	PULSE	Bruel & Kjaer	3160-A-4/2	3160-100170

Weersomstandigheden

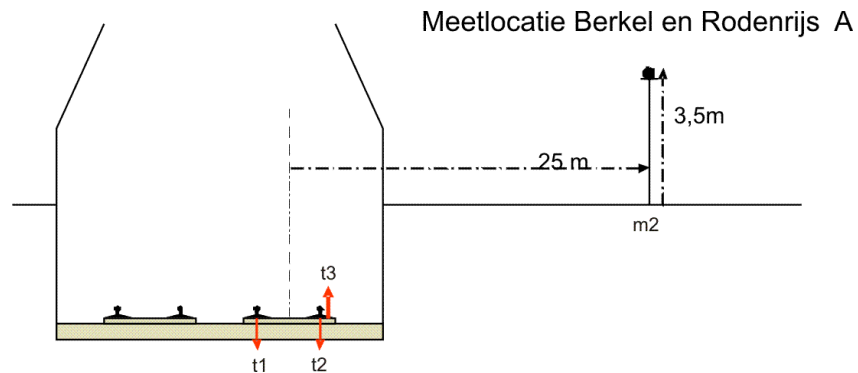
Locatie: Vliegveld Zestienhoven
 Periode: 7 september 2009, 10.00 uur tot 17.00 uur (bron Buienradar.nl)

Tabel A1.2: Meteogegevens.

bewolking	0/8
windrichting	210 graden (Zuid)
windsnelheid	5,5 m/s
temperatuur	17 – 23 °C
relatieve vochtigheid	75 – 47%
luchtdruk	1020 hPa

A.2 Locatie Berkel en Rodenrijs

Meetdatum: 7 september 2009
 Meetperiode: 10.30 uur tot 16.00 uur



Figuur A 2.1 Schematisch overzicht meetlocaties Berkel en Rodenrijs A. De microfoonpositie voor locatie B bevindt zich op gelijke hoogte en afstand tot het spoor.

Meetapparatuur

Tabel A 2.1: Overzicht gebruikte meetapparatuur.

Meetlocatie	Apparaat	Fabricant	type	Ser.nr.
A - t1	Trillingsopnemer	Bruel & Kjør	5858	2056236
A - t2	Trillingsopnemer	Bruel & Kjør	5858	2056240
A - t3	Trillingsopnemer	Bruel & Kjør	5858	2056234
A - m2	Microfoon	Bruel & Kjør	4193	2516186
A	Calibrator	Bruel & Kjør	4231	17025790
A	PULSE	Bruel & Kjør	3041/7540A	2560183
B - m1	Microfoon	Bruel & Kjør	4193	2413693
B	Calibrator	Bruel & Kjør	4231	83960364
B	PULSE	Bruel & Kjør	3041/7540A	2560183

Weersomstandigheden

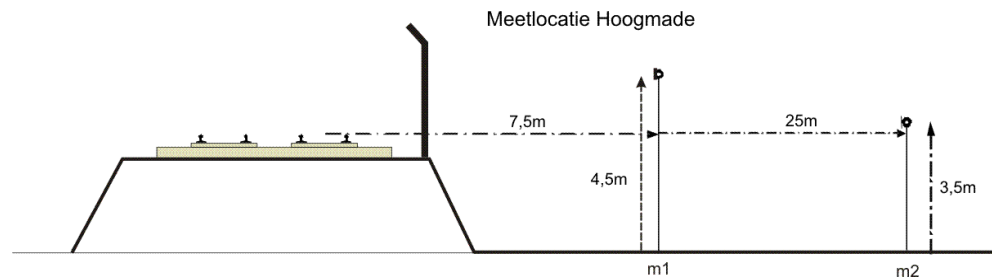
Locatie: Vliegveld Zestienhoven
 Periode: 7 september 2009, 10.00 uur tot 17.00 uur (bron Buienradar.nl).

Tabel A1.2: Meteogegevens.

bewolking	0/8
windrichting	210 graden (Zuid)
windsnelheid	5,5 m/s
temperatuur	17 – 23 °C
relatieve vochtigheid	75 – 47%
luchtdruk	1020 hPa

A.3 Locatie Hoogmade

Meetdatum: 10 september 2009
 Meetperiode: 8:00 uur tot 15.00 uur



Figuur A 3.1: Schematisch overzicht van de meetlocatie Hoogmade.

