

Koopovereenkomst

Materieel Uithoflijn

tussen

Bestuur Regio Utrecht

en

Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles (CAF), S.A.

Kenmerk: OVK-001-2013-BRU

Datum: 30 januari 2015

Inhoud

1	Definities	6
2	Koop en Verkoop; Leverantie	11
3	Verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid voor design, constructie, materiaal en fabricage	12
4	Leveringsschema	12
5	Vertraging	13
6	Onderdelen	15
7	Speciale Gereedschappen	17
8	Documentatie	18
9	Opleiding	19
10	Kwaliteit	19
11	Veiligheid	19
12	Garantie	20
13	Opties	25
14	Controle, testen, finale inspectie, Testritten en Acceptatie	26
15	Totaalprijs, betaling en zekerheid	32
16	Goederen, documenten en services door Koper te verschaffen	37
17	Procedure in het geval van aanpassingen	37
18	Risico, overdracht van eigendom, verklaringen en garanties	39
19	Intellectueel eigendom en software licenties	39
20	Vroegtijdige beëindiging	42
21	Aansprakelijkheid; schadevergoeding	44
22	Verzekering	45
23	Overdracht van rechten en verplichtingen; andere verplichtingen	48
24	Geheimhouding en communicatie	49
25	Volledige overeenkomst; diversen	49
26	Geschillen, toepasselijk recht en jurisdictie	50
27	Projectrealisatie	50

Bijlagen:

Bijlage 1	Specificatie
Bijlage 2	Leveringsschema's
Bijlage 3	Prijzen
Bijlage 4	Goederen, documenten en services
Bijlage 5	Onderdelen
Bijlage 6	Escrow Overeenkomst
Bijlage 7	Verlengde Garantietermijnen van Onderdelen
Bijlage 8	Protocollen
Bijlage 9	Moedervenootschapsgarantie
Bijlage 10	Bankgarantie
Bijlage 11	Wijzigingsformulier

1 Definities

2 Koop en Verkoop; Leverantie

3 Verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid voor design, constructie, materiaal en fabricage

- 3.4** Ieder Tramvoertuig zal de maximale waarden ten aanzien van geluid zoals gespecificeerd in de Specificatie niet overschrijden. Bij overschrijding van de maximale waarden ten aanzien van geluid zoals gespecificeerd in de Specificatie is Koper gerechtigd het betreffende Tramvoertuig niet te Accepteren en de Overeenkomst te ontbinden. Bovendien zal de Leverancier, naast de verschuldigdheid van schadevergoeding, aan Koper verschuldigd zijn een direct opeisbare boete van ^{5.1.2,b} [REDACTED] per Tramvoertuig.

4 Leveringsschema

5 Vertraging

6 Onderdelen

7 Speciale Gereedschappen

8 Documentatie

9 Opleiding

10 Kwaliteit

11 Veiligheid

- 12 Garantie**
- 13 Opties**

14 Controle, testen, finale inspectie, Testritten en Acceptatie

15 Totaalprijs, betaling en zekerheid

- 16 Goederen, documenten en services door Koper te verschaffen**
- 17 Procedure in het geval van aanpassingen**

18 Risico, overdracht van eigendom, verklaringen en garanties

19 Intellectueel eigendom en software licenties

19.4 Intellectueel eigendom

20 Vroegtijdige beëindiging

20.4 Vroegtijdige beëindiging veroorzaakt door de Leverancier

20.4.1 Zonder afbreuk te doen aan andere rechten van de Koper op grond van deze Overeenkomst, is Koper in ieder geval in elk van de volgende gevallen gerechtigd deze Overeenkomst geheel of gedeeltelijk op te zeggen en/of te ontbinden op grond van een daarop gerichte mededeling:

- (a) in het geval van insolventieprocedures tegen de Leverancier in welke jurisdictie dan ook (waaronder begrepen faillissement en surseance van betaling), liquidatie van de Leverancier of beslag op een substantieel deel van de bezittingen van de Leverancier, welk beslag niet is opgeheven binnen 10 dagen na de datum van beslaglegging;
- (b) in het geval van een toerekenbare tekortkoming door de Leverancier in de nakoming van zijn verplichtingen op grond van deze Overeenkomst, waarbij de Leverancier een dergelijke tekortkoming niet binnen een redelijke termijn na ontvangst van de schriftelijke mededeling van Koper heeft hersteld;
- (c) in het geval dat de moedervenootschapsgarantie zoals neergelegd in Artikel 15.3.1 niet langer wettelijk, geldig, bindend en afdwingbaar is en deze tekortkoming niet binnen 15 dagen nadat Koper van deze tekortkoming mededeling heeft gedaan aan de Leverancier is hersteld;
- (d) in het geval van een toerekenbare tekortkoming door de Leverancier in de nakoming van zijn verplichting om de moedervenootschapsgarantie of bankgaranties in overeenstemming met Artikel 15.3 te verschaffen en/of in stand te houden;
- (e) in het geval dat de Acceptatie van een Tramvoertuig is vertraagd, ten gevolge waarvan het totaalbedrag aan boete zou uitgaan boven het maximale bedrag aan boete dat met betrekking tot een Tramvoertuig betaalbaar is op grond van Artikel 5.3;
- (f) in het geval door of namens de Leverancier aan een of meer leden van het personeel of toezichthouders van Koper een gift of belofte is gedaan teneinde de betreffende persoon of personen ertoe te bewegen iets te doen of na te laten in verband met het aangaan of uitvoeren van deze Overeenkomst;

- (g) in het geval één of meer Tramvoertuigen niet voldoen aan de eisen gesteld aan het maximale gewicht en/of de maximale waarden ten aanzien van geluid van het Tramvoertuig zoals opgenomen in de Specificatie.

De Leverancier zal Koper onmiddellijk schriftelijk op de hoogte stellen indien één van de hierboven in Artikel 20.1.1 genoemde gevallen zich voordoet of indien het aannemelijk is dat één van deze gevallen zich zal voordoen. In het geval van een gehele of gedeeltelijke opzegging en/of ontbinding van deze Overeenkomst door Koper, dient de Leverancier op verzoek van Koper één of meer Tramvoertuigen terug te kopen en/of weer in bezit te nemen tegen (terug)betaling van de koopprijs; daarbij zal een bedrag van EUR 1,50 per gereden kilometer per Tramvoertuig in mindering kunnen worden gebracht op de (terug) te betalen koopprijs indien Koper reeds van de desbetreffende Tramvoertuigen gebruik heeft gemaakt. Tevens zal Koper gerechtigd zijn tot het annuleren van de koop van ieder en alle Tramvoertuigen en andere objecten van de Leverantie die zij reeds had besteld, maar nog niet had Geaccepteerd.

BIJLAGE 3.5.1.2.2

Buitengeluidsniveaus verkregen in bestaande URBOS voertuigen

Best and Final Offer (BAFO) (New)

Aanbesteder	:	Bestuur Regio Utrecht
Contractnummer	:	OVK-001-2013-BRU
Project	:	Materieel Uithoflijn
Datum	:	15 oktober
CAF Referentie	:	NL.13.067

INDEX

1	INLEIDING.....	3
1.1	STATIONAIR VOERTUIG.....	3
1.2	CONSTANTE SNELHEID VAN 40 KM/U.....	4
1.3	CONSTANTE SNELHEID VAN 60 KM/U EN 70 KM/U.....	5
1.4	VERSNELLING VAN 0 KM/U NAAR 40 KM/U.....	6

LIJST VAN TABELLEN

Table 1.	Geluidsniveaus bij stilstand.....	4
Table 2.	geluidsniveaus bij een constante snelheid van 40km/u.....	5
Table 3.	geluidsniveaus bij een constante snelheid van 60km/u en 70 km/u	6
Table 4.	Versnelling van 0 km/u naar 30 km/u.....	6

LIJST VAN AFBEELDING

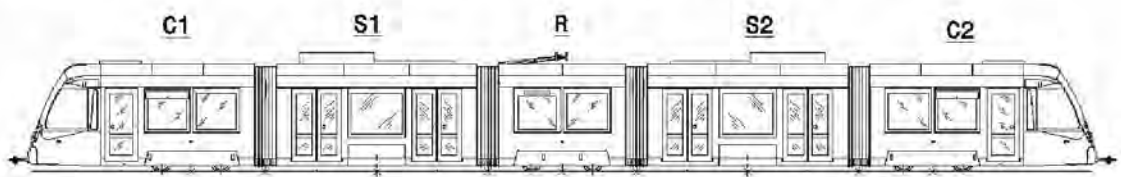
Afbeelding 1.	Zaragoza URBOS samenstelling	3
Afbeelding 2.	Stationaire testen: meetpunten	4
Afbeelding 3.	Spoor voor stationaire testen	4
Afbeelding 4.	Birmingham URBOS samenstelling	4
Afbeelding 5.	Edinburgh URBOS samenstelling	5
Afbeelding 6.	Constance snelheid van 60 km/u en 70 km/u	5

1 INLEIDING

Dit document getuigt van de buitengeluidsniveaus verkregen in een aantal van de bestaande URBOS voertuigen van CAF. Hiermee wordt het in paragraaf 6.3 van document 3-5.1 Omgevingseisen Tramvoertuigontwerp door CAF geleverde bewijs van de prestaties van het voertuig aangetoond.

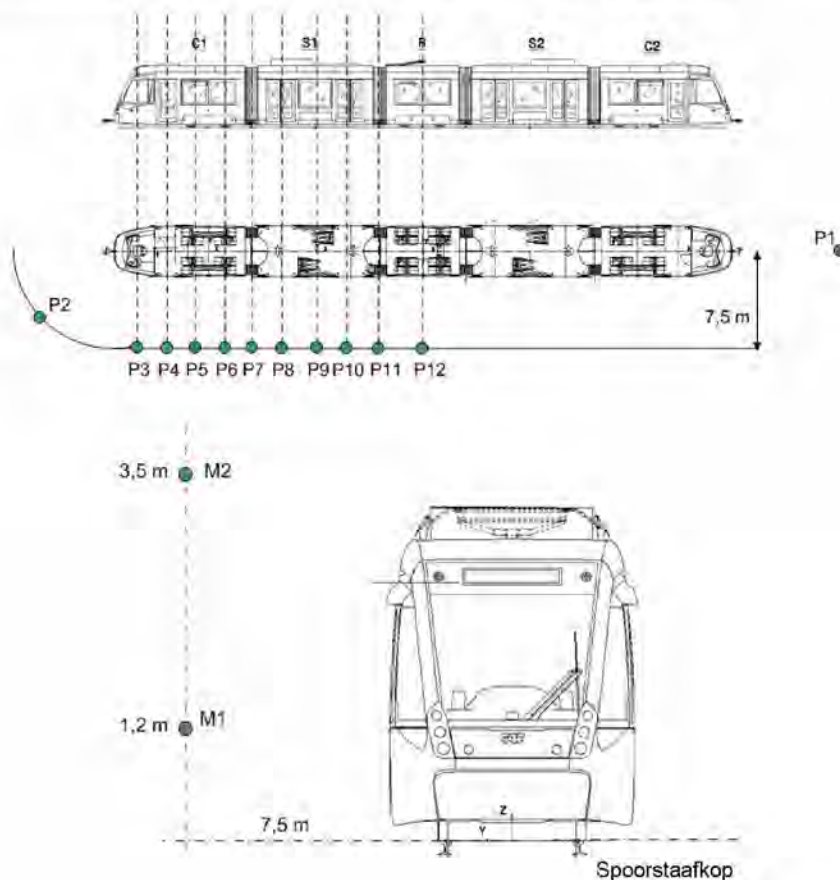
1.1 STATIONAIR VOERTUIG

Het in dit geval gebruikte referentievoertuig is het Zaragoza URBOS voertuig. Dit is een tram bestaand uit 5 modules zoals in de volgende afbeelding wordt getoond.



Afbeelding 1. Zaragoza URBOS samenstelling

De geluidsmetingen zijn uitgevoerd met de apparatuur van het voertuig in werking onder normale bedrijfsomstandigheden. De microfoonen werden op een afstand van 1,2 m en 3,5 m boven de spoorstaafkop en 7,5 m van het hart van het spoor geplaatst.



Afbeelding 2. Stationaire testen: meetpunten

Alle metingen zijn uitgevoerd conform de ISO3095. De metingen werden uitgevoerd in het vrije veld en op een tangentieel, vlak en droog spoor. De infrastructuur is gemaakt van in beton gelegde rails.



Afbeelding 3. Spoor voor stationaire testen

De in deze testen verkregen resultaten worden in de volgende tabel uiteengezet (LpAeq,T).

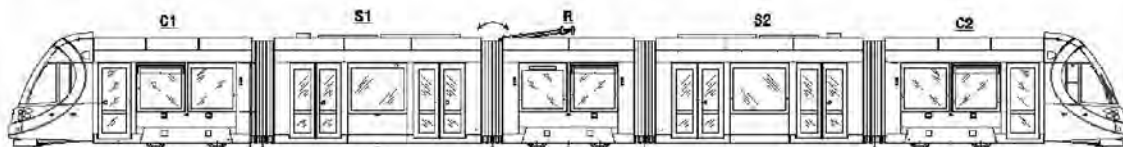
P4 1,2m	P4 3,5m	P6 1,2m	P6 3,5m	P8 1,2m	P8 3,5m	P10 1,2m	P10 3,5m
58 dBA	58 dBA	60 dBA	60 dBA	59 dBA	60 dBA	58 dBA	59 dBA

Tabel 1. Geluidsniveaus bij stilstand

De hoogst verkregen waarden zijn 60 dBA. Er moet rekening mee worden gehouden dat de metingen zijn uitgevoerd op een betonspoor. De invloed op de geluidsreflectie van dit spoor onder stationaire omstandigheden wordt geschat op 1-2 dBA. Bij een spoor op eigen ballast zou een maximale waarde van **59 dBA** worden bereikt.

1.2 CONSTATE SNELHEID VAN 40 KM/U

Het in dit geval gebruikte referentievoertuig is het Birmingham URBOS voertuig. Dit is een tram bestaand uit 5 modules zoals in de volgende afbeelding wordt getoond.



Afbeelding 4. Birmingham URBOS samenstelling

De geluidsmetingen zijn uitgevoerd met de apparatuur van het voertuig in werking onder normale bedrijfsomstandigheden. De microfoon werd op een afstand van 1,2 m boven de spoorstaafkop en 7,5 m van het hart van het spoor geplaatst en de geluidsniveaus zijn gemeten toen het voertuig met een constante snelheid van 40km/u reed.

Alle metingen zijn uitgevoerd conform de ISO3095. De metingen werden uitgevoerd in het vrije veld en op een tangentieel, vlak en droog spoor. De infrastructuur is gemaakt van ballast en dwarsliggers.

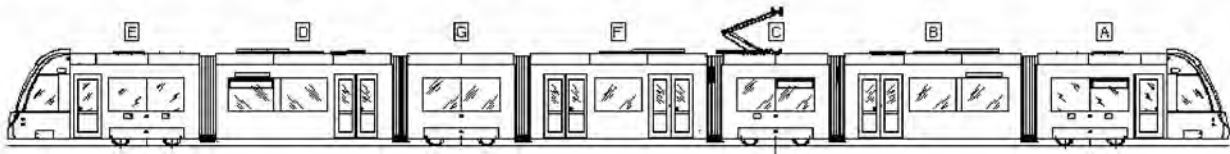
Het in deze test verkregen resultaat wordt in de volgende tabel uiteengezet (LpAeq,T).

Rit 1 1,2m	Rit 2 1,2m	Rit 3 1,2m	Rit 4 1,2m	Rit 5 1,2m	Gemiddelde 1,2m
70,2 dBA	70,8 dBA	70,1 dBA	69,8 dBA	70,3 dBA	70 dBA

Tabel 2. geluidsniveaus bij een constante snelheid van 40km/u

1.3 CONSTATE SNELHEID VAN 60 KM/U EN 70 KM/U

Het in dit geval gebruikte referentievoertuig is het Edinburgh URBOS voertuig. Dit is een tram bestaand uit 7 modules zoals in de volgende afbeelding wordt getoond.



Afbeelding 5. Edinburgh URBOS samenstelling

De geluidsmetingen zijn uitgevoerd met de apparatuur van het voertuig in werking onder normale bedrijfsomstandigheden. De microfoenen werden op een afstand van 1,2 m en 3,5 m boven de spoorstaafkop en 7,5 m van het hart van het spoor geplaatst.

Alle metingen zijn uitgevoerd conform de ISO3095. De metingen werden uitgevoerd in het vrije veld en op een tangentieel, vlak en droog spoor. De infrastructuur is gemaakt van ballast en dwarsliggers in het Wildenrath testcircuit.



Afbeelding 6. Constante snelheid van 60 km/u en 70 km/u

De in deze testen verkregen resultaten worden in de volgende tabel uiteengezet (LpAeq,Tp).

	60 km/u	70 km/u
1,2 m	75,4 dBA	76,8 dBA
3,5 m	75,9 dBA	77,1 dBA

Tabel 3. geluidsniveaus bij een constante snelheid van 60km/u en 70 km/u

De hoogst verkregen waarden zijn 76 dBA voor 60 km/u en 77 dBA voor 70 km/u. Zelfs als deze waarden iets lager zijn dan de door CAF in 3-5.1 Omgevingseisen Tramvoertuigontwerp gegeven waarden, is de ervaring van CAF dat iets hogere geluidsdrukwaarden dan in Edinburgh ook gebruikelijk zijn onder deze bedrijfsomstandigheden (daarbij wordt nog steeds voldaan aan de eisen van de technische specificatie), aangezien zij ook afhankelijk kunnen zijn van andere factoren zoals apparatuurprestaties. In ieder geval schat CAF in dat er bij 60 km/u een LpAeq, Tp-waarde van **77 dBA** kan worden verkregen en een LpAeq, Tp-waarde van **79 dBA** bij 70 km/u.

1.4 VERSNELLING VAN 0 KM/U NAAR 40 KM/U

Het in dit geval gebruikte referentievoertuig is het Birmingham URBOS voertuig, zoals bij de constante snelheid van 40 km/u.

De geluidsmetingen zijn uitgevoerd met de apparatuur van het voertuig in werking onder normale bedrijfsomstandigheden. De microfoon werd op een afstand van 1,2 m boven de spoorstaafkop en 7,5 m van het hart van het spoor geplaatst en de geluidsniveaus zijn gemeten toen het voertuig van 0 km/u naar 30km/u versnelde. 30 km/u is de gebruikelijke maximum snelheidswaarde die wordt gebruikt voor de geluidsbeoordeling van versnellende voertuigen. De geëvalueerde parameter was het maximum A-gewogen geluidsdrukniveau met een snelle tijdsweging LpAFmax.

Alle metingen zijn uitgevoerd conform de ISO3095. De metingen werden uitgevoerd in het vrije veld en op een tangentieel, vlak en droog spoor. De infrastructuur is gemaakt van ballast en dwarsliggers.

Het in deze test verkregen resultaat wordt in de volgende tabel uiteengezet (LpAFmax).

Rit 1 1,2m	Rit 2 1,2m	Rit 3 1,2m	Rit 4 1,2m	Rit 5 1,2m	Gemiddelde 1,2m
68,3 dBA	67,3 dBA	68 dBA	66,4 dBA	67,2 dBA	67 dBA

Tabel 4. Versnelling van 0 km/u naar 30 km/u

De verkregen waarde van 67 dBA stemt overeen met een versnelling tot 30 km/u. Wanneer de versnelling wordt voortgezet tot 40 km/u dan wordt een hoger geluidsdrukniveau verwacht. In ieder geval vergt de eis een evaluatie van LpAeq, Tp in plaats van LpAFmax (er is aldus een gemiddelde berekend). Dit zorgt ervoor dat de gemeten waarden omlaag zullen gaan. Daarnaast heeft CAF vastgesteld dat de voertuigen kunnen voldoen aan een LpAeq, Tp van 70 dBA voor een voertuig dat 40 km/u rijdt. Bijgevolg schat CAF in dat waarden van **70 dBA** (LpAeq, Tp) kunnen worden verwacht voor de testvoorwaarden van een versnellend voertuig.



NOISE CONTROL PLAN

Q.53.97.015

Issue:

B

Page

1 of 8

REVISION

Issue	Comments	Date
-	Creation.	16/10/2015
A	References updated	03/05/2016
B	Final Edition	22/12/2016

5.1.2.e

5.1.2.e

Document validation

Edited by	5.1.2.e	5.1.2.e	22/12/2016
Verified by	5.1.2.e	5.1.2.e	22/12/2016
Approved by	5.1.2.e	5.1.2.e	22/12/2016



NOISE CONTROL PLAN

Q.53.97.015

Issue:

B

Page

2 of 8

CONTENT

1	GENERAL	3
2	NOISE AND VIBRATIONS CONTROL PROCEDURE	4
2.1	VEHICLE DESIGN	4
2.2	TESTING	5
2.2.1	Measurements on equipment	5
2.2.2	Measurements on the final vehicle	5
3	REFERENCES	8



NOISE CONTROL PLAN

Q.53.97.015

Issue:

B

Page

3 of 8

1 GENERAL

The purpose of this document is to present the Noise Control Plan according the requirements stated in [1].

NOISE CONTROL PLAN**Q.53.97.015**

Issue:

B

Page

4 of 8

2 NOISE AND VIBRATIONS CONTROL PROCEDURE

The fulfillment of the noise levels required in [1] will be assessed at every stage of the project by different means, from design phase all the way to type testing.

2.1 VEHICLE DESIGN

The noise and vibrations design of the Tramcar will be based on CAF expertise on the design of this kind of vehicles, so previous experiences will be taken as a reference in order to predict the values to be reached. The assessment of the performance to be achieved is continuously updated along the project as new information is obtained and together with the development of other vehicle parts.

In order to achieve the objectives, during the project design phase, the following tasks will be covered:

- CAF will specify to its suppliers the maximum acoustic power and pressure levels to be reached by the main and auxiliary equipment to be mounted on the vehicle. The goal of the definition of these values is, on one hand, to achieve the requirements defined for each of the equipment in [1] and, additionally, to comply with the overall noise levels demanded for the vehicle as a whole. Requirements regarding the non-existence of tonality components will also be imposed.
- Analysis of all parts involved in the noise and vibration transmission. This involves, for instance, the evaluation of the way equipment is assembled, the interior trimmings, the absorbing and insulation material used (type and location), the assembly of all these latter parts to the carbody structure, gangway properties, etc. Any need identified in order to improve the noise and vibrations performance and reach the targets of the vehicle will lead to a solution definition process.
- Collection of the information of the noise emitted and vibration generated by the equipment declared by the suppliers. The noise performance prediction will be updated based on the responses obtained and the validity of these responses will be determined. In case additional actions need to be defined in order to ensure the compliance of the requirements, these will be set.

NOISE CONTROL PLAN**Q.53.97.015**

Issue: B

Page 5 of 8

2.2 TESTING

Testing is a key step in the validation of the noise and vibration performance of the vehicle and its parts. Nevertheless, testing does not only provide valuable information once the vehicle is manufactured, it can also be used as an input for the design phase of the vehicles and can also be useful to see whether the milestones set are in the way of being fulfilled or not.

Thus, all the testing to be carried out in two different stages:

- Measurements on equipment made by the equipment suppliers in their facilities or other laboratories.
- Measurements on the final vehicle of noise and vibration both for each equipment independently (if possible) and for the vehicle as a whole.

Measuring system will comply with the Type 2 requirements of IEC61672. In order to obtain the octave or 1/3 octave bands, an analyzer with filters meeting the requirements of IEC61672 will be used. Narrow band noise or pure tones will be identified using filters with a band width not exceeding 1/3 octave.

2.2.1 Measurements on equipment

Based on the noise and vibration requirements stated in [1], CAF will assign specific noise limits to all significant noise-generating equipment to be installed on the vehicle, and these limits will be passed on to equipment suppliers in the purchase orders. As a first noise evaluation step, noise tests will be carried out on individual noise generating pieces of equipment, in supplier's facilities, to ensure compliance with required noise levels. This measurement campaign aims to check the noise produced by the individual equipment before its installation on the vehicle.

2.2.2 Measurements on the final vehicle

These tests will be performed on one of the first cars delivered, on the Uithoflijn track. The values obtained in those measurements will be used for the final assessment of the noise and vibration performance of the vehicle.

According to section 5.1.6 of [1], compliance with the Specification is to be based on measurements taken in essentially a free-field environment such as outdoors, away from any reflecting surfaces other than the ground, ties, and ballast, on track with newly ground, welded rail. All measurements shall be made with an ambient sound level in the vicinity of the test measurement locations of not less than 10 dB below the noise produced by the equipment being measured, when evaluated using the same scale or octave band.

Measurements of the interior noise will be made in a fully equipped vehicle with no personnel on board other than the person performing the measurements and an observer.

A maximum of five points per unit at the height of the average seated passengers' ears at representative locations throughout the vehicle will be considered, as well as a maximum of five

NOISE CONTROL PLAN

Q.53.97.015

Issue: B

Page 6 of 8

points at the height of the average standing passenger's ears at representative locations throughout the vehicle and one point at the height of the average Operator's ear when seated in the cab seat.

The following table shows the acceptance limit for the interior noise:

CONDITION	ACCEPTANCE LIMIT
The noise level L_{pAFmax} at any location within the stationary Tramcar, with all (auxiliary) equipment operating (i.e. including HVAC, hydropumps, etc.)	62 dBA
The noise level that occurs as a result of auditory signals from noise sources inside the Tramcar, such as broadcasts and warning messages, is adjustable.	90 dBA
The noise level $L_{pAeq,T}$ at any location, except the articulation, within the moving Tramcar upon start-up from 0 – 40 km/h.	66 dBA
The noise level $L_{pAeq,T}$ at any location, apart from the articulation, within a Tramcar travelling at a constant speed of 60 km/h on straight and level track in ballast.	70 dBA
The noise level $L_{pAeq,T}$ at any location, apart from the articulation, within a Tramcar travelling at a constant speed of 70 km/h on straight and level track in ballast.	72 dBA
The noise level $L_{pAeq,T}$ in the articulation, and measured up to 1 metre from the "centre" of the articulation, within a Tramcar travelling at a constant speed of 60 km/h on straight and level track in ballast.	72 dBA
The noise level L_{pAFmax} within the driver's cab in a stationary with the climate control installation operating on full.	60 dBA
The maximum noise level $L_{pAeq,Tp}$ in the cab under the following circumstances: accelerating, speed 70 km/h, and negotiating points and crossings on straight track.	70 dBA

Table 1: Condition Average Noise Level-Interior Noise



NOISE CONTROL PLAN

Q.53.97.015

Issue:

B

Page

7 of 8

Regarding exterior noise, sound pressure levels will not exceed the following values for the specified test condition for a single vehicle on dry, level, tangent ballast and tie track, with new wheels. Measurements will be made at 7,5m from the track centerline and at each side of the vehicle and at 1.2 m and 3.5 m above the top of the track, according ISO3095:2013

CONDITION	ACCEPTANCE LIMIT
The noise level L_{pAFmax} outside the stationary Tramcar with all (auxiliary) equipment in operation at any point along the Tramcar.	64 dBA
The noise level $L_{pAeq,Tp}$ outside the moving Tramcar during start-up from 0 – 40 km/h and at a constant speed of 40 km/h.	72 dBA
The noise level $L_{pAeq,Tp}$ outside a Tramcar travelling at a constant speed of 60 km/h	77 dBA
The noise level $L_{pAeq,Tp}$ outside a Tramcar travelling at a constant speed of 70 km/h	79 dBA
The noise level that occurs as a result of auditory signals from noise sources on the outside of the Tramcar (broadcasts, warnings and closing doors, except for the signal horn and electric bell)	10 dBA above background noise level but not more than 90 dBA

Table 2: Condition Average Noise Level-Exterior Noise



NOISE CONTROL PLAN

Q.53.97.015

Issue:

B

Page

8 of 8

3 REFERENCES

- [1] Requirement Specification Rolling stock for the tendering of the contract with contract number OVK-001-2013-BRU
- [2] ISO 3095:2013: Railway applications -- Acoustics -- Measurement of noise emitted by railbound vehicles
- [3] ISO 3381:2005 Railway applications -- Acoustics -- Measurement of noise inside railbound vehicles

Meetrapportage IJsselstein

Meetrapportage IJsselstein

Status	definitief
Versie	003
Rapport	M.2021.1252.00.R001
Datum	1 februari 2023



Colofon

Opdrachtgever	Provincie Utrecht Domein mobiliteit trambedrijf Beheer & Onderhoud
Contactpersoon opdrachtgever	5.1.2.e
Project Betreft Uw kenmerk	Provincie Utrecht - Meting wioldempers tram Utrecht Meetrapportage IJsselstein -
Rapport Datum Versie Status	M.2021.1252.00.R001 1 februari 2023 003 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Casuariestraat 5 2511 VB Den Haag Postbus 370 2501 CJ Den Haag
Contactpersoon	5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e@dgmr.nl
Auteur	5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e@dgmr.nl
Projectadviseur	5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e@dgmr.nl
2e lezer/secr.	5.1.2.e 5.1.2.e

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Theorie	5
2.1 Ontstaan booggeluid	5
2.2 Meetprotocol booggeluid	5
2.3 Beoordeling van booggeluid	7
2.4 Wettelijk kader (Wet geluidhinder)	8
3. Situatie	9
3.1 Locaties	9
3.2 Praagsingel	10
3.3 Halte Binnenstad	10
3.4 Weegbree	13
3.5 Gebruikte meetapparatuur	13
3.6 Weersomstandigheden	14
3.7 Technische achtergrond wielen	14
4. Resultaten	16
4.1 Praagsingel	16
4.2 Binnenstad	17
4.3 Weegbree	17
4.4 Eigenfrequentie	18
4.5 Beschouwing	19
5. Conclusie	20

1. Inleiding

Sinds een jaar rijdt de Utrechtse regiotram weer in IJsselstein. Sinds de start van de testritten en met name na de daadwerkelijke opening van de lijn ondervinden de bewoners hinder van de tram. Naar aanleiding van de metingen die in het voorjaar van 2021 door DGMR uitgevoerd zijn heeft Provincie Utrecht maatregelen getroffen. Bij verschillende bogen in IJsselstein zijn smeerinstallaties geplaatst en zijn twee trams als proef uitgerust met wieldempers.



figuur 1: Utrechtse CAF Urbus-100 tram

In de Nederlandse wetgeving wordt voor railverkeer alleen het tractie-, rol- en stootgeluid beoordeeld. Het aspect booggeluid maakt geen onderdeel uit van de Nederlandse wet- en regelgeving. Vanuit de Nederlandse ov-bedrijven is echter wel het initiatief ontstaan om een uniform meetvoorschrift voor booggeluid op te stellen. Dit meetvoorschrift beschrijft de methode hoe booggeluid gemeten moet worden, maar voorziet nog niet in een beoordelingskader.

In hoofdstuk 2 lichten wij toe hoe booggeluid ontstaat en hoe dit gemeten, berekend en in het kader van deze rapportage beoordeeld wordt. In hoofdstuk 3 geven wij een toelichting op de meetlocaties. Vervolgens presenteren wij de resultaten van het onderzoek in hoofdstuk 4 en sluiten we af met een conclusie.

2. Theorie

2.1 Ontstaan booggeluid

Booggeluid ontstaat wanneer railvoertuigen door een boog rijden. Bij bogen moet het binnenste wiel een kortere afstand afleggen dan het buitenste wiel. Bij lage vloertrams wordt via de tractie installatie de rotatiesnelheid van de wielen gelijk gehouden, waar beide wielen een gelijk aantal rondjes draaien om dezelfde afstand af te leggen. In bochten gaat het binnenste wiel hierdoor doorslippen. Wanneer de spoorstaaf droog en vetvrij is, wordt de statische wrijvingscoëfficiënt hoger. Om deze wrijving te overwinnen, is energie nodig die vrijkomt in de vorm van warmte en geluid. Dit leidt tot het zogenaamde slip-stickgeluid, ook wel squeal-noise genoemd.

Een tweede effect dat een rol kan spelen, is het stureffect van de spooras. Wielen van railvoertuigen hebben aan de binnenzijde een flens. Daarnaast zijn de wielen conisch uitgevoerd zodat het railvoertuig binnen het spoor blijft rijden en automatisch bijstuurt. Wanneer het voertuig door de boog rijdt, kan de flens langs de kop van de spoorstaaf schuren. Dit geluid noemen we dan ook flensgeluid of flanging-noise.

Het onderscheid tussen slip-stickgeluid en flensgeluid is over het algemeen auditief vrij goed waar te nemen. Slip-stickgeluid kenmerkt zich door een sterk tonaal karakter (fluittoon) en heeft weinig boventonen¹. Flensgeluid kenmerkt zich meer door een schrapend geluid en heeft dan ook een bredere piek met boventonen.

2.2 Meetprotocol booggeluid

De Nederlandse vervoersbedrijven (GVB, HTM, RET en Provincie Utrecht) hebben vanuit het samenwerkingsorgaan MeerStedenOverleg Geluid en Trillingen (MSO) een meetvoorschrift booggeluid voor tram- en metro-infrastructuur opgesteld. Deze methode is bedoeld voor het objectiveren van klachten en het beoordelen van het effect van wijzigingen. In de methode wordt zowel een indicatieve als uitgebreide methode beschreven. De uitgebreide methode is meer geschikt voor het onderzoeken van oorzaken en ontwerpen en toetsen van mogelijke oplossingen.

Omdat met name het tonale karakter van booggeluid hinderlijk is en dit niet altijd goed in het equivalente of maximale geluidsniveau naar voren komt, is een 'normale meting' vaak niet geschikt. De uitgebreide methode is juist met name toegespitst op het identificeren en het markeren van het hinderlijke tonale karakter van booggeluid en streeft ernaar om het tonale karakter en rolgeluid te onderscheiden.

De methode is uitgebreid beschreven in het meetprotocol booggeluid versie 2.1. Hieronder volgt enkel een korte samenvatting van de methode.

Meetopstelling

De geluidsmeters worden op 7,5 meter afstand van het hart van de binnenboog geplaatst op een hoogte van 1,5 meter ten opzichte van de bovenkant van de spoorstaaf (BS). Wanneer meten op 7,5 meter afstand niet mogelijk is door bijvoorbeeld andere infrastructuur of (sterk) reflecterende objecten, kan de meetlocatie verplaatst worden. Hiervoor moet uiteindelijk wel rekenkundig gecompenseerd worden.

¹ De theorie stelt dat stick-slipgeluid geen boventonen geeft. De ervaring leert dat boventonen wel aanwezig (kunnen) zijn, maar wel sterk afnemen met circa 24 dB per octaaf.

De metingen worden uitgevoerd met een IEC-61672 klasse I gecertificeerde geluidsmeter of data-acquisitiesysteem met een samplefrequentie van 22,05 kHz of meer. De geluidskalibrator moet ook IEC-61672 klasse 1 gecertificeerd zijn.

De metingen worden uitgevoerd bij temperaturen tussen 5 en 25 °C, waarbij de windkracht lager is dan 5 Bft. Daarnaast worden minimaal 30 voertuigen per type per richting vastgesteld.

Verwerking

Van elke meting wordt het maximale geluidsniveau $L_{AF,max}$ vastgesteld. Vervolgens wordt van elke seconde het zogenaamde energiedichtheidspectrum (PSD) gemaakt. Door dit spectrum te integreren, is de geluidsenergie per seconde bekend (SEL_{1s}). Door alle seconden op te tellen, is de totale geluidsenergie over de passage (SEL_{totaal}) bekend.

Binnen elke seconde wordt gezocht naar pieken in het spectrum die kenmerkend zijn voor squeal- en flanging geluid. Als binnen een seconde meetdata een piek gevonden wordt, is gedurende deze seconde sprake van booggeluid. Van deze pieken wordt per seconde de energie berekend.

Deze energie wordt voor alle seconden van de passage opgeteld, zodat SEL_{squeal} en $SEL_{flanging}$ bepaald worden. Door deze energetisch op te tellen, wordt een $SEL_{booggeluid}$ gevonden.

$$SEL_{booggeluid} = SEL_{squeal} \oplus SEL_{flanging}$$

$$SEL_{booggeluid} = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{SEL_{squeal}}{10}} + 10^{\frac{SEL_{flanging}}{10}} \right)$$

Uit deze gegevens kan de SEL-waarde van een voertuigpassage zonder booggeluid bepaald worden. Deze waarde wordt ook wel $SEL_{baseline}$ genoemd en volgt uit het energetische verschil van SEL_{totaal} en $SEL_{booggeluid}$.

$$SEL_{baseline} = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{SEL_{totaal}}{10}} - 10^{\frac{SEL_{booggeluid}}{10}} \right)$$

Tot slot wordt ook de toename als gevolg van booggeluid vastgesteld. Deze waarde wordt $dSEL$ genoemd en volgt uit het rekenkundige verschil tussen SEL_{totaal} en $SEL_{baseline}$.

$$dSEL = SEL_{totaal} - SEL_{baseline}$$

In tabel 1 staan de gemeten en berekende grootheden nogmaals toegelicht.

tabel 1: nadere toelichting van de gebruikte grootheden

Grootheid	Omschrijving
$L_{AF,max}$	Het maximale geluidsniveau gedurende de passage, ook wel het piekgeluid genoemd
SEL_{totaal}	De totale geluidsenergie over de hele passage van zowel het 'normale' rijgeluid als booggeluid
SEL_{squeal}	De totale geluidsenergie over de hele passage als gevolg van het squeal- of stick-slip geluid
$SEL_{flanging}$	De totale geluidsenergie over de hele passage als gevolg van het flens of flanginggeluid
$SEL_{booggeluid}$	De totale geluidsenergie over de hele passage als gevolg van booggeluid
$SEL_{baseline}$	De totale geluidsenergie over de hele passage als gevolg van 'normaal' rijgeluid ²
$dSEL$	De toename van de geluidsenergie als gevolg van booggeluid

² De $SEL_{baseline}$ wordt te hoog ingeschat wanneer het aandeel booggeluid een zeer significant aandeel in het geluid heeft. Dit leidt echter niet tot fouten in de nadere beoordeling, aangezien in dat geval $dSEL$ veel groter wordt dan 1 dB.

2.3 Beoordeling van booggeluid

Het meetvoorschrift heeft geen beoordelend karakter. Hiervoor moet nader onderzoek gedaan worden naar de dosis-effectrelaties van booggeluid. Op basis van een validatie van het meetvoorschrift door meerdere ingenieurbureaus is wel een voorzet gegeven om tot een beoordeling te komen.

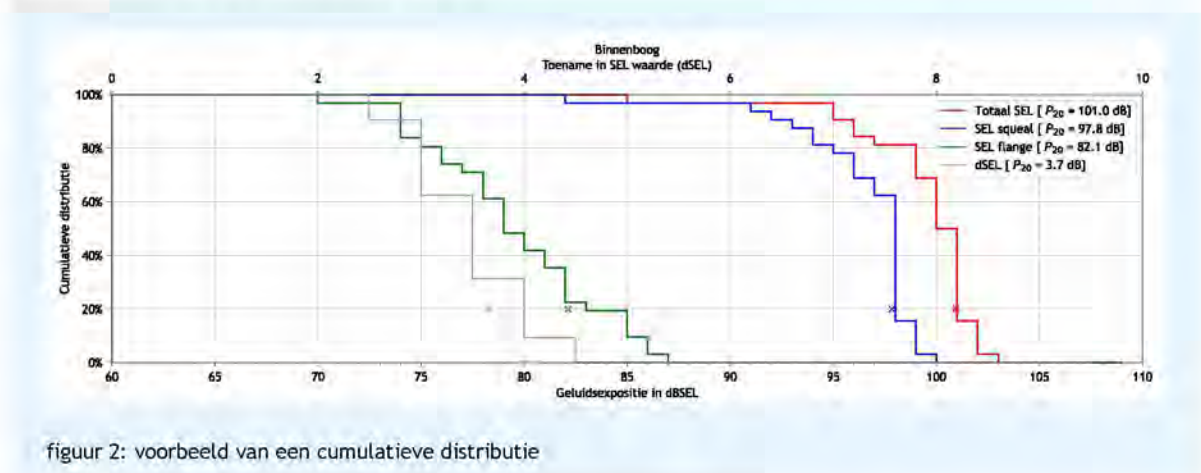
Voor de beoordeling wordt een statistische analyse voorgesteld waarbij op basis van de 20-percentielwaarde de beoordeling plaatsvindt. Dit zijn de niveaus die door 20% van de voertuigen overschreden wordt.

Wanneer $dSEL_{20}$ (20-percentielwaarde van $dSEL$) groter is dan 1 dB, wordt de situatie gekenschetst als een booggeluidsituatie. Vervolgens wordt ook de SEL_{20} (20-percentielwaarde van SEL_{totaal}) vastgesteld. Voor eenvoudige situaties kan deze door middel van een eenvoudige afstandstabel doorgerekend worden op de woningen. Voor licht-stedelijke situaties is de ambitiewaarde voor SEL_{20} op de woningen gelijkgesteld aan 75 dB_{SEL} . De SEL -waarde op de woningen wordt berekend door de gemeten SEL -waarde te verminderen met de waarden uit tabel 2.

tabel 2: verzwakkingstabel op basis van de afstand spoor-woningen³

Afstand [m]	7,5	10	12	15	19
Verzwakking [dB]	0	-2	-4	-6	-8

De statistiek van de meetresultaten wordt gepresenteerd als een cumulatieve distributiefunctie zoals in figuur 2. Uit het figuur kan afgelezen worden hoeveel procent van de passages boven een bepaald niveau liggen. Zo heeft 50% van alle passages een totale SEL -waarde van 100 dB_{SEL} , 80% van de voertuigen overschrijdt 97 dB_{SEL} . De bovenste horizontale as is van toepassing op de $dSEL$ -waarde (grijze lijn). De onderste horizontale as slaat op de overige SEL -waardes. In de legenda staan de 20-percentiel waardes.



figuur 2: voorbeeld van een cumulatieve distributie

³ De verzwakking volgt uit een puntbronuitstraling in het vrije veld ($D = 20 \lg \frac{r}{7.5}$). Hierbij wordt geen rekening gehouden met overige geluidsdemping zoals door groenstroken of afscherming.

