

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-2010-01634

Geluidemissiemeting van aangepaste Priorijtuigen op het HSL-spoor

Datum	25 juni 2010
Auteur(s)	ir. M.G. Dittrich ing. F. Staats J. van 't Hof
Opdrachtgever	ProRail t.a.v. de heer ir. C. Roovers Postbus 2038 3500 GA UTRECHT
Projectnummer	033.26117/01.05
Aantal pagina's	23 (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.

Samenvatting

TNO heeft in opdracht van ProRail geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd aan Prio-intercityrijtuigen rijdend op HSL-betonspoor, ter bepaling van het geluidreducerend effect van de aanpassing van het remsysteem en het afdraaien van de wielen.

Het Prio-intercitymaterieel was tot voorjaar 2010 schijfgeremd met een toegevoegde gietijzeren blokrem. Sinds 6 juni 2010 is deze toegevoegde blokrem op het aanwezige materieel uitgeschakeld en zijn de wielen afgedraaid, met het oog op geluidreductie.

Uit metingen aan verschillende treinen die circa 10.000 km zijn ingereden blijkt dat een geluidreductie van 5 tot 9 dB behaald is ten opzichte van november 2009, afhankelijk van de railruwheid. Op het oostelijke spoor in Schiebroek zijn de hoogste reducties behaald, rond 9 dB. Het westelijke spoor vertoonde een hogere railruwheid en daarmee een hogere geluidemissie van de aangepaste Prio-rijtuigen. Het is de verwachting dat het aangepaste Prio-materieel kan worden ingedeeld in categorie 8 van de standaardrekenmethoden voor railverkeer.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
2	Meetlocatie, meetopstelling en materieel	5
2.1	De meetlocatie	5
2.2	Conditie van het spoor en meteocondities	5
2.3	De meetopstelling en apparatuur	6
2.4	Het materieel.....	6
3	Meetresultaten	7
3.1	Overzicht treinpassages 16 juni 2010	7
3.2	Afstandsdemping van het spoor.....	7
3.3	Wiel/railruwheid	8
3.4	Overdrachtfunctie	9
3.5	Geluidrukniveaus en geluidreductie	9
3.6	Vergelijking met bestaande treincategorieën.....	13
4	Conclusies	15
5	Referenties	16
6	Ondertekening	17
	Bijlage(n)	
	A Railloopvlakconditie	
	B Meetapparatuur en meteogegevens	
	C Niveauverloop en spectrogrammen	

1 Inleiding

TNO heeft in opdracht van ProRail op 16 juni 2010 geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd aan Prio-intercityrijtuigen rijdend op HSL-betonspoor, ter bepaling van het geluidreducerend effect ten gevolge van de aanpassing van het remsysteem en afgedraaide wielen.

Het Prio-intercitymaterieel was tot voorjaar 2010 schijfgeremd met een toegevoegde gietijzeren blokrem. Sinds 6 juni 2010 is deze toegevoegde blokrem op het aanwezige materieel uitgeschakeld en zijn de wielen afgedraaid met het oog op geluidreductie. Ten tijde van de metingen op 16 juni hadden de rijtuigen na afdraaien ongeveer 10.000 km afgelegd, waardoor de wielloopvlakken zijn ingereden.

In dit rapport worden de meetresultaten van het aangepaste materieel vergeleken met de geluidemissie vóór de aanpassing, gemeten door TNO in september en november 2009 [1], [2], en met de geluidemissie van bestaande treincategorieën van het reken- en meetvoorschrift geluidhinder [3].

In hoofdstuk 2 worden de meetlocatie, de meetopstelling en het materieel beschreven. De meetresultaten worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd, gevolgd door de conclusies in hoofdstuk 4.

2 Meetlocatie, meetopstelling en materieel

2.1 De meetlocatie

De metingen zijn uitgevoerd op dezelfde locatie waar metingen eerder in september en november 2009 plaatsvonden, in Schiebroek ten noorden van Rotterdam bij km 106,9, zie figuur 2.1. Deze locatie is op maaiveldhoogte en voldoet vrijwel aan de eisen voor een meting volgens de norm ISO 3095 [4].



Figuur 2.1: De meetlocatie Schiebroek. De rode punten in de luchtfoto links zijn de posities van de microfoons. De foto's rechts tonen het zicht richting noorden (Berkel en Rodenrijs/Amsterdam). Rechtsonder de Traxx-locomotief met Prio-rijtuigen.

2.2 Conditie van het spoor en meteocondities

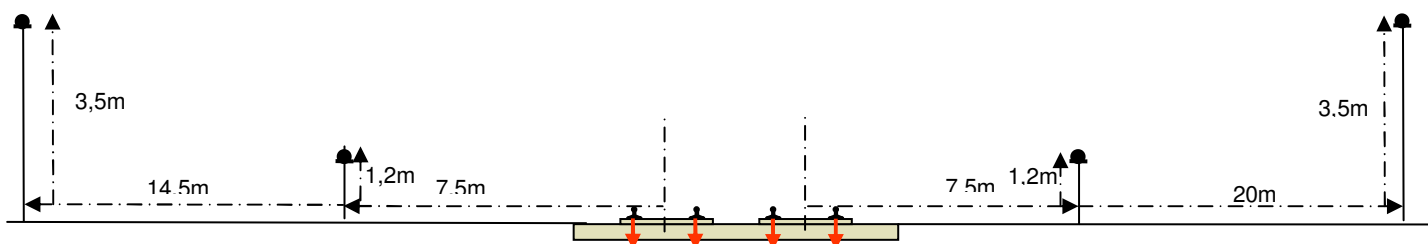
Van het spoor zijn geen railruwheidsgegevens beschikbaar. De rails zijn in de tweede helft van november 2009 geslepen. Foto's van het loopvlak van de rails genomen vóór het slijpen op 9 november 2009 en op 22 juni 2010 na de metingen zijn in bijlage A weergegeven. De slijpsporen zijn nog steeds zichtbaar op de foto's van juni 2010, vooral op de buitenrail op het westspoor. Het loopvlak op de westelijke rails van beide sporen lijkt in juni 2010 verbreed ten opzichte van 2009. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door de gang van de trein, die uit een zeer flauwe bocht komt. Op alle rails is in juni 2010 het loopvlak met rollend contact verder ingesleten en beter zichtbaar dan in november 2009.

De meteorologische gegevens gedurende de metingen zijn opgenomen in bijlage B.