Meetapparatuur

Tabel A 3.1 Overzicht gebruikte meetapparatuur.

Meetlocatie	Apparaat	Fabrikant	type	Ser.nr.
m1	Microfoon	Bruel & Kjør	4176	7879
m2	Microfoon	Bruel & Kjør	4176	1130544
	Calibrator	Bruel & Kjør	4231	33004321
	Recorder	Rion	DA-20	

Weersomstandigheden

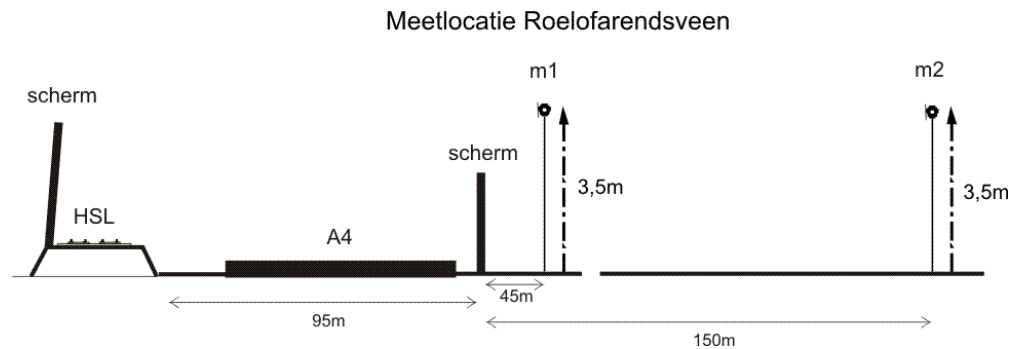
Locatie: Vliegveld Schiphol
 Periode: 10 september 2009, 8.00 uur tot 15.00 uur (bron Buienradar.nl)

Tabel A1.2: Meteogegevens.

windrichting	0 – 20 graden (Noord)
windsnelheid	5 m/s
temperatuur	17 – 19 °C
relatieve vochtigheid	85 – 65%
luchtdruk	1023 – 1028 hPa

A.4 Locatie Roelofarendsveen

Meetdatum: 21 september 2009
 Meetperiode: 14:00 uur tot 18.30 uur



Figuur A 4.1: Schematisch overzicht van de meetlocatie Roelofarendsveen.

Meetapparatuur

Tabel A 4.1: Overzicht gebruikte meetapparatuur.

Meetlocatie	Apparaat	Fabrikant	type	Ser.nr.
m1	Microfoon	Bruel & Kjør	4193	2413693
m2	Microfoon	Bruel & Kjør	4193	2516180
	Calibrator	Bruel & Kjør	4231	33000532
	PULSE	Bruel & Kjør	3401/7540A	2560183

Weersomstandigheden

Locatie: Vliegveld Schiphol
 Periode: 21 september 2009, 14.00 uur tot 19.00 uur (bron Buienradar.nl)

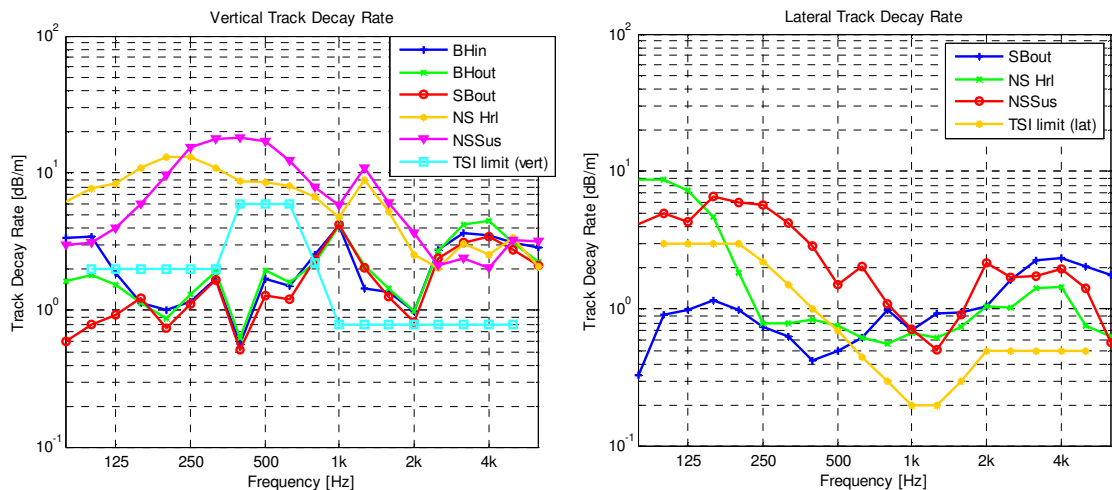
Tabel A1.2: Meteogegevens.