2.4 Wettelijk kader (Wet geluidhinder)

De Wet geluidhinder (Wgh) biedt het wettelijk kader voor de toegestane geluidsbelasting vanwege wegen en spoorwegen bij geluidgevoelige bestemmingen, waaronder woningen.

De Wet geluidhinder stelt eisen aan de maximale geluidsbelasting als gevolg van weg-, rail- en industrielawaai. Daarbij moet opgemerkt worden dat voor weg- en railverkeer de Wet geluidhinder alleen voor ontwikkelingen van nieuwe geluidsgevoelige bestemmingen en nieuwe en gewijzigde spoorlijnen toepasbaar is. De Wet geluidhinder biedt geen handhavingsmiddelen. Er kan echter wel aansluiting gevonden worden bij de grenswaarden uit de Wet geluidhinder om aan te tonen of er sprake is van een aanvaardbare situatie. In de beoordeling van railverkeersgeluid alleen het tractie-, rol- en stootgeluid beoordeeld. Booggeluid maakt geen deel uit van deze beoordeling.

Het tracé van de SUNIJ-lijn is opgenomen op de zonekaart spoorwegen geluidhinder, waardoor de tram op dit tracé onder het regime railverkeerslawaai valt.

Geluidsbelasting

De geluidsbelasting (L_{den} -waarde) wordt bepaald door het gewogen gemiddelde van de volgende geluidsniveaus:

- het equivalente geluidsniveau (L_{eq}) over de dagperiode (07.00 - 19.00 uur);
- het equivalente geluidsniveau (L_{eq}) over de avondperiode (19.00 - 23.00 uur), verhoogd met 5 dB;
- het equivalente geluidsniveau (L_{eq}) over de nachtperiode (23.00 - 07.00 uur), verhoogd met 10 dB.

Op basis van de SEL-waarden kan per periode de geluidsbelasting bepaald worden met de onderstaande formule:

$$L_{periode} = SEL + 10 \cdot \lg(N) - 10 \cdot \lg(t \cdot 3600)$$

Waarbij N het aantal voertuigen per periode is en t het aantal uren in de beoordelingsperiode is.

De Wet geluidhinder stelt voor railverkeer een voorkeurswaarde van 55 dB voor woningen en geluidsgevoelige terreinen en 53 dB voor overig geluidgevoelige gebouwen (zoals scholen). De hoogst toelaatbare geluidsbelasting voor railverkeer bedraagt 68 dB voor woningen en overig geluidgevoelige gebouwen en 63 dB voor terreinen.

Wanneer de geluidsbelasting lager is dan de voorkeursgrenswaarde, wordt altijd voldaan. Wanneer de geluidsbelasting hoger is dan de maximale ontheffingswaarde, wordt niet voldaan. Wanneer de geluidsbelasting hoger is dan de voorkeursgrenswaarde maar lager dan de maximale ontheffingswaarde is, moet een hogere waarde aangevraagd worden. De eisen verschillen per gemeente, maar in ieder geval moeten maatregelen afgewogen worden en moeten (mogelijk) maatregelen aan de gevel getroffen worden.

3. Situatie

3.1 Locaties

Wij hebben op drie locaties langs het spoor in IJsselstein gemeten op een afstand van 7,5 meter uit het hart van het spoor in de binnenboog en op een hoogte van ongeveer 1,5 meter ten opzichte van bovenkant spoor. Op twee locaties was tussen de microfoon en het spoor een haag van ongeveer 1,5 meter hoogte aanwezig. De hagen waren op het moment van meten kaal, waardoor geen afscherming of absorptie van de haag verwacht wordt.



figuur 3: plattegrond meetlocaties in IJsselstein

Locatie	Smeerinstallatie binnenboog	Smeerinstallatie buitenboog
Weegbree	Geen	Geen
Halte Binnenstad	Ja	Ja
Praagsingel	Ja	Nee

3.2 Praagsingel

De metingen aan de Praagsingel zijn uitgevoerd ter hoogte van huisnummer 40. Deze locatie ligt tussen de verlaging van de baanvaknelheid en het eindpunt waardoor hier met een vrij constante snelheid gereden wordt. De baanvaknelheid bedraagt hier 50 km/u.



figuur 4: meetlocatie bij de Praagsingel ter hoogte van huisnummer 40

De meter is in overeenstemming met het meetprotocol op 7,5 meter uit het hart van het binnenste spoor geplaatst op een hoogte van 1,5 meter BS. De afstand tot de woningen bedraagt 14 meter.

De baan op deze locatie is uitgevoerd als vignolerail 49E1 op ballastbed met betonnen dwarsliggers. De sporstaven zijn op deze locatie in het kader van de ombouw SUNIJ-lijn vernieuwd. In tabel 3 staan de eigenschappen van het spoor bij de Praagsingel.

tabel 3: spooreigenschappen boog bij de Praagsingel

	Binnenboog	Buitenboog
Boogstraal [m]	118,2	119,5
Ontwerpsnelheid [km/u]	40	40
Verkanting [mm]	65	65
Verkantingstekort [mm]	95	93
Balanssnelheid [km/u]	26,1	26,2

3.3 Halte Binnenstad

De metingen bij halte Binnenstad zijn uitgevoerd ten zuidwesten van het station ter hoogte van huisnummer 29. Deze locatie ligt vlak voor de halte, waardoor in de binnenbocht van de baanvaknelheid van 30 km/u afgeremd wordt. In de buitenbocht wordt juist opgetrokken tot de baanvaknelheid van 30 km/u.



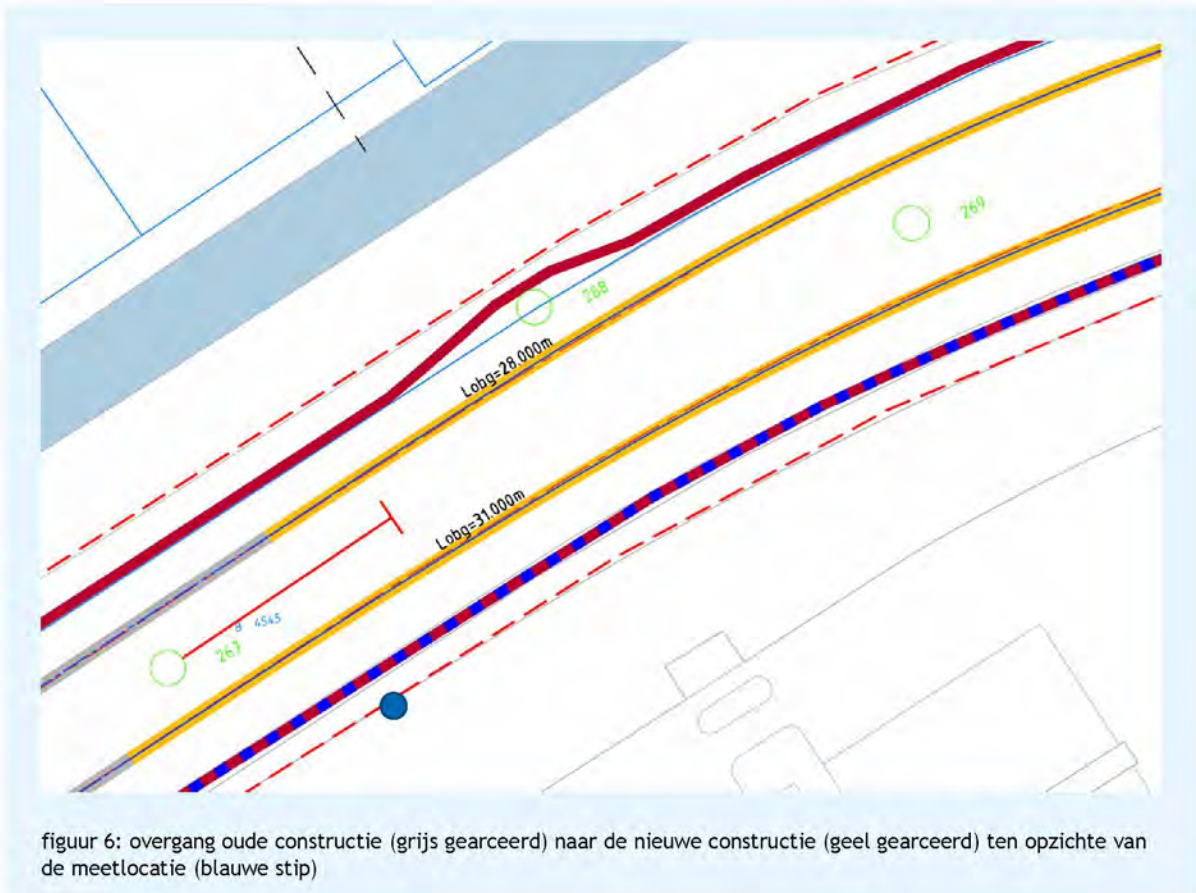
figuur 5: meetlocatie bij halte Binnenstad

De meter is in overeenstemming met het meetprotocol op 7,5 meter uit het hart van het binnenste spoor geplaatst op een hoogte van 1,5 meter BS. De afstand tot de woningen bedraagt 16 meter.

De baan op deze locatie is uitgevoerd als vignoleraail 49E1 op ballastbed met betonnen dwarsliggers rond de overgang van de oude naar vernieuwde constructie (figuur 5). De meetlocatie ligt vlak buiten de boog, maar het spoor heeft hier nog wel een verkantingsopbouw. De gegevens van het spoor op deze locatie staan in tabel 4.

tabel 4: spooreigenschappen boog bij halte Binnenstad

	Binnenboog	Buitenboog
Boogstraal [m]	140	113
Ontwerpsnelheid [km/u]	40	40
Verkanting [mm]	50	50
Verkantingstekort [mm]	118	85
Verkantingsopbouw	1:1000	1:800
Balanssnelheid [km/u]	24,9	22,5
Schatting op basis van maximale verkanting dus exclusief verkantingsopbouw		



3.4 Weegbree

De metingen bij de Weegbree zijn uitgevoerd ter hoogte van huisnummer 6. Rond deze meetlocatie wordt met een constante snelheid gereden. De baanvakssnelheid op dit tracédeel bedraagt 40 km/u.



figuur 7: meetlocatie bij de Weegbree

De meter is in overeenstemming met het meetprotocol op 7,5 meter uit het hart van het binnenste spoor geplaatst op een hoogte van 1,5 meter BS. De afstand tot de woningen bedraagt 16 meter.

De baan op deze locatie is uitgevoerd als vignoleraail 49E1 op ballastbed met betonnen dwarsliggers. Het spoor is op deze locatie vervangen in het kader van de vernieuwing van de SUNIJ-lijn. De eigenschappen van het spoor staan in tabel 5.

tabel 5: spooreigenschappen boog bij Weegbree

	Binnenboog	Buitenboog
Boogstraal [m]	174	175
Ontwerpsnelheid [km/u]	40	40
Verkanting [mm]	60	60
Verkantingstekort [mm]	49	43
Balanssnelheid [km/u]	30,5	30,5

3.5 Gebruikte meetapparatuur

Tijdens de metingen is gebruikgemaakt van de volgende geluidsmeters:

- nTI-XL2 klasse 1 geluidsmeter: DH-1042 met Rion NC74 kalibrator;
- nTI-XL2 klasse 1 geluidsmeter: DH-1046 met Rion NC74 kalibrator;
- nTI-XL2 klasse 1 geluidsmeter: DH-1047 met Rion NC74 kalibrator.

De meetapparatuur is klasse 1 gecertificeerd.

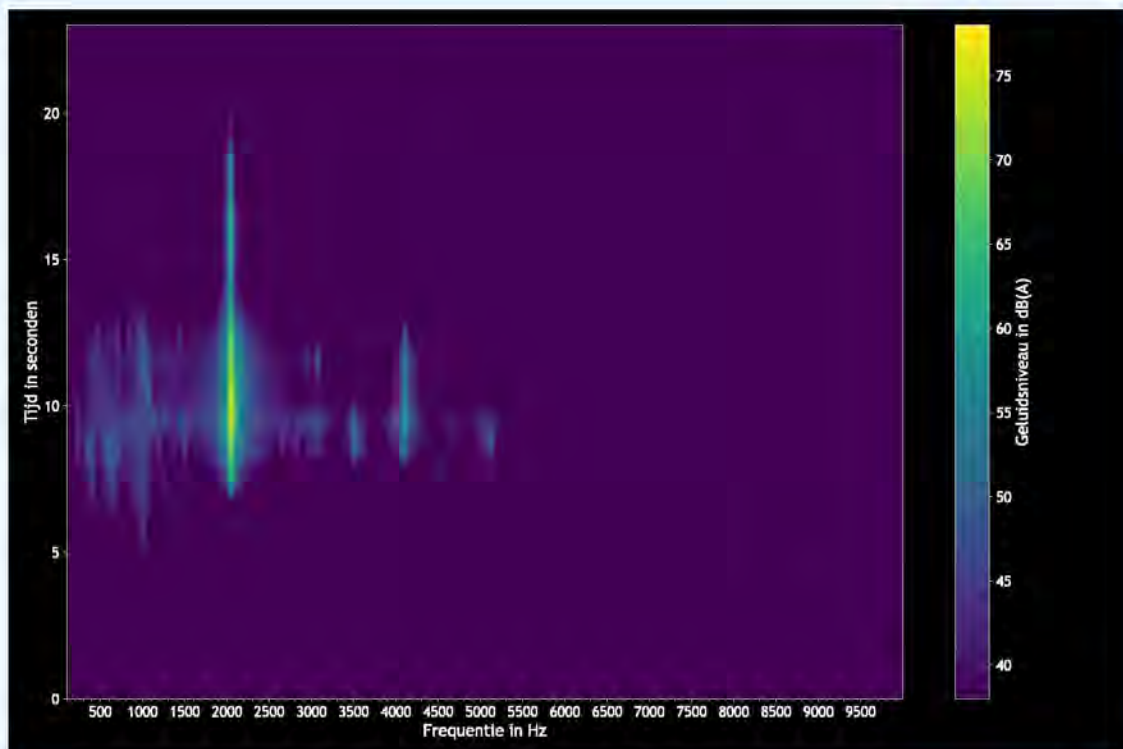
3.6 Weersomstandigheden

Tijdens de metingen op 21 april 2022 was het droog weer. De temperatuur tijdens de metingen bedroeg 11 °C De relatieve luchtvochtigheid nam tijdens de meting af van 85% naar 37%.

De gemiddelde luchtdruk tijdens de meting bedroeg 1022 hPa en de bewolgingsgraad was 0 octa's (volledig onbewolkt). De meteorologische data zijn afkomstig van het KNMI (meetpunt Cabauw).

3.7 Technische achtergrond wielen

In het onderzoek dat in 2021 uitgevoerd is, is de booggeluidgeluidsfrequentie van de CAF Urbos 100 vastgesteld. Gedurende de tijd dat squealgeluid aanwezig is (tussen 7 en 19 seconden), is een duidelijke piek bij 2040 Hz te zien. Tijdens de momenten dat flensgeluid aanwezig is (8 tot 11 seconden), is een verdikking bij 2040 Hz en pieken bij 4100 Hz te zien.



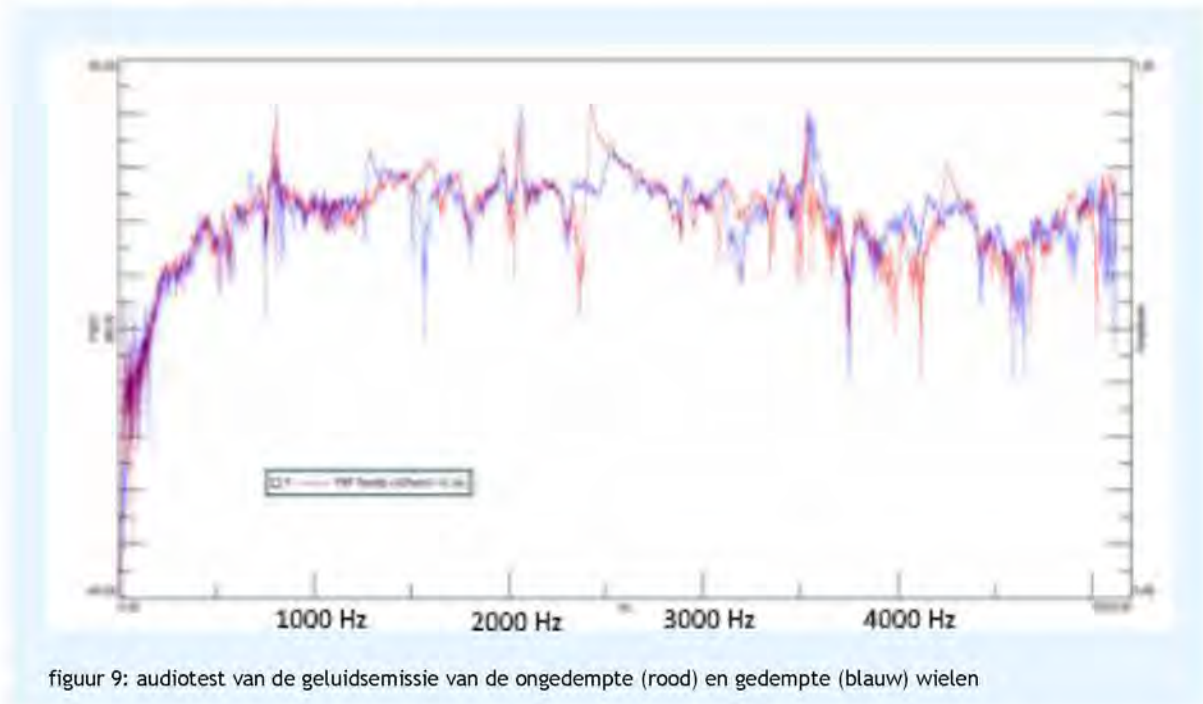
figuur 8: spectrogram van een trampassage met squeal- en flensgeluid bij halte Binnenstad

Dit betekent dat squealgeluid een frequentie heeft van 2040 Hz en flensgeluid een grondfrequentie van 2040 Hz en er één auditieve boventoon te zien is. Omdat deze twee grondfrequenties gelijk zijn, kan het meetprotocol geen onderscheid maken tussen squeal- en flensgeluid. Daarom is ervoor gekozen om voor flensgeluid alleen 4100 Hz te beschouwen. Dit is verdedigbaar omdat squealgeluid op deze locatie duidelijk dominant is.

Door CAF zijn metingen uitgevoerd aan de wielen, zonder belasting. Hierbij zijn de dominante trillingsmodi (eigenfrequenties) gemeten voor wielen met en zonder wioldempers. De trillingsmodi bij de ongedempte wielen liggen op 808 Hz, 2053 Hz en 3532 Hz. De 2053 Hz modus komt duidelijk

terug. Bij de gedempte wielen verschuift de eigenfrequentie naar 2058 Hz en wordt de dempingsfactor verhoogd van 0,16% naar 0,23%.

Naast de test met de trillingsmodi zijn audiotests uitgevoerd. Hierbij valt op dat de piek rond 2050 Hz nog steeds zeer aanwezig is.



figuur 9: audiotest van de geluidsemissie van de ongedempte (rood) en gedempte (blauw) wielen

4. Resultaten

4.1 Praagsingel

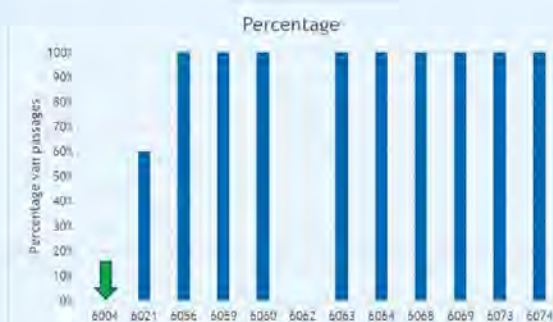
Bij de Praagsingel is auditief alleen squealgeluid waargenomen. Hoewel auditief geen flensgeluid is waargenomen, wordt dit wel gemeten door het algoritme. In 2021 trad bij alle passages booggeluid op. Bij de metingen in 2022 is in de binnenboog is de SEL₂₀ met 23,6 dB(A) afgenomen en is de waarde van dSEL₂₀ afgenomen naar 0,1 dB. Dit betekent dat er geen booggeluid in de binnenboog optreedt. In de buitenboog is een klein effect te zien. De SEL₂₀ neemt met 10,5 dB af en de dSEL₂₀ met 0,9 dB. De waarde van dSEL₂₀ in de buitenboog is echter nog wel 3,5 dB wat duidt op een sterk booggeluideffect.

tabel 6: vergelijking meetresultaten Praagsingel

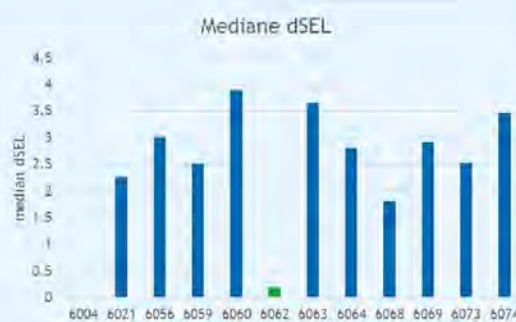
	SEL 2021	SEL 2022	Afname SEL	dSEL 2021	dSEL 2022	dSEL Afname
Binnen	101,0	77,4	23,6	3,7	0,1	3,6
Buiten	98,6	88,0	10,5	4,4	3,5	0,9

Omdat in de binnenboog geen booggeluid optreedt kan vastgesteld worden wat de geluidsbelasting zonder booggeluid zou zijn. Deze waarde bedraagt ongeveer 45 dB op de gevels van de woningen. Hiermee wordt ruim voldaan aan de voorkeurswaarde van 53 dB.

Om vast te stellen wat de oorzaak is van de afname in de buitenboog is gekeken naar de passages per voertuig op de buitenboog. Wat opvalt is dat de passages van de trams 6004 en 6062, welke met wioldempers uitgevoerd zijn, geen booggeluid tot gevolg hebben. Dit terwijl de overige trampassages altijd booggeluid tot gevolg hebben.



figuur 10: percentage van booggeluid veroorzakende trams in de buitenboog bij Praagsingel



figuur 11: mediane waarde van dSEL per tram in de buitenboog bij Praagsingel

4.2 Binnenstad

Bij halte Binnenstad is geen enkele passage met booggeluid waargenomen. Waar in 2021 nog een SEL-waarde van ongeveer 98 dB gemeten werd (circa 95 dB op de gevel), bedraagt de SEL-waarde nu 75 dB voor de binnenboog en 73 dB voor de buitenboog.

tabel 7: vergelijking meetresultaten Binnenstad

	SEL 2021	SEL 2022	Afname SEL	dSEL 2021	dSEL 2022	dSEL Afname
Binnen	97,5	75,5	22,0	4,0	0,0	4,0
Buiten	98,1	73,0	25,1	4,6	0,0	4,6

Omgerekend naar de wettelijke toetswaarde L_{den} is de heersende geluidsbelasting 47 dB waar 53 dB de voorkeurswaarde is. Hiermee wordt dus ruim voldaan aan de wettelijke grenswaarden.

4.3 Weegbree

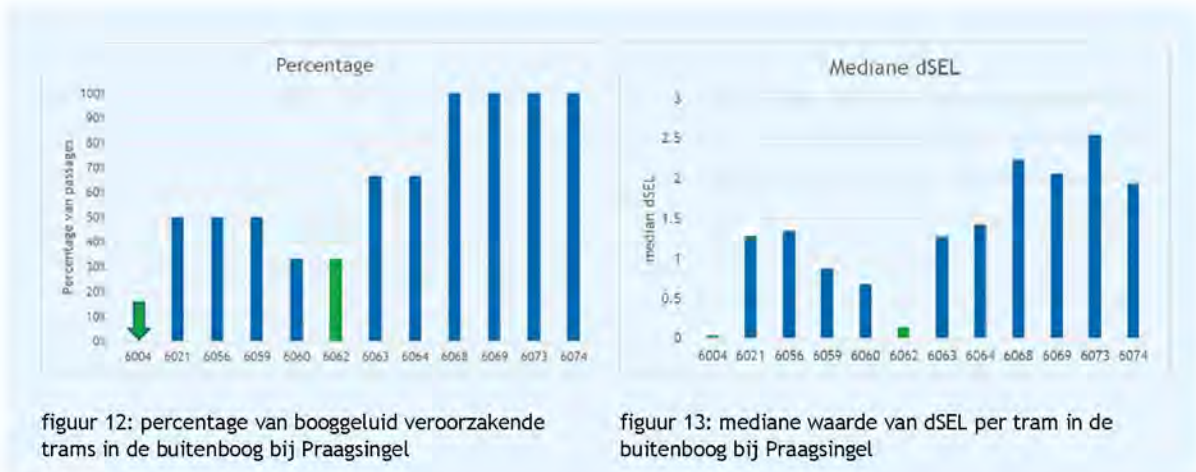
Bij de Weegbree is auditief alleen squealgeluid waargenomen. Hoewel auditief geen flensgeluid is waargenomen, wordt dit wel gemeten door het algoritme. In 2021 traden bij alle passages booggeluid op. Bij de metingen in 2022 is in de binnenboog is de SEL_{20} met 19,9 dB(A) afgenomen en is de waarde van $dSEL_{20}$ afgenomen naar 0,1 dB. Dit betekent dat er geen booggeluid in de binnenboog optreedt. In de buitenboog is een klein effect te zien. De SEL_{20} neemt met 0,7 dB af en de $dSEL_{20}$ met 0,7 dB. De waarde van $dSEL_{20}$ in de buitenboog is echter nog wel 2,3 dB wat duidt op een sterk booggeluideffect.

tabel 8 Vergelijking meetresultaten Weegbree

	SEL 2021	SEL 2022	Afname SEL	dSEL 2021	dSEL 2022	dSEL Afname
Binnen	93,3	75,4	19,9	3,5	0,1	3,4
Buiten	87,4	86,7	0,7	3,0	2,3	0,7

Omdat in de binnenboog geen booggeluid optreedt kan worden vastgesteld wat de geluidsbelasting bedraagt als al het booggeluid weggenomen wordt. De geluidsbelasting zonder booggeluid bedraagt 45 dB, waarmee ruim voldaan wordt aan de voorkeurswaarde van 53 dB.

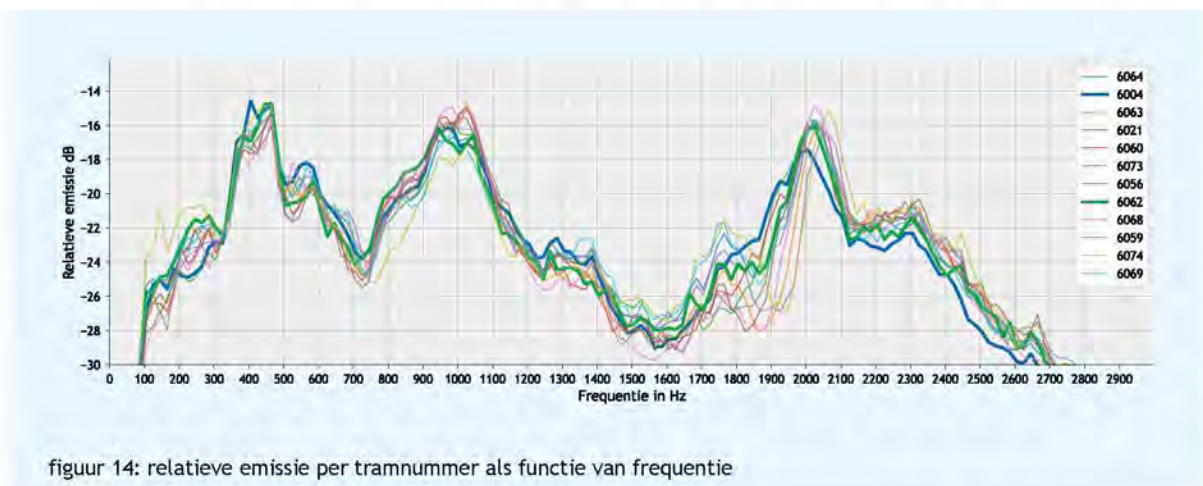
Om vast te stellen wat de oorzaak is van de afname in de buitenboog is gekeken naar de passages per voertuig op de buitenboog. Wat opvalt is dat de tram 6004, welke met wioldempers uitgevoerd is, geen booggeluid veroorzaakt. Tram 6062 is ook uitgerust met wioldempers, maar produceert op één passage booggeluid. Ook is te zien dat met name de nieuwste trams meer booggeluid veroorzaken. De exacte reden hiervoor is niet bekend, maar dit zou mogelijk met het inlopen van de wielen te maken kunnen hebben. Wanneer wordt gekeken naar de mediane waarde van $dSEL$ is te zien dat de trams met wioldempers veel minder booggeluid veroorzaken.



4.4 Eigenfrequentie

Door de wioldempers zou de eigenfrequentie van de wielen moeten veranderen en zou de emissie van de wielen af moeten nemen. Bij de binnenbocht bij halte Binnenstad zijn de geluidsspectra van de verschillende passerende voertuigen uitgezet.

In onderstaande figuur is per tramnummer de relatieve emissie uitgezet als functie van de frequentie. Hierin zijn de lijnen van de trams met wioldempers (6004 en 6062) dikker gemaakt. Het frequentiegebied rond 500 Hz is de geluidsafstraling van de dwarsligger, het gebied rond 1000 Hz komt overeen met het wiel en rond 2000 Hz de spoorstaaf én het wiel.



In de figuur is te zien dat tram 6004 een veel lagere emissie rond 2000 Hz geeft dan de overige trams. Tram 6062 heeft echter een vergelijkbare emissie als de andere trams. In het frequentiegebied van het wiel (ongeveer 1000 Hz) is te zien dat de dominante frequentie circa 100 Hz opgeschoven is. Daarnaast is de emissie van de tram met wioldempers vanaf 2100 Hz lager dan bij de trams zonder wioldempers. Deze bevindingen komen overeen met de metingen van CAF.

4.5 Beschouwing

Bij halte Binnenstad zijn op beide sporen smeerinstallaties aangebracht. Deze smeerinstallaties zorgen ervoor dat het booggeluid op deze locatie volledig weggenomen wordt.

Bij Weegbree is geen smeerinstallatie aanwezig waardoor in eerste instantie geen afname van booggeluid verwacht wordt. In de binnenboog wordt het booggeluid echter wel volledig weggenomen.

Het vermoeden is dat het vet van de smeerinstallatie over de hele lengte tussen halte Binnenstad en de meetlocatie meegenomen wordt. De tram vanuit Utrecht is de smeerinstallatie nog niet gepasseerd, waardoor hier nog steeds booggeluid waargenomen wordt. Tram 6004, die met wioldempers uitgevoerd is, veroorzaakt geen booggeluid. Tram 6062 (ook met wioldempers) heeft slechts op 1 van 3 passages booggeluid veroorzaakt.

Een vergelijkbaar effect wordt waargenomen bij de locatie Praagsingel. In de binnenboog is een smeerinstallatie aanwezig die alle booggeluid wegneemt. In verband met het halteren bij het eindpunt wordt de zandstrooiinstallatie ingeschakeld, waardoor het vet niet/nauwelijks op de buitenboog terecht komt. Alle trams met wioldempers produceren geen booggeluid in de buitenboog. De trams zonder wioldempers hebben een kleinere kans om booggeluid te geven, maar wanneer deze booggeluid produceren is dit nog steeds zeer hinderlijk.

5. Conclusie

Naar aanleiding van booggeluidsklachten na heropening van de SUNIJ-lijn in 2021 heeft trambedrijf Utrecht maatregelen getroffen om de klachten af te laten nemen. Op verschillende bogen zijn smeerinstallaties aangebracht en twee trams zijn uitgevoerd met wioldempers.

Bij halte Binnenstad zijn op de binnen en buitenboog smeerinstallaties aangebracht. Dit heeft als effect dat het booggeluid bij halte Binnenstad volledig weggenomen wordt. Op basis van de gemeten SEL-waarde is ook gekeken naar de wettelijk toetsbare geluidsbelasting in L_{den} . Deze bedraagt 46 dB en voldoet daarmee ruim aan de wettelijke voorkeurswaarde van 53 dB.

Voor de overige meetlocaties wordt in de buitenboog nog booggeluid gedetecteerd. Bij locatie Praagsingel wordt het booggeluid door een smeerinstallatie weggenomen. In de buitenboog ontstaat bij de trams zonder wioldempers nog booggeluid. De trams met wioldempers veroorzaken hier geen booggeluid. Op de locatie Weegbree wordt het booggeluid in de binnenboog vermoedelijk weggenomen door een uitstralend effect van halte Binnenstad. In de buitenboog wordt wel minder booggeluid gedetecteerd bij trams met wioldempers.

Ook hier is indicatief de geluidsbelasting in L_{den} bepaald, al moet opgemerkt worden dat in de Nederlandse milieuwetgeving booggeluid niet meegenomen wordt. De geluidsbelasting bij Weegbree bedraagt 55 dB en bij Praagsingel 57 dB. Dit is hoger dan de voorkeurswaarde van 53 dB, maar lager dan de maximale grenswaarde. Als het booggeluid weggenomen wordt, bedraagt de geluidsbelasting 46 dB respectievelijk 48 dB en wordt ruim voldaan aan de grenswaarde.

Op basis van de geluidsanalyse van CAF zit de grootste afname van de geluidsemissie rond 2400 Hz en lijkt er geen afname rond de eigenfrequentie van 2050 Hz te zitten. Dit volgt ook uit de geluidsmetingen bij halte Binnenstad. In de metingen is geen duidelijk emissieverschil rond de booggeluidsfrequentie van 2050 Hz te zien. Rond 2450 Hz wordt wel een duidelijke afname gevonden. Deze bevindingen komen overeen met de meetresultaten van CAF. De meetresultaten bij IJsselstein geven aanleiding om aan te nemen dat de afname van booggeluid primair door de smeerinstallaties veroorzaakt wordt. Daarnaast geven de wioldempers mogelijk een secundair effect, al moet dit met aanvullende metingen aangetoond worden.

s.12a 5.1.2.e

DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

Metingen wioldempers Utrecht

Meetrapportage Utrecht

Status	definitief
Versie	001
Rapport	M.2021.1252.00.R002
Datum	3 februari 2023



Colofon

Opdrachtgever	Provincie Utrecht Postbus 80300 3508 TH UTRECHT
Contactpersoon opdrachtgever	5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e
Project Betreft Uw kenmerk	Provincie Utrecht - Meting wioldempers tram Utrecht Offerte en voorbereiding -
Rapport Datum Versie Status	M.2021.1252.00.R002 3 februari 2023 001 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Casuariestraat 5 2511 VB Den Haag Postbus 370 2501 CJ Den Haag
Contactpersoon	5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e@dgmr.nl
Auteur	5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e@dgmr.nl
Projectadviseur	5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e@dgmr.nl
2e lezer/secr.	5.1.2.e 5.1.2.e

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Theorie	5
2.1 Ontstaan booggeluid	5
2.2 Meetprotocol booggeluid	5
2.3 Beoordeling van booggeluid	7
2.4 Wettelijk kader (Wet geluidhinder)	7
3. Metingen	9
3.1 Meetlocaties	9
3.2 Gebruikte meetapparatuur	10
3.3 Weersomstandigheden	10
3.4 Technische achtergrond wielen	10
4. Resultaten	12
4.1 Booggeluidfrequenties CAF Urbos 100	12
4.2 Utrecht CS	13
4.3 Laan van Maarschalkerweerd	14
4.4 Effect wielempers	15
5. Conclusie	17

1. Inleiding

De trams op de Uithoflijn in Utrecht produceren booggeluid wat mogelijk tot hinder bij de bewoners in de omgeving kan leiden. Bij Utrecht Centraal Station treedt booggeluid op. Bij de Herculesboog, nabij de Laan van Maarschalkerweerd trad, tot plaatsing van smeerinstallaties, booggeluid op. Naar aanleiding van eerdere metingen uitgevoerd door DGMR heeft Provincie Utrecht, als test, wioldempers geplaatst onder twee tramstellen. Om vast te stellen wat het effect van boogsmeerinstallaties en wioldempers zijn heeft DGMR geluidsmetingen uitgevoerd op deze locaties.



figuur 1: Utrechtse CAF Urbus-100 tram

Over de Uithoflijn rijden de trams gekoppeld. Om te bepalen of de wioldempers het gewenste effect veroorzaken zijn de tramstellen met wioldempers op de meetdag aan elkaar gekoppeld.

In de Nederlandse wetgeving wordt voor railverkeer alleen het tractie-, rol- en stootgeluid beoordeeld. Het aspect booggeluid maakt geen onderdeel uit van de Nederlandse wet- en regelgeving. Vanuit de Nederlandse OV-bedrijven is echter wel het initiatief ontstaan om een uniform meetvoorschrift voor booggeluid op te stellen. Dit meetvoorschrift beschrijft de methode hoe booggeluid gemeten moet worden, maar voorziet nog niet in een beoordelingskader.

In hoofdstuk 2 lichten wij toe hoe booggeluid ontstaat en hoe dit gemeten, berekend en beoordeeld wordt. In hoofdstuk 3 geven wij een toelichting op de meetlocaties. Vervolgens presenteren wij de resultaten van het onderzoek in hoofdstuk 4 en sluiten we af met een conclusie.

2. Theorie

2.1 Ontstaan booggeluid

Booggeluid ontstaat wanneer railvoertuigen door een boog rijden. Bij bogen moet het binnenste wiel een kortere afstand afleggen dan het buitenste wiel. Omdat de assen vaak zijn doorgelast (geen differentieel), moeten beide wielen een gelijk aantal rondjes te draaien om dezelfde afstand af te leggen. Hierdoor gaat het binnenste wiel doorslippen. Wanneer de spoorstaaf droog en vetvrij is, wordt de statische wrijvingscoëfficiënt hoger. Om deze wrijving te overwinnen, is energie nodig die vrijkomt in de vorm van warmte en geluid. Dit leidt tot het zogenaamde slipstickgeluid, ook wel squeal-noise genoemd.

Een tweede effect dat een rol kan spelen, is het stureffect van de spooras. Wielen van railvoertuigen hebben aan de binnenzijde een flens. Daarnaast zijn de wielen conisch uitgevoerd zodat het railvoertuig binnen het spoor blijft rijden en automatisch bijstuurt. Wanneer het voertuig door de boog rijdt, kan de flens langs de kop van de spoorstaaf schuren. Dit geluid noemen we dan ook flensgeluid of flanging-noise.

Het onderscheid tussen stick-slipgeluid en flensgeluid is over het algemeen auditief vrij goed waar te nemen. Stick-slipgeluid kenmerkt zich door een sterk tonaal karakter (fluittoon) en heeft weinig boventonen¹. Flensgeluid kenmerkt zich meer door een schrapend geluid en heeft dan ook een bredere piek met boventonen.

2.2 Meetprotocol booggeluid

De Nederlandse vervoersbedrijven (GVB, HTM, RET en Provincie Utrecht) hebben vanuit het samenwerkingsorgaan MeerStedenOverleg Geluid en Trillingen (MSO) een meetvoorschrift booggeluid voor tram- en metro-infrastructuur opgesteld. Deze methode is bedoeld voor het objectiveren van klachten en het beoordelen van het effect van wijzigingen. In de methode wordt zowel een indicatieve als uitgebreide methode beschreven. De uitgebreide methode is meer geschikt voor het onderzoeken van oorzaken en ontwerpen en toetsen van mogelijke oplossingen.

Omdat met name het tonale karakter van booggeluid hinderlijk is en niet altijd goed in het equivalente of maximale geluidsniveau naar voren komt, is een 'normale meting' vaak niet geschikt. De uitgebreide methode is juist met name toegespitst op het identificeren en het markeren van het hinderlijke tonale karakter van booggeluid en streeft ernaar om het tonale karakter en rolgeluid te onderscheiden.

De methode is uitgebreid beschreven in het meetprotocol booggeluid versie 2.1. Hieronder volgt enkel een korte samenvatting van de methode.

Meetopstelling

De geluidmeters worden op 7.5 meter afstand van het hart van de binnenboog geplaatst op een hoogte van 1.5 meter ten opzichte van de bovenkant van de spoorstaaf. Wanneer meten op 7.5 meter afstand niet mogelijk is door bijvoorbeeld andere infrastructuur of (sterk) reflecterende objecten, kan de meetlocatie verplaatst worden. Hiervoor moet uiteindelijk wel rekenkundig gecompenseerd worden.

¹ De theorie stelt dat stick-slipgeluid geen boventonen geeft. De ervaring leert dat boventonen wel aanwezig (kunnen) zijn, maar wel sterk afnemen met circa 24 dB per octaaf.