2.3 De meetopstelling en apparatuur

Er is aan beide kanten van het spoor geluid en trillingen gemeten, zie figuur 2.2. De microfoonposities lagen aan beide kanten op 7,5 m afstand en 1,2 m hoogte boven BS, en aan de westkant op 14 m afstand, 3,5 m boven BS en aan de oostkant op 20 m afstand en 3,5 m boven BS. Er is midden onder alle 4 rails een versnellingsopnemer geplaatst ter bepaling van de verticale railtrillingen. Een lijst van gebruikte apparatuur staat in bijlage B.

Meetposities Schiebroek 16 juni 2010



Figuur 2.2: Overzicht posities meetmicrofoons en trillingsopnemers in Schiebroek, orientatie in noordelijke richting.

2.4 Het materieel

Het te beoordelen materieel bestaat uit zes Prio-rijtuigen getrokken door een Traxx locomotief. Tot 6 juni 2010 was het Prio-intercity materieel (zie figuur 2.1) schijfgeremd met een toegevoegde gietijzeren blokrem. Sinds 6 juni 2010 is deze toegevoegde blokrem op het aanwezige materieel uitgeschakeld en zijn de wielen van de rijtuigen afgedraaid met het oog op te verwachten geluidreductie. Ten tijde van de metingen op 16 juni hadden de rijtuigen ongeveer 10.000 km afgelegd, waardoor de wielloopvlakken zijn ingereden.

Er zijn verschillende treinstammen gemeten waarvan de samenstelling in tabel 3.1 is weergegeven.

3 Meetresultaten

In het navolgende worden meetresultaten getoond en besproken en steeds vergeleken met de resultaten uit september/november 2009.

3.1 Overzicht treinpassages 16 juni 2010

Een overzicht van de gemeten treinpassages is in tabel 3.1 weergegeven. Ten behoeve van dit rapport zijn alleen de Traxx/Prio-passages uitgewerkt met een snelheid van rond 160 km/h. De Thalys en overige passages zijn hier niet uitgewerkt, maar zijn eventueel voor latere analyse beschikbaar.

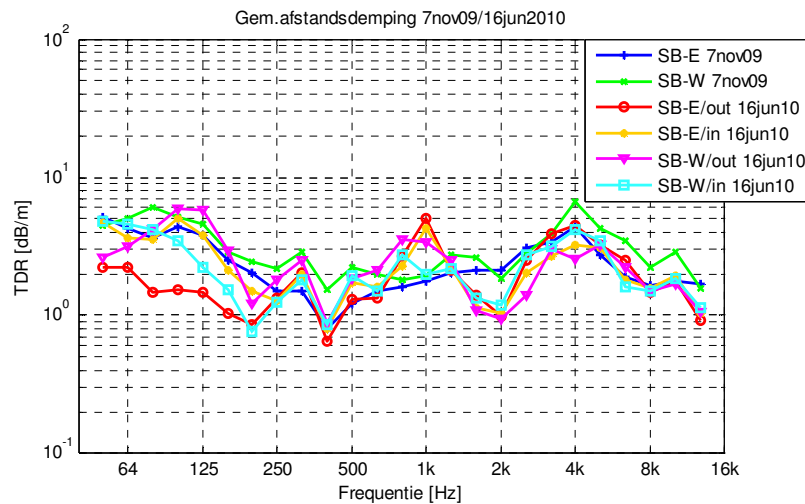
Tabel 3.1: Treinpassages met treinnummers en rijtuignummers gemeten op 16 juni 2010.

Spoor	Tijd	Richting	Type	Formatie	Treinnr	Snelheid	Tp	Filenaam
Oost	12:35	A	Traxx/Prio	1+6	22377	157	4,07	meting13_3
Oost	14:38	A	Traxx/Prio	1+6	22386	156	4,09	meting18_4
Oost	15:35	A	Traxx/Prio	1+6	22390	156	4,09	meting21_2
West	10:01	R	Traxx/Prio	1+6	22363	160	3,99	meting6_4
West	15:00	R	Traxx/Prio	1+6	22388	153	4,17	meting19_4
West	16:05	R	Traxx/Prio	1+6	22392	164	3,89	meting23_2

Treinnr	ICR nr	ICR nr	ICR nr	ICR nr	ICR nr	ICR nr
22377	13012460	13011679	13041108	13017166	11619774	12960739
22386	13014979	13039404	13015330	13014805	13005573	12957132
22390	13012460	13011679	13041108	13017166	11619774	12960739
22363	13013724	12963568	13014405	13011674	13013220	12958716
22388	12961438	11551117	13037112	13015975	13012112	13014694
22392	13013724	12963568	13014405	13011674	13013220	12958716

3.2 Afstandsdemping van het spoor

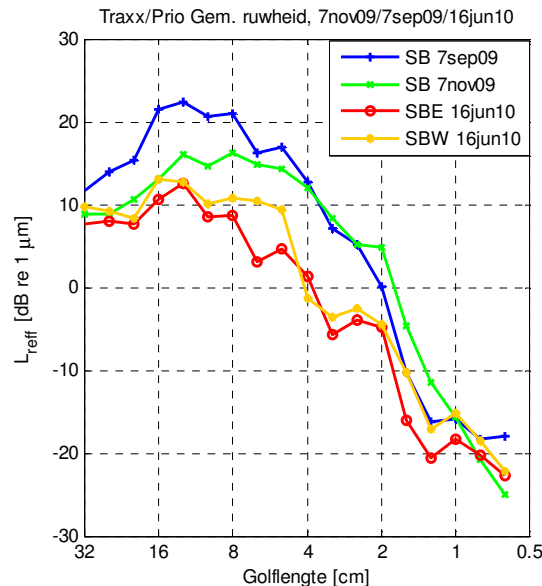
De afstandsdemping van het spoor is een grootheid die mede bepaalt hoeveel geluid de rails afstralen. De verticale afstandsdemping herleid uit railtrillingen met de PBA-software van TNO wordt in figuur 3.1 getoond voor alle vier rails en vergeleken met de gemeten niveaus in 2009. De afstandsdemping vertoont geen grote significante verschillen over de tijd.



Figuur 3.1 Verticale afstandsdeemping op 4 rails in Schiebroek in juni 2010, vergeleken met eerdere metingen in 2009. E=oostspoor, W=westspoor, in= rail binnen, out= rail buiten.