bewolking	0/8
windrichting	235 graden (Zuidwest)
windsnelheid	4,5 m/s
temperatuur	17 – 19 °C
relatieve vochtigheid	50 – 70%
luchtdruk	1025 hPa

B BIJLAGE Afstandsdemping spoor

De onderstaande figuur links toont de gemiddelde verticale afstandsdemping, bepaald uit de railtrillingen in Schiebroek en bij Berkel en Rodenrijs (locatie A). Ter vergelijking zijn ook de elders gemeten afstandsdempingen weergegeven, samen met de zogenaamde TSI-grenscurve voor verticale raildemping. Duidelijk is dat het HSL-spoor gedeeltelijk onder de TSI-curve ligt bij middenfrequenties en lagere frequenties, en een stuk minder gedempt is dan normaal ballastspoor.

In Schiebroek is ook de horizontale afstandsdemping bepaald, weergegeven in de rechter figuur. Deze laat een soortgelijke trend zien als de verticale afstandsdemping: de curve ligt beneden 1 kHz lager dan de TSI-curve en lager dan de curve voor normaal ballastspoor.



Figuur B 1: **LINKS: Gemiddelde *verticale* afstandsdemping bepaald op de locaties Schiebroek (SBout=spoor Oost, rail buiten) en Berkel en Rodenrijs (BHIn=rail binnen, BHout=rail buiten, beide spoor West) en ter vergelijking de verticale afstandsdemping van een ballastspoor met monoblok-dwarsliggers en de TSI-grenscurve voor testsporen.**

RECHTS: Gemiddelde *horizontale* afstandsdemping bepaald op de locatie Schiebroek (SBout= spoor Oost, rail buiten), en ter vergelijking afstandsdemping van een ballastspoor met monoblok-dwarsliggers en de TSI grenscurve (lat=horizontaal) voor testsporen.

C BIJLAGE Resultaten geluidmetingen langs het spoor

C.1 Analyse en presentatie

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

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] in 1/1 octaafbanden van 31,5 Hz tot 8 kHz en het totale niveau in dB(A).

Allereerst wordt per meetlocatie, per meetpositie en per richting (Amsterdam of Rotterdam) een overzichtstabel gegeven met daarin de totale niveaus in dB(A) van het gemeten A-gewogen niveau L_{Ax} . Vervolgens worden grafisch per meetlocatie en per meetpositie de A-gewogen gemeten niveaus L_{Ax} in 1/1 octaafbanden per treinpassage gepresenteerd.

C.2 Overzichtstabellen

Tabel C 2.1: A-gewogen niveau L_{Ax} in dB(A), meetlocaties 7,5 en 20 meter in *Schiebroek*.

Passage	1	2	3	4	5
Richting Rotterdam					
7,5 meter	107	107	108	107	107
20 meter	104	104	105	104	104
Richting Amsterdam					
7,5 meter	111	111	111	111	110
20 meter	106	105	105	105	105

Tabel C 2.2: A-gewogen niveau L_{Ax} in dB(A), meetlocaties 7,5 en 25 meter *Berkel en Rodenrijs A*.

Passage	1	2	3	4	5
Richting Rotterdam					
7,5 meter	96	95	95	96	94
25 meter	98	98	97	97	95
Richting Amsterdam					
7,5 meter	96	96	96	96	96
25 meter	94	94	94	93	94

Tabel C 2.3: A-gewogen niveau L_{Ax} in dB(A), meetlocatie 25 meter *Berkel en Rodenrijs B*.