De metingen worden uitgevoerd met een IEC-61672 klasse I gecertificeerde geluidsmeter of data-acquisitiesysteem met een samplefrequentie van 22.05 kHz of meer. De geluidskalibrator moet ook IEC-61672 klasse 1 gecertificeerd zijn.

De metingen worden uitgevoerd bij temperaturen tussen 5 en 25 °C, waarbij de windkracht lager is dan 5 Bft. Daarnaast worden minimaal 30 voertuigen per type per richting vastgesteld.

Verwerking

Van elke meting wordt het maximale geluidsniveau $L_{AF,max}$ vastgesteld. Vervolgens wordt van elke seconde het zogenaamde energiedichtheidspectrum (PSD) gemaakt. Door dit spectrum te integreren, is de geluidsenergie per seconde bekend (SEL_{1s}). Door alle seconden op te tellen, is de totale geluidsenergie over de passage (SEL_{totaal}) bekend.

Binnen elke seconde wordt gezocht naar pieken in het spectrum die kenmerkend zijn voor squeal- en flanging geluid. Als binnen een seconde meetdata een piek gevonden wordt, is gedurende deze seconde sprake van booggeluid. Van deze pieken wordt per seconde de energie berekend.

Deze energie wordt voor alle seconden van de passage opgeteld, zodat SEL_{squeal} en $SEL_{flanging}$ bepaald worden. Door deze energetisch op te tellen, wordt een $SEL_{booggeluid}$ gevonden.

$$SEL_{booggeluid} = SEL_{squeal} \oplus SEL_{flanging}$$

$$SEL_{booggeluid} = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{SEL_{squeal}}{10}} + 10^{\frac{SEL_{flanging}}{10}} \right)$$

Uit deze gegevens kan de SEL-waarde van een voertuigpassage zonder booggeluid bepaald worden. Deze waarde wordt ook wel $SEL_{baseline}$ genoemd en volgt uit het energetische verschil van SEL_{totaal} en $SEL_{booggeluid}$.

$$SEL_{baseline} = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{SEL_{totaal}}{10}} - 10^{\frac{SEL_{booggeluid}}{10}} \right)$$

Tot slot wordt ook de toename ten gevolge van booggeluid vastgesteld. Deze waarde wordt $dSEL$ genoemd en volgt uit het rekenkundige verschil tussen SEL_{totaal} en $SEL_{baseline}$.

$$dSEL = SEL_{totaal} - SEL_{baseline}$$

In tabel 1 staan de gemeten en berekende grootheden nogmaals toegelicht.

tabel 1: nadere toelichting van de gebruikte grootheden

Grootheid	Omschrijving
$L_{AF,max}$	Het maximale geluidsniveau gedurende de passage, ook wel het piekgeluid genoemd
SEL_{totaal}	De totale geluidsenergie over de hele passage van zowel het 'normale' rijgeluid als booggeluid
SEL_{squeal}	De totale geluidsenergie over de hele passage ten gevolge van het squeal- of stick-slip geluid
$SEL_{flanging}$	De totale geluidsenergie over de hele passage ten gevolge van het flens of flanginggeluid
$SEL_{booggeluid}$	De totale geluidsenergie over de hele passage ten gevolge van booggeluid
$SEL_{baseline}$	De totale geluidsenergie over de hele passage ten gevolge van 'normaal' rijgeluid ²
$dSEL$	De toename van de geluidsenergie als gevolg van booggeluid

² De $SEL_{baseline}$ wordt te hoog ingeschat wanneer het aandeel booggeluid een zeer significant aandeel in het geluid heeft. Dit leidt echter niet tot fouten in de nadere beoordeling, aangezien in dat geval $dSEL$ veel groter wordt dan 1 dB.

2.3 Beoordeling van booggeluid

Het meetvoorschrift heeft geen beoordelend karakter. Hiervoor moet nader onderzoek gedaan worden naar de dosis-effectrelaties van booggeluid. Op basis van een validatie van het meetvoorschrift door meerdere ingenieursbureaus is wel een voorzet gegeven om tot een beoordeling te komen.

Voor de beoordeling wordt een statistische analyse voorgesteld waarbij op basis van de 20-percentielwaarde de beoordeling plaatsvindt. Dit zijn de niveaus die door 20% van de voertuigen overschreden wordt.

Wanneer $dSEL_{20}$ (20-percentielwaarde van $dSEL$) groter is dan 1 dB, wordt de situatie gekenschetst als een booggeluidssituatie. Vervolgens wordt ook de SEL_{20} (20-percentielwaarde van SEL_{totaal}) vastgesteld. Voor eenvoudige situaties kan deze door middel van een eenvoudige afstandstabel doorgerekend worden op de woningen. Voor licht-stedelijke situaties is de ambitiewaarde voor SEL_{20} op de woningen gelijkgesteld aan 75 dB_{SEL} . De SEL -waarde op de woningen wordt berekend door de gemeten SEL -waarde te verminderen met de waarden uit tabel 2.

tabel 2: verzwakkingstabel op basis van de afstand spoor-woningen³

Afstand [m]	7,5	10	12	15	19
Verzwakking [dB]	0	-2	-4	-6	-8

2.4 Wettelijk kader (Wet geluidhinder)

De Wet geluidhinder (Wgh) biedt het wettelijk kader voor de toegestane geluidsbelasting vanwege wegen en spoorwegen bij geluidgevoelige bestemmingen, waaronder woningen.

De Wet geluidhinder stelt eisen aan de maximale geluidsbelasting als gevolg van weg-, rail- en industrielawaai. Daarbij moet opgemerkt worden dat voor weg- en railverkeer de Wet geluidhinder alleen voor ontwikkelingen van nieuwe geluidgevoelige bestemmingen en nieuwe en gewijzigde spoorlijnen toepasbaar is. De Wet geluidhinder biedt geen handhavingmiddelen. Er kan echter wel aansluiting gevonden worden bij de grenswaarden uit de Wet geluidhinder om aan te tonen of er sprake is van een aanvaardbare situatie. In de beoordeling van railverkeersgeluid alleen het tractie-, rol- en stootgeluid beoordeeld. Booggeluid maakt geen deel uit van deze beoordeling,

Het tracé van de SUNIJ-lijn is opgenomen op de zonekaart spoorwegen geluidhinder, waardoor de tram op dit tracé onder het regime railverkeerslawaai valt.

Geluidsbelasting

De geluidsbelasting (L_{den} -waarde) wordt bepaald door het gewogen gemiddelde van de volgende geluidniveaus:

- Het equivalente geluidniveau (L_{eq}) over de dagperiode (07.00 - 19.00 uur).
- Het equivalente geluidniveau (L_{eq}) over de avondperiode (19.00 - 23.00 uur), verhoogd met 5 dB.
- Het equivalente geluidniveau (L_{eq}) over de nachtperiode (23.00 - 07.00 uur), verhoogd met 10 dB.

³ De verzwakking volgt uit een puntbronuitstraling in het vrije veld ($D = 20 \lg \frac{r}{7,5}$). Hierbij wordt geen rekening gehouden met overige geluidsdemping zoals door groenstroken of afscherming.

Op basis van de SEL-waarden kan per periode de geluidsbelasting bepaald worden met de onderstaande formule:

$$L_{periode} = SEL + 10 \cdot \lg(N) - 10 \cdot \lg(t \cdot 3600)$$

Waarbij N het aantal voertuigen per periode is en t het aantal uren in de beoordelingsperiode is.

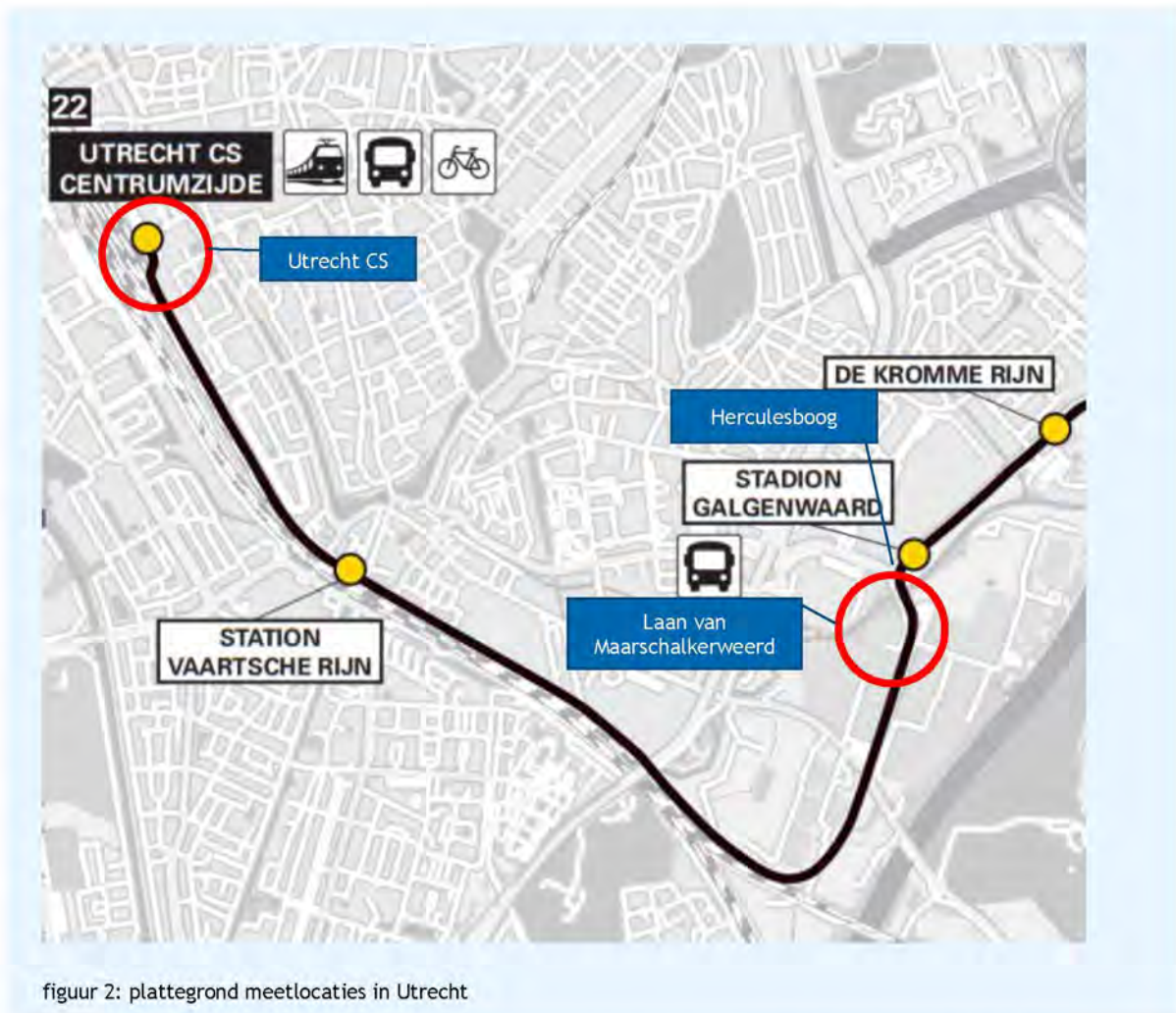
De Wet geluidhinder stelt voor railverkeer een voorkeurswaarde van 55 dB voor woningen en geluidgevoelige terreinen en 53 dB voor overig geluidgevoelige gebouwen (zoals scholen). De hoogst toelaatbare geluidsbelasting voor railverkeer bedraagt 68 dB voor woningen en overig geluidgevoelige gebouwen en 63 dB voor terreinen.

Wanneer de geluidsbelasting lager is dan de voorkeursgrenswaarde wordt altijd voldaan. Wanneer de geluidsbelasting hoger is dan de maximale ontheffingswaarde wordt niet voldaan. Wanneer de geluidsbelasting hoger is dan de voorkeursgrenswaarde maar lager dan de maximale ontheffingswaarde is moet een hogere waarde aangevraagd worden. De eisen verschillen per gemeente, maar in ieder geval moeten maatregelen afgewogen worden en moeten (mogelijk) maatregelen aan de gevel getroffen worden.

3. Metingen

3.1 Meetlocaties

Wij hebben op twee locaties langs het spoor in Utrecht gemeten op een afstand van 7.5 meter uit het hart van het spoor in de binnenboog en op een hoogte van ongeveer 1.5 meter ten opzichte van bovenkant spoor. De eerste locatie was bij Utrecht Centraal Station en de tweede langs de Laan van Maarschalkerweerd vlak voor halte Stadion Galgenwaard. De twee meetlocaties zijn weergegeven in figuur 2.



figuur 2: plattegrond meetlocaties in Utrecht

Op beide locaties is de geluidsmeter in overeenstemming met het meetprotocol op 7.5 meter uit het hart van het binnenste spoor geplaatst op een hoogte van 1.5 meter BS.

Bij de Herculesboog zijn smeerinstallaties geplaatst. De trams op de meetlocatie Laan van Maarschalkerweerd, die richting Utrecht CS rijden, kunnen hier nog effect van merken. Dat is de binnenboog op deze locatie.

3.2 Gebruikte meetapparatuur

Tijdens de metingen is gebruikgemaakt van de volgende geluidsmeters:

- nTI-XL2 klasse 1 geluidsmeter: DH-1041 met Rion NC74 kalibrator.
- nTI-XL2 klasse 1 geluidsmeter: DH-1044 met Rion NC74 kalibrator.

De meetapparatuur is klasse 1 gecertificeerd.

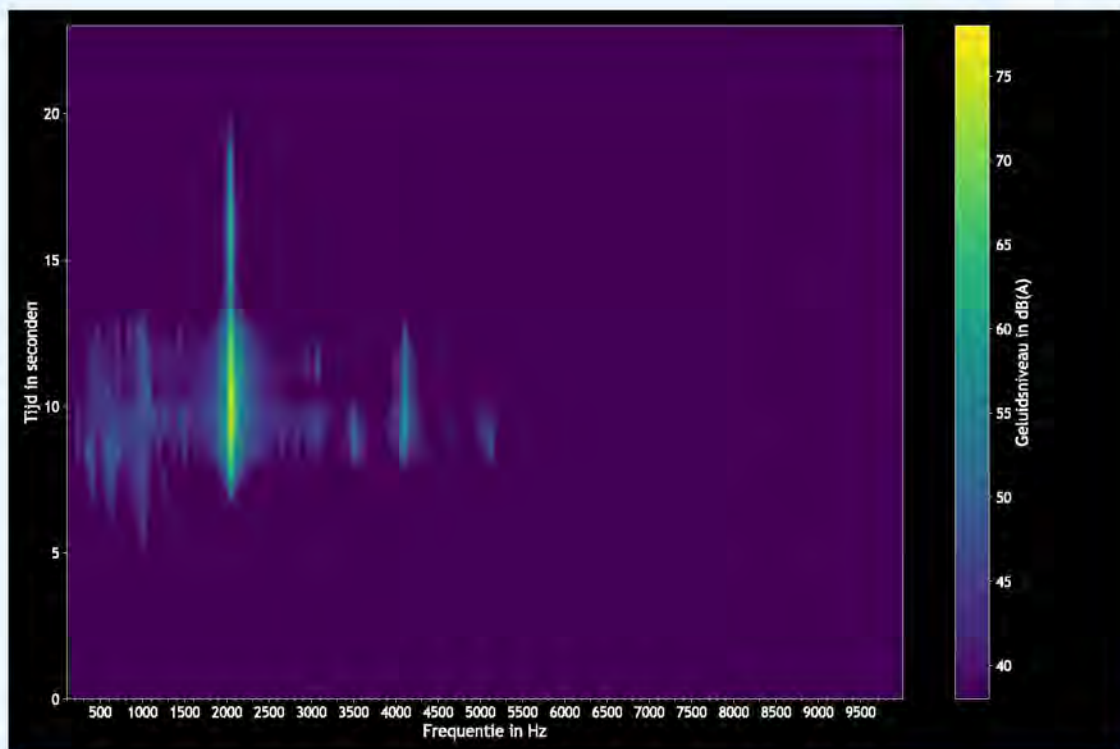
3.3 Weersomstandigheden

Tijdens de metingen op **21 april 2022** was het droog weer. De temperatuur tijdens metingen bedroeg 11 °C De relatieve luchtvochtigheid nam tijdens de meting af van 85% naar 37%.

De gemiddelde luchtdruk tijdens de meting bedroeg 1022 hPa en de bewolgingsgraad was 0 octa's (volledig onbewolkt). De meteorologische data is afkomstig van het KNMI (meetpunt Cabauw).

3.4 Technische achtergrond wielen

In het onderzoek dat in 2021 uitgevoerd is, is de booggeluidgeluidfrequentie van de CAF Urbos 100 vastgesteld. Gedurende de tijd dat squealgeluid aanwezig is (tussen 7 en 19 seconden), is een duidelijke piek bij 2040 Hz te zien. Tijdens de momenten dat flensgeluid aanwezig is (8 tot 11 seconden), is een verdikking bij 2040 Hz en pieken bij 4100 Hz te zien.

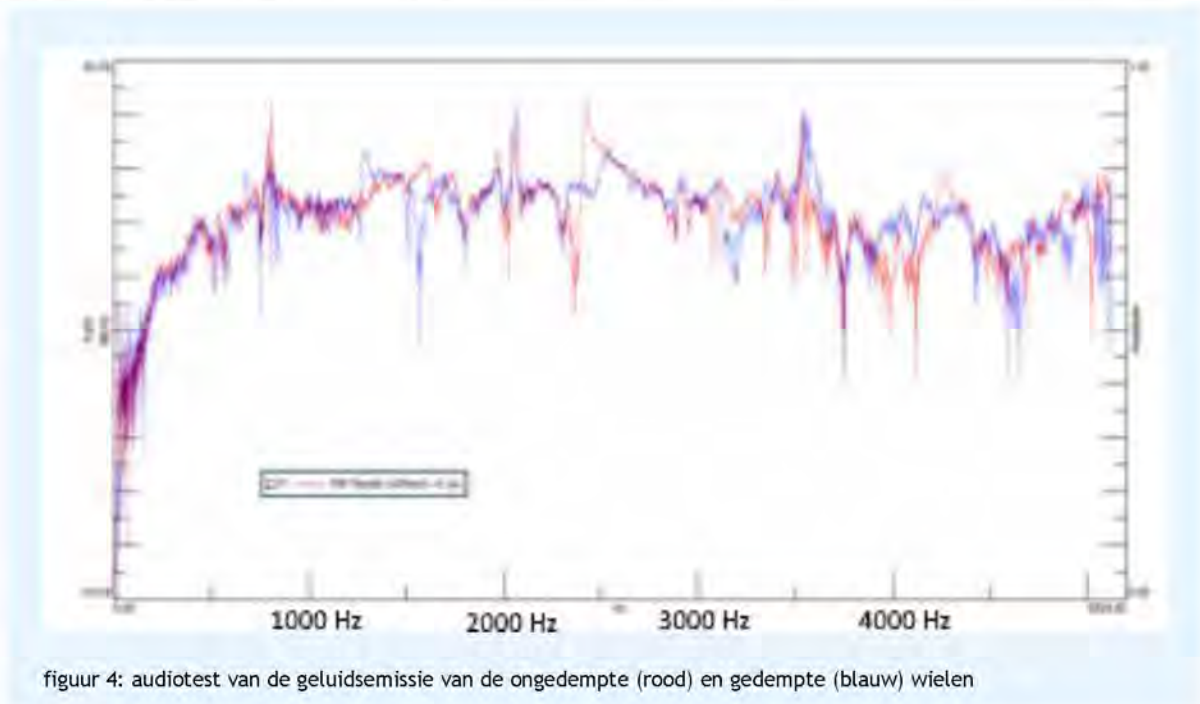


figuur 3: spectrogram van een trampassage met squeal- en flensgeluid bij halte Binnenstad

Dit betekent dat squealgeluid een frequentie heeft van 2040 Hz en flensgeluid een grondfrequentie van 2040 Hz en er één auditieve boventoon te zien is. Omdat deze twee grondfrequenties gelijk zijn, kan het meetprotocol geen onderscheid maken tussen squeal- en flensgeluid. Daarom is ervoor gekozen om voor flensgeluid alleen 4100 Hz te beschouwen. Dit is verdedigbaar omdat squealgeluid op deze locatie duidelijk dominant is.

Door CAF zijn metingen uitgevoerd aan de wielen, zonder belasting. Hierbij zijn de dominante trillingsmodi (eigenfrequenties) gemeten voor wielen met en zonder wieldempers. De trillingsmodi bij de ongedempte wielen liggen op 808 Hz, 2053 Hz en 3532 Hz. De 2053 Hz modus komt duidelijk terug. Bij de gedempte wielen verschuift de eigenfrequentie naar 2058 Hz en wordt de dempingsfactor verhoogd van 0.16% naar 0.23%.

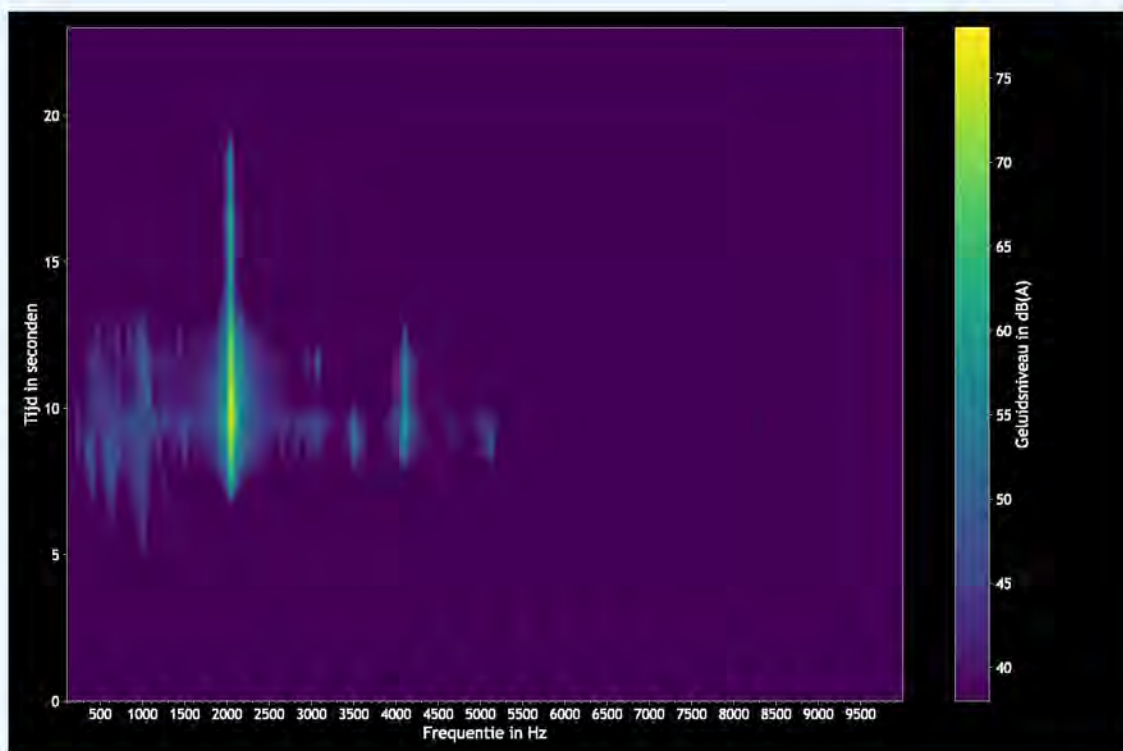
Naast de test met de trillingsmodi zijn audiotests uitgevoerd. Hierbij valt op dat de piek rond 2050 Hz nog steeds zeer aanwezig is.



4. Resultaten

4.1 Booggeluidfrequenties CAF Urbos 100

Om vast te stellen wat de booggeluidfrequenties zijn, is eerst een spectrogram (watervalgrafiek) gemaakt van een passage met squeal- en flensgeluid. Deze opname is gemaakt tijdens eerdere metingen in het kader van booggeluid in IJsselstein. Gedurende de tijd dat squealgeluid aanwezig is (tussen 7 en 19 seconden), is een duidelijke piek bij 2040 Hz te zien. Tijdens de momenten dat flensgeluid aanwezig is (8 tot 11 seconden), is een verdikking bij 2040 Hz en pieken bij 4100 Hz te zien. Verdere boventonen zijn niet zichtbaar in het spectrum.

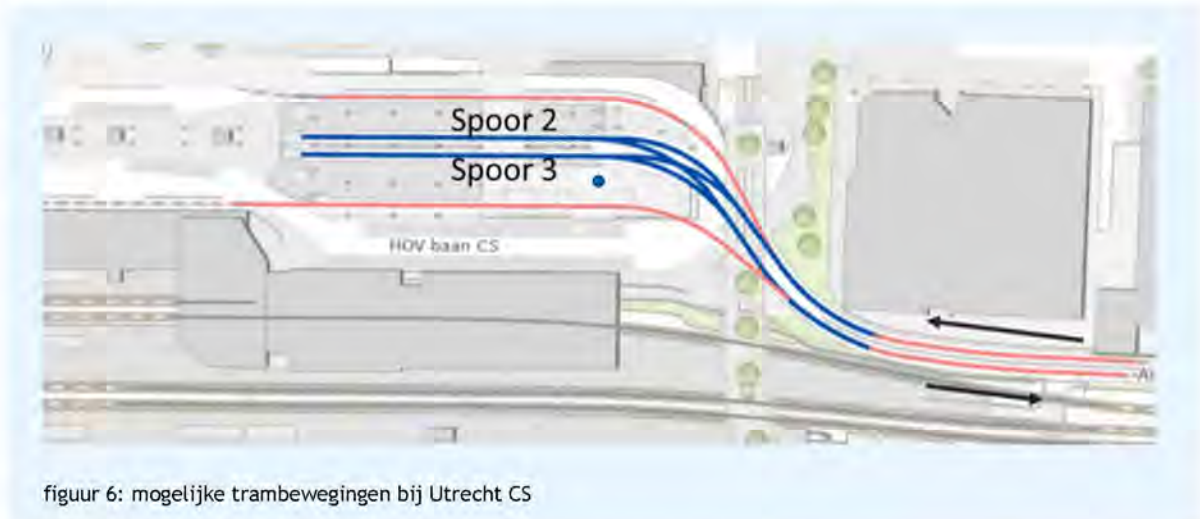


figuur 5: spectrogram van een trampassage met squeal- en flensgeluid bij halte Binnenstad

Dit betekent dat squealgeluid een frequentie heeft van 2040 Hz en flensgeluid een grondfrequentie van 2040 Hz en er één auditieve boventoon te zien is. Omdat deze twee grondfrequenties gelijk zijn, kan het meetprotocol geen onderscheid maken tussen squeal- en flensgeluid. Daarom is ervoor gekozen om voor flensgeluid alleen 4100 Hz te beschouwen. Dit is verdedigbaar omdat squealgeluid op deze locatie duidelijk dominant is.

4.2 Utrecht CS

De meetlocatie Utrecht CS bestaat uit vier verschillende trambewegingen. De tram kan hier vanuit de Uithoflijn naar spoor 2 of 3 rijden of van deze sporen naar de eindhalte rijden. Sporen 1 en 4 zijn op het moment van schrijven alleen in gebruik als bijsturingsinfra en zijn daarom niet gemeten.



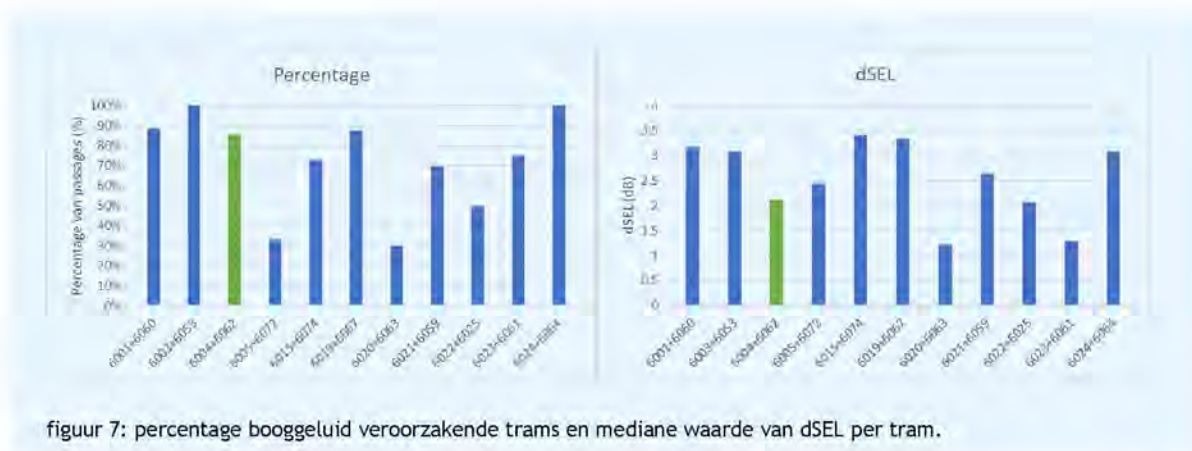
figuur 6: mogelijke trambewegingen bij Utrecht CS

Op de meetlocatie bij Utrecht Centraal is auditief bij veel passages booggeluid waargenomen. Het algoritme detecteert ook booggeluid bij een hoog percentage van de passages over alle vier de sporen. De hoogste gemiddelde booggeluidbijdrage $dSEL_{20}$ is 3.3 dB. Op alle sporen vinden te veel booggeluidpassages plaats om te berekenen wat de wettelijke toetswaarde L_{den} (zonder booggeluid) is.

tabel 3: meetresultaten Utrecht CS

Spoor	Aantal passages	Passages met booggeluid	Percentage	SEL 20	dSEL 20
Vertrek spoor 3	28	17	61	83.0	2.9
Aankomst spoor 3	26	19	73	85.9	3.3
Vertrek spoor 2	20	19	95	84.7	2.8
Aankomst spoor 2	22	13	59	80.9	2.4

Om de trams met wioldempers te vergelijken met de trams zonder is gekeken naar de passages per voertuig. De gekoppelde tram met wioldempers (6004+6062) veroorzaakt hier even vaak en evenveel booggeluid als de andere tramcombinaties, namelijk bij 86% van de passages.



figuur 7: percentage booggeluid veroorzakende trams en mediane waarde van dSEL per tram.

De trams met wioldempers hebben alleen op spoor 2 gereden. Voor alle tramcombinaties geldt dat een hoog percentage van de passages booggeluid plaatsvindt. Alleen de combinatie 6020+6083 heeft een lagere dSEL en lager percentage van passages waarbij booggeluid gedetecteerd is. De oorzaak hiervan is onbekend.

4.3 Laan van Maarschalkerweerd

Op deze locatie is auditief weinig booggeluid waargenomen. Dit komt overeen met de resultaten van het algoritme. In de binnenboog is bij 10% van de passages booggeluid gedetecteerd, in de buitenboog slechts bij 4% van de passages. De waarde van dSEL₂₀ is lager dan 1 dB, waardoor op deze locatie niet van een booggeluidssituatie gesproken kan worden.

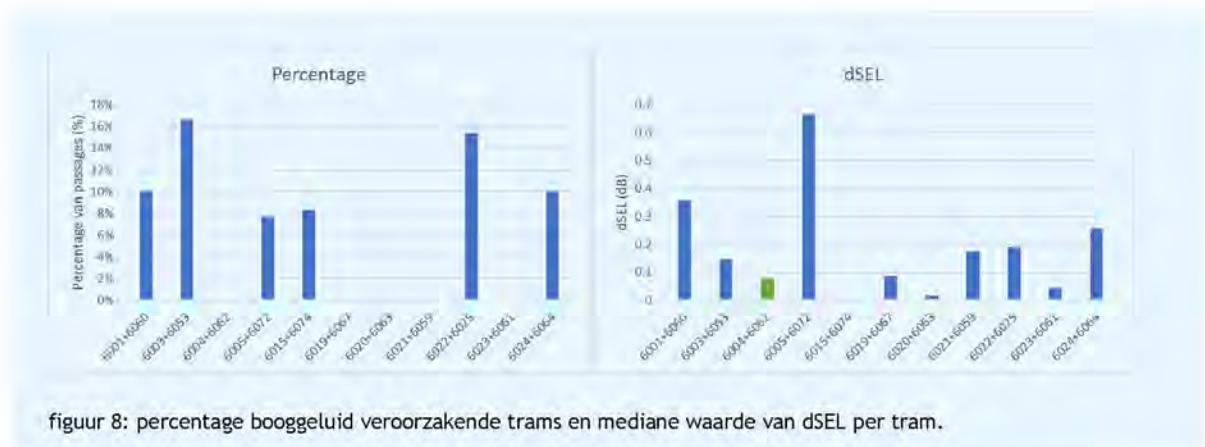
tabel 4: meetresultaten Laan van Maarschalkerweerd

Spoor	Aantal passages	Passages met booggeluid	Percentage	SEL ₂₀	dSEL ₂₀
Binnen	58	6	10%	71.7	0.3
Buiten	55	2	4%	69.9	0.1

Omgerekend naar de wettelijke toetswaarde L_{den}^4 is de heersende geluidsbelasting 46 dB waar 53 dB de voorkeurswaarde is en 68 dB de maximale grenswaarde. Dit is op basis van 120 passages in de dagperiode, 10 in de avondperiode, 4 in de nachtperiode per richting en geen dienstregeling in het weekend. Hiermee wordt ruim voldaan aan de wettelijke grenswaarden.

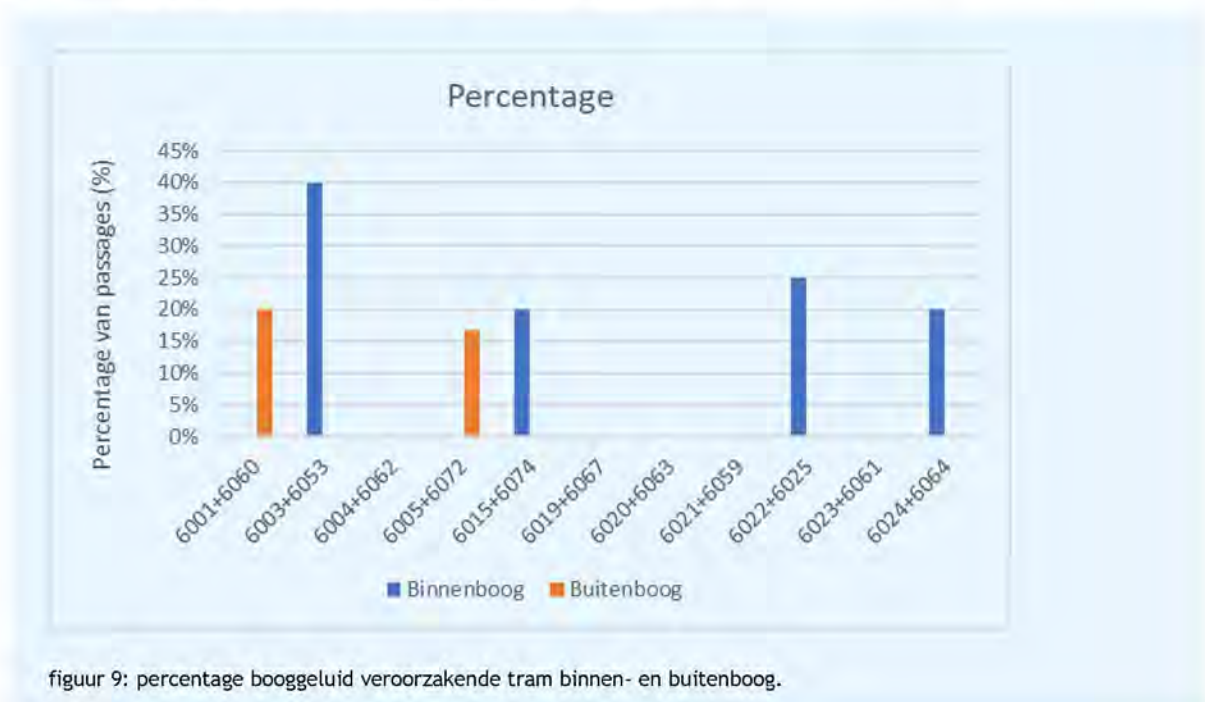
Om de trams met wioldempers te vergelijken met de trams zonder is gekeken naar de passages per voertuig. De gekoppelde tram met wioldempers (6004+6062) veroorzaakt hier geen booggeluid. De andere tramcombinaties veroorzaken op deze locatie ook minder vaak booggeluid dan op de meetlocatie Utrecht CS.

⁴ Wanneer woningen op 7.5 meter afstand zouden staan



figuur 8: percentage booggeluid veroorzakende trams en mediane waarde van dSEL per tram.

Tussen binnen- en buitenboog is er verschil te zien tussen de trams die booggeluid veroorzaken. De percentages per boog zijn weergegeven in figuur 6.

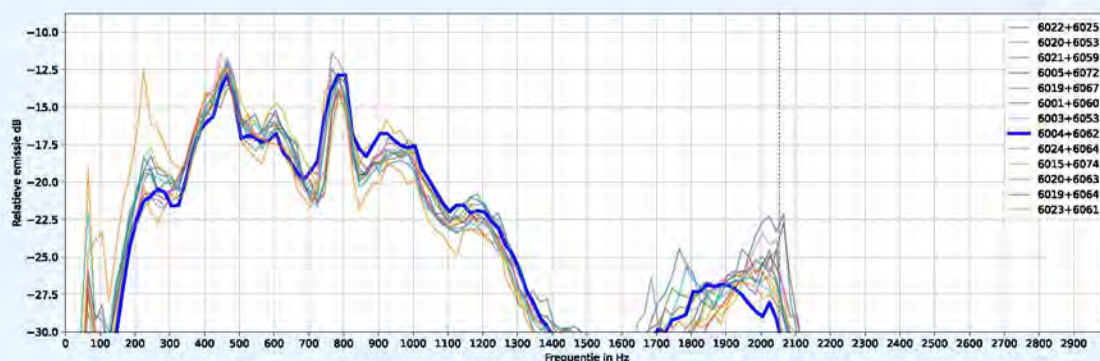


figuur 9: percentage booggeluid veroorzakende tram binnen- en buitenboog.

Opvallend is dat andere trams booggeluid veroorzaken in de binnenboog dan in de buitenboog. De gekoppelde tram met wioldempers (6004/6062) veroorzaakt op beide bogen geen booggeluid. Er is geen uitstralend effect merkbaar van de smeerinstallaties in de Herculesboog. Deze zouden ervoor zorgen dat er minder booggeluid plaatsvindt in de binnenboog, maar dat is niet terug te zien in de meetresultaten.

4.4 Effect wioldempers

In onderstaande figuur is de relatieve geluidsemisatie per tramcombinatie tegen de frequentie uitgezet. In het figuur is te zien dat het geluid met name gekenmerkt wordt door pieken bij 400 en 800 Hz. Bij 2050 Hz is duidelijk te zien dat de tram met wioldempers een 2.5 tot 5 dB lagere emissie geeft. Dit is overeenkomstig met de voorspellingen van CAF.



figuur 10: relatieve geluidsemissie per tramnummer als functie van de frequentie

In combinatie met de metingen bij IJsselstein lijken de wioldempers met name bij hoge snelheid een demping te veroorzaken.

5. Conclusie

Om vast te stellen wat het (uitstralend) effect van de smeerinstallaties bij de Herculesboog en het effect van wioldempers op het booggeluid van de CAF trams is, zijn op twee locaties metingen uitgevoerd aan de Uithoflijn in Utrecht.

Bij de meetlocatie op Utrecht CS is op alle mogelijke trambewegingen veel booggeluid gedetecteerd. Hier zijn geen smeerinstallaties geplaatst. Op deze locatie is geen effect merkbaar van de wioldempers. Bij 86% van de passages met de testtram treedt booggeluid op, dit is vergelijkbaar met de andere trams.

Bij de meetlocatie aan de Laan van Maarschalkerweerd wordt een dSEL van circa 0.5 dB gevonden. In overeenstemming met het meetprotocol booggeluid is hier dan geen sprake van een booggeluidsituatie. Van alle passages op de binnenboog wordt bij 10% van de passages booggeluid gedetecteerd. De trams met wioldempers veroorzaken op deze locatie geen booggeluid. Omdat meerdere tramcombinaties hier geen booggeluid veroorzaken, kan niet met zekerheid gesteld worden dat dit veroorzaakt wordt door de aanwezigheid van de wioldempers. Omgerekend naar de wettelijke toetswaarde L_{den} is de geluidsbelasting (op 7.5 meter) gelijk aan 46 dB en ligt daarmee ruim onder de wettelijke voorkeurswaarde.

Bij de Laan van Maarschalkerweerd is de geluidsemissie van de trams ook spectraal met elkaar vergeleken. Uit de metingen volgt dat het geluidsbeeld met name gedomineerd wordt door geluid rond 400 en 800 Hz. Bij 2050 Hz is de afname van de geluidsemissie gelijk aan 2.5 tot 5 dB. Dit komt overeen met de verwachting van CAF. Het vermoeden bestaat dat de wioldempers met name werken bij hogere snelheden.