3.3 Wiel/railruwheid

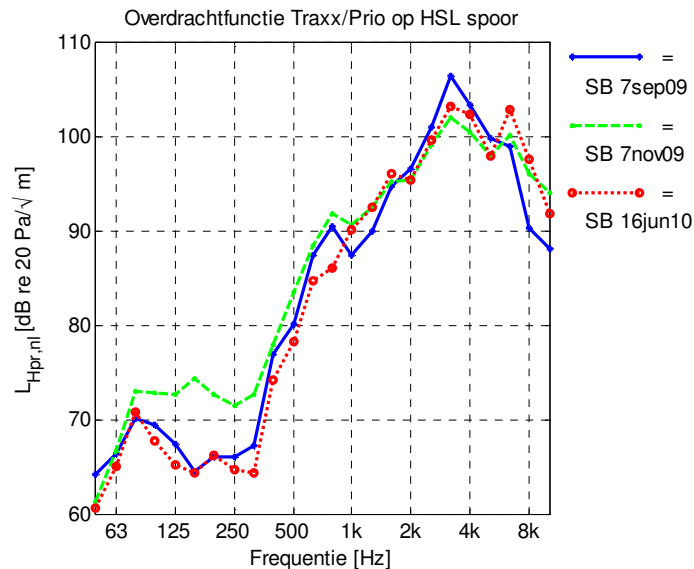
De gecombineerde wiel/rail ruwheid wordt bepaald uit de railtrillingen en de afstandsdeemping van het spoor met behulp van de PBA-software. Deze is op alle 4 rails gemeten tijdens alle treinpassages en wordt in figuur 3.2 getoond als gemiddelde op het oost- en westspoor, en voor de metingen in september/november 2009 en juni 2010. Er is een duidelijke reductie in de gecombineerde ruwheid te zien, waarbij de reductie groter is voor het oostspoor.



Figuur 3.2 Gecombineerde wiel/rail-ruwheid van de Traxx/Prio-trein in Schiebroek in juni 2010, vergeleken met eerdere metingen in 2009. E= oostspoor, W=westspoor.

3.4 Overdrachtfunctie

De overdrachtfunctie is een maat voor de verhouding tussen de gecombineerde wiel/rail- ruwheid en geluid en zou theoretisch nagenoeg constant moeten blijven, ook al verandert de ruwheid. De overdrachtfunctie bepaald met de PBA-software staat in figuur 3.3 weergegeven voor de metingen in 2009 en 2010.



Figuur 3.3 Overdrachtfunctie van de Traxx/Prio op HSL-spoor in Schiebroek in juni 2010, vergeleken met eerdere metingen in 2009.

3.5 Geluidrukniveaus en geluidreductie

De gemiddelde A-gewogen geluiddrukexpositie niveaus (L_{Ax}) voor Traxx/Prio passages zijn voor de metingen van juni 2010 in tabel 3.2 samengevat. Tabel 3.3 geeft een vergelijking tussen de metingen in 2009 en 2010; de verschillen staan in tabel 3.4. Het expositieniveau L_{Ax} is bepaald voor de hele trein, waarbij in 2009 steeds 7 rijtuigen aanwezig waren, en in juni 2010 6 rijtuigen. Dit geeft een reductie van de L_{Ax} -niveaus van de hele trein van 0,6 dB. Dit verschil is niet in de onderstaande tabellen verdisconteerd.

Tabel 3.2: 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 in juni 2010, Traxx/Prio-treinen bij 160 km/h.

Passage	13	18	21	6	19	23	Gem.
Richting A'dam							
14,5/3,5 m West				95	95	94	94,7
7,5/1,2 m West				95	96	96	95,7
7,5/1,2 m Oost				99	100	99	99,3
20/3,5 m Oost				94	94	94	94,0
Richting R'dam							
14,5/3,5 m West	100	102	100				101
7,5/1,2 m West	104	105	104				104,3
7,5/1,2 m Oost	99	100	99				99,3
20/3,5 m Oost	96	98	96				96,7

Tabel 3.3: Gemiddelde L_{Ax} -niveaus in dB(A) van Traxx/Prio-treinen bij 160 km/h bepaald op 4 microfoonposities op de meetlocatie Schiebroek in 2009 en 2010.

Meetdatum	L_{Ax} 7,5m (Oost)	L_{Ax} 20m (Oost)	L_{Ax} 7,5m (West)	L_{Ax} 14,5m (West)
Sept.2009				
Ri. A'dam	110,8	105,2		
Ri. R'dam			107,2	104,2
Nov. 2009				
Ri. A'dam	109,5	103,5	104,5	104
Ri. R'dam	107	102,8	109,5	106,8
Juni 2010				
Ri. A'dam	99,3	94,0	95,7	94,7
Ri. R'dam	99,3	96,7	104,3	101

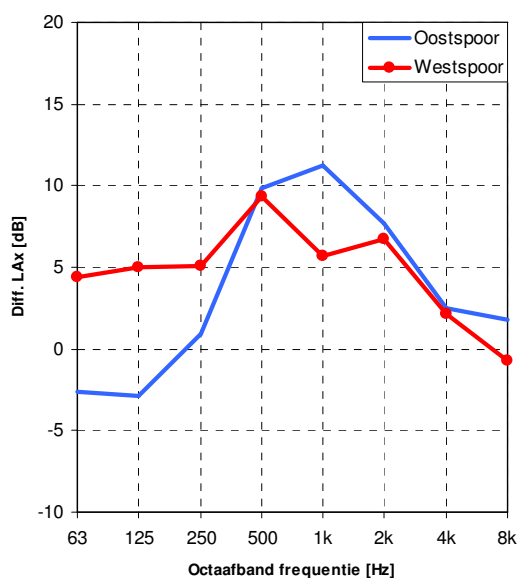
Tabel 3.4: Verschillen in L_{Ax} -niveaus in dB van Traxx/Prio-treinen bij 160 km/h gemeten op 4 microfoonposities op de locatie Schiebroek in 2009 en 2010.

Vershil- periode	L_{Ax} 7,5m (Oost)	L_{Ax} 20m (Oost)	L_{Ax} 7,5m (West)	L_{Ax} 14,5m (West)
Sept 2009 – Nov 2009				
Ri. A'dam	1,3	1,7		
Ri. R'dam			- 2,3	-2,6
Nov 2009- Juni 2010				
Ri. A'dam	10,2	9,5	8,8	9,3
Ri. R'dam	7,7	6,1	5,2	5,8

Uit tabel 3.4 blijkt dat er grote reducties in de orde van 9 tot 10 dB optreden op het oostspoor, en reducties van 5 tot 7 dB op het westspoor. Dit is waarschijnlijk te wijten aan een hogere railruwheid van het westspoor. Mogelijk kan ook een verschil optreden in de positie van het contactpunt tussen wiel en rail, ten gevolge van de dynamische beweging van de trein. Indien het verschil in aantal rijtuigen wordt verdisconteerd (6 in plaats van 7), dan is de effectieve reductie 0,6 dB kleiner.