Passage	1	2	3	4	5
Richting Rotterdam					
25 meter	99	99	98	98	
Richting Amsterdam					
25 meter	94	93	94	93	

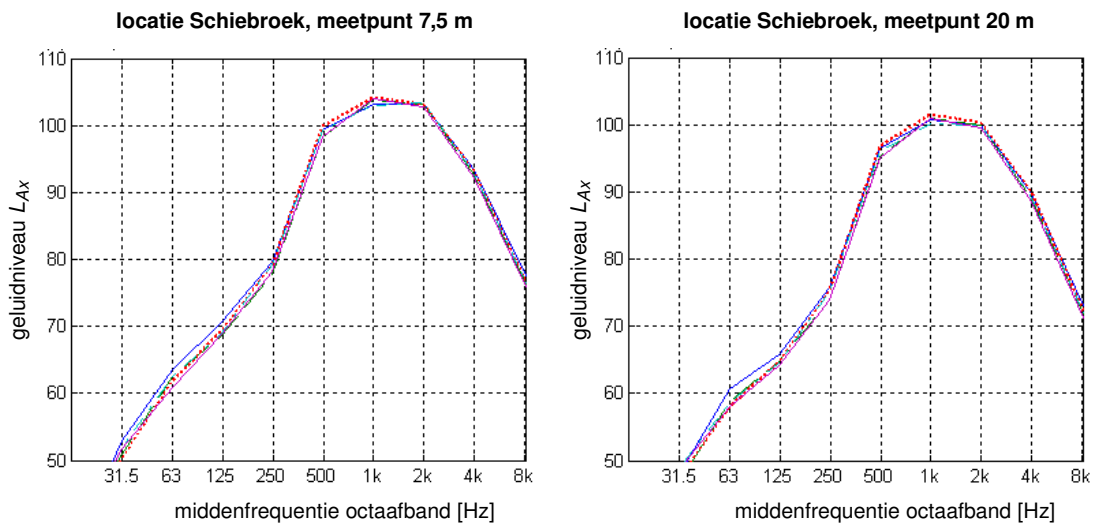
Tabel C 2.4: A-gewogen niveau L_{Ax} in dB(A), meetlocaties 7,5 en 25 meter *Hoogmade*.

Passage	1	2	3	4	5
Richting Rotterdam					
7,5 meter	90	91	90	90	88
25 meter	88	88	88	88	86
Richting Amsterdam					
7,5 meter	95	95	95	94	95
25 meter	92	92	92	90	92

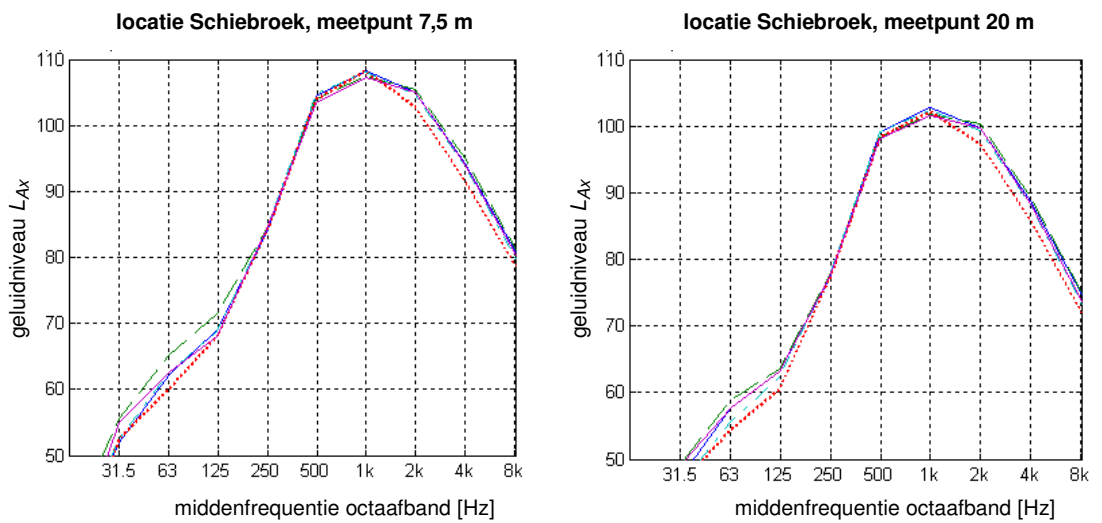
Tabel C 2.5: A-gewogen niveau L_{Ax} in dB(A), meetlocaties 140 en 245 meter *Roelofarendsveen*.