5.12a 5.1.2.e

DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

Geluidsmetingen trams IJsselstein en Nieuwegein

Meetresultaten van metingen aan rol- en
booggeluid op twee locaties

Status	definitief
Versie	001
Rapport	M.2021.1252.00.R003
Datum	3 februari 2023



Colofon

Opdrachtgever	Provincie Utrecht Postbus 80300 3508 TH Utrecht
Contactpersoon opdrachtgever	5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e
Project Betreft Uw kenmerk	Provincie Utrecht - Meting wiel Dempers tram Utrecht Geluidsmetingen trams IJsselstein en Nieuwegein -
Rapport Datum Versie Status	M.2021.1252.00.R003 3 februari 2023 001 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Casuariestraat 5 2511 VB Den Haag Postbus 370 2501 CJ Den Haag
Contactpersoon	5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e@dgmr.nl
Auteur	5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e@dgmr.nl
Projectadviseur	5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e 5.1.2.e@dgmr.nl
2e lezer/secr.	5.1.2.e 5.1.2.e

Inhoud

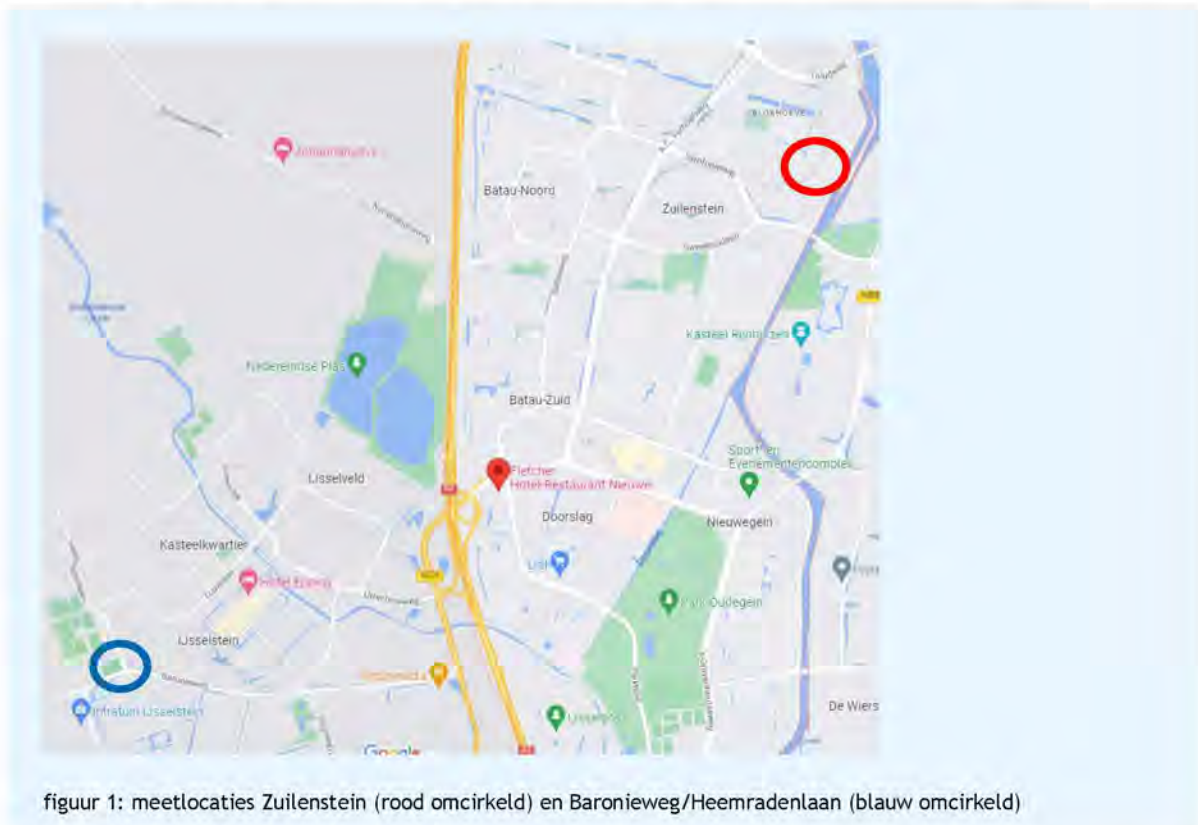
1. Inleiding	4
2. Theorie	5
2.1 Ontstaan booggeluid	5
2.2 Meetprotocol booggeluid	5
2.3 Beoordeling van booggeluid	7
2.4 Wettelijk kader rolgeluid (Wet geluidhinder)	7
3. Situatie	9
3.1 Locaties	9
3.2 Locatie Zuilenstein	9
3.3 Locatie Baronieweg	9
3.4 Meetapparatuur	10
3.5 Weersomstandigheden	10
4. Locatie Zuilenstein	11
4.1 Totaal geluidsniveau	11
4.2 Spectraal	11
4.3 Verloop in de tijd	13
4.4 Vergelijking van de trams	14
4.5 Vergelijking met de geluidsbelastingkaart	14
4.6 Oorzaak van de toename	15
5. Locatie Baronieweg	16
6. Conclusie	19

1. Inleiding

Sinds de start van de ritten van de nieuwe Utrechtse regiotram ondervinden bewoners hinder van de tram. Naar aanleiding van eerdere metingen die door DGMR zijn uitgevoerd zijn bij verschillende bogen smeerinstallaties geplaatst en zijn twee trams als proef uitgerust met wioldempers.

In april 2022 zijn opnieuw metingen uitgevoerd in IJsselstein om het effect van de smeerinstallaties en de wioldempers te bepalen. Hieruit bleek dat op een van de drie locaties booggeluid volledig is weggenomen door de smeerinstallaties (M.2021.1252.R001). Op de overige twee locaties is in de buitenboog nog booggeluid gedetecteerd, vooral door trams zonder wioldempers. De trams met wioldempers veroorzaken hier weinig tot geen booggeluid. Beide maatregelen hebben op deze locaties effect.

Op twee andere locaties wordt door bewoners nog hinder ondervonden van zowel boog- als rolgeluid. Op de locatie Zuilenstein wordt hinder door rolgeluid van de trams ervaren. Bij de boog Baronieweg/Heemradenlaan wordt hinder door booggeluid ervaren.



figuur 1: meetlocaties Zuilenstein (rood omcirkeld) en Baronieweg/Heemradenlaan (blauw omcirkeld)

Op deze locaties zijn in juli 2022 nieuwe metingen uitgevoerd en de resultaten daarvan worden in dit rapport beschreven.

2. Theorie

2.1 Ontstaan booggeluid

Booggeluid ontstaat wanneer railvoertuigen door een boog rijden. Bij bogen moet het binnenste wiel een kortere afstand afleggen dan het buitenste wiel. Bij lage vloertrams wordt via de tractie installatie de rotatiesnelheid van de wielen gelijk gehouden, waar beide wielen een gelijk aantal rondjes draaien om dezelfde afstand af te leggen. In bochten gaat het binnenste wiel hierdoor doorslippen. Wanneer de spoorstaaf droog en vetvrij is, wordt de statische wrijvingscoëfficiënt hoger. Om deze wrijving te overwinnen, is energie nodig die vrijkomt in de vorm van warmte en geluid. Dit leidt tot het zogenaamde slip-stickgeluid, ook wel squeal-noise genoemd.

Een tweede effect dat een rol kan spelen, is het stureffect van de spooras. Wielen van railvoertuigen hebben aan de binnenzijde een flens. Daarnaast zijn de wielen conisch uitgevoerd zodat het railvoertuig binnen het spoor blijft rijden en automatisch bijstuurt. Wanneer het voertuig door de boog rijdt, kan de flens langs de kop van de spoorstaaf schuren. Dit geluid noemen we dan ook flensgeluid of flanging-noise.

Het onderscheid tussen slip-stickgeluid en flensgeluid is over het algemeen auditief vrij goed waar te nemen. Slip-stickgeluid kenmerkt zich door een sterk tonaal karakter (fluittoon) en heeft weinig boventonen¹. Flensgeluid kenmerkt zich meer door een schrapend geluid en heeft dan ook een bredere piek met boventonen.

2.2 Meetprotocol booggeluid

De Nederlandse vervoersbedrijven (GVB, HTM, RET en Provincie Utrecht) hebben vanuit het samenwerkingsorgaan MeerStedenOverleg Geluid en Trillingen (MSO) een meetvoorschrift booggeluid voor tram- en metro-infrastructuur opgesteld. Deze methode is bedoeld voor het objectiveren van klachten en het beoordelen van het effect van wijzigingen. In de methode wordt zowel een indicatieve als uitgebreide methode beschreven. De uitgebreide methode is meer geschikt voor het onderzoeken van oorzaken en ontwerpen en toetsen van mogelijke oplossingen.

Omdat met name het tonale karakter van booggeluid hinderlijk is en dit niet altijd goed in het equivalente of maximale geluidsniveau naar voren komt, is een 'normale meting' vaak niet geschikt. De uitgebreide methode is juist met name toegespitst op het identificeren en het markeren van het hinderlijke tonale karakter van booggeluid en streeft ernaar om het tonale karakter en rolgeluid te onderscheiden.

De methode is uitgebreid beschreven in het meetprotocol booggeluid versie 2.1. Hieronder volgt enkel een korte samenvatting van de methode.

Meetopstelling

De geluidsmeters worden op 7.5 meter afstand van het hart van de binnenboog geplaatst op een hoogte van 1.5 meter ten opzichte van de bovenkant van de spoorstaaf (BS). Wanneer meten op 7.5 meter afstand niet mogelijk is door bijvoorbeeld andere infrastructuur of (sterk) reflecterende objecten, kan de meetlocatie verplaatst worden. Hiervoor moet uiteindelijk wel rekenkundig gecompenseerd worden.

¹ De theorie stelt dat stick-slipgeluid geen boventonen geeft. De ervaring leert dat boventonen wel aanwezig (kunnen) zijn, maar wel sterk afnemen met circa 24 dB per octaaf.

De metingen worden uitgevoerd met een IEC-61672 klasse I gecertificeerde geluidsmeter of data-acquisitiesysteem met een samplefrequentie van 22.05 kHz of meer. De geluidskalibrator moet ook IEC-61672 klasse 1 gecertificeerd zijn.

De metingen worden uitgevoerd bij temperaturen tussen 5 en 25 °C, waarbij de windkracht lager is dan 5 Bft. Daarnaast moeten minimaal 30 voertuigen per type per richting worden gemeten.

Verwerking

Van elke meting wordt het maximale geluidsniveau $L_{AF,max}$ vastgesteld. Vervolgens wordt van elke seconde het zogenaamde energiedichtheidsspectrum (PSD) gemaakt. Door dit spectrum te integreren, is de geluidsenergie per seconde bekend (SEL_{1s}). Door alle seconden op te tellen, is de totale geluidsenergie over de passage (SEL_{totaal}) bekend.

Binnen elke seconde wordt gezocht naar pieken in het spectrum die kenmerkend zijn voor squeal- en flanging-noise. Als binnen een seconde meetdata een piek gevonden wordt, is gedurende deze seconde sprake van booggeluid. Van deze pieken wordt per seconde de energie berekend. Deze energie wordt voor alle seconden van de passage opgeteld, zodat SEL_{squeal} en $SEL_{flanging}$ bepaald worden. Door deze energetisch op te tellen, wordt een $SEL_{booggeluid}$ gevonden.

$$SEL_{booggeluid} = SEL_{squeal} \oplus SEL_{flanging}$$

$$SEL_{booggeluid} = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{SEL_{squeal}}{10}} + 10^{\frac{SEL_{flanging}}{10}} \right)$$

Uit deze gegevens kan de SEL-waarde van een voertuigpassage zonder booggeluid bepaald worden. Deze waarde wordt ook wel $SEL_{baseline}$ genoemd en volgt uit het energetische verschil van SEL_{totaal} en $SEL_{booggeluid}$.

$$SEL_{baseline} = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{SEL_{totaal}}{10}} - 10^{\frac{SEL_{booggeluid}}{10}} \right)$$

Tot slot wordt ook de toename ten gevolge van booggeluid vastgesteld. Deze waarde wordt $dSEL$ genoemd en volgt uit het rekenkundige verschil tussen SEL_{totaal} en $SEL_{baseline}$.

$$dSEL = SEL_{totaal} - SEL_{baseline}$$

In tabel 1 staan de gemeten en berekende grootheden nogmaals toegelicht.

tabel 1: nadere toelichting van de gebruikte grootheden

Grootheid	Omschrijving
$L_{AF,max}$	Het maximale geluidsniveau gedurende de passage, ook wel het piekgeluid genoemd
SEL_{totaal}	De totale geluidsenergie over de hele passage van zowel het 'normale' rijgeluid als booggeluid
SEL_{squeal}	De totale geluidsenergie over de hele passage ten gevolge van het squeal- of stick-slip geluid
$SEL_{flanging}$	De totale geluidsenergie over de hele passage ten gevolge van het flens of flanginggeluid
$SEL_{booggeluid}$	De totale geluidsenergie over de hele passage ten gevolge van booggeluid
$SEL_{baseline}$	De totale geluidsenergie over de hele passage ten gevolge van 'normaal' rijgeluid ²
$dSEL$	De toename van de geluidsenergie als gevolg van booggeluid

² De $SEL_{baseline}$ wordt te hoog ingeschat wanneer het aandeel booggeluid een zeer significant aandeel in het geluid heeft. Dit leidt echter niet tot fouten in de nadere beoordeling, aangezien in dat geval $dSEL$ veel groter wordt dan 1 dB.

2.3 Beoordeling van booggeluid

Het meetvoorschrift heeft geen beoordelend karakter. Hiervoor moet nader onderzoek gedaan worden naar de dosis-effectrelaties van booggeluid. Op basis van een validatie van het meetvoorschrift door meerdere ingenieursbureaus is wel een voorzet gegeven om tot een beoordeling te komen.

Voor de beoordeling wordt een statistische analyse voorgesteld waarbij op basis van de 20-percentielwaarde de beoordeling plaatsvindt. Dit zijn de niveaus die door 20% van de voertuigen overschreden wordt.

Wanneer $dSEL_{20}$ (20-percentielwaarde van $dSEL$) groter is dan 1 dB, wordt de situatie gekenschetst als een booggeluidssituatie. Vervolgens wordt ook de SEL_{20} (20-percentielwaarde van SEL_{totaal}) vastgesteld. Voor eenvoudige situaties kan deze door middel van een eenvoudige afstandstabel doorgerekend worden op de woningen. Voor licht-stedelijke situaties is de ambitiewaarde voor SEL_{20} op de woningen gelijkgesteld aan 75 dB_{SEL} . De SEL -waarde op de woningen wordt berekend door de gemeten SEL -waarde te verminderen met de waarden uit tabel 2.

tabel 2: verzwakkingstabel op basis van de afstand spoor-woningen³

Afstand [m]	7,5	10	12	15	19
Verzwakking [dB]	0	-2	-4	-6	-8

2.4 Wettelijk kader rolgeluid (Wet geluidhinder)

De Wet geluidhinder (Wgh) biedt het wettelijk kader voor de toegestane geluidsbelasting vanwege wegen en spoorwegen bij geluidgevoelige bestemmingen, waaronder woningen.

De Wet geluidhinder stelt eisen aan de maximale geluidsbelasting als gevolg van weg-, rail- en industrielawaai. Daarbij moet opgemerkt worden dat voor weg- en railverkeer de Wet geluidhinder alleen voor ontwikkelingen van nieuwe geluidgevoelige bestemmingen en nieuwe en gewijzigde spoorlijnen toepasbaar is. De Wet geluidhinder biedt geen handhavingsmiddelen. Er kan echter wel aansluiting gevonden worden bij de grenswaarden uit de Wet geluidhinder om aan te tonen of er sprake is van een aanvaardbare situatie. In de beoordeling van railverkeersgeluid worden alleen het tractie-, rol- en stootgeluid beoordeeld. Booggeluid maakt geen deel uit van deze beoordeling,

Het tracé van de SUNIJ-lijn is opgenomen op de zonekaart spoorwegen geluidhinder, waardoor de tram op dit tracé onder het regime railverkeerslawaai valt.

Geluidsbelasting

De geluidsbelasting (L_{den} -waarde) wordt bepaald door het gewogen gemiddelde van de volgende geluidsniveaus:

- het equivalente geluidsniveau (L_{eq}) over de dagperiode (07.00 - 19.00 uur);
- het equivalente geluidsniveau (L_{eq}) over de avondperiode (19.00 - 23.00 uur), verhoogd met 5 dB;
- het equivalente geluidsniveau (L_{eq}) over de nachtperiode (23.00 - 07.00 uur), verhoogd met 10 dB.

³ De verzwakking volgt uit een puntbronuitstraling in het vrije veld ($D = 20 \lg \frac{r}{7,5}$). Hierbij wordt geen rekening gehouden met overige geluidsdemping zoals door groenstroken of afscherming.

Op basis van de SEL-waarden kan per periode de geluidsbelasting bepaald worden met de onderstaande formule:

$$L_{periode} = SEL + 10 \cdot \lg(N) - 10 \cdot \lg(t \cdot 3600)$$

Waarbij N het aantal voertuigen per periode is en t het aantal uren in de beoordelingsperiode is.

De Wet geluidhinder stelt voor railverkeer een voorkeurswaarde van 55 dB voor woningen en geluidsgevoelige terreinen en 53 dB voor overig geluidsgevoelige gebouwen (zoals scholen). De hoogst toelaatbare geluidsbelasting voor railverkeer bedraagt 68 dB voor woningen en overig geluidsgevoelige gebouwen en 63 dB voor terreinen.

Wanneer de geluidsbelasting lager is dan de voorkeursgrenswaarde wordt altijd voldaan. Wanneer de geluidsbelasting hoger is dan de maximale ontheffingswaarde wordt niet voldaan. Wanneer de geluidsbelasting hoger is dan de voorkeursgrenswaarde maar lager dan de maximale ontheffingswaarde is, moet een hogere waarde aangevraagd worden. De eisen verschillen per gemeente, maar in ieder geval moeten maatregelen afgewogen worden en moeten (mogelijk) maatregelen aan de gevel getroffen worden.

3. Situatie

3.1 Locaties

Er is op twee locaties gemeten, waarvan een rolgeluidmeting in Nieuwegein en een booggeluidmeting in IJsselstein. Op beide locaties was het niet mogelijk om op 7.5 meter uit het hart van het spoor in de binnenboog te meten vanwege een sloot langs het spoor. Er is daarom gemeten op grotere afstanden. Dit verschil in afstand wordt verrekend.

3.2 Locatie Zuilenstein

Op deze locatie in Nieuwegein is een rolgeluidmeting uitgevoerd. De metingen zijn uitgevoerd op 20 meter afstand van de binnenboog op 1.5 meter hoogte (zie onderstaande figuur). De afstand van het spoor tot de woning is aan de binnenzijde van de boog 35 meter en aan de buitenzijde 30 meter.



figuur 2: meetlocatie Zuilenstein

De baan op deze locatie is uitgevoerd als vignoleraail 49E1 op ballastbed met betonnen dwarsliggers. De baanvaknelheid op deze locatie is 70 km/u (Bron: OpenRailwayMap).

3.3 Locatie Baronieweg

Op de Baronieweg in IJsselstein is een booggeluidmeting uitgevoerd. De meting is uitgevoerd op 15 meter afstand van de binnenboog op 1.5 meter hoogte (zie onderstaande figuur). De dichtstbijzijnde woningen aan de buitenkant van de boog liggen op 40 meter. Op 25 meter van de binnenkant van de boog ligt een aanleunwoning met zorgfunctie. Voor gebouwen met een gezondheidszorg functie geldt een lagere voorkeurswaarde van 53 dB.



figuur 3: meetlocatie Baronieweg

De baan op deze locatie is uitgevoerd als vignolerail 49E1 op ballastbed met betonnen dwarsliggers. Het spoor is op deze locatie vervangen in het kader van de vernieuwing van de SUNIJ-lijn. De ontwerpsnelheid van deze boog is 50 km/u. De baanvaknelheid in deze boog is 60 km/u (Bron: OpenRailwayMap).

3.4 Meetapparatuur

Tijdens de metingen is gebruikgemaakt van de volgende geluidsmeters:

- nTI-XL2 klasse 1 geluidsmeter: DH-1044 met Rion NC74 kalibrato
- nTI-XL2 klasse 1 geluidsmeter: DH-1045 met Rion NC74 kalibrator

De meetapparatuur is klasse 1 gecertificeerd.

3.5 Weersomstandigheden

Tijdens de metingen op 15 juli 2022 was het droog weer. De temperatuur tijdens de metingen liep op van 17 °C tot 20 °C. De relatieve luchtvochtigheid nam af van 60% naar 50%. Het was matig bewolkt en de gemiddelde luchtdruk bedroeg 1012 hPa. De meteorologische data zijn afkomstig van het KNMI (meetpunt Cabauw).

4. Locatie Zuilenstein

4.1 Totaal geluidsniveau

Op de locatie Zuilenstein is auditief meer rolgeluid waargenomen bij passages over de binnenboog dan bij passages over de buitenboog. De trams in de binnenboog kun je al van ver aan horen komen door het suizen van de spoorstaven en maken bij het passeren aanzienlijk meer geluid. Uit de metingen blijkt hetzelfde resultaat.

In onderstaande tabel staan de meetresultaten op de locatie van meten (20 meter van de binnenboog).

tabel 3: meetresultaten locatie Zuilenstein op meetafstand (20 meter)

	SELtotaal	LAeq Dag	LAeq Avond	LAeq Nacht	Lden
Trams op Binnenboog	85.8	59.3	59.3	53.3	62.0
Trams op Buitenboog	79.0	52.5	52.5	46.5	55.2

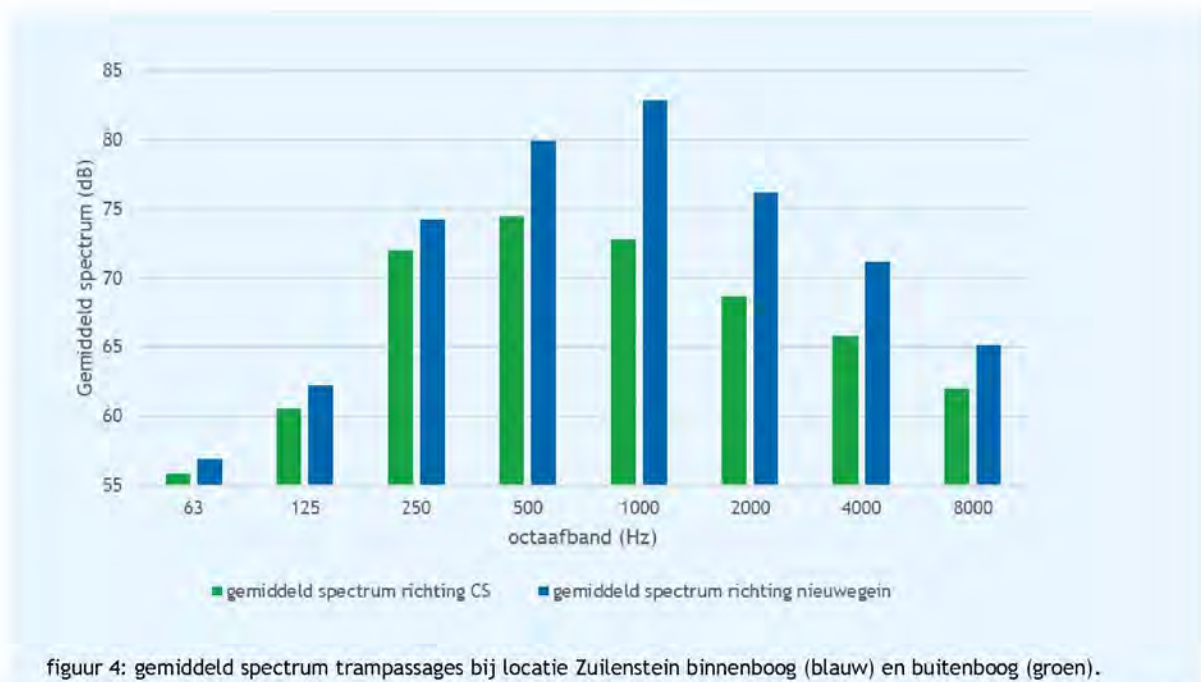
De equivalente niveaus (LAeq) worden bepaald op basis van 8 passages per uur in de dagperiode, 8 passages per uur in de avondperiode en 2 passages per uur in de nachtperiode. De L_{den}-waarde wordt bepaald door het gewogen gemiddelde van het equivalente geluidsniveau in de dag-, avond, en nachtperiode.

Omgerekend naar de dichtstbijzijnde gevel levert dit een L_{den} van 58 dB door de binnenboog en een L_{den} van 52dB door de buitenboog.

De totale geluidbelasting op de dichtstbijzijnde gevel ten gevolge van beide sporen samen is 60 dB. Dit voldoet dus niet aan de voorkeurswaarden uit de Wgh, maar wel aan de maximale ontheffingswaarde. Deze hoge geluidsniveaus zijn vooral afkomstig van de passages over de binnenboog.

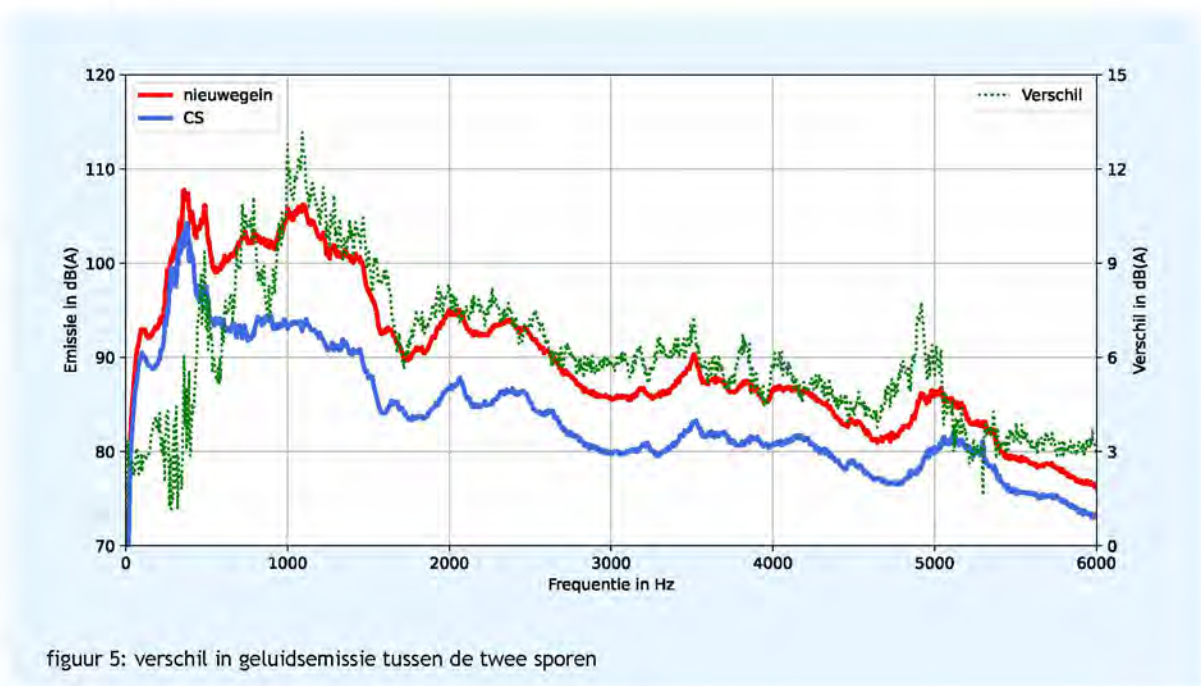
4.2 Spectraal

Om te achterhalen wat de mogelijke oorzaak van de hogere geluidsemisatie is zijn in de onderstaande grafiek de gemiddelde spectra van binnen- en buitenboog weergegeven.



figuur 4: gemiddeld spectrum trampassages bij locatie Zuilenstein binnenboog (blauw) en buitenboog (groen).

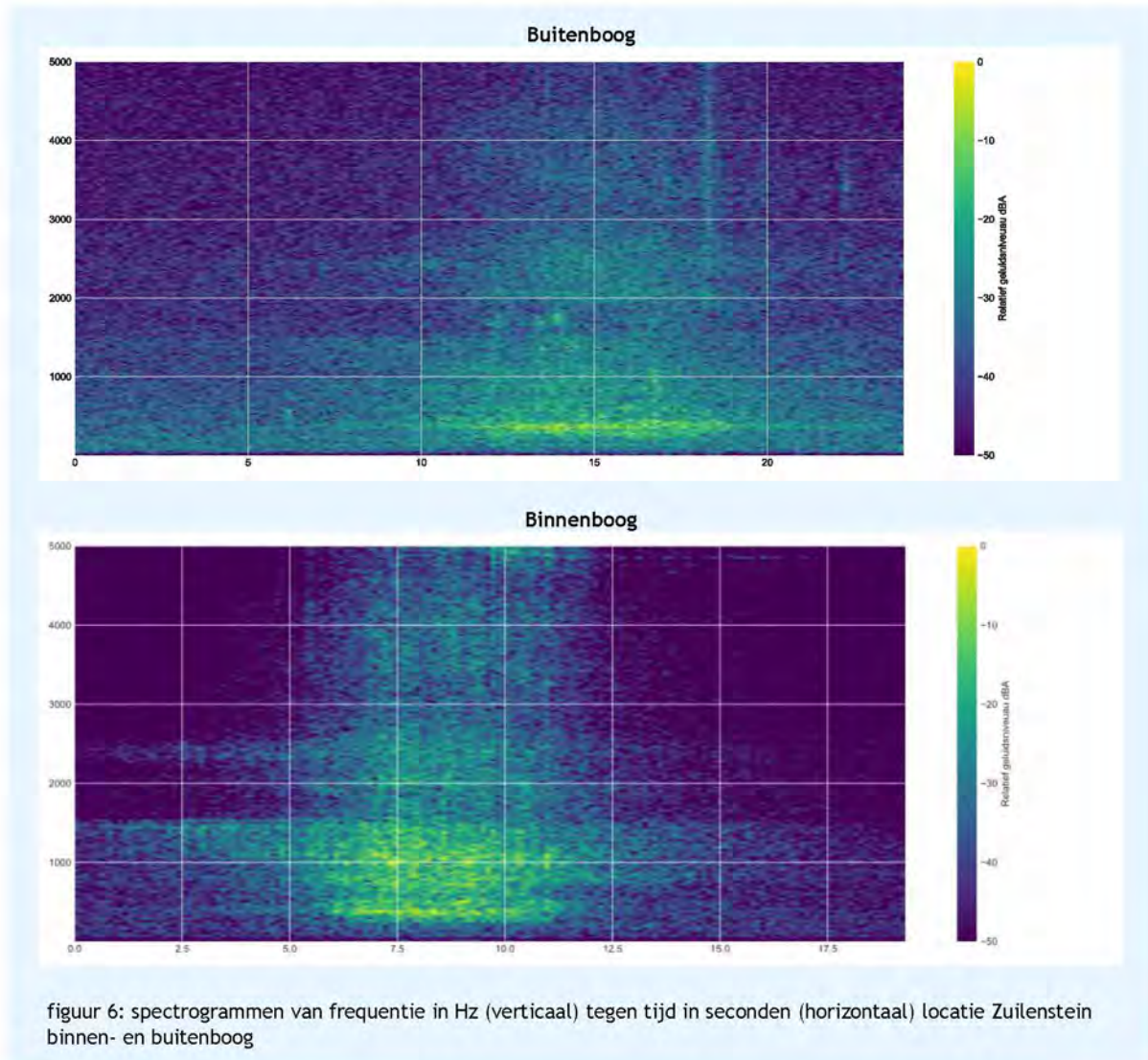
De tram richting Nieuwegein reed over de binnenboog en de tram richting Utrecht CS reed over de buitenboog. Vooral in de hogere octaafbanden verschilt het niveau tussen binnen- en buitenboog, tot circa 10 dB in de 1000 Hz band. Ditzelfde verschil is smalbandig in onderstaande figuur weergegeven. Hierin zijn enkele pieken te zien en is duidelijk dat een piek bij 1090 Hz circa 13 dB verschil laat zien. Over het hele relevante spectrum (500-4000 Hz) bezien bedraagt het verschil circa 6 dB.



figuur 5: verschil in geluidsemissie tussen de twee sporen

4.3 Verloop in de tijd

In onderstaande figuur zijn twee spectrogrammen weergegeven. Een van een passage over de buitenboog en een van een passage over de binnenboog.

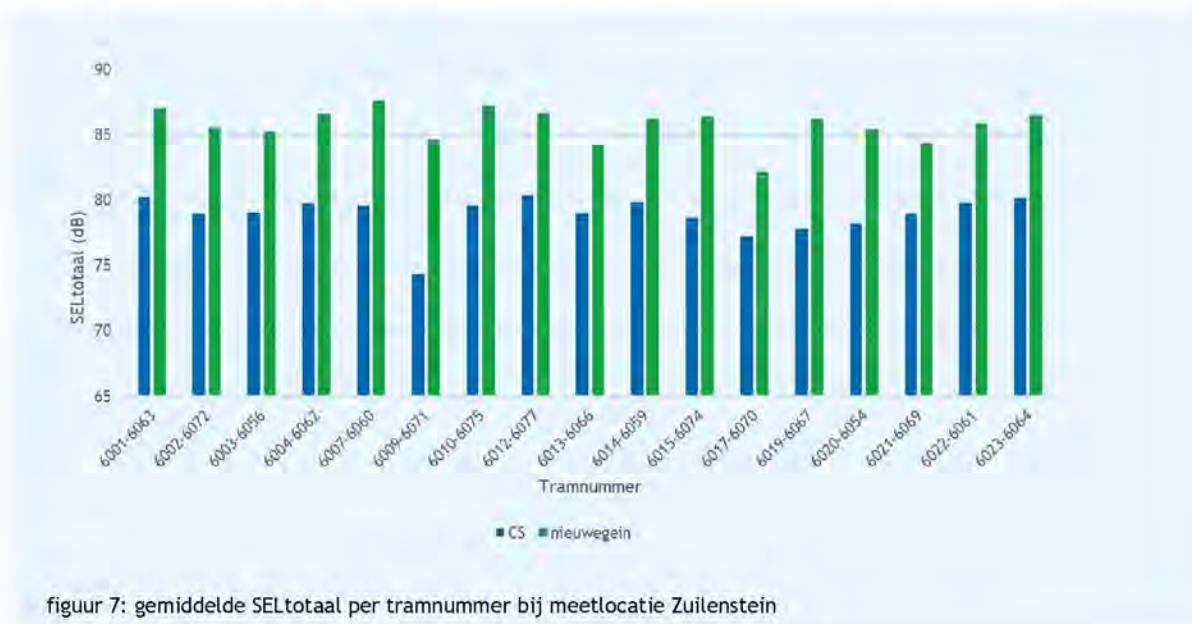


De tram in de binnenboog geeft al veel eerder geluid aan dan dat de passage begint. Dat komt overeen met wat auditief is waargenomen; een schrapend geluid in de spoorstaven vanaf een aantal seconden voordat de tram de meetlocatie passeerde.

Tijdens de passage over de buitenboog is een vrij tonaal beeld te zien van vooral frequenties rond de 400 Hz. De passage over de binnenboog laat een breder beeld zien met hogere waarde tot circa 1500 Hz.

4.4 Vergelijking van de trams

Per tramstel verschillen de resultaten weinig. In onderstaande grafiek zijn de gemiddelde SELtotaal per passage per gekoppelde tramcombinatie weergegeven voor de binnen- en buitenboog.



figuur 7: gemiddelde SELtotaal per tramnummer bij meetlocatie Zuilenstein

Ook de testtram (6004-6062) doet niet onder aan de andere tramstellen. Het effect van de wioldempers lijkt hier dus niet relevant. Wel geldt voor elke tramcombinatie dat in de binnenboog een SELtotaal van circa 5 dB (tot soms 10 dB) hoger is gemeten dan in de buitenboog.

4.5 Vergelijking met de geluidsbelastingkaart

In het kader van de Europese richtlijn Omgevingslawaai en de Wet milieubeheer heeft gemeente Nieuwegein een geluidsbelastingkaart opgesteld. Daarbij is ook op een hoogte van 1.5 meter gerekend. In onderstaande figuur is een uitsnede weergegeven van het gebied rond de meetlocatie. In het rood is de meetlocatie omcirkeld, in de geluidsbelastingkaart is op deze locatie de geluidsbelasting berekend.



figuur 8: berekende waarden meetlocatie Zuilenstein in geluidsbelastingkaart (bron: Geomilieu)

Op deze locatie is een geluidsbelasting van 55 dB L_{den} berekend. Omdat het model de situatie in 2021 betreft zijn de trams in het model ongekoppeld ingevoerd. Vanaf juli 2022 wordt met gekoppelde trams gereden. Een verdubbeling van de intensiteit (aantal bakken) komt overeen met een toename van 3 dB.

De metingen van het buitenspoor komen overeen met deze berekening. Als beide sporen namelijk 55 dB produceerden, zou de totale geluidsbelasting 58 dB zijn. De gemeten waarde van het binnenste spoor is 62 dB. Dit is 7 dB hoger dan verwacht met het rekenmodel.

4.6 Oorzaak van de toename

Op basis van de metingen is vastgesteld dat het spoor richting Nieuwegein (binnenboog) 7 dB meer geluid produceert dan het spoor richting Utrecht. Het spoor richting Utrecht komt overeen met de geluidberekeningen en kan daarmee als referentiespoor gezien worden. Omdat de hoge geluidsemisatie slechts op één spoor optreedt, kan worden gesteld dat de toename van het geluid niet door de voertuigen veroorzaakt wordt, maar aan de constructie ligt. Voor het vaststellen van de mogelijke oorzaak is nader onderzoek nodig.

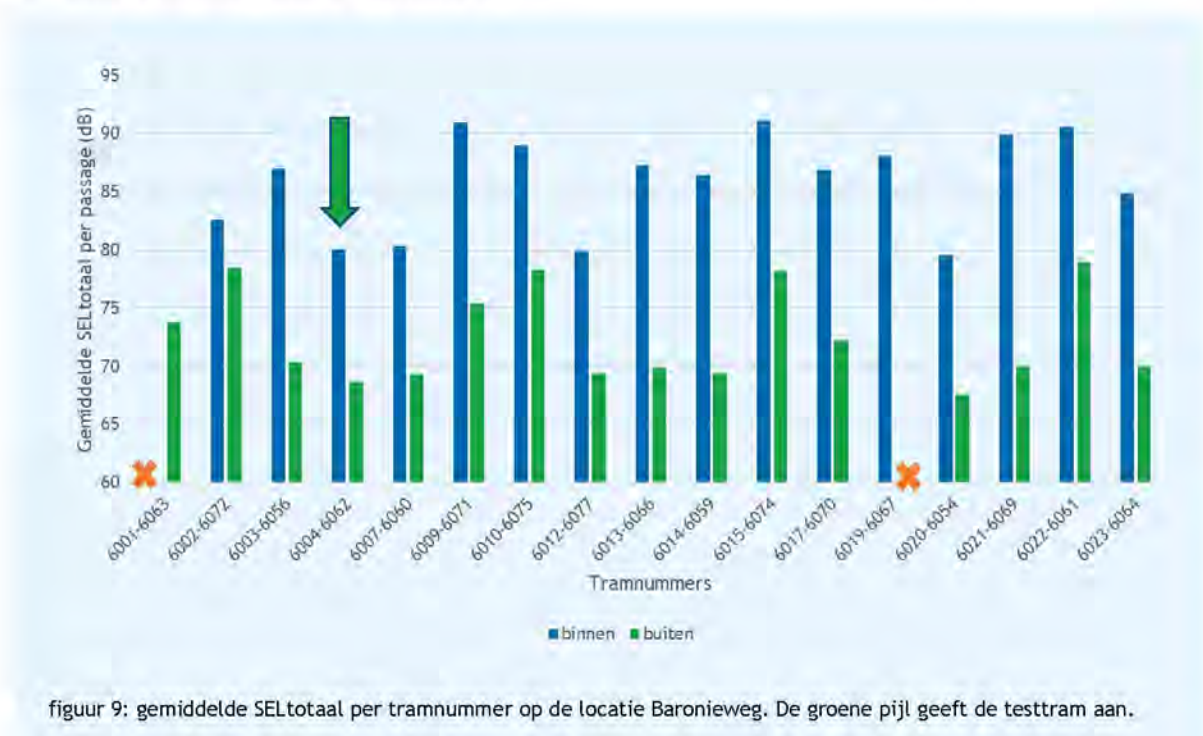
5. Locatie Baronieweg

Bij de meetlocatie aan de Baronieweg in IJsselstein is auditief meer boog- (en rol-)geluid waargenomen in de binnenboog dan in de buitenboog. De totale SEL-waarde van de passages over de binnenboog is gemiddeld 87.9 dB. Van de passages over de buitenboog is dat 74.9 dB. De waarde van dSEL in zowel de buiten- en binnenboog is hoger dan 1 dB waarmee sprake is van een booggeluidssituatie voor beide bogen.

tabel 4: meetresultaten locatie Baronieweg (gemiddelde)

	SEL totaal	SELsqueal	SELflange	dSEL
Trams op Binnenboog	87.9	84.2	62.7	2.1
Trams op Buitenboog	74.9	70.2	45.0	1.1

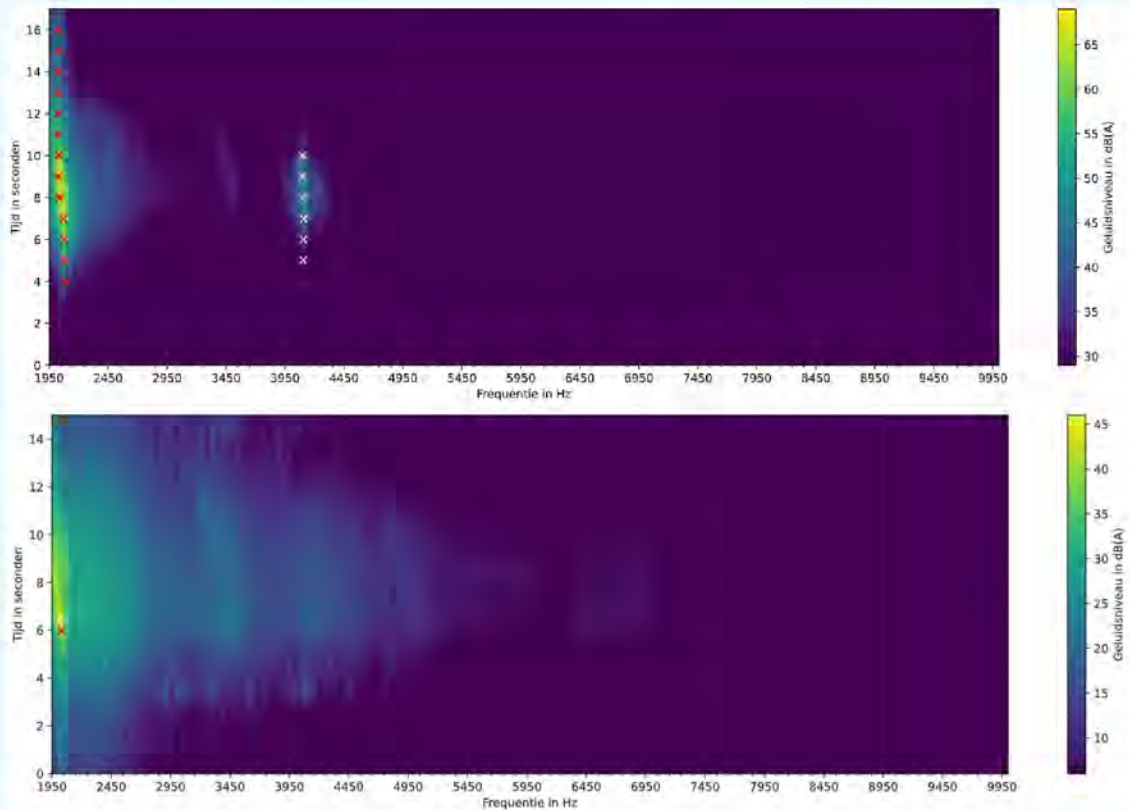
In de figuur hieronder is de gemiddelde SELtotaal per tramnummer weergegeven. De gekoppelde trams 6001-6063 zijn tijdens de meting niet over de binnenboog gepasseerd. De gekoppelde trams 6019-6067 juist niet over de buitenboog.