Hiermee kan worden gesteld dat de maatregel leidt tot 5 tot 9 dB geluidreductie in de geluidemissie van de rijkstrijtuigen, afhankelijk van de conditie van de rails.

De geluidreductie ten opzichte van 2009 in octaafbanden is in figuur 3.4 en in tabel 3.5 weergegeven.



Figuur 3.4: Verschillen in L_{Ax} -octaafspectra van Traxx/Prio-treinen bij 160 km/h tussen metingen in november 2009 en juni 2010, zonder correctie voor het aantal rijkstrijtuigen (geeft 0,6 dB minder reductie).

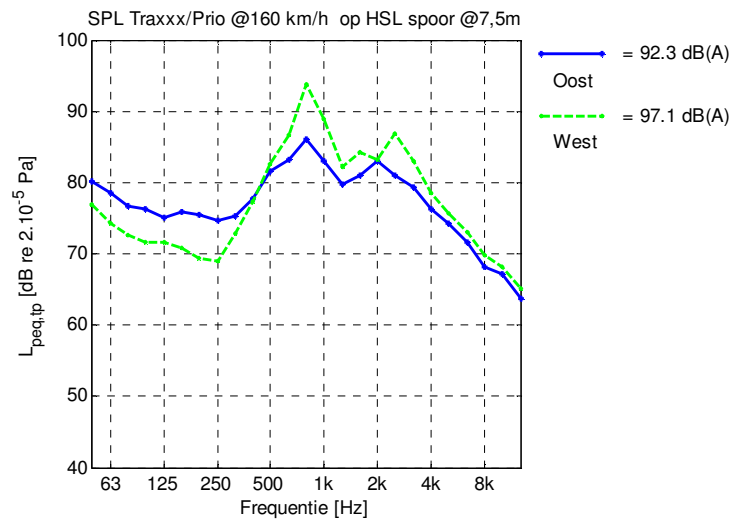
Tabel 3.5: Verschillen in L_{Ax} -octaafspectra van Traxx/Prio-treinen bij 160 km/h tussen metingen in november 2009 en juni 2010, zonder correctie voor het aantal rijkstrijtuigen (geeft 0,6 dB minder reductie).

Frequentie [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Westspoor	4,4	5,0	5,1	9,3	5,7	6,7	2,1	-0,8
Oostspoor	-2,7	-2,9	0,9	9,9	11,3	7,7	2,5	1,8

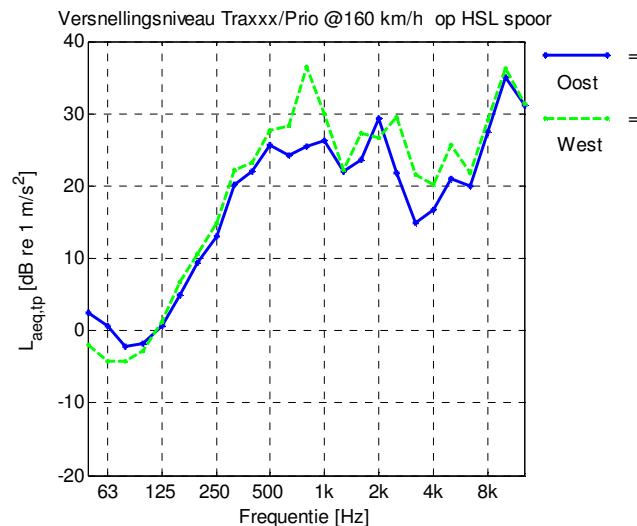
In de figuren 3.5 en 3.6 staan spectra van de geluiddruk en de railtrilling (versnelling), bepaald over de passagetijd T_p en gemiddeld over enkele passages op het oost- en westspoor. Een sterk tonale component rond 800 Hz is vooral op het westspoor gemeten, hetgeen bij 160 km/h overeenkomt met een golflengte van 5,5 cm. Aangezien dit op het oostspoor veel zwakker is, is het aannemelijk dat er sprake is van ruwere rails op het westspoor. Op het westspoor is een piek bij 3 kHz zichtbaar, die bij 160 km/h overeenkomt met 1,5 cm golflengte. Op het oostspoor is een piek bij 2 kHz te zien, die bij 160 km/h overeenkomt met 2,2 cm golflengte. Bij alle passages was tonaal geluid ook goed hoorbaar.

Het niveauverloop van de geluiddruk en de railtrillingen is opgenomen in bijlage C, samen met spectrogrammen van 2 treinpassages. Uit het niveauverloop van de trillingen is te zien dat op het oostspoor de wiel/rail-ruwheid duidelijk lager is dan op het westspoor.

Verder zijn vlakke wielkanten te identificeren hoewel deze voor deze passages het totale niveau niet sterk beïnvloeden. Op het oostspoor komt de bijdrage van de locomotief sterker naar voren, omdat de rijtuigen in vergelijking stiller zijn. Dit heeft voor de geluidemissie te maken met wielruwheid van de locomotief, die wat hoger is dan voor de stillere rijtuigen, maar voor een deel mogelijk ook met de koeling van de locomotief.



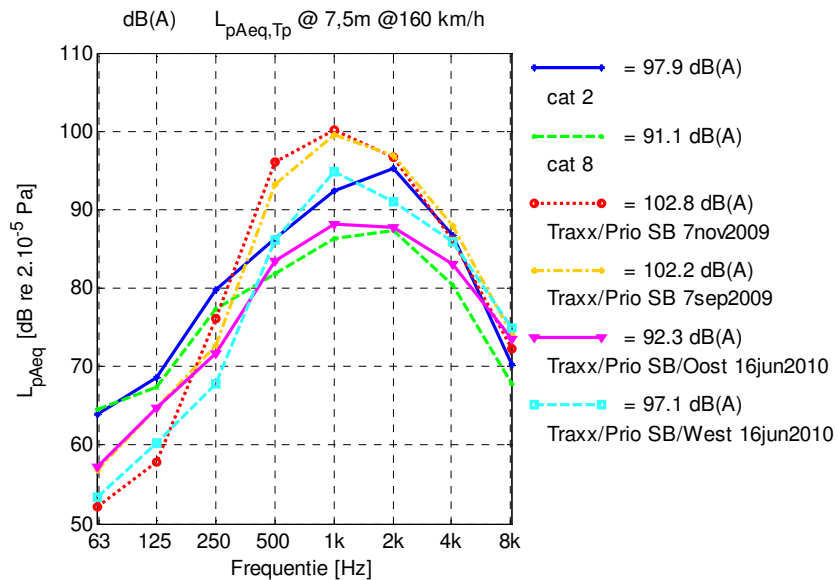
Figuur 3.5: Tertsbandspectra van de geluiddruk passageniveau $L_{peq,ip}$ van Traxx/Prio-treinen in Schiebroek bij 160 km/h op het oost- en westspoor.