Passage	1	2	3	4	5	6
Richting Rotterdam						
45 meter	91	91	91	88	91	92
215 meter	-	87	89	86	87	88
Richting Amsterdam						
45 meter	94	92	93	93	91	91
215 meter	91	88	90	88	88	88

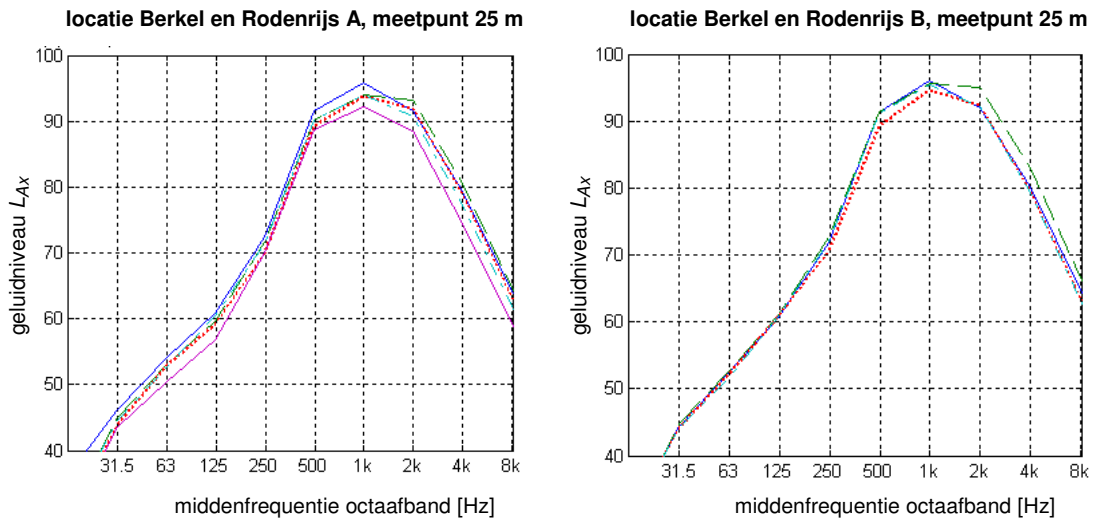
C.3 Octaafbandspectra



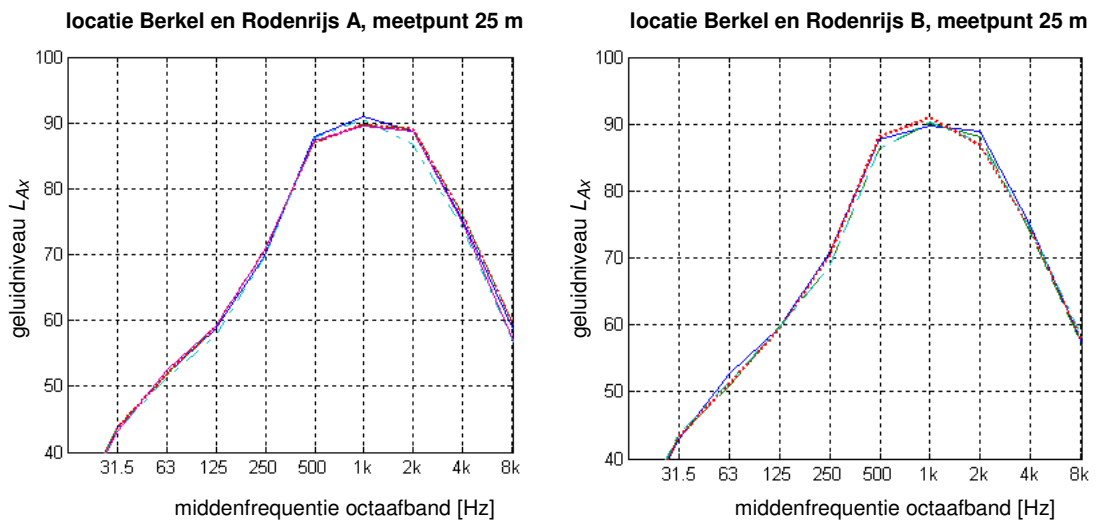
Figuur C 3.1a: A-gewogen niveaus L_{Ax} in dB(A) in octaafbanden per treinpassage richting Rotterdam, meetlocatie in Schiebroek.