De SELtotaal van de testtrams is lager dan dat van de meeste andere trams. De testtrams (6004 - 6062) zijn op deze locatie maar vier keer gepasseerd wat onvoldoende is om harde conclusies te trekken.

De bijdrage van booggeluid (dSEL) in de passages is duidelijk gemaakt in een spectrogram. De dSEL in de buitenboog is gemiddeld 1.1 dB. In de binnenboog is een dSEL van gemiddeld 2.1 dB gemeten. In de binnenboog treedt dus nog een aanzienlijk booggeluid effect op. De booggeluid bijdrage is voornamelijk afkomstig van stick-slip-geluid. Daarbij valt ook op dat het booggeluid in de binnenbocht langer optreedt. In de buitenbocht treedt booggeluid vaak maar 1 seconde op.

In onderstaande figuur zijn twee spectrogrammen van een trampassage weergegeven. Een van een passage over de binnenboog en een van een passage over de buitenboog. Let op dat de spectrogrammen een andere schaal hebben en de kleuren per spectrogram dus verschillende waarden aangeven.

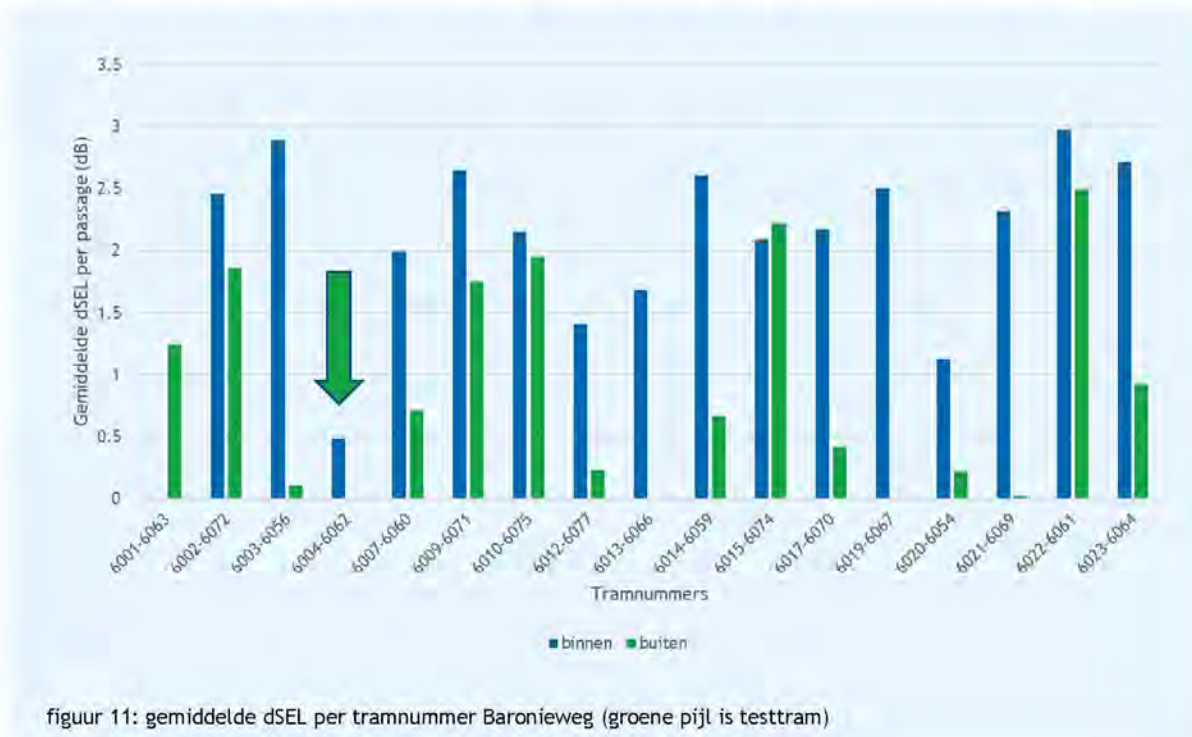


figuur 10: spectrogrammen van trampassage over binnen- (boven) en buitenboog (onder) op locatie Baronieweg

In de binnenboog is het booggeluid duidelijker te onderscheiden van het overige geluid. Rond de 2000 Hz is met rode kruisjes het tonale geluid aangegeven dat overeenkomt met de frequentie van squealgeluid van 2040 Hz. Dit is eveneens de grondfrequentie van flensgeluid. De eerste boventoon van flensgeluid wordt met witte kruisjes aangegeven rond 4100 Hz. Auditief is vastgesteld dat in alle situaties minimaal sprake is van squealgeluid.

Het spectrogram van de passage over de buitenboog is breder en minder tonaal. Hier is de bijdrage van booggeluid ook lager.

In de figuur hieronder is de gemiddelde dSEL-waarde per passage per tramnummer weergegeven.



figuur 11: gemiddelde dSEL per tramnummer Baronieweg (groene pijl is testtram)

In de figuur is te zien dat de testtram (6004-6062) aanzienlijk minder booggeluid produceert dan de andere gekoppelde trams. In de buitenboog wordt geen booggeluid gedetecteerd en in de binnenboog is een booggeluidbijdrage gemeten van minder dan 0.5 dB. Echter, omdat de testtram over beide sporen maar twee keer gepasseerd is, kunnen hier geen conclusies over worden getrokken.

De beoordelingswaarden voor de aanwezigheid en hoogte van booggeluid worden bepaald met respectievelijk dSEL₂₀ en SEL₂₀. Dit zijn de 20-percentielwaarden, ofwel de hoogste waarden die overblijven wanneer de hoogste 20% van de passages niet worden meegenomen.

tabel 5: 20-percentielwaarden Baronieweg (op de gevel)

	Ambitiewaarde SEL ₂₀	Gemeten SEL ₂₀	Ambitiewaarde dSEL ₂₀	Gemeten dSEL ₂₀
Trams op binnenboog	75	87	1	2.7
Trams op buitenboog	75	75	1	2.0

De gemeten waarde SEL₂₀ op het buitenspoor is gelijk aan de ambitiewaarde. Het binnenspoor overschrijdt de ambitiewaarde ruim. De waarde dSEL is respectievelijk 2 en 2.7 dB wat ruim boven de waarde van 1 dB ligt. Er is daarmee sprake van een significante booggeluidsituatie.

6. Conclusie

Op twee locaties in Nieuwegein en IJsselstein zijn geluidmetingen uitgevoerd naar aanleiding van boog- en rolgeluid klachten. In Nieuwegein zijn rolgeluidmetingen uitgevoerd en in IJsselstein zijn booggeluidmetingen uitgevoerd. Op beide locaties viel op dat auditief meer rol- of booggeluid werd waargenomen op het binnenspoor.

Op de locatie Zuilenstein (Nieuwegein) is de totale geluidbelasting op de gevel ten gevolge van beide sporen 60 dB. Dit voldoet niet aan de voorkeurswaarden uit de Wgh, maar wel aan de maximale ontheffingswaarde. Dit niveau is vooral afkomstig van het passagegeluid van trams op de binnenboog welke 7 dB meer geluid maakt dan trams op de buitenboog. Wanneer de emissie van de buitenboog gelijk wordt gemaakt aan de emissie van de binnenboog wordt voldaan aan de waarde van 55 dB uit de Wet geluidhinder.

Op de locatie Baronieweg (IJsselstein) is de 20-percentielwaarde van de SEL voor de binnenboog 87 dB en voor de buitenboog 75 dB. De binnenboog voldoet niet aan de ambitiewaarde voor SEL20 van 75 dB. Het booggeluid als gevolg van de buitenboog is gelijk aan de ambitiewaarde. Hetzelfde geldt voor de dSEL20 die voor binnenboog 2.7 dB bedraagt en voor de buitenboog 2.0 dB. De ambitiewaarde hiervoor is 1 dB. Er is daarmee sprake van een significante overschrijding van de ambitiewaarde.

s12e 5.1.2.e

DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

wij bouwen aan de

uithoflijn

Bestuur
Regio Utrecht


Gemeente Utrecht

Bijlage 1B bij Koopovereenkomst met kenmerk BRU-001-2013-BRU

Programma van Eisen
Materieel Uithoflijn
Versie 2.0

Datum: 30 januari 2015

Colofon

Uitgegeven door	Bestuur Regio Utrecht Postbus 14107 3508 SE Utrecht
Kenmerk	OVK-001-2013-BRU-02
Datum	30 januari 2015
Status	Definitief
Versienummer	2.0

1	Inleiding	7
2	Algemene informatie	8
3	Planning	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4	Proces & Kwaliteit	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.1	Algemeen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.2	Validatie	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.3	Wetgeving & Toelating	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.4	Safety Case	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.5	Kwaliteitszorg.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.5.1	Algemeen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.5.2	Kwaliteitsplan.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.5.3	Toetsing en controle van de kwaliteit.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.5.4	Testen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.5.5	Afname & Acceptatie	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.5.5.1	Afnameprotocol type keuring	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.5.5.2	Afnameprotocol serie trams	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5	Voertuigontwerp	9
5.1	Omgevingseisen Tramvoertuigontwerp	9
5.1.1	Infrastructuur.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1.1.1	Profiel.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1.1.2	Spoor en bogen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1.1.3	Perrons.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1.1.4	Tractie-energievoorziening	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1.1.5	Interferentie.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1.1.6	EMC.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1.1.7	Stoorstromen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1.1.8	Algemene toelichting ICT- Beeld- en Geluidvoorzieningen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1.2	Inzetgegevens voor exploitatie.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1.3	Uitgangspunten voor massa en belading.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1.4	Klimatologische en omgevings-omstandigheden	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1.5	Milieu	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.1.6	Geluidsemissie	9
5.1.6.1	Algemeen	9
5.1.6.2	Hinderlijke tonen	10
5.1.6.3	Geluid buiten voertuig	10
5.1.6.4	Piepen in bogen	11
5.2	Tramontwerp	11
5.2.1	Basisgegevens tram	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.1.1	Algemeen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.1.2	Snelheid	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.1.3	Wagenbak buiten.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.1.4	Wagenbak binnen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.1.5	Draaistel	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.1.6	Rij-eigenschappen en slijtage van wiel en rail	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.2	Exploitatie	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.2.1	Algemeen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.2.2	Performance	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.2.3	Energieverbruik.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.3	Toegankelijkheid en comfort	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.3.1	Vloerhoogte	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.3.2	Instapspleet.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.

5.2.3.3	Passagiersruimte.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.3.4	Deuren voor de passagiersruimte.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.3.5	Indeling passagiersruimte.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.3.6	Rijcomfort.....	11
5.2.3.7	Interieurgeluid.....	12
5.2.3.8	Thermisch comfort.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.2.3.9	Klimaatbeheersing.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5.3	Optie voor lange-variant Tramvoertuig.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6	Materieelconstructie.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.1	Algemeen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.2	Wagenbak (B).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.2.1	Algemeen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.2.2	Verbindingstechnieken.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.2.3	Conservering voorzorgmaatregelen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.2.4	Oppervlaktebehandeling verfsysteem.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.2.5	Dak.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.3	Wagenbak exterieur (C).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.3.1	Ramen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.3.2	Vloer.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.4	Wagenbak interieur (D).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.4.1	Zit- en staanplaatsen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.4.2	Steunstangen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.4.3	Afwerking Interieur.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.4.4	Sloten.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.5	Draaistel (E).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.5.1	Algemeen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.5.2	Wielen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.5.3	Vering.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.6	Tractie-installatie (F).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.6.1	Algemeen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.6.2	Aandrijving en motoren.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.6.3	Stroombeveiliging en remweerstand.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.6.4	Stroomafnemer.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.6.5	Energiedragers.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.7	Besturingssystemen (G).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.7.1	Trein Management Besturingssysteem (TMBS).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.7.2	Bedrijfstoestanden.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.7.3	Ontwerp TMBS en voertuig ICT-architectuur.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.7.4	Functies en uitgangspunten.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.7.5	Diagnose en remote managementfunctie.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.7.6	TMBS-kast.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.7.7	Software.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.8	Boordnet systemen (H).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.8.1	Elektrisch Boordnet.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.8.2	Accu installatie (batterij).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.9	Monitoring en Veiligheidsapparatuur (J).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.9.1	Noodremmen en Intercom voor passagiers.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.9.2	Camera's, Videobewaking - CCTV passagiersafdeling.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.9.3	Bel- en Hoornsignalen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.9.4	Ritregistratie.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.10	Verlichting (K).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.10.1	Buitenverlichting.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.10.2	Verlichting passagiersruimte.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.10.3	Verlichting bestuurderscabine.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.11	Klimaatbeheersinginstallatie - HVAC (L).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.

6.11.1	Klimaat bestuurderscabine	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.11.2	Klimaat passagiersruimte.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.12	Bijkomstige apparatuur voor exploitatie (M)	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.12.1	Smeerinstallatie	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.12.2	Zandstrooi-inrichting	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.13	Deuren en balkons in de passagiersruimte (N)	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.13.1	Algemeen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.13.2	Deurbesturing	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.13.3	Deurbeveiligingen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.13.4	Waarschuwingssignaal.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.13.5	Inklembeveiliging en wegrijdbeveiliging.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.13.6	Noodontgrendeling.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.13.7	Deurbediening	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.13.8	Cabine deuren.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.14	Reizigers informatiesystemen - RIS (P)	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.14.1	Infotainment systeem.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.14.2	Bestemmingsaanduiding.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.14.3	Omroep	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.15	Pneumatisch en hydraulisch systeem (Q).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.15.1	Hydraulische installatie.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.15.2	Pneumatische systemen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.16	Remmen (R)	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.17	Geledingen en Koppelingen (S).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.17.1	Geleding	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.17.2	Koppelingen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.18	Apparaatkasten (T)	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.18.1	Elektrische en elektronische apparaten.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.19	Elektrische bedrading (U).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.19.1	Elektrische bedrading	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.19.2	Aarding en retourstroom.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.20	Bestuurderscabine	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.20.1	Algemeen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.20.2	Mens Machine Interface.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.20.3	Dodemansinrichting.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.20.4	Bedieningssystemen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.20.5	Bedienings- en controle panelen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.20.6	Deurbedieningspaneel.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.20.7	Stuurstrooschakelaar.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.20.8	Voorzieningen voor instructeur	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.20.9	Ruitenwisserinstallatie.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.20.10	Communicatie met verkeersleiding	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.20.11	Bestuurdersstoel.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6.20.12	Overige uitrustingsstukken	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
7	Esthetisch design en mock-up	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
7.1	Mock-up en ergonomie	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
7.2	Design	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8	RAM.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.1	Inleiding	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.2	Randvoorwaarden en uitgangspunten RAM.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.3	Betrouwbaarheid (Reliability).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.4	Beschikbaarheid (Availability).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.5	Onderhoudbaarheid (Maintainability).....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.5.1	Faciliteiten onderhoudspersoneel	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.5.2	Preventief onderhoudsplan	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.

8.5.3	Speciale onderhoudsactiviteiten	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.5.4	Speciale gereedschappen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.5.5	Modulariteit	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.5.6	Software beheer	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.5.7	Reiniging	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.6	Onderdelen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.6.1	Onderdelen levering	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.6.2	Onderdelen voorraad.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.6.3	Strategische delen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.7	Garantie en verificatie op RAM.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.7.1	Garantie betrouwbaarheid	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.7.2	Garantie preventief onderhoudsplan	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.7.3	Garantie specifieke onderhoudsactiviteiten.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.7.4	Garantie kosten speciale gereedschappen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
8.7.5	Garantie kosten onderdelen voorraad	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
9	Veiligheid.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
9.1	Veiligheidseisen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
9.1.1	Veiligheidsintegriteit.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
9.1.2	Brandveiligheid	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
9.1.3	Veiligheid personeel, passagiers en overigen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10	Documentatie en Opleiding	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1	Documentatie	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.1	Algemeen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.2	Documentatie categorie 3	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.2.1	Algemeen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.2.2	Ontwerpdefinitie.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.2.3	Documentatie operatie.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.2.4	Documentatie onderhoud	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.2.5	Documentatie onderhoud en materialen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.3	Uitvoering van de documentatie van categorie 3.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.3.1	Algemeen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.3.2	Elektrotechnische schema's.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.3.3	Pneumatische schema's.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.3.4	De onderdelencatalogus.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.3.5	Documentatie hardware.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.1.3.6	Documentatie software	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.2	Opleiding	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.2.1	Algemeen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.2.2	Opleiding Techniek	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.2.3	Hersporen en afvoeren	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.2.4	Opleiding rij-instructie	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.2.5	E-learning.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
10.2.6	Planning van de opleidingen.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
11	Risicodossier	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
12	Bijlagen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.

1 INLEIDING

Dit document beschrijft de eisen die de Opdrachtgever heeft ten aanzien van het aan te schaffen Tramvoertuig. Daar waar geen classificatie is meegegeven betreft het informatie van de Opdrachtgever. De betekenis die de Opdrachtgever aan de classificatie heeft toegekend is:

E Eis

De Inschrijver dient onder alle omstandigheden aan een eis met classificatie **E** te voldoen. Indien de Inschrijver niet aan een eis voldoet, behoudt de Aanbesteder zich het recht voor om de Inschrijver uit te sluiten van de aanbestedingsprocedure. Indien een eis uitsluitend is aangeduid met een E (zonder toevoeging) dient Inschrijver in zijn Inschrijving slechts aan te geven dát hij aan de eis voldoet en hoeft terzake geen bewijs te worden geleverd.

E-b Eis met bewijsvoering

De Inschrijver dient onder alle omstandigheden aan een eis met classificatie **E-b** te voldoen. De index **-b** betekent dat de Inschrijver in de Inschrijving bewijsvoering dient mee te leveren waaruit blijkt dat, en op welke wijze, aan de eis is voldaan. Indien de Inschrijver geen bewijsvoering meelevert en/of uit de geleverde bewijsvoering niet blijkt dat de Inschrijver voldoet aan de eis, behoudt de Aanbesteder zich het recht voor om de Inschrijver uit te sluiten van de aanbestedingsprocedure.

E-a Eis met aspect dat wordt beoordeeld

De Inschrijver dient onder alle omstandigheden aan een eis met classificatie **E-a** te voldoen. Daarnaast bevat deze eis een aspect, bovenop de eis, dat de Aanbesteder meeneemt in de beoordeling in het kader van de EMVI. De index **-a** betekent dat de Inschrijver in de Inschrijving bewijsvoering dient mee te leveren waaruit blijkt dat, en op welke wijze, aan de minimeis is voldaan. Indien de Inschrijver meer biedt dan minimaal geëist, dient dat eveneens te blijken uit de geleverde bewijsvoering. Indien de Inschrijver geen bewijsvoering meelevert en/of uit de geleverde bewijsvoering niet blijkt dat de Inschrijver voldoet aan de gestelde minimeis, behoudt de Aanbesteder zich het recht voor de Inschrijver uit te sluiten van de aanbestedingsprocedure.

A Aspect dat wordt beoordeeld

De classificatie **A** betreft een aspect waar de Aanbesteder geen harde minimeis aan stelt. De Inschrijver dient bij voorkeur aan een aspect invulling te geven. Indien de Inschrijver niet aan een aspect invulling geeft is dit geen reden tot uitsluiting van de aanbestedingsprocedure. Een dergelijk aspect wordt wel meegenomen in de beoordeling in het kader van de EMVI. In de Compliance matrix dient de Inschrijver aan te geven of hij een bepaald aspect al dan niet aanbiedt (Ja/Nee). Het leveren van bewijsvoering is niet vereist.

A-b Aspect dat wordt beoordeeld met bewijsvoering

De classificatie **A-b** betreft een aspect waar de Aanbesteder geen harde minimeis aan stelt. De Inschrijver dient bij voorkeur aan een aspect invulling te geven. Indien de Inschrijver niet aan een aspect invulling geeft is dit geen reden tot uitsluiting van de aanbestedingsprocedure. Een dergelijk aspect wordt wel meegenomen in de beoordeling in het kader van de EMVI. In de Compliance matrix dient de Inschrijver aan te geven of hij een bepaald aspect al dan niet aanbiedt (Ja/Nee). Indien Inschrijver een aspect aanbiedt (Ja), dient hij tevens bewijsvoering aan te leveren waaruit blijkt hoe hij invulling geeft aan het betreffende aspect. Deze bewijsvoering wordt meegenomen in de beoordeling in het kader van de EMVI.

-v Veiligheidsfunctie

Een veiligheidsfunctie wordt geïdentificeerd door middel voor toevoeging van de index **-v**. Een veiligheidsfunctie is een eigenschap die bepalend is voor een correcte en veilige functievervulling. Voor het overige gelden identieke voorwaarden als hierboven omschreven. De notaties **E-v**, **E-bv**, **E-av**, **A-bv** en **A-v** zijn mogelijk. Alle eisen en aspecten met een veiligheidsfunctie dienen te worden opgenomen in de Safety Case.

I Informatie

De Inschrijver dient de gevraagde informatie bij de Inschrijving te leveren. Indien deze informatie niet geleverd wordt, behoudt de Opdrachtgever zich het recht voor om de Inschrijver uit te sluiten in de aanbestedingsprocedure. Opdrachtgever kan de door Inschrijver aangeleverde informatie betrekken in zijn toetsing of aan de eisen wordt voldaan en/of bij de beoordeling in het kader van de EMVI.

2 ALGEMENE INFORMATIE

Het kenniscentrum "De Uithof" draagt in belangrijke mate bij aan de innovatieve kracht, de kenniseconomie en de concurrentiepositie van de regio Utrecht en Nederland. Een sterk ontwikkelde en goed bereikbare Uithof stimuleert de economie en de werkgelegenheid in de regio. Het kenniscentrum "De Uithof" te Utrecht is aan het groeien en de huidige busverbindingen zijn ontoereikend om die groei op te vangen in de toekomst. Daarom is er besloten om een tramverbinding te realiseren tussen Utrecht Centraal en De Uithof met een mogelijke doorkoppeling naar de SUNIJ-lijn. In nauwe samenwerking met de gemeente Utrecht werkt Bestuur Regio Utrecht aan de totstandkoming van deze tramverbinding.



Voor meer informatie wordt verwezen naar de Systeembeschrijving in bijlage P en de website www.uithoflijn.nl. Op de website is tevens een publieksversie van het infrastructuur ontwerp beschikbaar (http://www.uithoflijn.nl/fileadmin/user_upload/Uithoflijn%20Publieksversie%202.0%20lowres%20DEF.pdf).

5 VOERTUIGONTWERP

5.1 Omgevingseisen Tramvoertuigontwerp

Deze paragraaf beschrijft de randvoorwaarden en uitgangspunten die de omgeving stelt aan het ontwerp van het Tramvoertuig.

5.1.6 Geluidsemisatie

5.1.6.1 Algemeen

117	E	De geluidsniveaus dienen buiten het Tramvoertuig te worden gemeten volgens de norm EN-ISO 3095: "Rail-toepassingen - Akoestiek - Meting van geluid uitgestraald door railgebonden voertuigen": op zowel 1,2 m als 3,5 m +BS en 7,5 m uit hart spoor. Voor de situaties van stilstaand, rijdend, als aanzettend dient aan geluidsniveaus L_{pAFmax} conform § 3.10 van ISO 3095 dan wel $L_{pAeq, Tp}$ conform § 3.12 van ISO 3095 te worden voldaan.
118	A	Het ontwerp en de constructie van het Tramvoertuig waarborgt een geruisarme loop.
119	E	De Leverancier dient uiterlijk eind fase 6 van EN 50126 de geluidsemisatie als gevolg van loopeigenschappen van het Tramvoertuig door berekeningen te onderbouwen
120	E	De geluidsemisatie van het Tramvoertuig dient in fase 10 van EN 50126 door testen in Utrecht te worden aangetoond.
121	A-b	De Leverancier dient voor alle geëiste geluidsniveaus, zie eis nr. 125, 126, 127, en 128 bij voorkeur een nog lager geluidsniveau te realiseren. De Opdrachtgever acht het belangrijk om een zo laag mogelijk geluidsniveau te realiseren.
122	I	De Leverancier dient in de Inschrijving voor alle geëiste geluidsniveaus, zie eis nr. 125, 126, 127, en 128 de waarden met daar waar mogelijk een onderbouwing te leveren.
123	-	Vervallen

5.1.6.2 Hinderlijke tonen

Hinderlijke tonen worden vastgesteld door middel van twee Fast Fourier Analyses:

- 0-2000 Hz met een oplossend vermogen van 5 Hz;
- 0-10.000 Hz met een oplossend vermogen van 25 Hz.

Om de niveaus te beoordelen wordt een spectrum in tertsbanden (met bovengenoemd oplossend vermogen) ge-maakt. Dit spectrum wordt uitgevoerd als L_{pAFmax} (1/8 s) voor bewegende bronnen en als $L_{pAeq, Tp}$ voor stationaire bronnen

Tonen worden als hinderlijk aanwezig beschouwd als het geluidsdruk-niveau in een tertsband waarin zij voorkomen te hoog is. Deze worden gemeten conform ISO 1996: "Akoestiek - Beschrijving, meting en beoordeling van omgevingsgeluid - Deel 1: Basisgrootheden en procedures"; zie §3.1.3.

Als dat het geval is wordt het meetresultaat van de meting conform EN-ISO 3095:2005 met 5 dB(A) verhoogd om te worden getoetst aan de gestelde eisen.

Voor de beoordeling van een hoge toon kan het criterium van ISO 1996- deel 2: "Bepaling van omgevingsgeluidniveaus", uit Bijlage D worden gehanteerd.

124	E-b
------------	------------

Het Tramvoertuig dient zo ontworpen te worden dat er geen hinderlijke tonen worden geproduceerd die hoger zijn dan:

- Eis nr. 125: Het geluidsniveau L_{pAFmax} buiten het stilstaande Tramvoertuig dient met alle (hulp)apparatuur in bedrijf op geen enkele plaats langs het Tramvoertuig meer te bedragen dan 64 dB(A). Hierbij wordt gemeten conform ISO 3095 en bijlage B1 op 1,2 m en 3,5 m+BS en op 7,5 m uit hart spoor.)
- Eis nr. 126: Het geluidsniveau $L_{pAeq, Tp}$ buiten het rijdende Tramvoertuig dient bij aanzetten van 0 – 40 km/h en een constante snelheid van 40 km/h niet verder op te lopen dan 72 dB(A).
- Eis nr. 127: Het geluidsniveau $L_{pAeq, Tp}$ buiten het rijdende Tramvoertuig dient bij een constante snelheid van 60 km/h niet hoger te zijn dan 77 dB(A)
- Eis nr. 128: Het geluidsniveau $L_{pAeq, Tp}$ buiten het rijdende Tramvoertuig dient bij een constante snelheid van 70 km/h niet hoger te zijn dan 79 dB(A).

De condities en rekenmethodiek op basis van ISO 1996 kunnen betekenen dat voor een beperkt aantal tertsbanden het geluidsniveau hoger is dan de numerieke waarde zoals hierboven geëist voor het totale geluidsniveau. Echter voor het totaal geldt dat het "A-gewogen"-gemiddelde moet voldoen aan bovenstaande limieten en niet het rekenkundig gemiddelde.

5.1.6.3 Geluid buiten voertuig

125	E-b
------------	------------

Het geluidsniveau L_{pAFmax} buiten het stilstaande Tramvoertuig dient met alle (hulp)apparatuur in bedrijf op geen enkele plaats langs het Tramvoertuig meer te bedragen dan 64 dB(A). Hierbij wordt gemeten conform ISO 3095 en bijlage B1 op 1,2 m en 3,5 m+BS en op 7,5 m uit hart spoor.

126	E-b
------------	------------

Het geluidsniveau $L_{pAeq, Tp}$ buiten het rijdende Tramvoertuig dient bij aanzetten van 0 – 40 km/h en een constante snelheid van 40 km/h niet verder op te lopen dan 72 dB(A).

127	E-b
------------	------------

Het geluidsniveau $L_{pAeq, Tp}$ buiten het rijdende Tramvoertuig dient bij een constante snelheid van 60 km/h niet hoger te zijn dan 77 dB(A).

128 | **E-b**

Het geluidsniveau L_{pAeq, T_p} buiten het rijdende Tramvoertuig dient bij een constante snelheid van 70 km/h niet hoger te zijn dan 79 dB(A).

129 | **A**

Het geluidsniveau dat optreedt ten gevolge van auditieve signalen uit geluidsbronnen aan de buitenzijde van het Tramvoertuig (omroepen, waarschuwen en sluiten deuren, exclusief signaalhoorn en elektrische bel), bedraagt bij voorkeur 10 dB(A) meer dan het achtergrondniveau. Deze waarde wordt automatisch aangepast aan het achtergrond-geluidsniveau.

130 | **A**

Het maximale geluidsniveau dat optreedt ten gevolge van auditieve signalen uit geluidsbronnen aan de buitenzijde van het Tramvoertuig (omroepen, waarschuwen en sluiten deuren, niet de signaalhoorn en elektrische bel) bedraagt bij voorkeur niet meer dan 90 dB(A).

5.1.6.4 Piepen in bogen

131 | **A-b**

De Leverancier neemt maatregelen in het Tramvoertuig te nemen om piepen in bogen zoveel mogelijk tegen te gaan.

132 | **A**

Het geluidsniveau L_{pAFmax} buiten het rijdende Tramvoertuig dient in bogen bij voorkeur niet hoger te zijn dan 85 dB(A). Deze waarde geldt tijdens alle mogelijke weercondities tot snelheden van 60 km/h.

133 | **A-b**

De wielen van het Tramvoertuig dienen bij voorkeur voorzien te zijn van goed werkende wioldempers.

134 | **-**

Vervallen

5.2 Tramontwerp

Rijcomfort

268 | **A-b**

Het Tramvoertuig is comfortabel uitgevoerd. Voornamelijk elementen van comfort zijn onder meer:

- Rijgedrag van 0 – 80 km/h;
- Rijgedrag in bogen;
- Klimaatbeheersing;
- Ontwaseming van de ruiten;
- Zitplaatsvormgeving;
- Verlichting;
- Zitmeubilair.

269	E	De trillingsniveaus in het Tramvoertuig, zowel in x,y als z richting, dienen op elke plaats van de vloer van de passagiers- en bestuurdersafdeling gemeten te worden volgens ISO 2631: "Mechanische trillingen en schokken - Beoordeling van de invloed van trillingen op het menselijk lichaam - Deel 4: Richtlijnen voor de evaluatie van de invloed van trillingen en draaiende beweging op het comfort van passagiers en bemanning in transportsystemen met een vaste geleiding", waarbij weging volgens W_b dient te worden toegepast voor de verticale richting en W_d voor de horizontale richtingen. De gewogen trillingsniveaus mogen $0,315 \text{ m/s}^2$ niet overstijgen.
270	-	Vervallen.
271	-	Vervallen.
272	A-b	Het Tramvoertuig bezit een zo hoog mogelijk rijcomfort.

5.2.1.1 Interieurgeluid

Algemeen

273	E	De gewenste geluidsniveaus worden binnen het Tramvoertuig gemeten volgens EN-ISO 3381: "Railtoepassingen - Akoestiek - Metingen van geluid binnen railgebonden voertuigen".
274	A-b	Het ontwerp en de constructie van het Tramvoertuig waarborgt een geluidsarm interieur.
275	E	De Leverancier dient uiterlijk eind fase 6 van EN 50126 het interieurgeluid van het Tramvoertuig door berekeningen te onderbouwen.
276	E	Het interieurgeluid van het Tramvoertuig dient in fase 10 van EN 50126 door testen te worden aangetoond.

Hinderlijke tonen

Hinderlijke tonen worden vastgesteld door middel van twee Fast Fourier Analyses:

- 0-2000 Hz met een oplossend vermogen van 5 Hz;
- 0-10.000 Hz met een oplossend vermogen van 25 Hz.

Om de niveaus te beoordelen wordt een spectrum in tertsbanden (met bovengenoemd oplossend vermogen) ge-maakt. Dit spectrum wordt uitgevoerd als L_{max} (1/8 s) voor bewegende bronnen en als L_{eq} voor stationaire bronnen.

Tonen worden als hinderlijk aanwezig beschouwd als het geluidsdruk-niveau in een tertsband waarin zij voorkomen te hoog is. Deze worden gemeten conform ISO 1996-1: zie §3.1.3. Als dat het geval is wordt het meetresultaat van de meting conform EN-ISO 3381: met 5 dB(A) verhoogd om te worden getoetst aan de gestelde eisen.

Voor de beoordeling van een hoge toon kan het criterium van ISO 1996-2: uit Bijlage D worden gehanteerd.

277	A
------------	----------

Indien door een geluidsbron hinderlijke tonen worden afgegeven worden deze gereduceerd tot een niveau waarbij volgens de hierboven beschreven methodiek wordt voldaan aan de volgende waarden:

- Het geluidsniveau L_{pAFmax} binnen het stilstaande Tramvoertuig dient met alle (hulp)apparatuur in bedrijf op geen enkele plaats in het Tramvoertuig meer dan 62 dB(A) te bedragen.
- Het geluidsniveau $L_{pAeq,T}$ binnen het rijdende Tramvoertuig dient bij aanzetten van 0 – 40 km/h op geen enkele plaats, behalve bij de geleiding, meer te bedragen dan 66 dB(A).
- Het geluidsniveau $L_{pAeq,T}$ binnen het rijdende Tramvoertuig dient bij een constante snelheid van 60 km/h op vlak recht spoor in steenslagballast op geen enkele plaats, behalve bij de geleiding, meer te bedragen dan 70 dB(A).
- Het geluidsniveau $L_{pAeq,T}$ binnen het rijdende Tramvoertuig dient bij een constante snelheid van 70 km/h op vlak recht spoor in steenslagballast op geen enkele plaats, behalve bij de geleiding, meer te bedragen dan 72 dB(A).
- Het geluidsniveau L_{pAFmax} binnen in de bestuurderscabine bij en stilstaande Tram bedraagt niet meer dan 60 dB(A); deze waarde geldt ook bij een maximaal werkende klimaatbeheersings-installatie.

278	A
------------	----------

Het Tramvoertuig produceert in geen enkele bedrijfstoestand en bij geen enkele snelheid in de passagiersruimte of in de bestuurderscabine hoorbaar hinderlijke tonen. Een check op hinderlijke tonen wordt tenminste uitgevoerd ten aanzien van de tractie-installatie bij aanzetten van 0 - 40 km/h. De hinderlijkheid wordt in geval van twijfel door een in overleg met de Opdrachtgever samen te stellen onafhankelijk panel beoordeeld.

Stilstaand binnen voertuig

279	A-b
------------	------------

Het geluidsniveau L_{pAFmax} binnen het stilstaande Tramvoertuig dient met alle (hulp)apparatuur in bedrijf (dus ook HVAC, hydropompen, etc.) bij voorkeur op geen enkele plaats in het Tramvoertuig meer dan 62 dB(A) te bedragen.

Auditieve signalen binnen voertuig

280	E-v
------------	------------

Het geluidsniveau dat optreedt ten gevolge van auditieve signalen uit geluidsbronnen aan de binnenzijde van het Tramvoertuig, zoals omroepen en waarschuwingsmededelingen, is instelbaar. Het maximaal te produceren geluidsniveau bedraagt niet meer dan 90 dB(A).

281 | **A**

Het geluidsniveau dat optreedt ten gevolge van auditieve signalen uit geluidsbronnen aan de binnenzijde van het Tramvoertuig (omroepen, waarschuwingsmededelingen), is bij voorkeur instelbaar tot 12 dB(A) boven het achtergrondniveau. Deze waarde wordt bij voorkeur automatisch aangepast ten opzichte van het achtergrondniveau.

Rijdend binnen Tramvoertuig**282** | **A-b**

Het geluidsniveau $L_{pAeq,T}$ binnen het rijdende Tramvoertuig dient bij aanzetten van 0 – 40 km/h bij voorkeur op geen enkele plaats, behalve bij de geleding, meer te bedragen dan 66 dB(A).

283 | **A-b**

Het geluidsniveau $L_{pAeq,T}$ binnen het rijdende Tramvoertuig dient bij een constante snelheid van 60 km/h op vlak recht spoor in steenslagballast bij voorkeur op geen enkele plaats, behalve bij de geleding, meer te bedragen dan 70 dB(A).

284 | **A-b**

Het geluidsniveau $L_{pAeq,T}$ binnen het rijdende Tramvoertuig dient bij een constante snelheid van 70 km/h op vlak recht spoor in steenslagballast bij voorkeur op geen enkele plaats, behalve bij de geleding, meer te bedragen dan 72 dB(A).

285 | **A-b**

Het geluidsniveau $L_{pAeq,T}$ binnen het rijdende Tramvoertuig dient in de geleding en gemeten tot 1 meter uit het "centrum" van de geleding bij een constante snelheid van 60 km/h op vlak recht spoor in steenslagballast bij voorkeur niet meer te bedragen dan 72 dB(A).

Interieurgeluid bestuurderscabine**286** | **A-b**

Het geluidsniveau L_{pAFmax} binnen in de bestuurderscabine bij en stilstaande Tram bedraagt bij voorkeur niet meer dan 60 dB(A); deze waarde geldt ook bij een maximaal werkende klimaatbeheersingsinstallatie.

287 | **A-b**

Het geluidsniveau $L_{pAeq,T}$ in de bestuurderscabine bedraagt bij voorkeur maximaal 70 dB(A); onder de omstandigheden: optrekken, snelheid 70 km/h, en het rijden over wissels en kruisingen in rechtstand.



TEST PROCEDURE



UithofLijn. DYNAMIC NOISE VALUES OUTSIDE

Q.53.92.375.20

Issue:

-

Page

1 of 6

Code	Q.53.92.375.20	Ed:	-
Project	URBOS 100 Utrecht		
Concept	On-Track Type Test Procedure		

REVISION

Issue	Comments	Date
-	Creation from Q.53.92.375.15 B	25/09/2018

DISTRIBUTION

5.1.2.e	(5.1.2.e)
5.1.2.e	(5.1.2.e)
5.1.2.e	(5.1.2.e)
5.1.2.e	5.1.2.e
5.1.2.e	(5.1.2.e)

Document validation

Edited by	5.1.2.e ID: 5.1.2.e	5.1.2.e	25/09/2018
Verified by	5.1.2.e ID: 5.1.2.e	5.1.2.e	25/09/2018
Approved by	5.1.2.e ID: 5.1.2.e	5.1.2.e	25/09/2018



TEST PROCEDURE



UithofLijn. DYNAMIC NOISE VALUES OUTSIDE

Q.53.92.375.20

Issue:

-

Page

2 of 6

CONTENT

1	PURPOSE.....	3
2	SCOPE.....	3
3	STANDARDS AND OTHER REFERENCE DOCUMENTS.....	3
4	SAFETY RELATED ISSUES	4
5	TEST PROCEDURE AND ACCEPTANCE CRITERIA.....	4
	APPENDIX 1:.....	5
	TEST RESULT	6

UithofLijn. DYNAMIC NOISE VALUES OUTSIDE

Q.53.92.375.20

Issue:

-

Page

3 of 6

1 PURPOSE

The purpose of this test is to define the exterior noise test that will determine the outside noise levels for the URBOS 100 Utrecht Tram in the Uithof Lijn.