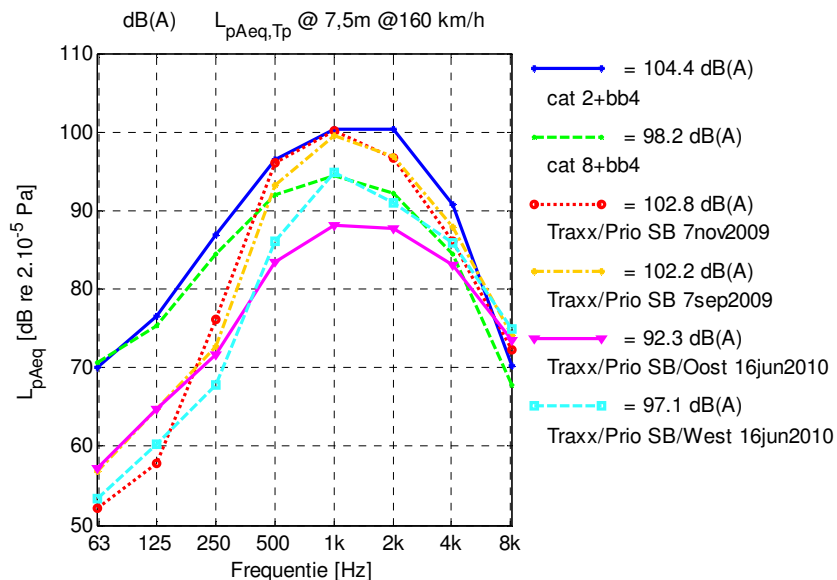
Figuur 3.6: Tertsbandspectra van het trillingsniveau van de passage $L_{aeq,ip}$ van Traxx/Prio-treinen in Schiebroek bij 160 km/h op het oost- en westspoor.

3.6 Vergelijking met bestaande treincategorieën

De gemeten geluidniveaus op het oost- en westspoor worden in onderstaande figuren vergeleken met niveaus berekend met het Reken- en meetvoorschrift, uitgaande van passageniveaus. In figuur 3.7 worden de gemeten niveaus vergeleken met categorie 2 en categorie 8 op ballastspoor ($bb=1$). In figuur 3.8 wordt dezelfde vergelijking gemaakt met bovenbouwcorrectieterm $bb=4$ (betonspoor).



Figuur 3.7: Vergelijking van berekende niveaus voor categorieën 2 en 8 op ballastspoor met gemeten passageniveaus van het Traxx/Prio materieel in 2009 en 2010.



Figuur 3.8: Vergelijking van berekende niveaus voor categorieën 2 en 8 met bovenbouwcorrectieterm $bb=4$ voor betonspoor, met gemeten passageniveaus van het Traxx/Prio-materieel in 2009 en 2010.

Voor de meting op het oostspoor op 16 juni 2010 geldt dat deze 1 dB boven het berekende spectrum voor categorie 8 op ballastspoor uitkomt. Voor de meting op het westspoor is de meting 6 dB hoger. Indien voor betonspoor wordt gerekend, dan vallen de gemeten niveaus in de belangrijkste octaafbanden ruim onder de berekende niveaus. Dit toont aan dat onder goede railruweidcondities en bij goed materieelonderhoud, het Traxx-Prio materieel op het betonplatenpoor van de HSL-Zuid waarschijnlijk akoestisch gelijkwaardig is met categorie 8 op ballastspoor.

4 Conclusies

Uit metingen aan verschillende Traxx/Prio-treinen waarvan de toegevoegde remblokken zijn uitgeschakeld en de wielen zijn afgedraaid, blijkt dat na een inrijperiode van circa 10.000 km een geluidreductie van 5 tot 9 dB behaald is ten opzichte van november 2009. Op het oostelijke spoor in Schiebroek zijn de hoogste reducties behaald van ongeveer 9 dB. Het westelijke spoor vertoonde een hogere railruwheid en daardoor een hogere geluidemissie van de aangepaste Prio-rijtuigen. De reductie op het westspoor lag rond 5 dB. Het is de verwachting dat het aangepaste Prio-materieel kan worden ingedeeld in categorie 8 van de standaardrekenmethoden voor railverkeer.

Uit de vergelijking van de gemeten afstandsdeмпing, overdrachtfuncties en gecombineerde ruwheid blijkt dat de geluidreductie vooral een gevolg is van verminderde wielruwheid. De reductie wordt verminderd bij hogere railruwheid zoals op het westelijke spoor aanwezig was tijdens de meting in juni 2010. Het is te verwachten dat het geluidniveau en het tonale karakter daarvan verder zal afnemen indien de railruwheid in de tijd afneemt.

5 Referenties

- [1] A. Eisses, M. Dittrich e.a., Evaluatie van de geluidemissie van de HSL-Zuid (dienstregeling september 2009), TNO rapport MON-RPT-033-DTS-2009-03096, 15 oktober 2009.
- [2] A. Eisses, M. Dittrich e.a., Evaluatie van de geluidemissie van hogesnelheidsmaterieel (Thalys) op de HSL-Zuid (dienstregeling december 2009), TNO rapport MON-RPT-2010-00055, 11 januari 2010.
- [3] 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.
- [4] EN ISO 3095:2005, 'Railway applications - Acoustics – Measurement of noise emitted by railbound vehicles'.

6 Ondertekening








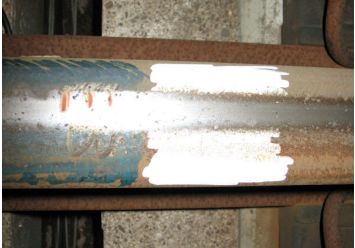
Delft, 25 juni 2010

TNO Industrie en Techniek

ing. P. Hendriksen

ir. M.G. Dittrich
Auteur

A Railloopvlakconditie

	9 november 2009	22 juni 2010
Westspoor rail buiten		
Westspoor rail binnen		
Oostspoor rail binnen		
Oostspoor rail buiten		

Figuur A1: Railloopvlak bij km 106,9 in Schiebroek in november 2009 vóór het slijpen en in juni 2010 na de metingen. De foto's geven de rails weer van boven, van west buiten naar oost buiten.

B Meetapparatuur en meteogegevens

Meetdatum: 16 juni 2010
 Meetperiode: 08:00 uur tot 16:00 uur

Meetapparatuur en programmatuur

Tabel B1: Overzicht gebruikte meetapparatuur.