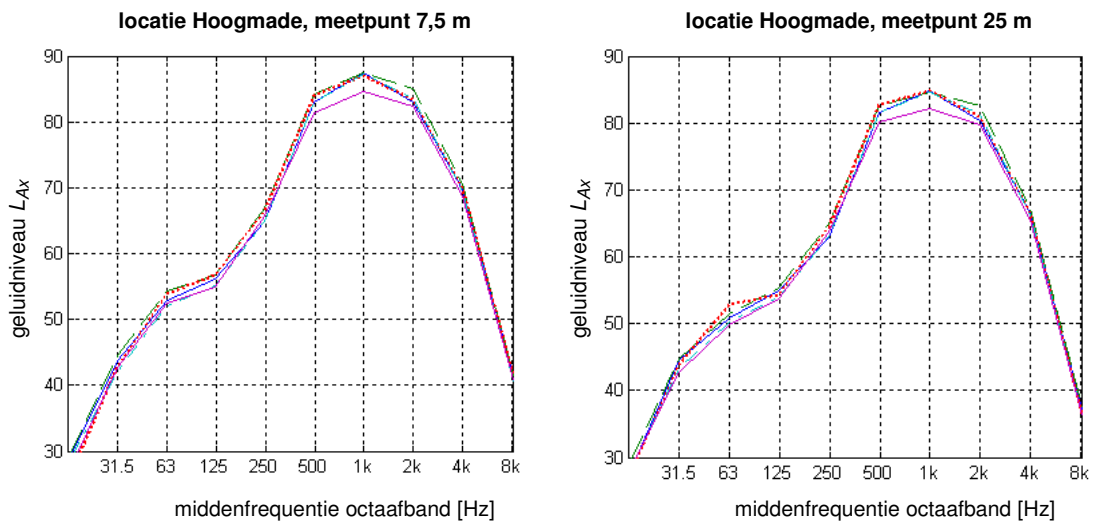
Figuur C 3.1b: A-gewogen niveaus L_{Ax} in dB(A) in octaafbanden per treinpassage richting Amsterdam, meetlocatie in Schiebroek.



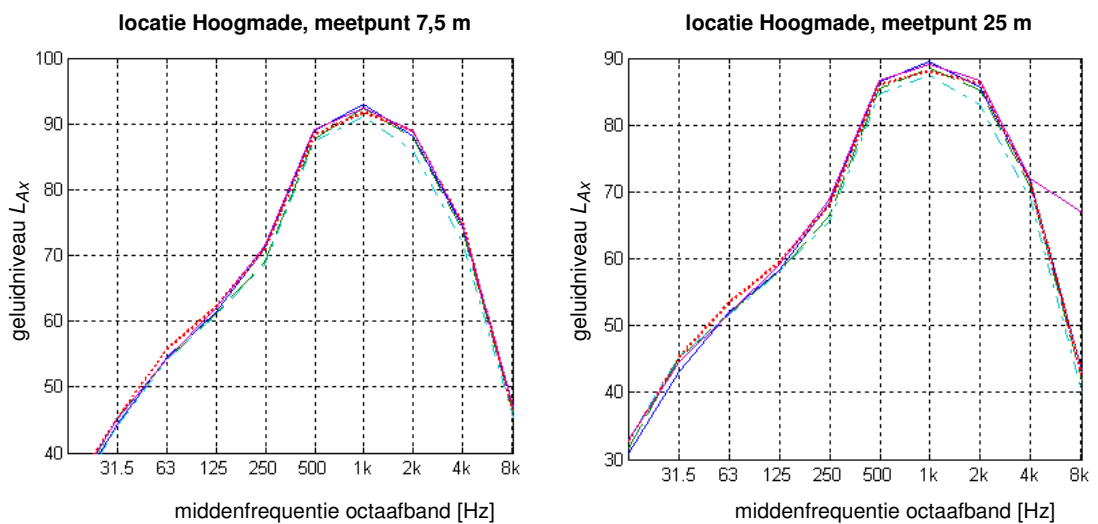
Figuur C 3.2a: A-gewogen niveaus L_{Ax} in dB(A) in octaafbanden per treinpassage richting Rotterdam, meetlocaties A en B in *Berkel en Rodenrijs*.