2 SCOPE

The exterior noise level, track roughness and track decay rate in Uithoflijn will be measured according test procedure Q.53.92.375.15 (Test specification BA7.11.201 edition 01; sections 5, 6 and 7). This procedure will be carried out only in one vehicle.

3 STANDARDS AND OTHER REFERENCE DOCUMENTS

The revision of the documents to be used is the official one at the time the tests are performed. The technician / engineer in charge of the test has to "download" the procedure available the date the tests are performed (and / or also the referenced documentation) from CAF internal system / database.

This test will be performed taking into account descriptions provided by the following documents:

Requirement	Standard/Observation
Technical specification document	For the evaluation of interior noise, exterior noise, the auditory signals of closing doors, the warning horn and the electric bell.
ISO 3381:2005	Standard for internal noise measure
ISO 3095:2013	Standard for external noise measure



TEST PROCEDURE



UithofLijn. DYNAMIC NOISE VALUES OUTSIDE

Q.53.92.375.20

Issue:

-

Page

4 of 6

4 SAFETY RELATED ISSUES

See Appendix Safety Tests (PPE-Q539375.20)

5 TEST PROCEDURE AND ACCEPTANCE CRITERIA

Each test shall comply with the acceptance criteria and be performed according to the document included in the corresponding Appendix:

APPENDIX 1:

Doc. CETEST – Exterior noise Test Report

Ref: BC3.11.251

Issue: 01

Date: 25/09/2018



TEST PROCEDURE



UithofLijn. DYNAMIC NOISE VALUES OUTSIDE

Q.53.92.375.20

Issue:

-

Page

5 of 6

APPENDIX 1:

BC3.11.251_ Exterior noise Test Report

TEST REPORT

Exterior noise test

Client: Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, S.A.
J.M. Iturrioz, 26.
C.P.: 20200 Beasain (Spain)

Project: Tramways of Utrecht (Extension)

CETEST code: BC3.11.251

Issue: 01

Date: 25/09/2018

Prepared by:

Name: 5.1.2.e

Position: 5.1.2.e

Date: 25/09/2018

5.1.2.e

Digitally signed
by 5.1.2.e

Reviewed by:

Name: 5.1.2.e

Position: 5.1.2.e

Date: 25/09/2018

5.1.2.e

Digitally signed
by 5.1.2.e

Approved by:

Name: 5.1.2.e

Position: 5.1.2.e

Date: 25/09/2018

5.1.2.e

Digitally signed
by 5.1.2.e

This document is the property of CETEST and must neither be reproduced nor transmitted without strict authorization.

The official edition of the document is stored in CETEST's database.

Lazkaibar s/n, Beasain (Spain) - Telephone: + 34 943 028 690 / Fax: + 34 943 028 661

ISSUE CONTROL

Issue	Author	Date	Modification	Description
01	5.1.2.e	25/09/2018	-	Initial release

The current issue replaces and voids the previous one

DISTRIBUTION

Nº	Position	Name
1	CAF	5.1.2.e
2	CAF	5.1.2.e
3	CAF	5.1.2.e
4	CETEST	5.1.2.e
5	CETEST	5.1.2.e

INDEX

1	INTRODUCTION	5
1.1	Description of the test vehicle	5
2	MEASURING EQUIPMENT	8
2.1	Exterior noise	8
2.1.1	Hardware	8
2.1.2	Software	8
2.2	Rail roughness measurement.....	8
2.3	Track decay rate.....	9
3	VEHICLE CONDITIONS	10
4	TEST DESCRIPTION	11
4.1	Case J: Exterior noise in acceleration from standstill.....	11
4.1.1	Conditions of the tested vehicle	11
4.1.2	Meteorological conditions.....	11
4.1.3	Acoustic environment and track conditions.....	11
4.1.4	Measurement conditions and evaluation points.....	12
4.2	Case K: Exterior noise at constant speed	13
4.2.1	Conditions of the tested vehicle	13
4.2.2	Meteorological conditions.....	13
4.2.3	Acoustic environment and track conditions.....	13
4.2.4	Measurement conditions and evaluation points.....	14
4.3	Admitted values	14
5	TEST RESULTS	16
5.1	Case J: Exterior noise in acceleration from standstill.....	16
5.2	Case K: Exterior noise at constant speed	16
5.3	Verification of microphones.....	16
5.4	Measurement uncertainty	17
6	TRACK ROUGHNESS	18
6.1	Outer rail	19
6.2	Inner rail.....	20
7	TRACK DECAY RATE	21
7.1	Results: Dynamic properties of the tested track.....	22
8	CONCLUSIONS AND FINAL REMARKS.....	24
8.1	Track characterization.....	24
8.2	Exterior noise: on track measurements	24
ANNEX A1.	PHOTOGRAPHS.....	25

REFERENCES

- [1] Requirement specification. Rolling stock for the Uithof line OVK-001-2013-BRU-02 for the tendering of the contract with contract number OVK-001-2013-BRU for rolling stock for the Uithof line.
- [2] CESTEST Document. BA7.11.201.01. Interior and exterior noise tests. Edition 01. 19/Dec/2016.
- [3] ISO 3095:2013. Railway applications – Acoustics – Measurement of noise emitted by railbound vehicles. Third edition. 01/Aug/2013.
- [4] EN 15610:2009. Railway applications – Noise emission – Rail roughness measurements related to rolling noise generation. May of 2009.
- [5] EN 15461:2008+A1:2010. Railway applications. Noise emission. Characterization of the dynamic properties of track sections for pass by noise measurements.
- [6] CAF Drawing. Q.53.00.001. Vehicle with five modules. Edition B. 10/Jul/2015.
- [7] CAF Drawing. Q.53.73.117. Distribution of equipments in roof of coaches C1 and C2. Edition -. 11/Jun/2015.
- [8] CAF Drawing. Q.53.73.127. Distribution of equipments in roof of coaches S1 and S2. Edition A. 25/Nov/2015.
- [9] CAF Drawing. Q.53.73.137. Distribution of equipments in roof of coach R. Edition D. 03/Dec/2015.
- [10] CAF Drawing. Q.53.72.115. Distribution of equipments under the cabin. Edition C. 08/Jan/2016.
- [11] EN 61260:1996. Electroacoustics – Octave band and fractional octave band filters. July of 1996.
- [12] EN 61672-1:2003. Electroacoustics – Sound level meters. Specifications. March of 2003.
- [13] EN 60942:2005. Electroacoustics – Sound calibrators. January of 2005.
- [14] CAF Document. Q.53.93.110. Weight calculation. Edition D. 29/Oct/2015.
- [15] ISO 7626-5:1994. Vibration and shock – Experimental determination of mechanical mobility – Part 5: Measurements using impact excitation with an exciter which is not attached to the structure. Revision of 2010.

1 INTRODUCTION

The present document summarizes the test performed by CETEST in order to evaluate the exterior noise generated by one of the new tramway units with five modules manufactured and designed by CAF for the Tramways of Utrecht project. The aim of these tests consists on the determination of the noise levels emitted in dynamic conditions.

Test have been performed taking into account the descriptions provided by the following documents and international standards:

- Technical specification document for the Uithof line [1].
- Interior and exterior noise test protocol [2].
- Standard ISO 3095:2013 [3] for exterior noise levels.

Furthermore the rail roughness of the test stretch has been measured according to the procedure detailed in the standard EN 15610:2009 [4] and taking into account the admitted limits contained in standard ISO 3095:2013 [3]. In addition, the track decay rate of the test stretch has been characterized by means of the international standards ISO 3095:2013 [3] and EN 15461:2008+A1:2010 [5].

All measurements have been acquired by test engineers ^{5.1.2.e} and ^{5.1.2.e} from CETEST and assisted by ^{5.1.2.e} from CAF and ^{5.1.2.e} from Utrecht Sneltram. Tests have been performed on PK5 of the Uithof line between 10th and 11th, September of 2018.

This document contains the acoustic results of these tests, as well as the methodology employed for the analysis. Results contained in this report refer only to the tested item (unit UT12 of the Tramways of Utrecht project) and conditions in which measurements were made.

1.1 Description of the test vehicle

Noise tests have been performed in one of the tramways of Utrecht with a composition of five coaches or modules (C1, S1, R, S2 and C2), detailed in Figure 1.1.

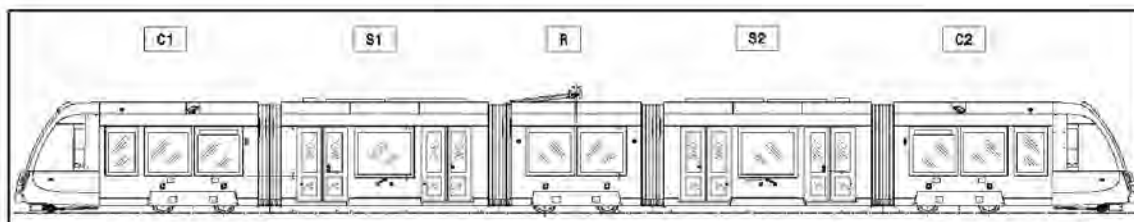


Figure 1.1 Tramways for Utrecht with five modules [6].

The structural typology of each module is the following:

- Modules C1 and C2: extreme modules with cabin and motive bogies.
- Modules S1 and S2: suspended modules.
- Module R: intermediate module with trailer bogie.

The following figures describe the location of the equipments at the vehicle's roof and under the driver's cabin.

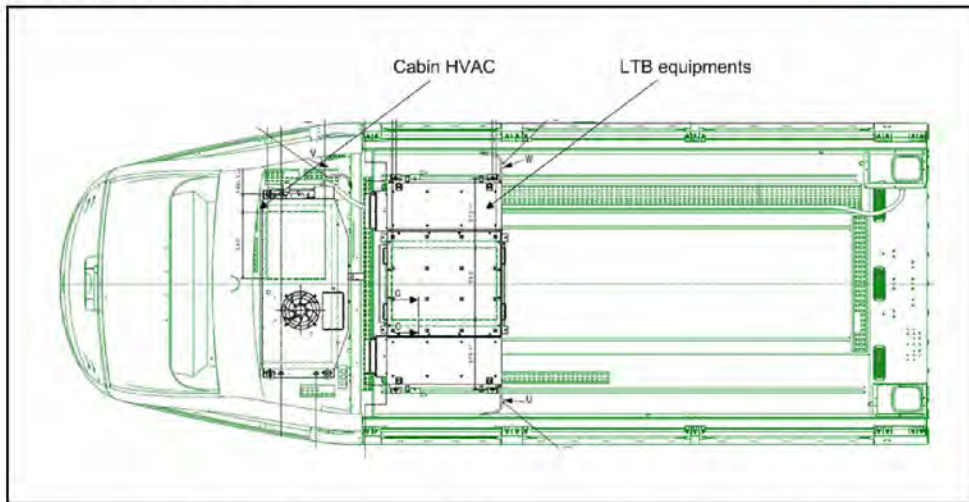


Figure 1.2 Location of HVAC systems and equipments at modules C1 and C2 [7].

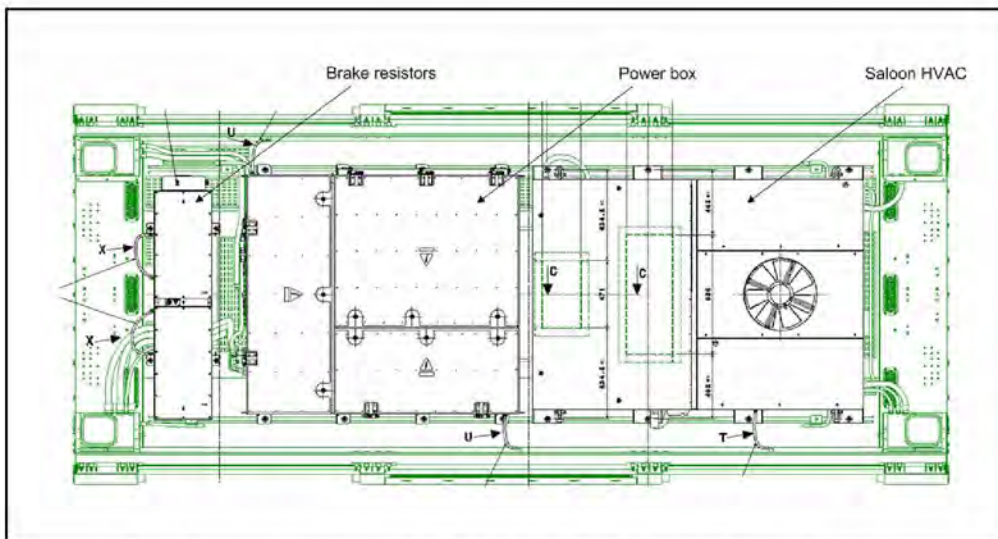


Figure 1.3 Location of HVAC systems and equipments at modules S1 and S2 [8].

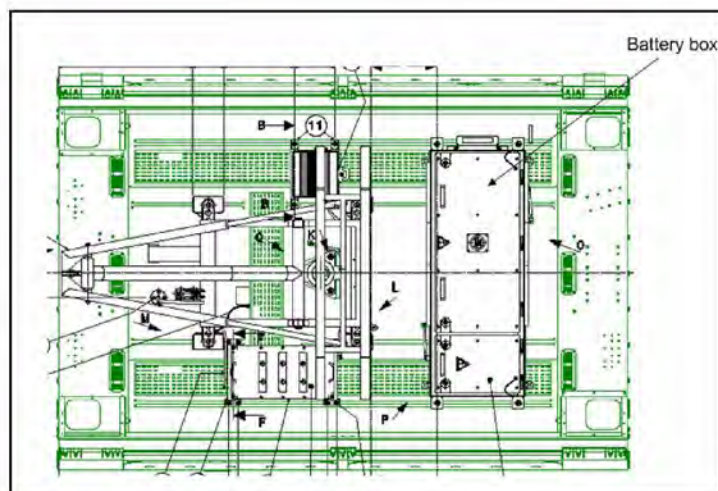


Figure 1.4 Location of equipments at module R [9].

This document is the property of CETEST and must neither be reproduced nor transmitted without strict authorization.

The official edition of the document is stored in CETEST's database.

Lazkaibar s/n, Beasain (Spain) - Telephone: + 34 943 028 690 / Fax: + 34 943 028 661

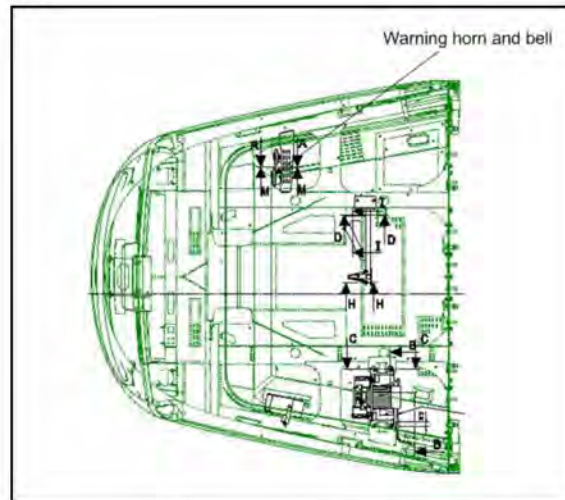


Figure 1.5 Location of equipments under the driver's cabin [10].

2 MEASURING EQUIPMENT

2.1 Exterior noise

2.1.1 Hardware

During the exterior noise tests, the acoustic pressure levels have been measured by means of a system composed of omnidirectional free field microphones type 1/2" with amplifier and a multichannel recording equipment type Bruel&Kjaer model 3050 LAN-XI. Figure 2.1 shows an example of the measuring equipment.



Figure 2.1 Record equipment 3050 LAN-XI and 1/2" microphone.

The recording equipment complies with the specifications of standard EN 61260:1996 [11], referring to requirements for the one third octave filters. The microphones and wires comply with the specifications of standard EN 61672-1:2003 [12], referring to requirements for acoustical instruments Type 1.

According to section 4.2 of standard ISO 3095:2013 [3], the acquisition equipments and microphones have been checked before and after the tests, by means of a sound calibrator. This sound calibrator observes the specifications required by the standard EN 60942:2005 [13] for equipments of Type 1.

2.1.2 Software

Acquisition of temporary signals has been done by means of version 18.1.1.9 of software "Time Data Recorder" from Brüel and Kjaer. Signal analysis has been done by means of version 18.1.1.9 of software "Pulse LabShop" and "Pulse Reflex", both from Brüel and Kjaer. The sampling frequency was 32,768 kHz.

2.2 Rail roughness measurement

A rail surface analyzer has been used for rail roughness measurements. This equipment has three displacement sensors with an encoder. The analyzer has been guided through the track available for the tests with a speed lower than 1 m/s.

Four channels have been recorded: signals from the encoder and the three sensors. These signals have been acquired by means of an Analog-to-digital converter with a resolution of 16 bits.

2.3 Track decay rate

An impact hammer and a piezoelectric accelerometer have been used for measurements of track decay rate in the vertical direction. Figure 2.2 illustrates a scheme of the instrumentation to be employed.



Figure 2.2 Measuring scheme for track decay rate.

3 VEHICLE CONDITIONS

Taking into account the standard ISO 3095:2013 [3] the tested unit was complete, in normal operating conditions, with all the equipments, isolating panels and frames correctly installed. According to the corresponding calculations the theoretical weight of the unit in tare condition is 45322 kg [14].

This unit has been tested in tare condition. The number of people inside the vehicle has been the minimum required for the execution of the tests.

According to section 6.3.3 of the standard ISO 3095:2013 [3], the wheel treads have been as free as possible from irregularities, such as wheel flats. The tested tramway ran 959 km before the beginning of the noise tests.

During the recording of the measurements all doors and windows remained closed, as stated in paragraphs 5.4.1 and 6.3.1 of the international standard ISO 3095:2013 [3].

Attending to sections 5.4.1, 6.3.1 and 7.4.1 of the international standard ISO 3095:2013 [3], all the air management systems, including grilles, filters and fan were clear of any obstruction.

Power boxes and traction inverters were operating in normal conditions during the execution of the tests. The HVAC systems in passengers' areas were operating in ventilation mode with single speed. The HVAC system in cabin was working in ventilation mode with speed V2.

4 TEST DESCRIPTION

4.1 Case J: Exterior noise in acceleration from standstill

4.1.1 Conditions of the tested vehicle

Exterior noise test in acceleration have been performed in the UT12 unit from the Tramways of Utrecht project. Operating conditions regarding the equipment and auxiliary systems of this vehicle are described in section 3 of the present report.

4.1.2 Meteorological conditions

Meteorological conditions presented during the exterior noise test performed in acceleration from standstill fulfils the criteria described in the international standard ISO 3095:2013 [3] in terms of wind speed. These conditions are the following:

- Temperature: 18,4 °C.
- Relative humidity: 70,9 %.
- Wind speed: 0,6 m/s.
- Wind direction: parallel to the test track.
- Atmospheric pressure: 1022 mBar.
- Background noise: 39,1 dB(A).

4.1.3 Acoustic environment and track conditions

Noise tests in dynamic conditions have been performed at the straight track located at the kilometer mark number 5 of the Uithof line detailed in red in the following figure.



Figure 4.1 Test site location at the Uithof line.

The available track is embedded, as it is shown in Figure 4.2. Taking into account clause 7.2.1 of standard ISO 3095:2013 [3], an area around the microphones having a radius which is at least three times the measurement distance must be free of large reflecting objects like barriers, hills, rocks, bridges or

This document is the property of CETEST and must neither be reproduced nor transmitted without strict authorization.

The official edition of the document is stored in CETEST's database.

Lazkaibar s/n, Beasain (Spain) - Telephone: + 34 943 028 690 / Fax: + 34 943 028 661

buildings. In this case, the measurement distance was 7,5 m taking into account the test protocol [2]. The available test stretch fulfills the requirement of the standard.

Additionally, clause 7.2.1 of standard ISO 3095:2013 [3] states that the level of the ground surface over this area must be within 0 m to -2 m, relative to the top of the rail. In the available track section the level of the ground surface fulfills the mentioned requirement.



Figure 4.2 Track where exterior noise test are performed.

4.1.4 Measurement conditions and evaluation points

Taking into account the technical specifications document [1], test protocol [2] and section 7 of the international standard ISO 3095:2013 [3], a measurement location has been placed 10 m ahead of the front of the unit, at 7,5 m from the centerline of the track and at 1,2 m above the rail upper edge.

As stated in section 7.5.2 of standard ISO 3095:2013 [3], the technical document [1] and the test protocol [2], the vehicle accelerated continuously from standstill up to a target speed of 40 km/h and then reduced traction effort to maintain that speed.

The tested tramway has a length less than 50 m, hence, attending to paragraph 7.5.1.1 of the standard ISO 3095:2013 [3] no further measurement positions are needed. Figure 4.3 illustrates the measurement location.

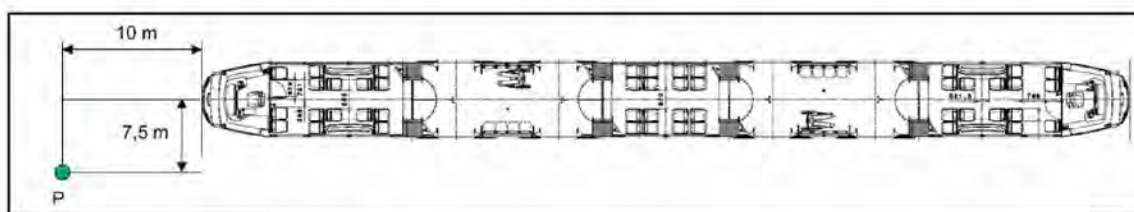


Figure 4.3 Measurement point for exterior noise in acceleration (top view) [6].

The A-weighted sound pressure levels, $L_{pAeq,T}$, have been registered at the instrumented point, as stated on the technical specifications document [1] and the test protocol [2]. Three measurements have been acquired and the arithmetic mean of the measurements has been determined, rounded to the nearest integer as is recommended by clause 7.5.4 of standard ISO 3095:2013 [3].

The measuring time interval has begun when the unit under test started to move and has ended when it has been 10 m past the front measurement cross section.

In order to obtain the time interval of measurement, two laser sensors have been placed at the track. The first sensor has been located at the front of the tramway, and the second sensor has been installed at a distance X of 20 m from the first one. Figure 4.4 defines the position of the two laser sensors.

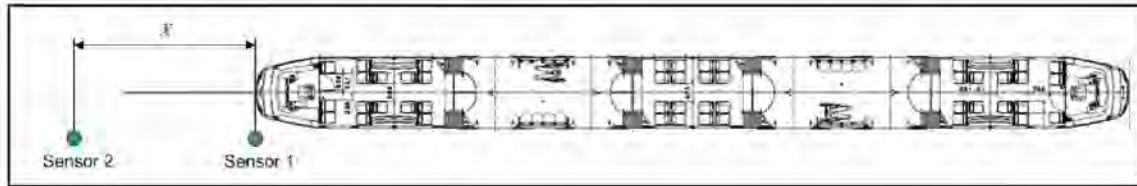


Figure 4.4 Location of laser sensors for exterior noise measurements in acceleration (top view) [6].

4.2 Case K: Exterior noise at constant speed

4.2.1 Conditions of the tested vehicle

Exterior noise test in acceleration have been performed in the UT12 unit from the Tramways of Utrecht project. Operating conditions regarding the equipment and auxiliary systems of this vehicle are described in section 3 of the present report.

4.2.2 Meteorological conditions

Meteorological conditions presented during the exterior noise test performed at constant speed fulfils the criteria described in the international standard ISO 3095:2013 [3] in terms of wind speed. These conditions are the following:

- Temperature: 18,4 °C.
- Relative humidity: 70,9 %.
- Wind speed: 0,6 m/s.
- Wind direction: parallel to the test track.
- Atmospheric pressure: 1022 mBar.
- Background noise: 39,1 dB(A).

4.2.3 Acoustic environment and track conditions

Exterior noise tests at constant speed have been performed at the same location detailed in section 4.1.3 of this document.

Taking into account clause 6.1.1 of standard ISO 3095:2013 [3], an area around the microphones having a radius which is at least three times the measurement distance must be free of large reflecting objects like barriers, hills, rocks, bridges or buildings. In this case, the measurement distance was 7,5 m taking into account the test protocol [2]. The available test stretch fulfills the requirement of the standard.

Additionally, clause 6.1.1 of standard ISO 3095:2013 [3] states that the level of the ground surface over this area must be within 0 m to -2 m, relative to the top of the rail. In the available track section the level of the ground surface fulfills the mentioned requirement.

4.2.4 Measurement conditions and evaluation points

Attending to the technical document [1], the test protocol [2] and clause 6 of standard ISO 3095:2013 [3], exterior noise levels have been measured when the vehicle have been run in a straight track, located in free field. The test protocol [2] requires evaluating two speeds of the tramway: 60 and 70 km/h. Due to limitations of the test stretch only the speed of 60 km/h has been reached.

A single microphone has been placed at one side of the vehicle, at a lateral distance of 7,5 m from track centre line and at a height of 1,2 m above the rail upper edge. Figure 4.5 illustrates this measurement location.

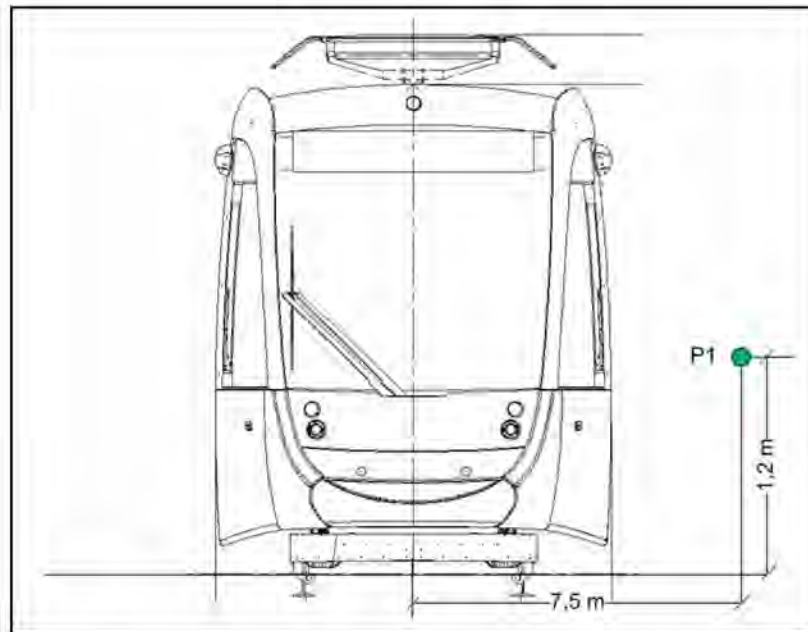


Figure 4.5 Measurement point for exterior noise in motion (front view) [6].

In this test, the A-weighted equivalent continuous sound pressure level on the pass-by time must be evaluated, according to Equation 1.

$$L_{pAeq,T_p} = 10 \log \left(\frac{1}{T_1 - T_2} \int_{T_1}^{T_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right); \quad [\text{dB(A)}] \quad (1)$$

Where $p_A(t)$ is the A-weighted instantaneous sound pressure in Pa, p_0 is the reference sound pressure ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$), and T_p ($T_1 - T_2$) is the passing time. The passing time T_p has been determined by means of a passing sensor.

Three measurements have been acquired and the arithmetic mean of the measurements has been calculated, rounded to the nearest integer, as is requested in clause 6.7.1 of the international standard ISO 3095:2013 [3].

4.3 Admitted values

The acquired exterior sound pressure levels have been compared with the admitted values required by the technical specifications document [1]. Table 4.1 presents these limits.

This document is the property of CETEST and must neither be reproduced nor transmitted without strict authorization.

The official edition of the document is stored in CETEST's database.

Lazkaibar s/n, Beasain (Spain) - Telephone: + 34 943 028 690 / Fax: + 34 943 028 661

Table 4.1. Admitted values for exterior noise [1].

	Admitted value [dB(A)]	Parameter
Case J	72	$L_{pAeq,T}$
Case K	77	$L_{pAeq,Tp}$

5 TEST RESULTS

This section summarizes the results obtained for the different exterior noise test done according to the descriptions detailed in section 4 of the present document.

As is stated in clauses 5.2.3, 6.1.3 and 7.2.3 of the international standard ISO 3095:2013 [3], it was verified that the A-weighted background sound pressure was at least 10 dB, in each frequency band of interest, below the A-weighted sound pressure level when measuring the noise from the vehicle in the presence of background noise.

The spread of the performed measurements is lower than to 3 dB(A) in all the analyzed points and operating situations, as is requested in clause 9.3 of the standard ISO 3095:2013 [3].

5.1 Case J: Exterior noise in acceleration from standstill

Table 5.1 tabulates the exterior sound pressure levels measured in acceleration from standstill to a speed of 40 km/h.

Table 5.1 Exterior noise levels in acceleration.

	Measurements $L_{pAeq,T}$ [dB(A)]			Arithmetic mean [dB(A)]
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	
P	73,3	73,6	73,1	73

5.2 Case K: Exterior noise at constant speed

Table 5.2 summarizes the exterior noise levels registered at constant speed of 60 km/h, as is described in paragraph 4.2 of this report.

Table 5.2 Exterior noise levels at constant speed.

	Measurements $L_{pAeq,T}$ [dB(A)]			Arithmetic mean [dB(A)]
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	
P1	86,2	87,8	88,1	87

5.3 Verification of microphones

The employed microphones have been verified before and after each test by means of a pistophone or sound calibrator. The calibrator produces a pure tone with an amplitude close to 94 dB(A) and a frequency near to 1 kHz.

The difference between the initial and final checking of the microphones is less than 0,5 dB(A), fulfilling the requirements indicated in section 4.2 of the standard ISO 3095:2013 [3].

5.4 Measurement uncertainty

Table 5.1 shows the measurement uncertainty for the registered A-weighted sound pressure levels. The expanded uncertainty is based on a typical uncertainty multiplied by a coverage factor $k = 1,65$, which for a normal distribution provides a level of confidence of 90 %.

Table 5.1. Measurement uncertainty for A-weighted sound pressure levels.

Measurement parameter	Test	Expanded uncertainty
Sound pressure	Exterior noise in acceleration	2 dB(A)
Sound pressure	Exterior noise in motion	2 dB(A)

6 TRACK ROUGHNESS

The track roughness of the test stretch at PK5 of the Uithof line has been measured, according to section 6.2.5 of the standard ISO 3095:2013 [3] and the procedure detailed in standard EN 15610:2009 [4].

Track roughness must be measured on the central line of the tread at the railhead. If the surface is wide enough, two supplementary parallel and equidistant lines at either side of the centre line must be measured. The width of the tread w_{ref} defines the number of lines that must be used for the measurements, as is stated in section 6.4.3 of the international standard EN 15610:2009 [4]. The distance between the central line and additional lines is established by the following criteria:

- For $w_{ref} \leq 20$ mm: Measurement only in the central line.
- For 20 mm $< w_{ref} \leq 30$ mm: Measurement of three lines, separated by a distance of 5 mm.
- For $w_{ref} > 30$ mm: Measurement of three lines, separated by a distance of 10 mm.

Figure 6.1 illustrates the mentioned three lines for the measurements of track roughness at the railhead.

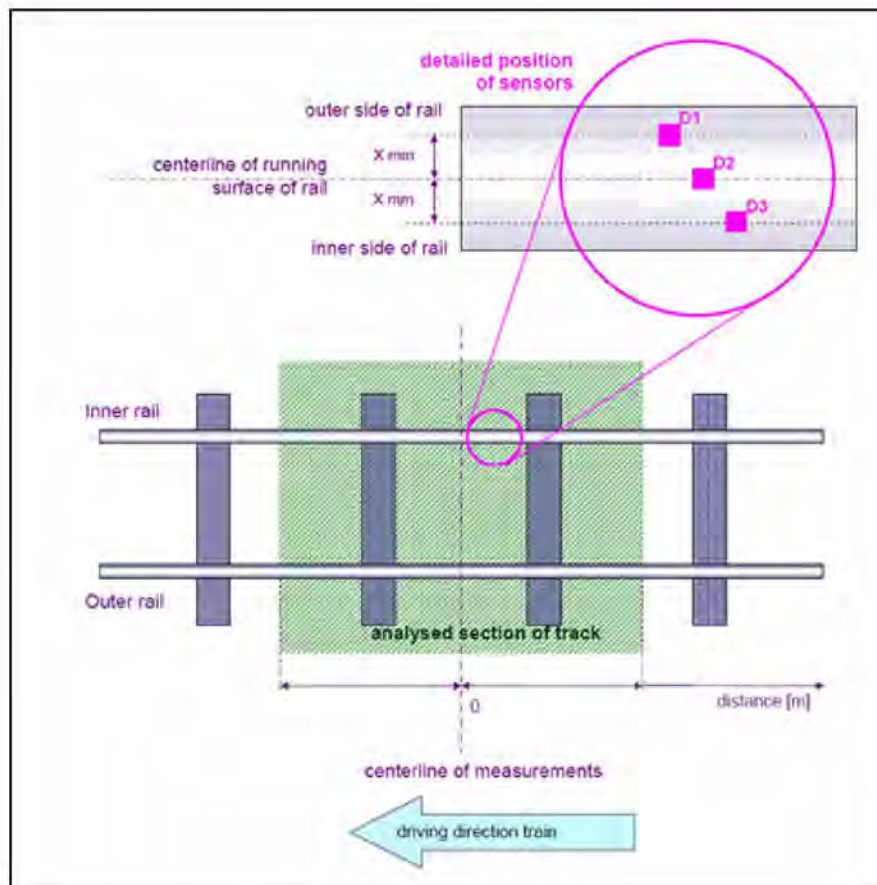


Figure 6.1 Lines for roughness measurements.

Although in the examined track the running band width of the surface is lower than 20 mm, as seen on Figure 6.2, in addition of the main line of measurement, it has been considered two complementary lines separated by a distance of 5 mm.



Figure 6.2 Width of the running band.

The track roughness registered at the surface of the rail head has been analyzed in order to obtain the roughness spectrum in one third octave bands. The determined spectra have been compared with the limit spectra defined in standard ISO 3095:2013 [3].

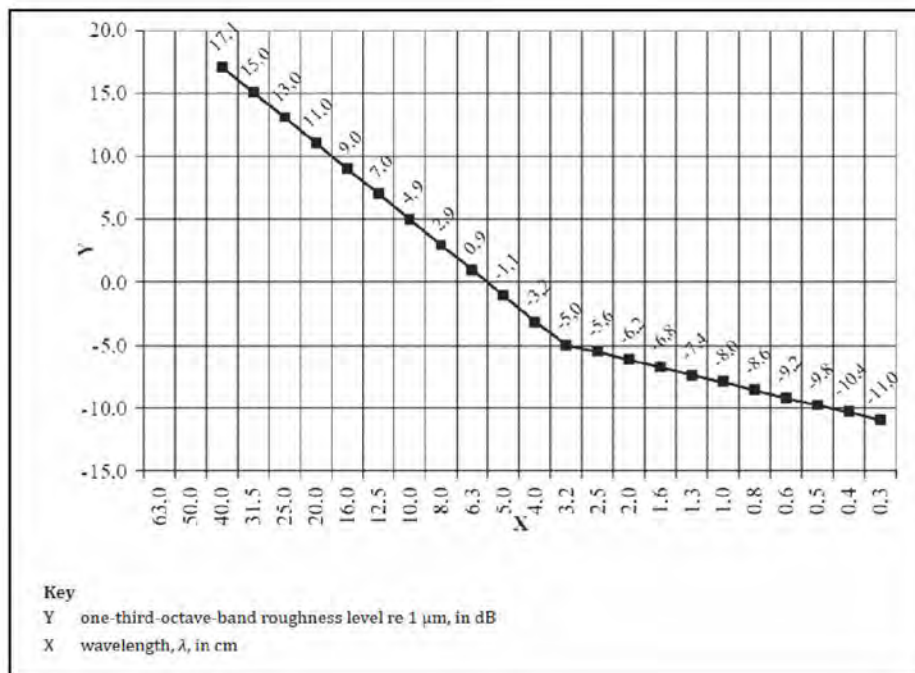


Figure 6.3 Rail roughness limit spectrum [3].

6.1 Outer rail

The following figure shows the measurement results and comparison related with the outer rail of the evaluated test stretch.

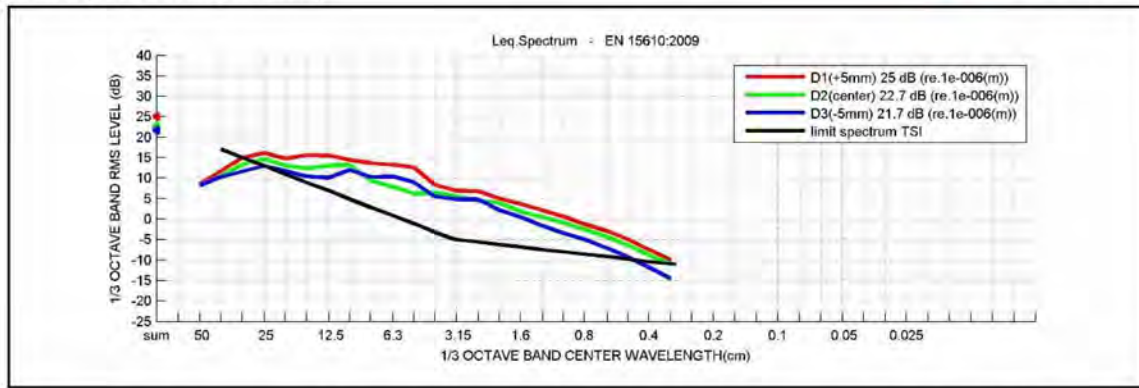


Figure 6.4 Roughness spectrum of outer rail compared with limit spectrum contained in standard ISO 3095:2013 [3].

6.2 Inner rail

Figure 6.5 presents the measurement results and comparison related with the inner rail of the available test stretch.

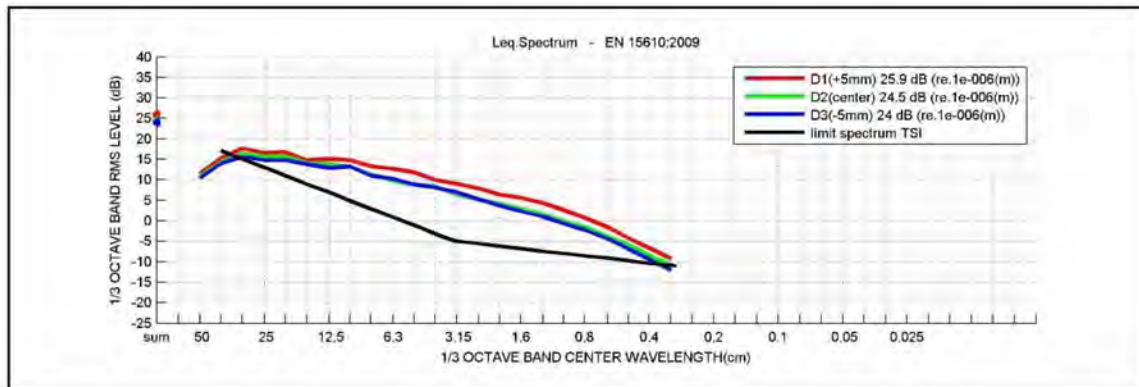


Figure 6.5 Roughness spectrum of inner rail compared with limit spectrum contained in standard ISO 3095:2013 [3].

7 TRACK DECAY RATE

The condition of the dynamic properties of the test track is considered suitable for comparable measurements if the one-third octave band track decay rates spectra measured throughout the test section fulfill the lower limits defined in the test protocol [2] and the admitted limits described in standard ISO 3095:2013 [3].

On track measurements have been done taking into account the procedure described in standard EN 15461:2008 + A1:2010 [5]. Track decay rates are obtained from the Frequency Response Functions (FRF) measured on the application point and some FRF measured in relation with position on the rail of the application point of the exciting force.

In order to fulfill the aim of this standard, one accelerometer has been placed on the rail in order to measure in vertical direction. Measurements for difference distances of exciting force point with relation to accelerometer point have been done. Due to the track is embedded a distance of 0,6 m between sleepers has been considered according to the standard EN 15461:2008 + A1:2010 [5].

Tests have been performed at the test stretch located at the kilometer mark number 5 of the Uithof line where exterior noise tests at constant speed have been done.

The accelerometer was fixed attending to the considerations explained on the standard EN 15461:2008 + A1:2010 [5]:

- Accelerometer position was in the test section, less than 20 m from the centre of test section.
- Accelerometer was not placed close to singular rail support, taking into account the following:
 - It did not exist loose sleepers at a distance lower than 3 m from the accelerometer position.
 - It did not exist damaged fixation rail elements on adjacent supports.
 - Accelerometer was not placed to less than 5 m from a welded joint.
 - Accelerometer was not placed to less than 40 m from a dilatation joint (tested tracks did not have dilatation joints).
- Accelerometer was placed on the longitudinal axis of the rail (rail head).