Meetlocatie	Apparaat	Fabrikant	type	Serienr.
a1	versnellingsopnemer	Bruel&Kjær	5958	2056232
a2	versnellingsopnemer	Bruel&Kjær	5958	2056237
a3	versnellingsopnemer	Bruel&Kjær	5958	2056236
a4	versnellingsopnemer	Bruel&Kjær	5958	2056240
m1	microfoon	Bruel&Kjær	4193	2516186
m2	microfoon	Bruel&Kjær	4193	2594113
m3	microfoon	Bruel&Kjær	4193	2413694
m4	microfoon	Bruel&Kjær	4193	2516180
m1	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	2659646
m2	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	2053568
m3	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	2569346
m4	voorversterker	Bruel&Kjær	2669	2569347
	PULSE Inputmod. LANXI 6ch 51,2kHz	Bruel & Kjær	3050-A-060	2556925
	PULSE I/O module LANXI 4/2 51,2kHz	Bruel & Kjær	3160-A-042	100170
	Mainframe : 11 Module for LANXI	Bruel & Kjær	3660-D-000	100102

Pulse software : Labshop versie 14.1.1
 Data verwerkingssoftware: Matlab 7.5,
 Pass-by Analysis software (TNO), versie 3.0.

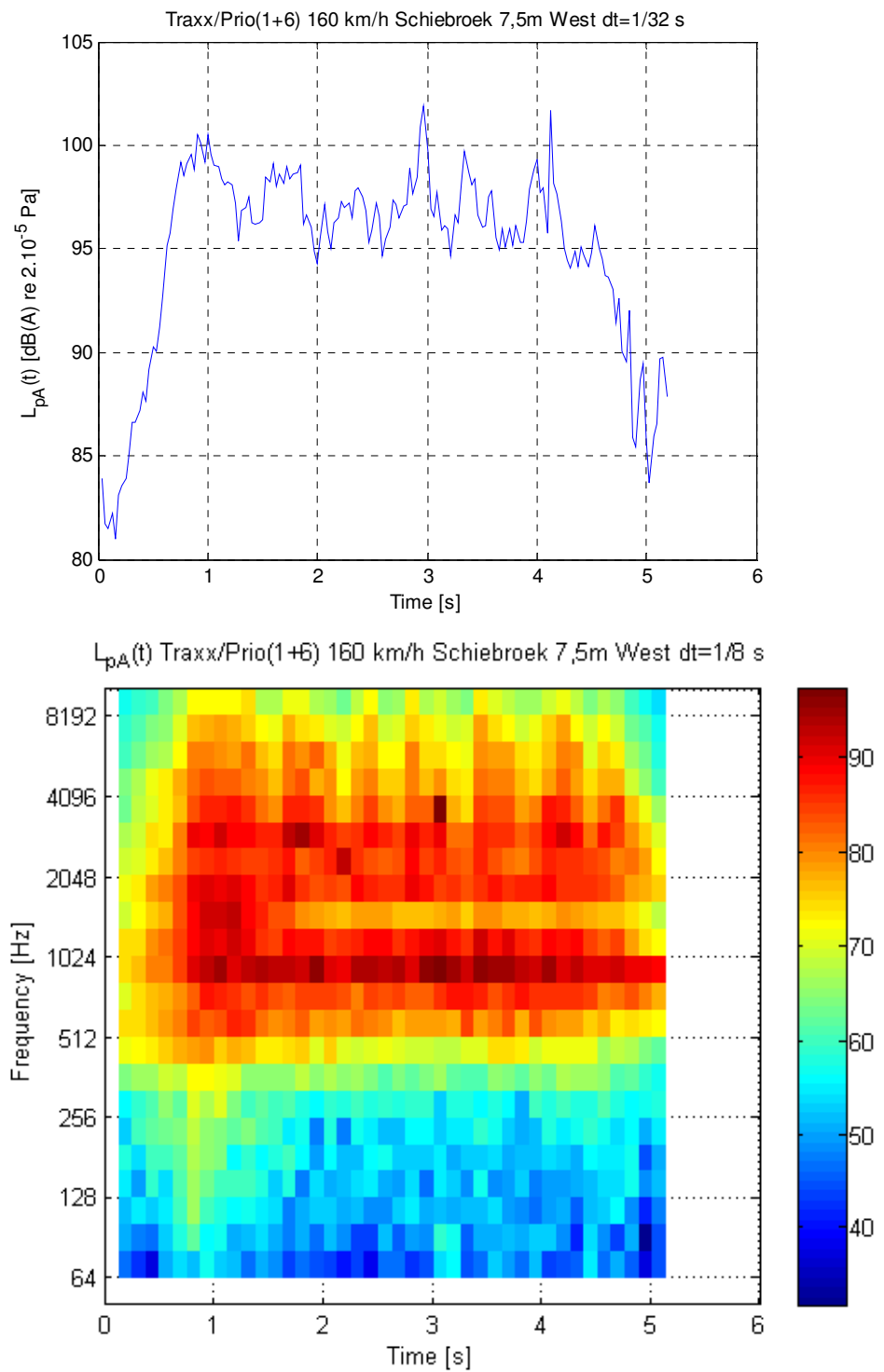
Weersomstandigheden

Locatie: Meetstation Rotterdam (bron Buienradar.nl)
 Periode: 16 juni 2010, 08:00 uur tot 14:00 uur