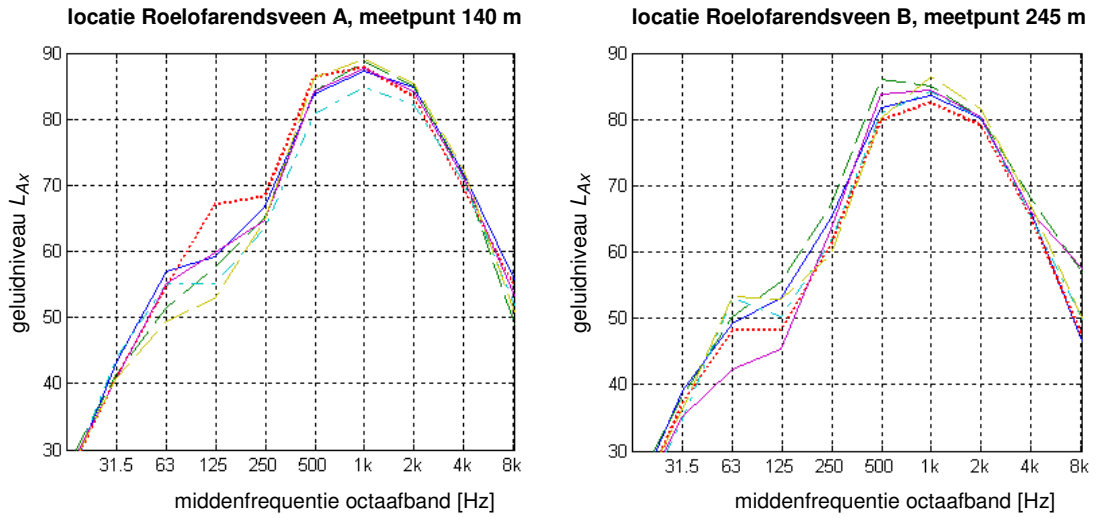
Figuur C 3.2b: A-gewogen niveaus L_{Ax} in dB(A) in octaafbanden per treinpassage richting Amsterdam, meetlocaties A en B in *Berkel en Rodenrijs*.



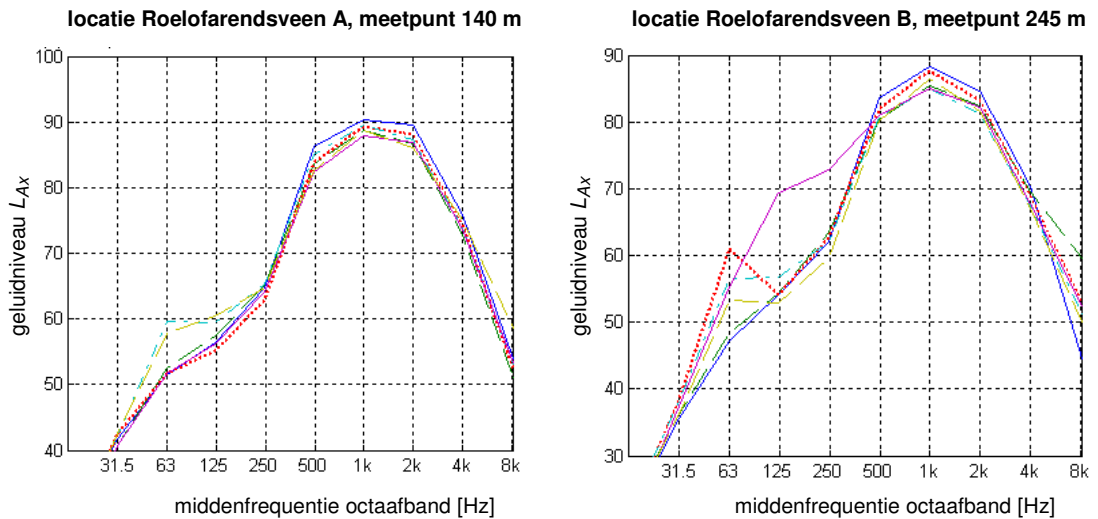
Figuur C 3.3a: A-gewogen niveaus L_{Ax} in dB(A) in octaafbanden per treinpassage richting Rotterdam, meetlocatie in Hoogmade.



Figuur C 3.3b: A-gewogen niveaus L_{Ax} in dB(A) in octaafbanden per treinpassage richting Amsterdam, meetlocatie in Hoogmade.



Figuur C 3.4a: **A-gewogen niveaus L_{Ax} in dB(A) in octaafbanden per treinpassage richting Rotterdam, meetlocaties A en B in Roelofarendsveen.**



Figuur C 3.4b: **A-gewogen niveaus L_{Ax} in dB(A) in octaafbanden per treinpassage richting Amsterdam, meetlocaties A en B in Roelofarendsveen.**