One impact in the vertical direction has been applied on different points of the rail head. The frequency response has been measured in the range of 100 Hz to 5 kHz. Also, it has been considered four impacts for each elemental FRF as is requested in section 6.6 of the standard EN 15461:2008 + A1:2010 [5]. Coherence functions have been used in order to guarantee a good quality of the measured data, as is detailed in standard ISO 7626-5:1994 [15].

Both rails of the examined track have been characterized.

In each rail, measurement and impact positions have been distributed according to the standard EN 15461:2008 + A1:2010 [5], as showed on the diagrams of Figure 7.1.

Index 0 position is associated at the middle point of the first space between sleepers. Once an impact on it was applied, direct FRF was measured.

Impacts in near field have been applied from the first space between sleepers in intervals of $\frac{1}{4}$ sleepers intervals to the end of the second space between sleepers. Impacts have been also applied from this point and in intervals of half sleeper to the middle point of the fourth space between sleepers, and then at each half sleepers space to the 8th space between sleepers.

Impacts in far field have been applied from the 8th space between sleepers at the following indexes: 10, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 54 and 66.

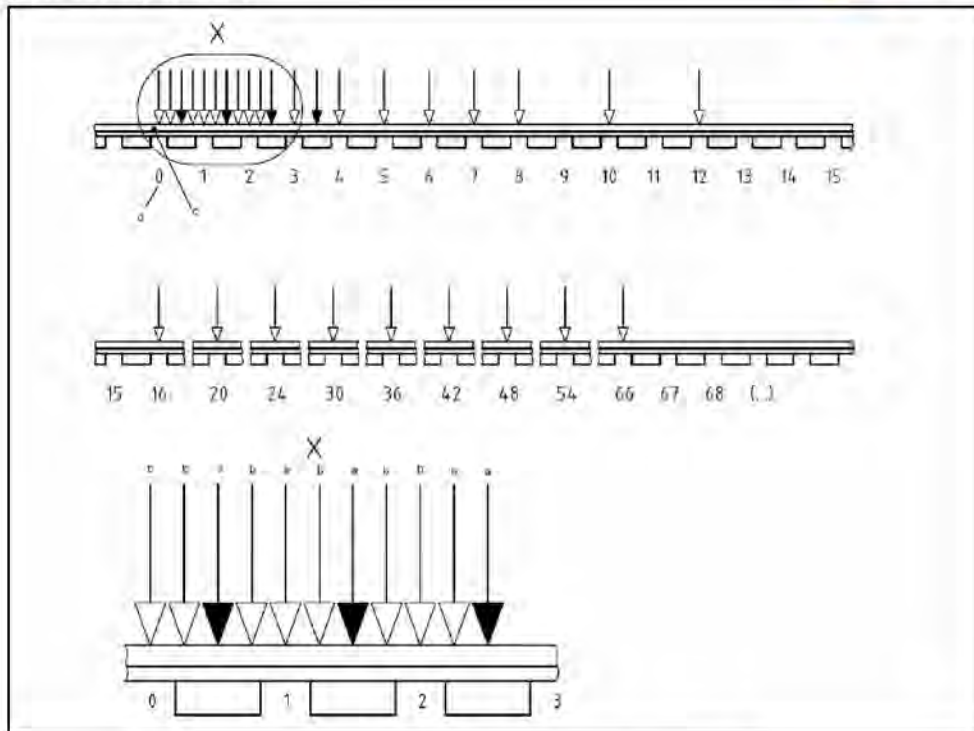


Figure 7.1 Distribution of measurement and impact positions [5].

Attending to the measured FRF and the obtained data, the decay rate in each one-third octave band has been evaluated using Equation 2.

$$DR = \frac{4,343}{\sum_{n=0}^{n_{max}} \frac{|A(x_n)|^2}{|A(x_0)|^2} \Delta x_n} ; \quad [dB/m] \quad (2)$$

Where:

- $A(x_n)$ is the FRF measured in position x_n .
- $A(x_0)$ is the direct FRF measured in position with index 0.
- Δx_n is the distance interval between the mid-distance points between the measurement locations on either side of the excitation location.

7.1 Results: Dynamic properties of the tested track

The following figure illustrates the track decay rate determined in vertical direction during the measurements done in both rails (inner and outer rail) of the straight track section located in free field at the kilometer mark number 5 of the Uithof line. Tests have been done with a temperature of the rail equal to 15,6 °C. The obtained results have been compared with the lower limit curves specified in the test protocol [2] and the international standard ISO 3095:2013 [3].

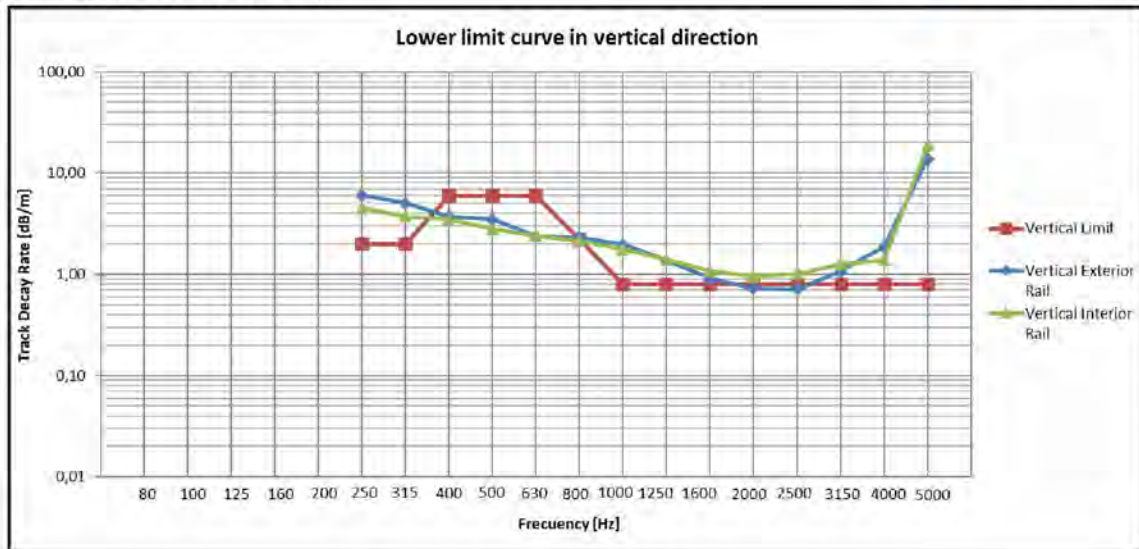


Figure 7.2 Track decay rate in vertical direction.

8 CONCLUSIONS AND FINAL REMARKS

Exterior noise tests have been done in unit UT12 from the tramway units designed and manufactured by CAF for Utrecht. All the results detailed and presented are referred only to the tested unit and related with the conditions described in this report.

Exterior sound pressure levels have been recorded attending the international standard ISO 3095:2013 [3], the technical requirements [1] and the test protocol [2]. By means of the measurements done in the evaluated points and conditions, the acoustic levels have been calculated.

The tested track has been analyzed in terms of rail roughness according to the standard EN 15610:2009 [4] and taking into account the admitted limits detailed in standard ISO 3095:2013 [3]. Also, the track decay rate has been examined according to the standard EN 15461:2008 + A1:2010 [5].

In the following subsections, all results are discussed.

8.1 Track characterization

Attending to the track characterization, it can be stated the following:

- As seen on section 6 of the present report, rail roughness spectrums determined in the test stretch exceed in most of the wavelength bands the limit curve contained in standard ISO 3095:2013 [3] and detailed in the test protocol [2].
- The dynamic properties of the test stretch have been studied by means of the track decay rate, as is described in section 7 of this report. The obtained vertical track decay rates fulfill the lower limit curve detailed in standard ISO 3095:2013 [3], apart from the frequency bands between 400 and 800 Hz. Moreover, the outer rail is below the lower limit curve at the frequency bands of 2 and 2,5 kHz.

8.2 Exterior noise: on track measurements

Exterior noise levels have been measured in motion. Attending to the obtained sound pressure levels it can be stated the following:

- The registered exterior noise levels in acceleration exceed the required limit.
- The acquired exterior noise levels at constant speed (60 km/h) do not fulfill the admitted value.

ANNEX A1. PHOTOGRAPHS



Figure A1.1. Tested unit.



Figure A1.2. Exterior noise measurements.



Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:	-
Page	1 of 20

REVISION

Issue	Comments	Date
-	Creation.	01/10/2018

Document validation

Edited by	5.1.2.e [redacted] 5.1.2.e [redacted]	5.1.2.e [redacted]	01/10/2018
Verified by	5.1.2.e [redacted] 5.1.2.e [redacted]	5.1.2.e [redacted]	01/10/2018
Approved by	5.1.2.e [redacted] 5.1.2.e [redacted]	5.1.2.e [redacted]	xx/xx/2018



Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:	-
Page	2 of 20

CONTENT

1 INTRODUCTION.....3

 1.1 *Content of the report*3

2 GENERAL METHODOLOGY.....4

 2.1 *Transposition procedure*4

 2.2 *CRoNoS prediction model*4

3 MODELLING THE TEST SCENARIOS.....6

 3.1 *Vehicle model*6

 3.2 *Track model*.....7

 3.3 *Ballasted track*.....7

 3.3.1 *Track decay rate and properties*7

 3.3.2 *Roughness*.....8

 3.3.3 *Ground flow resistivity*9

 3.4 *Embedded track*9

 3.4.1 *Track decay rate and properties*10

 3.4.2 *Roughness*.....11

 3.4.3 *Ground flow resistivity*11

4 RESULTS12

 4.1 *Results for baseline situation*12

 4.2 *Results for ISO-compliant track*13

 4.2.1 *Ballasted track test site*13

 4.2.2 *Embedded track test site*14

 4.2.3 *Summary of the results*16

5 CONCLUSIONS.....17

6 RECOMMENDATIONS.....18

7 REFERENCES.....20



Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

3 of 20

1 INTRODUCTION

The passby noise of the new tramway units with five modules manufactured by CAF for the Tramways of Utrecht project has been evaluated in two different tracks:

- a) Tests carried out on a **ballasted track** - Utrecht line (April 2017)
- b) Tests carried out on an **embedded track** – Uithof line (September 2018)

Differences of around 10 dBA in the exterior noise levels were found between both test scenarios. In addition to pass-by noise, rail roughness and track decay rates were also measured on both test sites.

- **Rail roughness** exceeds the limit values given by the ISO3095:2013 [1] in both test sites.
- **Track decay rate** (TDR) measure values are very good in the ballasted track site, but are below the bottom limit given by the ISO3095:2013 [1] in the embedded track site.

The two test scenarios will be analyzed by means of calculations carried out in the software CRoNoS [2] [3] CRoNoS stands for CAF Rolling Noise Software and is the in-house tool developed by CAF in order to predict pass-by noise due to rolling noise.

CRoNoS predictions permit to perform a transposition of the real test to a site where ISO roughness and TDR limits would be respected. To do this, the following procedure will be followed:

- First, a CRoNoS model of the two test sites (baseline situation) and vehicle is built. The predicted results for the ballasted and embedded track test sites are compared to measurements to assure a sufficient fit.
- In a second step, rail roughness and TDR is changed to satisfy ISO limits and the reduction with respect to the baseline situation is determined.

1.1 Content of the report

Section 2 contains a short description of the general methodology and the CRoNoS model. The modelling of the test scenarios is dealt with in more detail in section 3 and the computation results are given in section 4.

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

4 of 20

2 GENERAL METHODOLOGY

2.1 Transposition procedure

As fully ISO-compliant tracks are relatively rare, pass-by noise tests are sometimes performed on tracks with decay rates slightly below the limit or rail roughness slightly above the limit values, which is the case in the present project.

Transposition procedures can be used to predict the noise of a given rolling stock on a different track than the one on which it has been tested.

A computational method using the CRoNoS model is applied to compute the noise reduction that could be expected with a fully ISO-compliant track. To this end, the measured rail roughness and TDR curves are modified to satisfy ISO limits and the pass-by noise is evaluated in that case.

2.2 CRoNoS prediction model

Figure 1 shows a schematical diagram of the theoretical model implemented in CRoNoS. Each of the boxes represents different modules encompassed in one of the following three sub-models; structural vibration model (white), sound radiation model (grey) and sound propagation model (red). The sub-models are solved sequentially in order to provide the required inputs to the next sub-model.

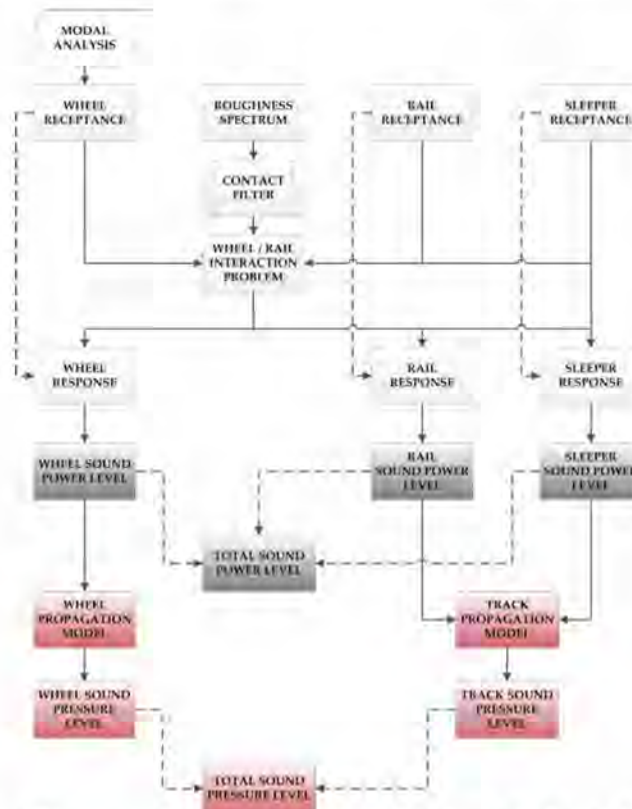


Figure 1. Schematical diagram of the model implemented in CRoNoS for rolling noise prediction.

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

5 of 20

The structural vibration sub-model focuses on the *wheel-rail contact mechanics*, whose main inputs are the *wheel and rail receptance and roughness data*.

- The wheelset model accounts for rotational effects such as gyroscopic or inertial forces and is fed by the results of a *modal analysis* – natural frequencies and mode shapes – carried out externally in a Finite Element Method (FEM) software package.
- For its part, the track model enables different modelling options in order to account for different track types.
 - The **ballasted track** is modelled by a Timoshenko beam resting on a continuous two-layer support to represent the pad and the ballast. The monobloc sleepers are also modelled by Timoshenko beams in order to account for their flexibility.
 - For its part, the **embedded track** is modelled by an Euler-Bernoulli beam resting on a continuous foundation to represent the filling material or baseplates between the rail and the slab.
- The roughness is introduced as combined wheel-rail roughness spectra. The contact patch is known to attenuate Wheel-rail roughness at wavelengths that are short in comparison with its length. In order to account for this effect a so-called *contact filter* is applied.

Given these three inputs the contact force module solves for the *contact forces* and the *wheel, rail and sleeper vibrations* are derived.

The sound radiation from the wheels and the track is calculated in the first instance, in terms of sound power. However, to compare results with the measured data, sound pressure estimations are carried out. The outdoor sound propagation model developed implemented in CRoNoS is the one developed in EU Acoutrain project [17]. The reflection from the partially absorbing ground is included considering the phase relationship between direct and reflected rays. In addition, the Doppler Effect due to train speed is also accounted for.

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

6 of 20

3 MODELLING THE TEST SCENARIOS

This section describes the inputs introduced in CRoNoS in order to reproduce the test scenarios.

3.1 Vehicle model

The model of the five modules tramway is introduced in CRoNoS by defining the main geometric dimensions and the axle loads.

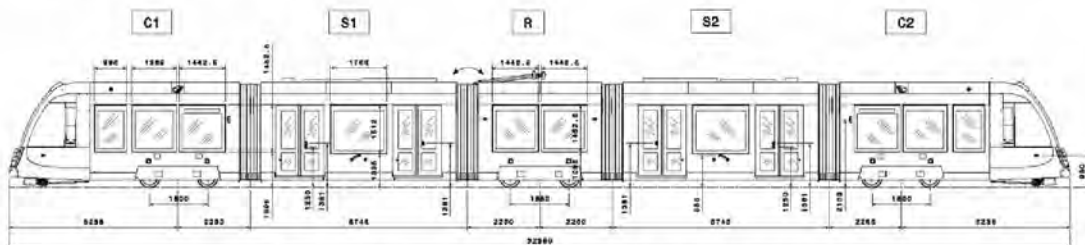


Figure 2. Five modules tramways of Utrecht Project.

To derive the equations of motion of the elastic wheel the modal basis – mode-shapes, natural frequencies and modal damping - is required. The mode-shapes and natural frequencies are derived from the commercial Finite Element Method (FEM) software package ABAQUS.

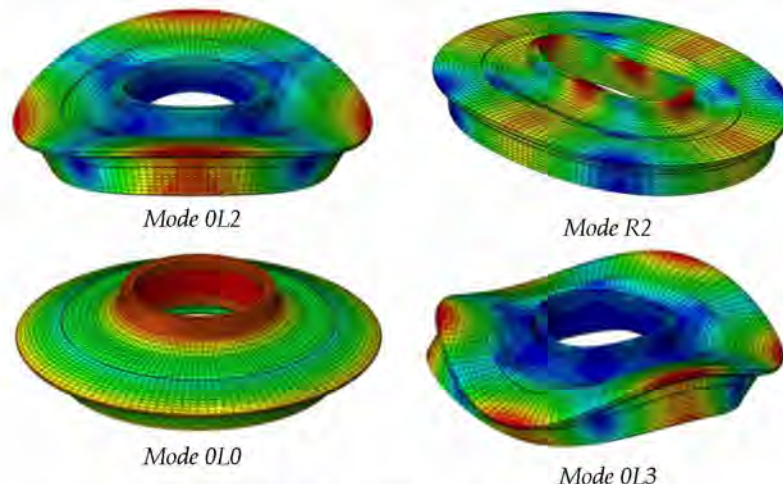


Figure 3. First mode-shapes derived in ABAQUS.

The modal damping, in contrast, can only be obtained from experimental modal analysis tests. CAF has a database in which the modal damping and natural frequencies of different tramway wheels are collected. The results of the elastic wheel used in Utrecht project reported in document B99.71.251 [4].

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:	-
Page	7 of 20

3.2 Track model

3.3 Ballasted track

The ballasted track is shown in **Figure 4**. In CRoNoS, the rail is modelled as a Timoshenko beam resting on a continuous two-layer support to represent the pad and the ballast. The monobloc sleepers are also modelled by Timoshenko beams in order to account for their flexibility.



Figure 4. Ballasted track.

3.3.1 Track decay rate and properties

Although CRoNoS is capable of computing decay rates from the dynamic properties of the track, the use of measured decay rates improves the reliability of predictions. Measurement results are given in **Figure 5**. In both directions - lateral and vertical the measured values show that ISO limits are largely respected.

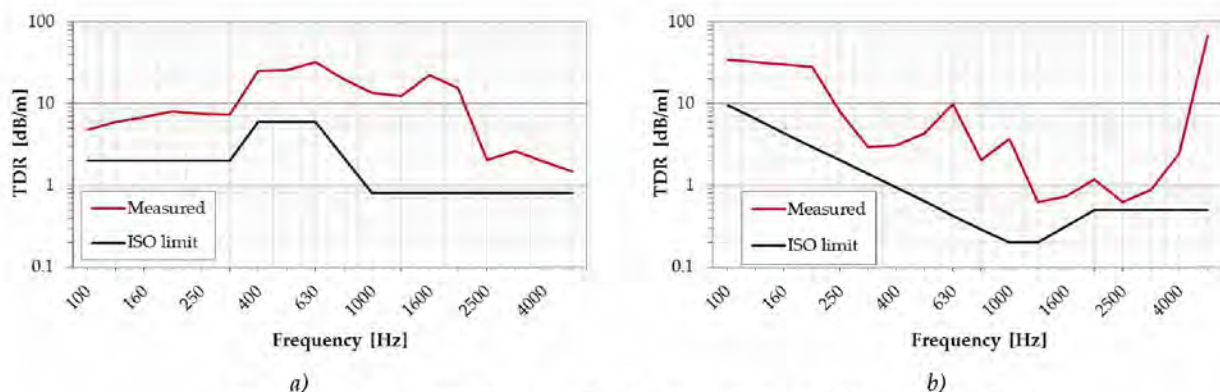


Figure 5. Measured TDR values for the a) vertical and b) lateral directions.

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

8 of 20

The pad stiffness is probably the component that most influences the sound radiated by the track. Thus, the pad stiffness value has been estimated from the Track Decay Rate (TDR) measurements by curve fitting with predicted results. A nonlinear least squares curve fitting problem is solved having the form of

$$\min \|\Phi(k_p)\|^2 = \min \left(\sum_{n=1}^N \Phi_n(k_p)^2 \right), \quad (1)$$

where the objective function Φ represents the difference between measured and calculated decay rate and Φ_n the element corresponding to the n -th one-third octave frequency band. Table 1 shows the estimated pad stiffness values.

Table 1. Pad stiffness estimations derived from TDR results.

	Inner rail	Outer rail	Final value
Vertical stiffness [MN/m]	1300	1000	1150
Lateral stiffness [MN/m]	65	100	100

The resulting pad stiffness values are rather high, which explains the high vertical and lateral TDR measured values (see ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). The rest of the parameters are taken from standard draft prEN13979-1:2017 [5] and correspond to a typical ballasted railway track.

Table 2. Ballasted-track parameters from prEN13979-1.

Rail parameters		Sleeper parameters	
Rail type	UIC60	Sleeper type	Monobloc
Shear Coefficient	0.4	Sleeper Spacing	0.6 [m]
Loss Factor	0.02	Mass	240 [kg]
Pad parameters		Ballast parameters	
Vertical Stiffness	Calculated	Vertical Stiffness	80 [MN/m]
Vertical Loss Factor	0.2	Vertical Loss Factor	1
Lateral Stiffness	Calculated	Lateral Stiffness	50 [MN/m]
Lateral Loss Factor	0.2	Lateral Loss Factor	1

3.3.2 Roughness

The roughness level measured on the surface of the rails is shown in Figure 6.

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

9 of 20

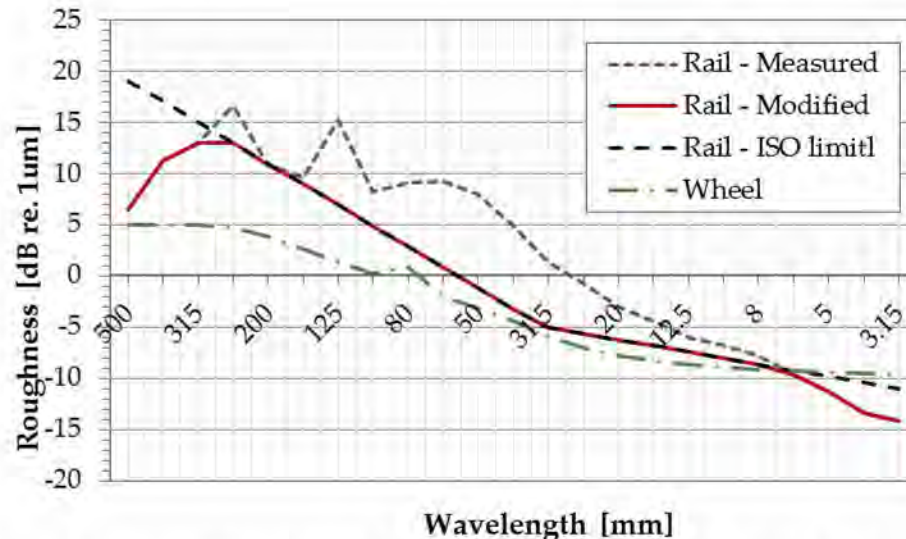


Figure 6. Roughness spectra of the ballasted track. Average of the inner and outer rails.

Measured rail roughness (dashed grey line) has been used to compute the baseline situation. As shown in the figure above, the rail roughness level exceeds in up 9 dB the ISO3095:2013 [1] limit in the wavelength range between 6.3 and 315 mm. Therefore, for the second computation – aiming to predict noise emissions on a ISO-compliant track - roughness levels have been capped to the limits in these bands (red line). A wheel roughness spectrum corresponding to a wheel in good condition is considered as well, although no wheel roughness had been measured during the tests.

3.3.3 Ground flow resistivity

For the outdoor sound propagation, the flow resistivity of the ground is set to 100 kPa·s / m² based on literature results.

3.4 *Embedded track*

The embedded track is shown in Figure 4. The rails are embedded and directly attached to the concrete slab through a layer of filling material or a baseplate. In CRoNoS, the rail is modelled as an Euler-Bernoulli beam resting on a continuous foundation to represent the filling material between the rail and the slab.

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:	-
Page	10 of 20



Figure 7. Embedded track in Uithof line.

3.4.1 Track decay rate and properties

A similar procedure to that followed with the ballasted track has been carried out to derive the baseplate properties of the embedded track. The resulting stiffness values are shown in Table 3.

Table 3. Filling material stiffness estimations derived from TDR results.

	Inner rail	Outer rail	Final value
Vertical stiffness [MN/m]	85	100	100

Note that the stiffness of the filling material is one order of magnitude smaller than the pad stiffness value of the ballasted track. The rail fasteners used in slab tracks involve more flexible pads or baseplates than on ballasted track as they need to replace the resilience of the ballast.

Furthermore, the estimated stiffness value is in accordance with the measured TDR values shown in Figure 8, as the TDR breaches the ISO limit value in the mid-frequency range indicating low filling material stiffness.

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

11 of 20

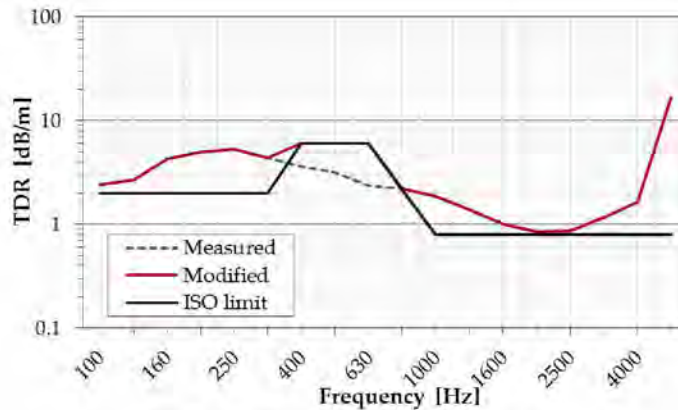


Figure 8. Measured vertical TDR value.

Measured TDR curve (dashed grey line) has been used to compute the baseline situation. For the second computation aiming to predict noise emissions on a ISO-compliant track TDR values have been capped to the limits in the corresponding bands (red line).

3.4.2 Roughness

The roughness level measured on rail surface of the embedded track site, for its part, is also very high, exceeding the ISO 3095:2013 limit in up to 12 dB in some frequency bands.

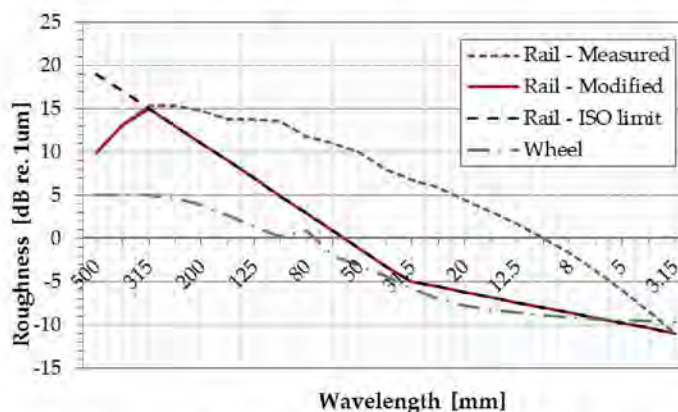


Figure 9. Roughness spectra of the embedded track. Average of the inner and outer rails.

Again, measured rail roughness (dashed grey line) has been used to compute the baseline situation whereas the modified curve (red line) will be used to estimate noise emissions on a ISO-compliant track.

3.4.3 Ground flow resistivity

A common concern with concrete track beds is the potential for additional reflection of noise from the concrete surface. In this case, the embedded track is cover with grass which acts as a noise absorbing overlay. Thus, the flow resistivity values is set to 60 kPa·s/m², lower than the value used for the ballasted track test site.

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

12 of 20

4 RESULTS

Two different set of simulations are launched:

I. Results for the baseline situation

The predicted results for the ballasted and embedded track test sited are compared to measurements to assure a sufficient fit.

Measured roughness and TDR data are used.

II. Results for ISO-compliant tracks

Rail roughness and TDR values are modified to satisfy ISO limits

The noise reduction with respect to the baseline situation is determined.

4.1 *Results for baseline situation*

To assure the model represents correctly the real test scenarios, the first set of simulations uses the measured roughness and TDR values. The pass-by noise calculated and measured values at 60 km/h are compared on both test sites.

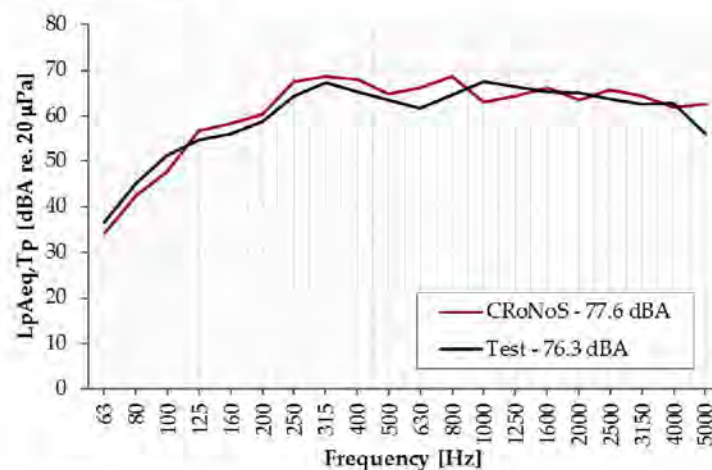


Figure 10. Ballasted track. Simulation vs. test results.

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

13 of 20

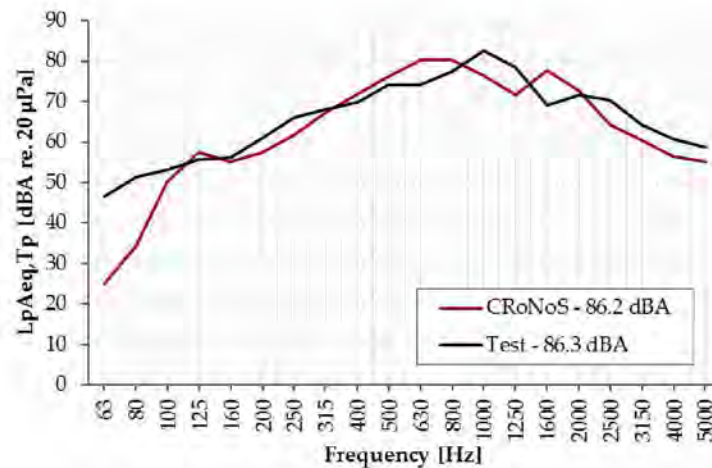


Figure 11. Embedded track. Simulation vs. test results.

Figure 10 and Figure 11 compare the pass-by noise derived from CRoNoS simulations with respect to the measured values for the ballasted and embedded track respectively. Very good agreement is found, especially in terms of global values, where the differences are of 1.3 dBA for the ballasted track simulations and 0.1 dBA for the embedded track simulations.

4.2 Results for ISO-compliant track

After assuring the model is able to reproduce the real test scenarios faithfully the transposition procedure is applied. Two different vehicle speeds are evaluated – 60 and 70 km/h – for which the Requirement Specification Document [6] establishes a limit of 77 and 79 dBA.

4.2.1 Ballasted track test site

Figure 12 shows the sound power level results for the baseline situation and the hypothetical situation in which the roughness fulfilled the ISO3095:2013 limits. A significant reduction of the noise radiated is found, especially in the frequency range between 100 and 1000 Hz.

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

14 of 20

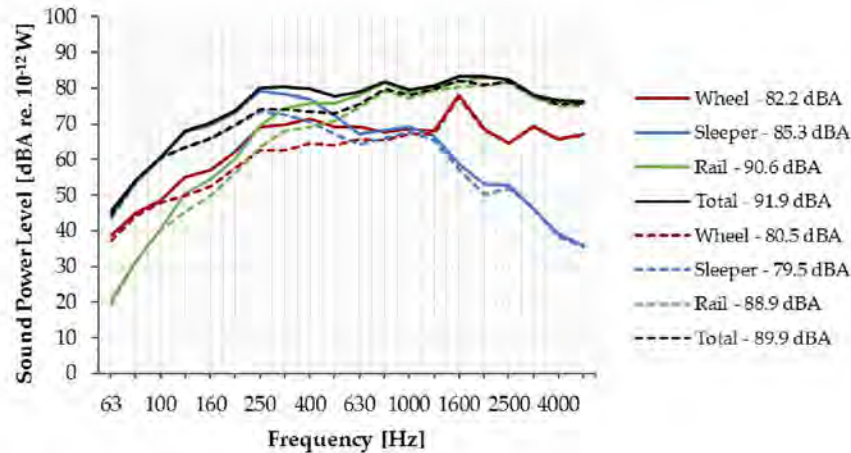


Figure 12. Sound power level results for the ballasted track test scenario. Baseline situation (continuous line) and roughness modified results (dashed line). Tramway running at 60 km/h.

Figure 13 shows the results in terms of pass-by noise. The sound pressure level reduces in all the frequency range in which the measured roughness is capped to the ISO3095:2013 limit. As a result, the global value decreases from 78 dBA to 74 dBA.

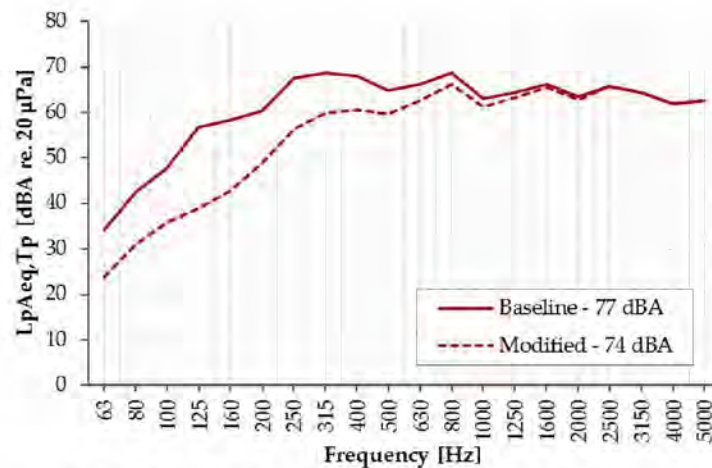


Figure 13. Pass-by noise levels for the ballasted track scenario. Baseline situation (continuous line) and roughness modified results (dashed line). Tramway running at 60 km/h.

The predicted values have also been calculated with the tramway running at 70 km/h where the pass-by noise level is estimated to be 76 dBA.

4.2.2 Embedded track test site

The transposition procedure is now applied to the embedded track test site. However, in this case, not only the roughness exceeded the ISO3095:2013 limits, but the TDR values are below the limits in a certain frequency range.

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

15 of 20

Figure 14 shows the sound power level results for the baseline situation and the hypothetical situation in which the roughness and TDR fulfilled the ISO3095:2013 limits. A significant reduction of the noise radiated is found, especially in the frequency range between 100 and 2500 Hz.

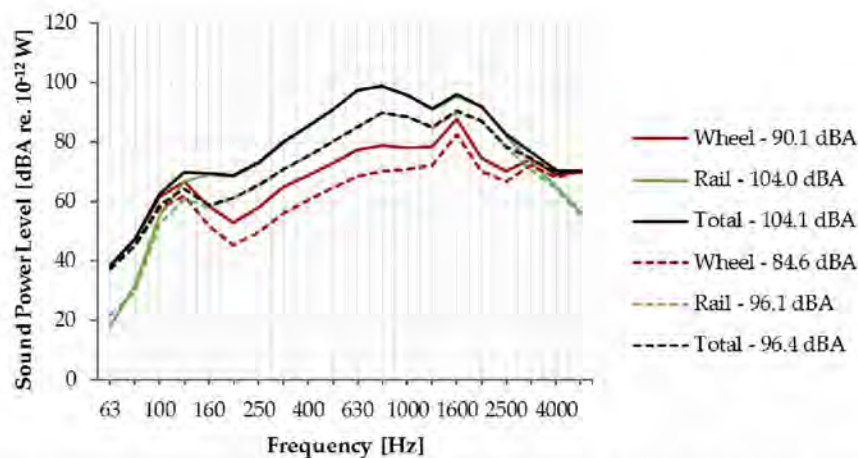


Figure 14. Sound power level results for the embedded track test scenario. Baseline situation (continuous line) and roughness modified results (dashed line). Tramway running at 60 km/h.

Note that in this case, no sleeper radiation is considered and that the track radiation predominates over the whole frequency range. In any case, the roughness and track decay corrections decreases the total sound power radiated significantly.

The passby noise results are shown in Figure 15.

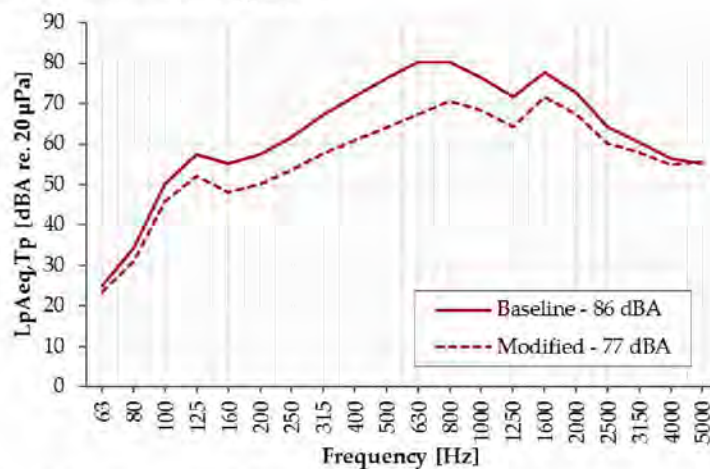


Figure 15. Pass-by noise levels for the embedded track scenario. Baseline situation (continuous line) and roughness modified results (dashed line). Tramway running at 60 km/h.

In a ISO-compliant test scenario the pass-by noise decrease from 86 dBA to 77 dBA. For the case in which the tramway runs at 70 km/h the predicted results are 79 dBA.

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks**Q.53.97.015.05**

Issue:

-

Page

16 of 20

4.2.3 Summary of the results

Table 4 summarizes the predicted values for the ballasted and embedded track in the case the test sites fulfilled the ISO3095:2013 limits for the rail roughness and track decay rate.

Table 4. Pass-by noise levels for ISO-compliant ballasted and embedded tracks.

	Ballasted track	Embedded track	Limit
60 km/h	74	77	77
70 km/h	76	79	79

As a conclusion, pass-by levels on a fully ISO-compliant track are expected to meet the specified noise limits not only in the ballasted track but also in the embedded track.

Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks
Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

17 of 20

5 CONCLUSIONS

This report has presented the pass-by noise predictions carried out with CRoNoS for the new tramways manufactured by CAF. Pass-by noise levels have been measured on two different test sites – one has a ballasted track and the other an embedded track. In addition to the external noise levels the track roughness and decay rates were measured in each of the sites:

- The ballasted track test site measured roughness exceeds the ISO3095:2013 limits
- The embedded track roughness and track decay levels do not fulfil the limit values given by the ISO3095:2013.

As a consequence, the measured noise levels for the ballasted track test site meet the pass-by noise requirements but the embedded track test site measurements are above the specified limits. The present report has described the CRoNoS model that has been built using available track and rolling stock data:

- Measured Track Decay Rates (TDR)
- Measured rail roughness
- FE-model of the resilient wheel

It has been shown that the baseline situation is well reproduced for both track types where a difference of 1.3 dBA was found between the calculated and measured global values for the ballasted track type and of 0.1 dBA for the embedded track.

In a second step, the rail roughness and decay rate values have been capped to the ISO limit, i.e. measured roughness values above the limit have been replaced by the limit value and TDR value below the limit have been replaced by the limit value.

Table 5. Predicted pass-by noise levels for both test sites.

	Ballasted track	Embedded track	Limit
60 km/h	74	77	77
70 km/h	76	79	79

The results in terms of predicted noise levels are shown in the table above. As a conclusion, pass-by levels on a fully ISO-compliant track are expected to meet the specified noise limits not only in the ballasted track but also in the embedded track.



Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

18 of 20

6 RECOMMENDATIONS

In order to meet the pass-by noise requirements in the embedded track site, the following actions are recommended:

Vehicle actions

Noise level emitted by the vehicle is much lower than that emitted by the track. This is proven in Figure 14, where the sound power radiated by the wheel is significantly lower than that radiated by the rail in almost the whole frequency range of interest.

The main reason for that is that the vehicle is equipped with elastic wheels, which effectiveness in reducing noise and vibrations is well-known. The sound power radiated by resilient wheels is much lower than that emitted by monobloc wheels. The rubber of the resilient wheels increases the damping of the wheel significantly and, as a consequence, the wheel vibration is reduced and emits less noise.

Thus, given the difference between the track and wheel noise emissions, any additional noise mitigation action applied to the vehicle will have no effect on the pass-by noise results.