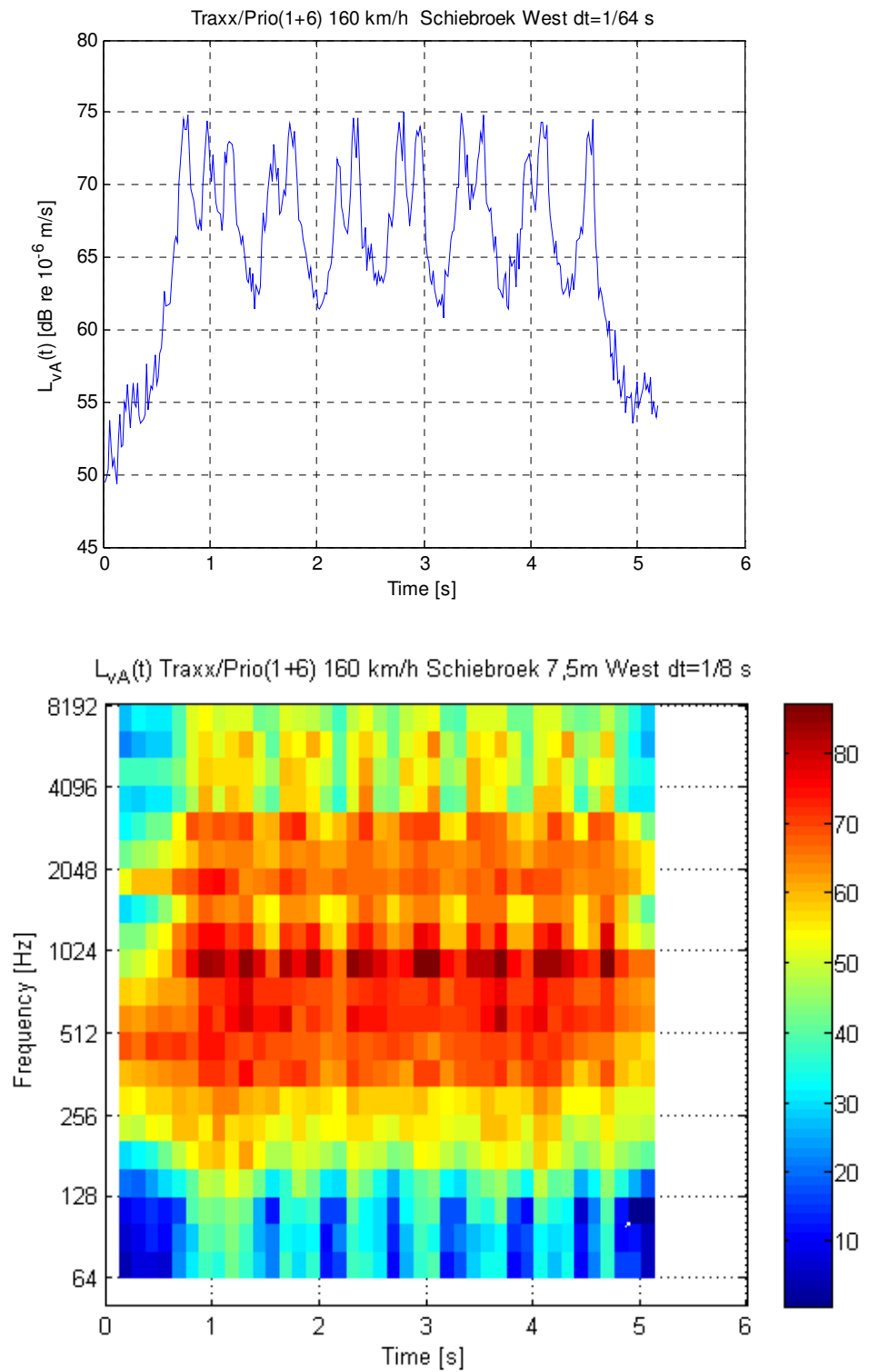
Tabel B2: Meteogegevens.

windrichting	46 ° - Noordoost
windsnelheid	5 – 7,7 m/s , vlagen (08:00-16:00)
temperatuur	14 -20 °C (08:00-16:00)
relatieve vochtigheid	77-54 % (08:00-16:00)

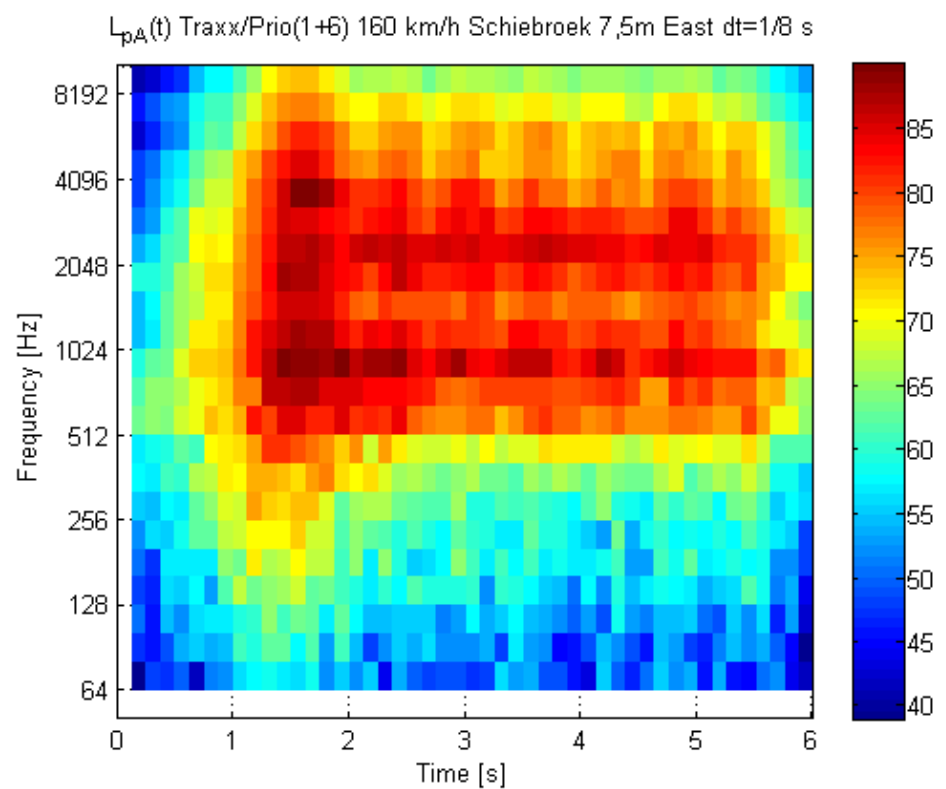
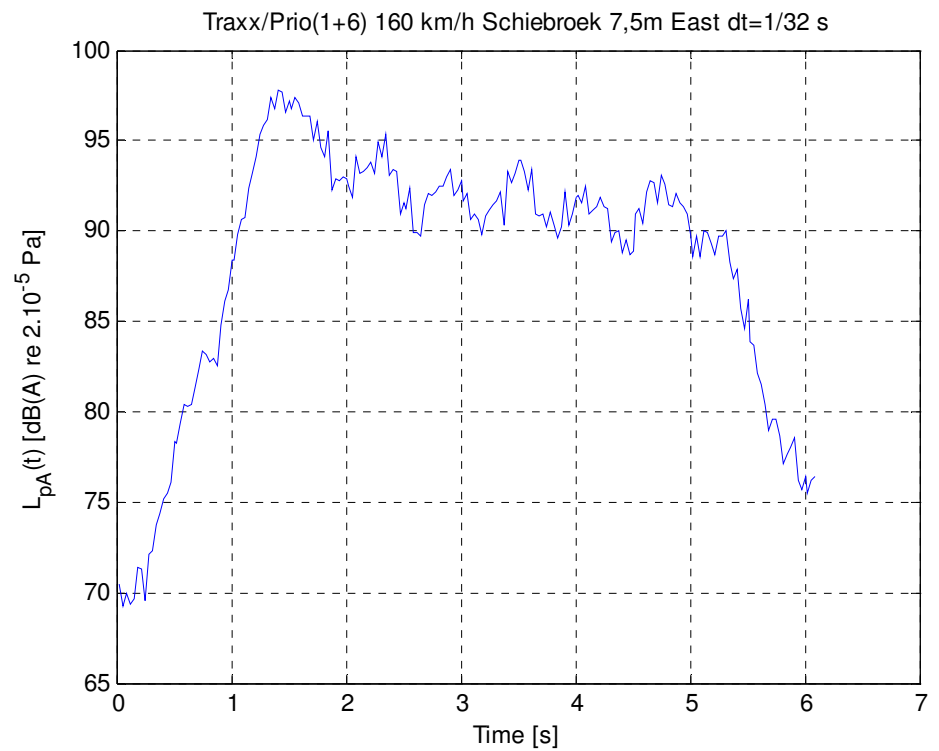
C Niveauperloop en spectrogrammen



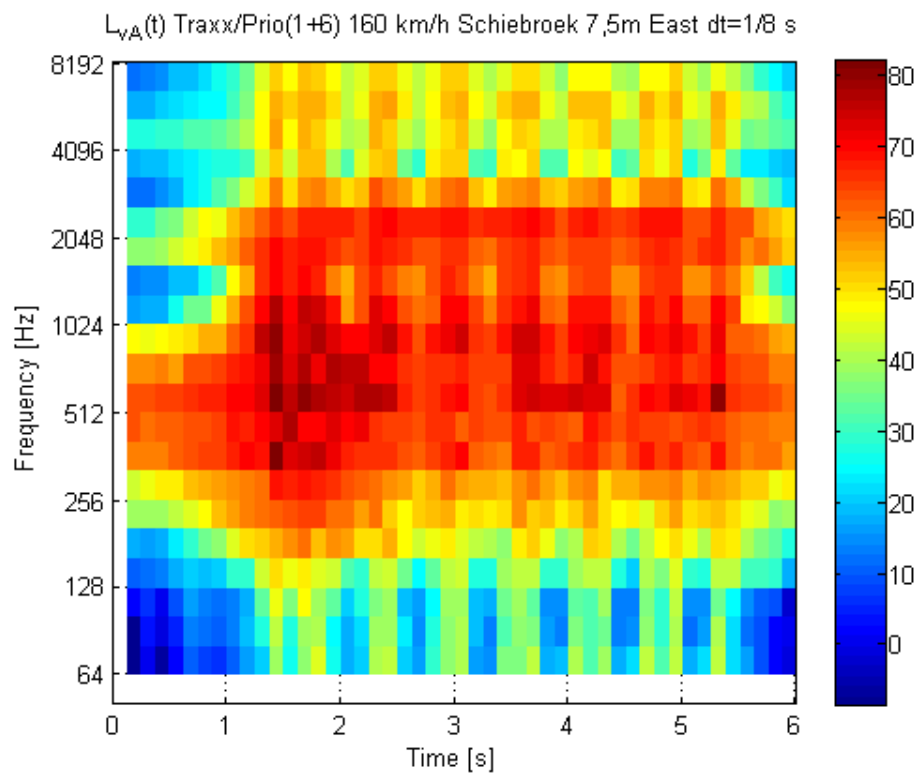
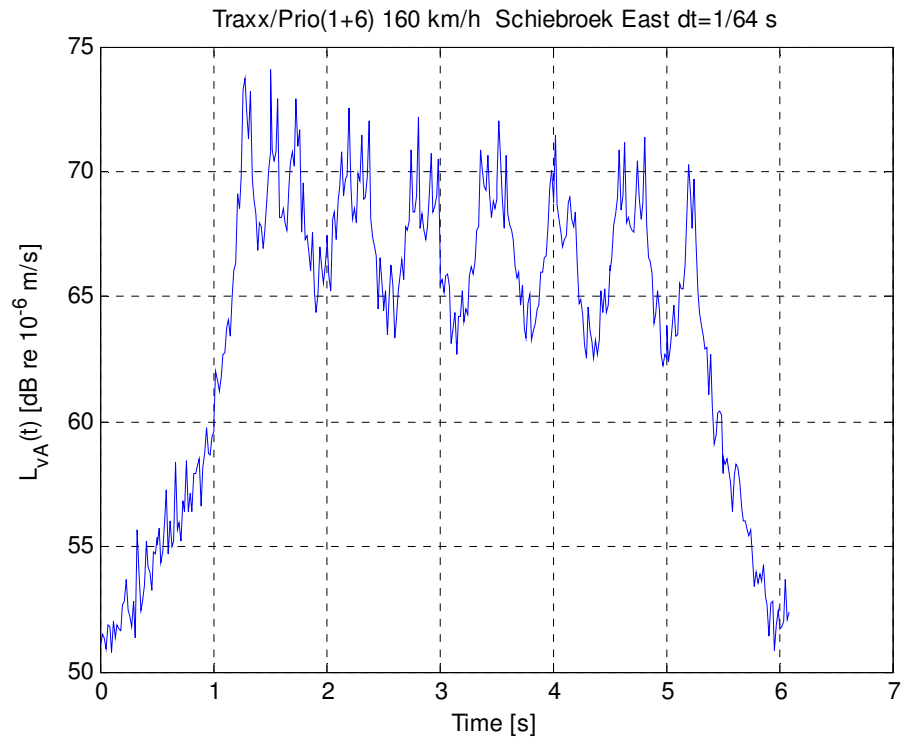
Figuur C1: Niveauperloop en spectrogram van het A-gewogen geluidrukniveau, passage Traxx met aangepaste Prio-rijtuigen bij 160 km/h, passage 23 op het westspoor.



Figuur C2: Niveauperloop en spectrogram van het A-gewogen railtrillingsniveau, passage Traxx met aangepaste Prio-rijtuigen bij 160 km/h, passage 23 op het westspoor.



Figuur C3: Niveauperloop en spectrogram van het A-gewogen geluiddruk-niveau, passage Traxx met aangepaste Prio-rijtuigen bij 160 km/h, passage 13 op het oostspoor.



Figuur C4: Niveauperloop en spectrogram van het A-gewogen railtrillingsniveau, passage Traxx met aangepaste Prio-rijtuigen bij 160 km/h, passage 13 op het oostspoor.