Track actions

Roughness

Controlling the roughness of the rail surface is a key action to keep rolling noise emissions low. The rail roughness of the embedded track site exceeds significantly the ISO limit provided by the ISO3095:2013. Grinding the rail surface could lead to a reduction of up to 8 dBA, that is, to a pass-by noise emission of 78 dBA at 60 km/h.

Track damping

In order to keep the pass-by noise level below 77 dBA at 60 km/h, additional efforts should be carry out to increase the track damping, especially in the mid-frequency range, between 250 and 800 Hz, where the Track Decay Rate of the embedded track does not reach the limit given by the ISO3095:2013. Rail damping increases track decay rates, reducing the distance travelled by the vibration energy and thus reducing the noise generated by the track. The different rail damper designs available in the market should be analysed to choose the one that increases the TDR values in the frequency range in which the actual track design does not fulfil ISO limit values.



Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue: -

Page 19 of 20

Wayside actions

Sound barrier

Another option could be to install local shielding measures or acoustic barriers along the track. Sound barrier is any solid obstruction which blocks the path from a sound source to a receiver, and is one of the most effective noise control treatments. Barriers are commonly bare, without sound absorption, these are the least costly and most easily maintained. [7]



Pass-by noise: Transposition to ISO-compliant tracks

Q.53.97.015.05

Issue:

-

Page

20 of 20

7 REFERENCES

- [1] ISO 3095:2013. Railway applications – Acoustics – Measurement of noise emitted by railbound vehicles. Third edition. 01/Aug/2013.
- [2] A. Guiral, *CRoNos – CAF Rolling Noise Software – Validation report*, 2016.
- [3] A. Guiral, *CRoNoS railway rolling noise prediction tool: wheelset model assessment*, Proceeding of Euronoise, Crete, 2018.
- [4] CETEST, B99.71.251. Análisis modal de rueda elástica URBOS, 2017.
- [5] prEN13979-1:2017. Railway applications - Wheelsets and bogies - Monobloc wheels - Design assessment procedure - Part 1: Forged and rolled wheels, 2017.
- [6] Requirement specification. Rolling stock for the Uithof line OVK-001-2013-BRU-02 for the tendering of the contract with contract number OVK-001-2013-BRU for rolling stock for the Uithof line.
- [7] The Federal Transit Administration. TCRP Report 23. Wheel/Rail Noise Control Manual. 1997.



TEST PROCEDURE



UithofLijn. DYNAMIC NOISE VALUES OUTSIDE

Q.53.92.375.20

Issue:

Page

6 of 6

Vehicle number

6012

TEST RESULT

YES

NO

Comments:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

CAF representative:

Name:

Signature:

5.1.2.e

Date: 1.2.2019

Customer representative:

Name:

Signature:

5.1.2.e

Date: 01-02-2019



**SAFETY TESTS
TRACK TYPE TEST**

PPE-Q5392375.20

-

Page 1 / 2

TEST PROCEDURE AND REPORT

Nº	Title	CAF code	Issue	Comments
1	TRACK TYPE TEST PROCEDURE	Q.53.92.375.20	-	
2	TRACK TYPE TEST REPORT	Q.53.92.375.70	-	

SAFETY REQUIREMENT VERIFICATION

Reference	Verified in section	Requirement Description	Result		Comments
			OK	NOK	
Q53_302183	App. 1	The outside noise levels must always be below 95 dBA in normal operation, measured at 7,5 m from the centre of the track and 1,2 m above top of rail. A test must be performed according to standard ISO 3095.	X		

Test overall result

passed / failed

Test conducted by : 5.1.2.e

5.1.2.e

Safety representative :

5.1.2.e

Signature :

Date : 1.2.2019

Signature : * * * * *

Date : * * * * *

Mecno Service B.V.

Zuidergracht 21-20 – 3763 LS SOEST

tel.: (+31) 0850160389

email: ^{5.1.2.e} @mecnoservice.nl

www.mecnoservice.nl

BTW nummer ^{5.1.2.e}



Titel

Corrigerende slijpwerkzaamheden trambaan Utrecht (SUNIJ)

Procedure:	Kwaliteitscontrole en verantwoording slijpservices
Opdrachtgever:	Provincie Utrecht - Regiotram
Betreft:	SUNIJ lijn
Datum:	April, Mei 2017
Gemeten:	Lengterichting, dwarsrichting, ruwheid
Meet apparatuur:	RMF2.3E – Tecnorail – RT-10

RAIL GRINDING SERVICE IN UTRECHT

In juli 2016 heeft Mecno Service het complete traject van de SUNIJ lijn gemeten en de onderhoudsstatus in kaart gebracht. Op basis van de geconstateerde slijtages en beschadigingen is een advies uitgebracht betreffende correctieve maatregelen..

Mecno Service heeft in april en mei 2017 in opdracht van de Provincie Utrecht de meest urgente gedeeltes geslepen: in totaal 7.260 meter.

Overzicht van het advies:

HIGH PRIORITY					
Utrecht Track 1 Nieuwegein Zuid-Utrecht CS					
PK Start grinding	Pk Start corrugation	Pk End corrugation	PK End grinding	Priority	Total meters
0+000	0+020	0+360	0+380	Yellow	380
7+100	7+120	7+420	7+440	Yellow	340
8+200	8+220	8+380	8+400	Red	200
9+920	9+940	10+440	10+460	Yellow	540
10+600	10+620	11+580	11+600	Yellow	1000
12+000	12+020	12+320	12+340	Yellow	340
					2800
Utrecht Track 1A Nieuwegein Centrum-IJsselstein					
Pk start grinding	Pk start corrugation	Pk end corrugation	Pk end grinding	Priority	Total meters
0+120	0+140	0+320	0+340	Yellow	220
					220
Utrecht Track 2 Utrecht CS-Nieuwegein Zuid					
Pk start grinding	Pk start corrugation	Pk end corrugation	Pk end grinding	Priority	Total meters
0+280	0+300	0+600	0+620	Yellow	340
2+240	2+260	2+500	2+520	Yellow	280
4+120	4+140	4+640	4+660	Yellow	540
6+920	6+940	7+320	7+340	Yellow	420
9+460	9+480	10+940	10+960	Yellow	1500
11+940	11+960	12+300	12+320	Yellow	380
					3460
Utrecht Track 2B IJsselstein-Nieuwegein Centrum					
Pk start grinding	Pk start corrugation	Pk end corrugation	Pk end grinding	Priority	Total meters
0+100	0+120	0+420	0+440	Yellow	340
5+040	5+060	5+360	5+380	Yellow	340
					680
Utrecht Track 3 Utrecht CS					
Pk start grinding	Pk start corrugation	Pk end corrugation	Pk end grinding	Priority	Total meters
12+240	12+260	12+320	12+340	Yellow	100
					100
Total:					7260

Details en verantwoording:

Positie	Track	Start Pk	Eind Pk	Meters
Zuilenstein-Westraven	1	7+100	7+440	340
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 20 april 2017: materiaalverwijdering ca. 0,5 mm – defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				
Westraven-Kanaleneiland Zuid	1	8+200	8+400	200
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 22 april 2017, materiaalverwijdering ca. 0,35 mm - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				
Nieuwegein Zuid - Wiersdijk	1	0+000	0+380	380
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 21 april 2017, materiaalverwijdering ca. 0,4 mm - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				
Nieuwegein Zuid - Wiersdijk	2	0+280	0+620	340
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 21 april 2017, materiaalverwijdering ca. 0,35 mm - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				
Vasco de Gamalaan-5 Mei Plein	1	9+920	10+460	540
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 22 april 2017, materiaalverwijdering ca. 0,4 mm - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				
Vasco de Gamalaan-5 Mei Plein	2	9+460	10+300	840
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 26 april 2017, materiaalverwijdering ca. 0,5 mm - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				
Zuilenstein-Westraven	2	6+920	7+340	420
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 23 april 2017, materiaalverwijdering ca. 0,5 mm - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				
Fokkesteeg-Merwestein	2	2+240	2+520	280
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 24 april 2017, materiaalverwijdering ca. 0,35 mm - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				
Wijkersloot-Batau Noord	2	4+120	4+660	540
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 2 mei 2017, materiaalverwijdering ca. 0,35 mm 5 - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				

Positie	Track	Start Pk	Eind Pk	Meters
StadCentrum - St. Antonius	1A	0+120	0+340	220
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 03 mei 2017, materiaalverwijdering ca. 0,4 mm - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				
StadCentrum - St. Antonius	2B	0+100	0+440	340
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 30 april 2017, materiaalverwijdering ca. 0,4 mm - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				
Vasco de Gamalaan-5 Mei Plein	2	9+460	10+300	840
5 mei-Graadt Van Roggenweg	2	10+300	10+960	660
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 27 april 2017, materiaalverwijdering ca. 0,35 mm - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012 .				
5 mei plein-Graadt V R	1	10+600	11+600	1000
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 28 april 2017, materiaalverwijdering ca. 0,35 mm - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				
Graadt van Roggeweg - Utrecht Centraal Jaarbeurs	1	12+000	12+340	340
Graadt van Roggeweg - Utrecht Centraal Jaarbeurs	2	11+940	12+320	380
Graadt van Roggeweg - Utrecht Centraal Jaarbeurs	3	12+240	12+340	100
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 29 april 2017, materiaalverwijdering ca. 0,4 mm - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				
Achternveld - Binnenstad	2B	5+040	5+380	340
Slijpwerkzaamheden in de nacht van 1 mei 2017, materiaalverwijdering ca. 0,4 mm - defecten verwijderd. Gecorrigeerd, de geslepen rails vallen nu binnen de toleranties volgens EN13231-3:2012.				

Een samenvattende verklaring van de uitgevoerde metingen is hieronder weergegeven (Engels).

LONGITUDINAL PROFILE MEASUREMENTS

The RMF2 measuring instrument analyzes the **rolling surface** of the rails subdividing the deformations of the longitudinal profile (undulatory wear) with four types of wave, depending to the distance between a wear peak and the following peak (FIG. 1-2 distance “x”)

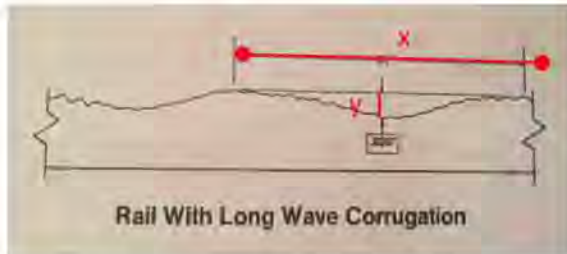


FIG.1



FIG.2

The waves analyzed were subdivided according to the following wavelengths:

Shortest waves	Wavelength from 10 to 30 mm
Short waves	Wavelength from 30 to 100 mm
Medium waves	Wavelength from 100 to 300 mm
Long waves	Wavelength from 300 to 1000 mm

Each 2 mm of measurement, the software of the instrument measures the deep of wave “y” and gets a graphs for any 4 waves.

The European standard indicates the tolerance limits for these 4 graphs (FIG.2) The class 1 is generally used for high speed lines, the class 2 is generally used for all others lines (railways, subways and tramways).

FIG. 1- The acceptance criteria for peak-to-peak limits

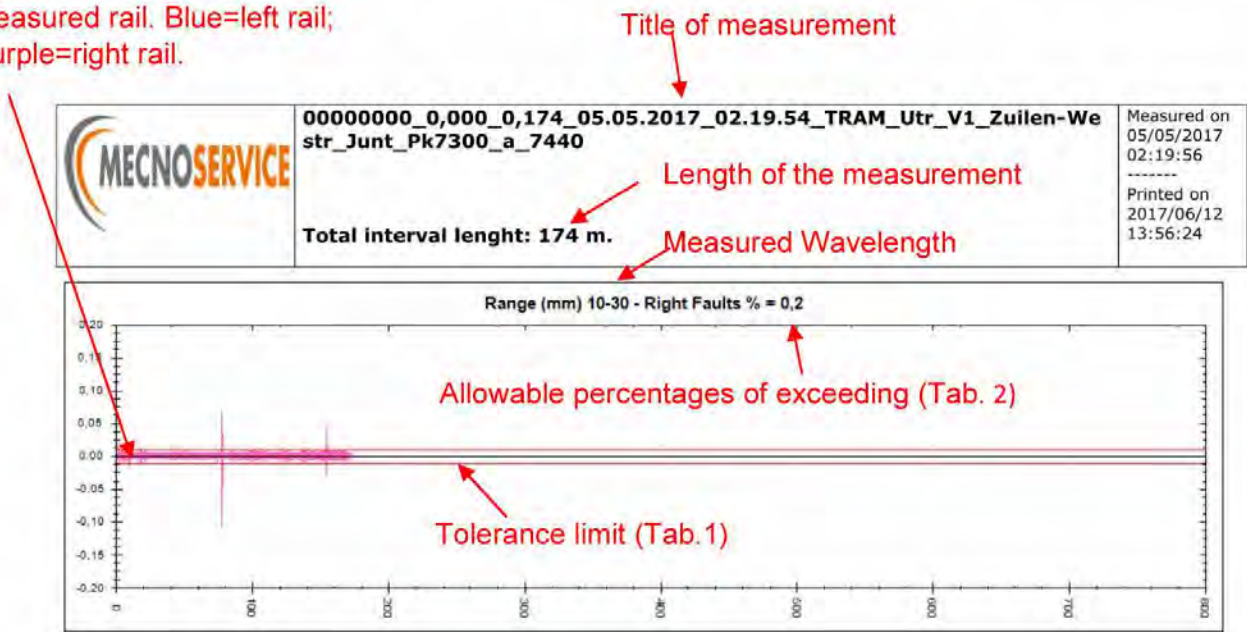
Wavelength	From 10 to 30 mm	From 30 to 100 mm	From 100 to 300 mm	From 300 to 1000 mm
Peak to peak limit value	± 0,010 mm	± 0,010 mm	± 0,015 mm	± 0,075 mm

FIG. 2- The acceptance criteria for the longitudinal profile in allowed percentages

Wavelength	From 10 to 30 mm	From 30 to 100 mm	From 100 to 300 mm	From 300 to 1000 mm
Class 1	5%	5%	5%	5%
Class 2	Is not required	10 %	10%	Is not required

Interpretation of longitudinal graph:

Measured rail. Blue=left rail;
Purple=right rail.



TRANSVERSAL PROFILE MEASUREMENTS

The MINIPROF measuring instrument analyzes the transversal profile of the rails, detecting the rail profile on track comparing to the ideal profile of the rail.

The European Standard indicates the following deviation limits between both profiles:

Deviation both profiles	0,6 mm (+0,3/-0,3 mm)	1,0 mm (+0,5/-0,5 mm)	1,7 mm (+0,8/-0,9 mm)
Class Q	90%	95%	98%
Class R	Are not required	95%	98%
Class S	Are not required	Are not required	75%

The class Q is generally used in the high speed lines and imposes that the 90% of the measured profiles complies the tolerance of +0,3/-0,3 mm, that the 95% complies the tolerance of +0,5/-0,5mm and the 98% complies the tolerance of +0,8/-0,9mm.

The class R is generally used in the railways, subways and tramways, and imposes that the 85% of the measurements complies the tolerance of +0,5/-0,5mm and that the 98% complies the tolerance of +0,8/-0,9mm.

The class S is never used and imposes that the 75% of the measurements complies the tolerance of +0,8/-0,9mm.

The software of Miniprof device permits the confrontation between both profiles and also permits to develop a graph to show in detail the distance between both profiles in the various points. The graph "displays" the two profiles and calculates the distance between both.

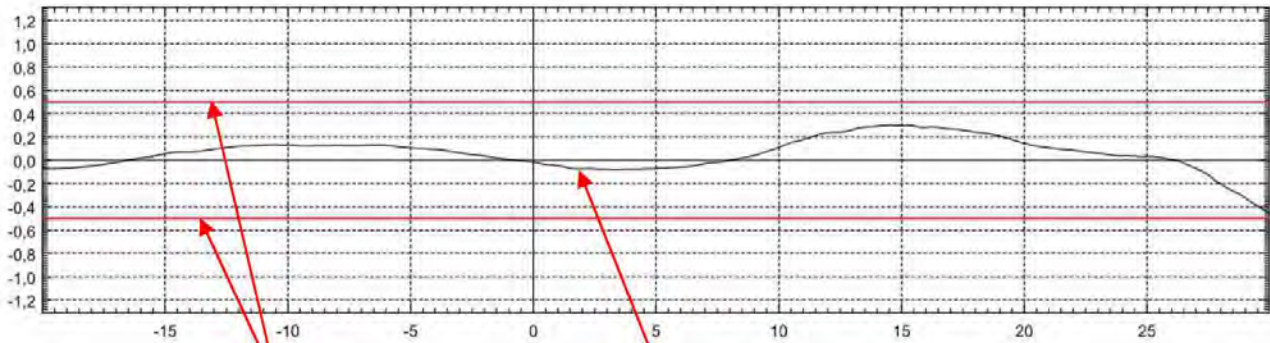
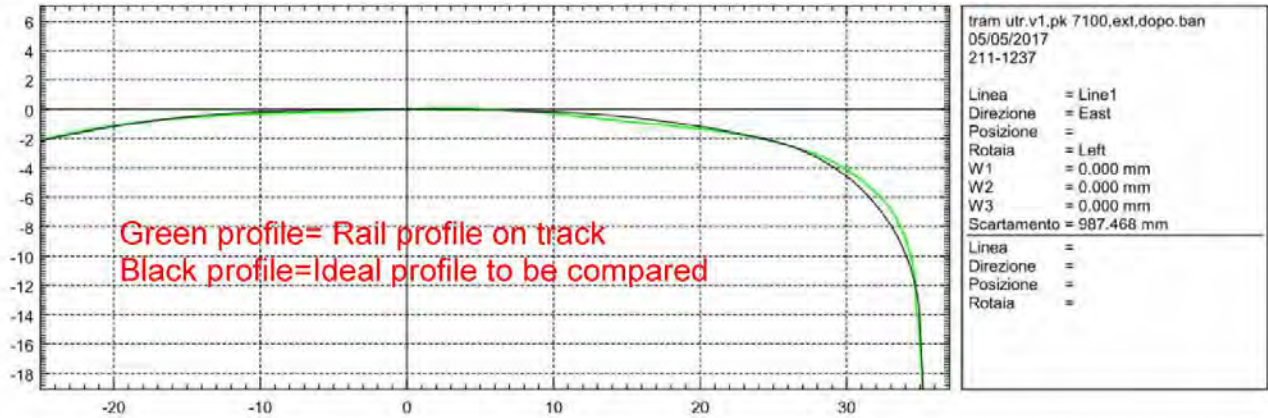
Interpretation of transversal graph:

Title of measurement and
Purchase date

MiniProf for Windows
Version 2.43.73

Page 1 of 1

Date: lunedì 12 giugno 2017
Time: 11:17:06



Tolerance limit
(+0,5mm/-0,5mm)

Measured Profile on track
represented in the graph

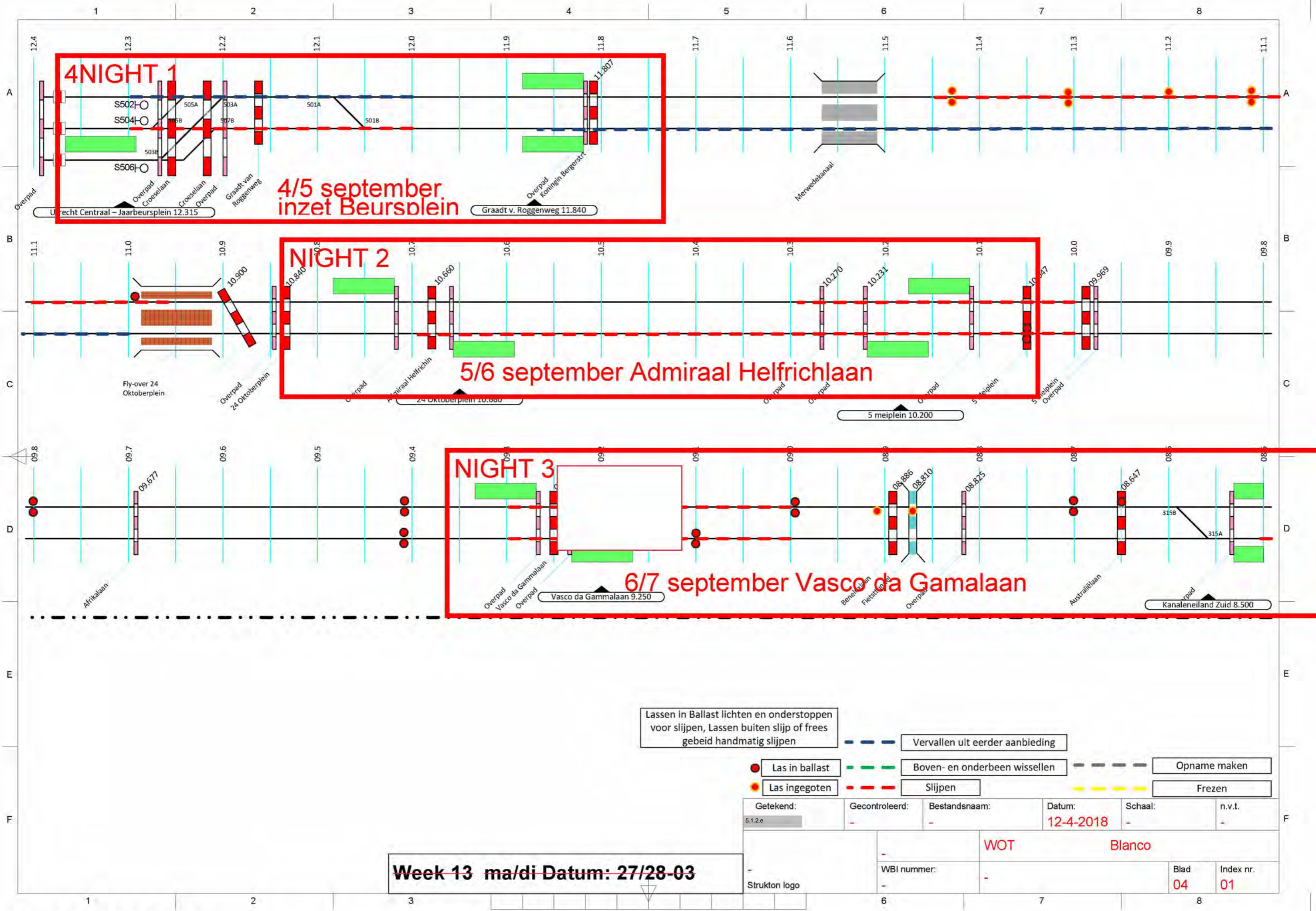
ROUGHNESS MEASUREMENTS

The RT-10 measuring instrument detecting the roughness of the rail's surface after the grinding service.

Misura 1

ISO 4287	Lc 0,8	Nc 5
Ra	4,177	µm
Rq	5,180	µm
Rt	40,75	µm
Rz	24,837	µm
Rc	9,876	µm
Rmax	40,44	µm
RSm	94	µm
RPc (0,00)	105	/cm

The roughness is shown under the heading **Ra** in micron. The limit imposed by the European Standards is 10 micron.



4NIGHT 1

**4/5 september
inzet Beursplein**

NIGHT 2

5/6 september Admiraal Helfrichlaan

NIGHT 3

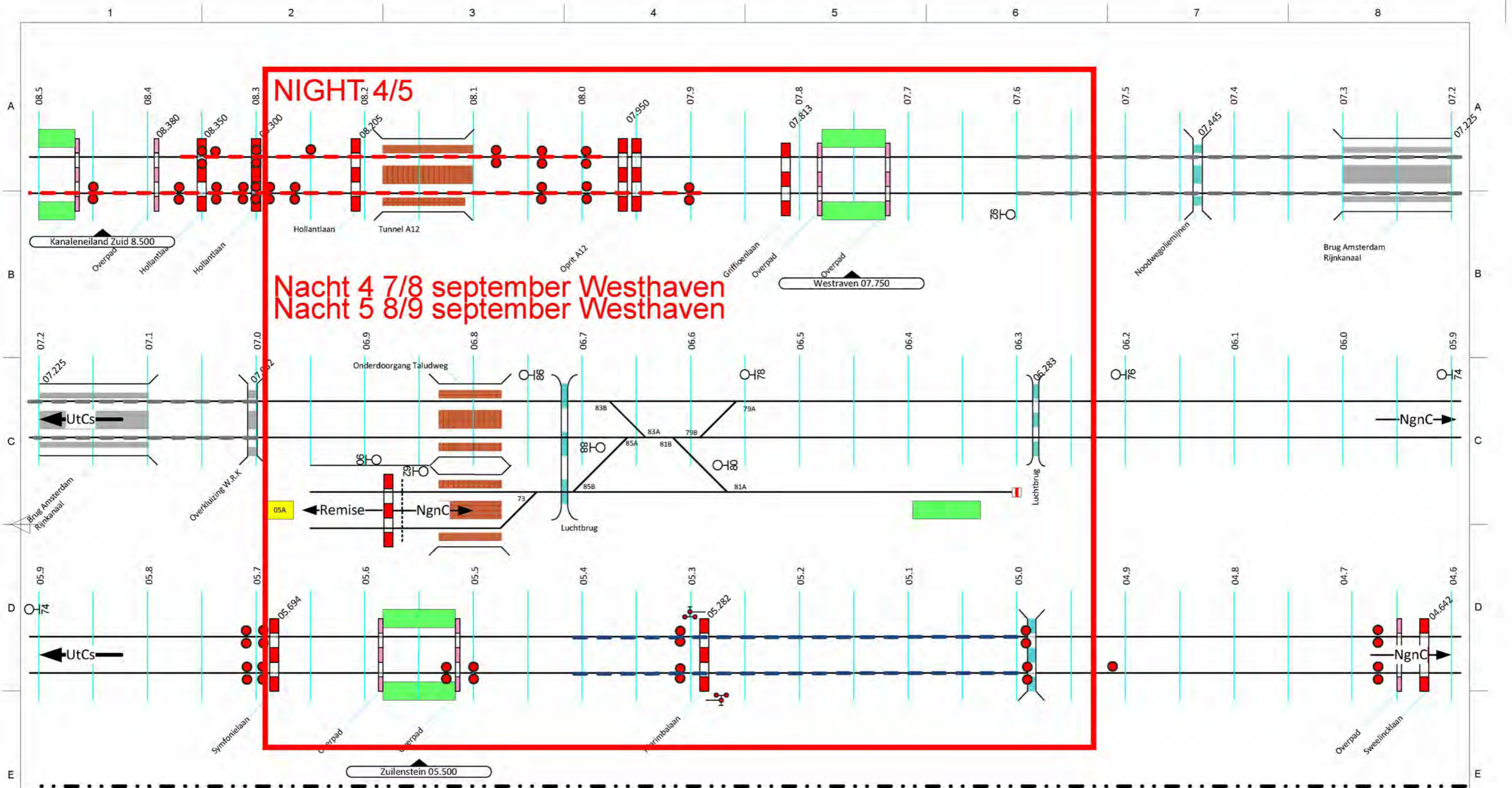
6/7 september Vasco da Gama laan

Lassen in Ballast lichten en onderstoppen voor slijpen, Lassen buiten slijp of frees gebied handmatig slijpen

- Las in ballast
- Las ingegoten
- Vervallen uit eerder aanbidding
- Boven- en onderbeeen wissellen
- Slijpen
- Opname maken
- Frezen

Getekend: 5.1.2.e	Gecontroleerd: -	Bestandsnaam: -	Datum: 12-4-2018	Schaal: -	n.v.t. -
Strukton logo			WOT	Blanco	
WBI nummer: -			Blad 04	Index nr. 01	

Week 13 ma/di Datum: 27/28-03



NIGHT 4/5

Nacht 4 7/8 september Westhaven
Nacht 5 8/9 september Westhaven

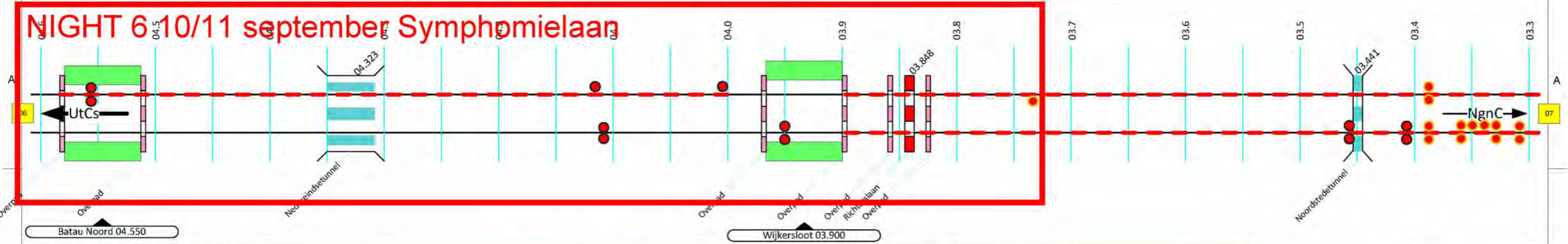
Lassen in Ballast lichten en onderstoppen voor slijpen, Lassen buiten slijp of frees gebeid handmatig slijpen

- Las in ballast
- Las ingegoten
- Vervallen uit eerder aanbidding
- Boven- en onderbeen wissellen
- Slijpen
- Opname maken
- Frezen

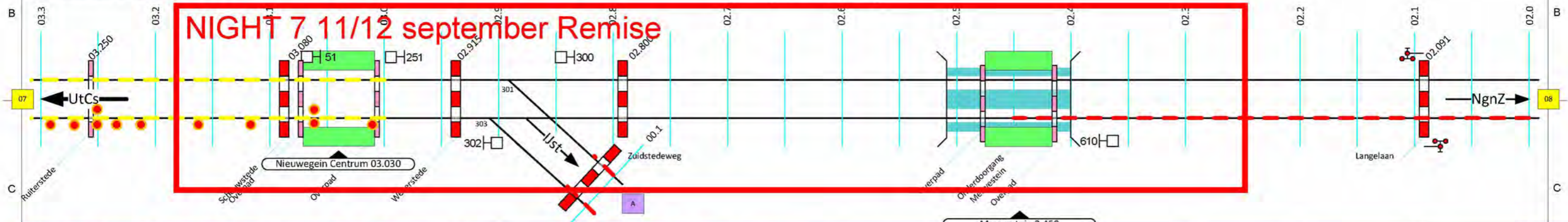
Getekend: 5.1.2.e	Gecontroleerd: -	Bestandsnaam: -	Datum: 12-4-2018	Schaal: -	n.v.t. -
Strukton logo			WOT	Blanco	
WBI nummer: -			Blad 04	Index nr. 02	

Week 13 ma/di Datum: 27/28-03

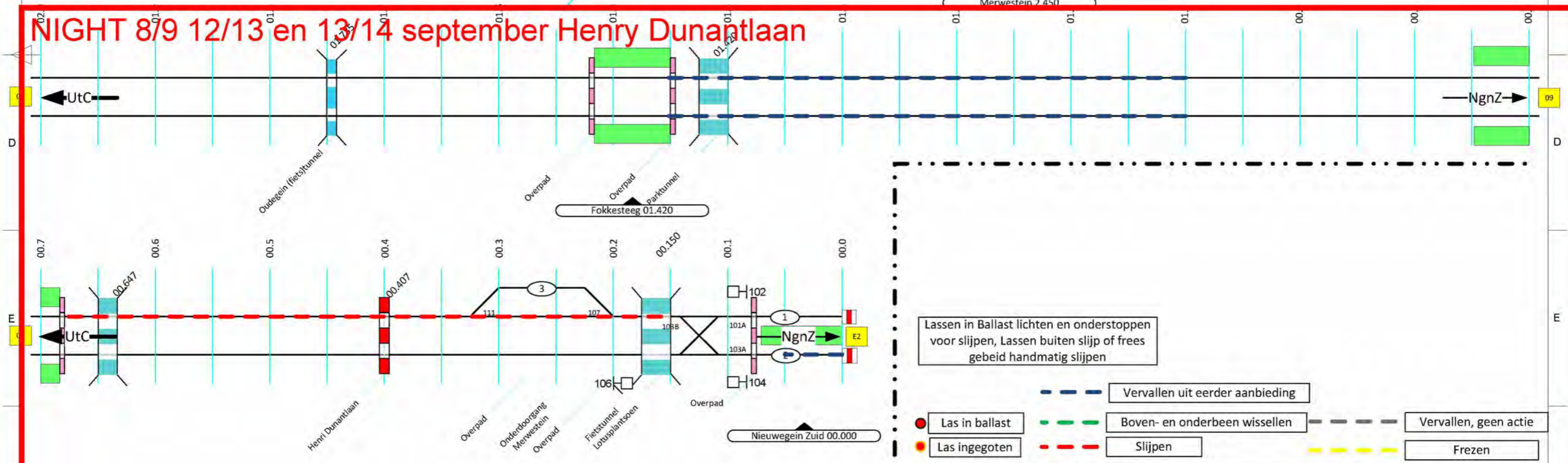
NIGHT 6 10/11 september Symphomielaan



NIGHT 7 11/12 september Remise



NIGHT 8/9 12/13 en 13/14 september Henry Dunantlaan



Lassen in Ballast lichten en onderstoppen voor slijpen, Lassen buiten slijp of frees gebied handmatig slijpen

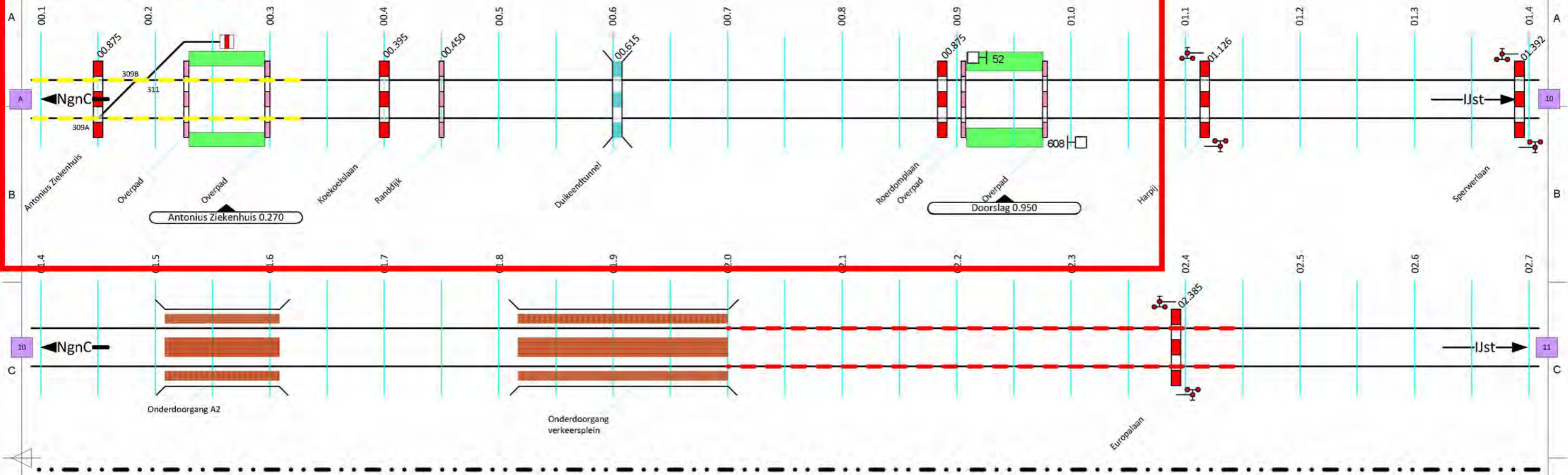
- Vervallen uit eerder aanbidding
- Boven- en onderbeem wissellen
- Vervallen, geen actie
- Las in ballast
- Las ingegoten
- Slijpen
- Frezen

Getekend: 5.1.2.e	Gecontroleerd: -	Bestandsnaam: -	Datum: 12-4-2018	Schaal: -	n.v.t. -
----------------------	---------------------	--------------------	---------------------	--------------	-------------

Week 13 ma/di Datum: 27/28-03

WOT		Blanco	
Strukton logo	WBI nummer: -	Blad 04	Index nr. 05

NIGHT 10 Vervalt



Lassen in Ballast lichten en onderstoppen voor slijpen, Lassen buiten slijp of frees gebied handmatig slijpen

- Vervallen uit eerder aanbidding
- Las in ballast
- Las ingegoten
- Boven- en onderbeen wissellen
- Slijpen
- Vervallen, geen actie
- Frezen

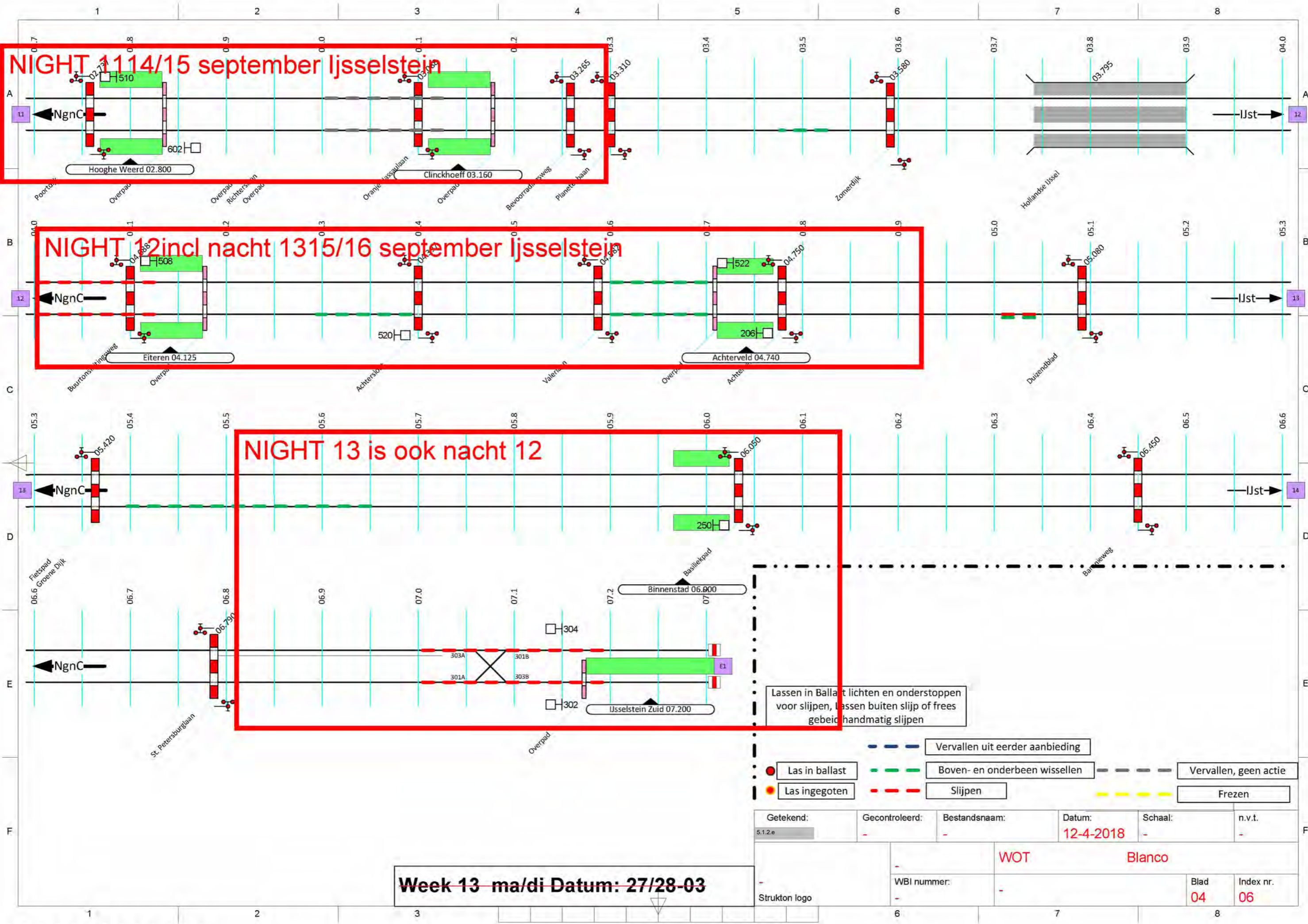
Getekend: 5.1.2.e	Gecontroleerd: -	Bestandsnaam: -	Datum: 12-4-2018	Schaal: -	n.v.t. -
Strukton logo			WOT	Blanco	
WBI nummer: -			Blad 04	Index nr. 05	

Week 13 ma/di Datum: 27/28-03

NIGHT 11/14/15 september IJsselstein

NIGHT 12 incl nacht 13/15/16 september IJsselstein

NIGHT 13 is ook nacht 12



Lassen in Ballast lichten en onderstoppen voor slijpen, lassen buiten slijp of frees gebeid handmatig slijpen

- Vervallen uit eerder aanbieding
- Las in ballast
- Las ingegoten
- Boven- en onderbeeen wissellen
- Slijpen
- Vervallen, geen actie
- Frezen

Getekend: 5.1.2.e	Gecontroleerd: -	Bestandsnaam: -	Datum: 12-4-2018	Schaal: -	n.v.t. -
----------------------	---------------------	--------------------	---------------------	--------------	-------------

Week 13 ma/di Datum: 27/28-03

Strukton logo	WBI nummer: -	WOT	Blad 04	Index nr. 06
---------------	------------------	-----	------------	-----------------