

**TNO-rapport****TNO 2022 R10231****Indeling ICNG materieel Categorie 9****Defensie en Veiligheid**

Oude Waalsdorperweg 63

2597 AK Den Haag

Postbus 96864

2509 JG Den Haag

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 10 00

Datum	Maart 2022
Auteur(s)	Ir. H.W. Jansen Ir. M.G. Dittrich
Aantal pagina's	26 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	NS Techniek
Projectnaam	Categorie-indeling ICNG materieel
Projectnummer	060.48500

Alle rechten voorbehouden.

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

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

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

© 2022 TNO

## Samenvatting

De Nederlandse Spoorwegen gaan in de loop van 2022 rijden met nieuw intercity-materieel: Intercity Nieuwe Generatie. Om te kunnen bepalen of dit nieuwe materieel voldoet aan de wettelijke geluidseisen dient te worden vastgesteld in welke categorie van het Standaard reken- en meetvoorschrift (SRM) dit materieel kan worden ingedeeld. In dit rapport wordt een onderbouwing gegeven dat het ICNG materieel in categorie 9 voor het schijf- en blokgeremde hogesnelheidsmaterieel kan worden ingedeeld. Met behulp van de beschikbare geluid- en trillingsdata is de Procedure A van de Technische Regeling toegepast.

Uit de beschikbare ruwheidsdata in combinatie met de trillingsdata is een railruwheidstoeslag bepaald voor het verschil tussen de railruwheid op het meetspoor en op een spoor met de gemiddelde Nederlandse railruwheid. Dit is nodig om een directe vergelijking te kunnen maken met de emissiegegevens voor rolgeluid volgens het SRM. Vervolgens worden de gecorrigeerde meetresultaten getoetst aan rekenresultaten volgens het SRM met categorie 9 aan in de TR opgestelde criteria. Hierbij worden afwijkingen in de meetcondities ten opzichte van de eisen van de TR toegelicht en onderbouwd.

Met inachtneming van de afwijkende meetcondities kan de combinatie ICNG-5 (5 bakken) en ICNG-8 (8 bakken) worden ingedeeld in categorie 9 van het schijf- en blokgeremde hogesnelheidsmaterieel voor snelheden tot 200 km/h. Hiertoe wordt een voorstel gedaan voor de inrichting van ICNG in categorie 9.

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Metingen .....</b>	<b>5</b>
2.1	Datum .....	5
2.2	Omschrijving meetlocatie .....	5
2.3	Gegevens van het spoor .....	5
2.4	Omschrijving van de rytuigen .....	6
2.5	Rijsnelheden .....	7
2.6	Posities van de meetmicrofoons en trillingsopnemers .....	7
2.7	Railruwheidsmetingen .....	8
<b>3</b>	<b>Resultaten .....</b>	<b>9</b>
3.1	Gemeten geluiddruk- en trillingsniveaus/spectra .....	9
3.2	Achtergrondniveau.....	10
3.3	Tijdverloop van passageniveaus .....	10
3.4	Afstandsdemping .....	11
3.5	Gecombineerde ruwheden .....	12
3.6	Vibro-akoestische overdrachtsfuncties.....	13
<b>4</b>	<b>Inrichting van ICNG in categorie 9.....</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Procedure A Technische Regeling .....</b>	<b>17</b>
5.1	Railruwheidstoetslag.....	17
5.2	Toetsing emissie criterium .....	20
5.3	Afwijking spoorconstructie .....	21
<b>6</b>	<b>Conclusies.....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>23</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Geluid- en trillingsspectra	
	B Spectra procedure A	

# 1 Inleiding

De Nederlandse Spoorwegen gaan in de loop van 2022 rijden met nieuw intercity-materieel: Intercity Nieuwe Generatie (ICNG, zie Figuur 1.1) met een maximale operationele snelheid van 200 km/u. Om te kunnen bepalen of dit nieuwe materieel voldoet aan de wettelijke geluidseisen dient te worden vastgesteld in welke categorie van het Standaard reken- en meetvoorschrift (RMV [1]) dit materieel kan worden ingedeeld. Hiervoor is in de Technische regeling (TR) een meet- en rekenprocedure opgesteld [2]. Voor de ICNG is ervoor gekozen om de indeling te doen op basis van bestaande TSI (Technische Specificatie voor Interoperabiliteit) meetgegevens, aangevuld met metingen bij andere snelheden en tevens railtrillingen. De NS heeft hiervoor door de fabrikant van het materieel Alstom uitgevoerde geluid- en trillingsmetingen beschikbaar gesteld aan TNO.

In dit rapport wordt een onderbouwing gegeven dat het ICNG materieel in categorie 9 voor het schijf- en blokgeremde hogesnelheidsmaterieel kan worden ingedeeld. Hierbij worden ook de bijdrages van aerodynamische bronnen meegenomen die relevant zijn bij hogere snelheden. Met behulp van de beschikbare geluid- en trillingsdata wordt de Procedure A van de TR toegepast. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een combinatie van de passagegeluid-niveaus bij verschillende snelheden van de uitvoering van de ICNG met 5 bakken (ICNG-5) en met 8 bakken (ICNG-8).

Hoofdstuk 2 beschrijft de door Alstom uitgevoerde metingen. De meetresultaten worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd. Toetsing van de meetresultaten aan de in de TR gestelde criteria wordt in hoofdstuk 4 beschreven. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 een voorstel gedaan voor de inrichting van het ICNG materieel in categorie 9. Hoofdstuk 6 beschrijft tenslotte de conclusies.



Figuur 1.1 Foto van de Alstom CORADIA Stream ICNG met 5 bakken.

## 2 Metingen

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van alle door Alstom uitgevoerde metingen conform TSI 1304/2014, ISO 3095:2013 en zoveel mogelijk volgens procedure A van de Technische regeling. De meetopstelling, -condities, -rijtuigen en het meetprogramma worden beschreven.

### 2.1 Datum

Op 20 februari 2020 zijn geluidmetingen uitgevoerd aan een ICNG 5-wagen treinstel [4]. Op 30 september en 1 oktober 2020 zijn TSI geluidmetingen uitgevoerd aan een ICNG 8-wagen treinstel [5]. Op alle meetdagen was het droog met een temperatuur van rond de 4°C en een windsnelheid van onder de 1 m/s.

### 2.2 Omschrijving meetlocatie

Alle metingen zijn uitgevoerd op het spoor van het Tsjechische testcentrum voor spoorwegmaterieel VUZ in Vélím. Dit enkel spoor ligt iets verhoogd boven het maaiveld en wordt omgeven door grasland, zie Figuur 2.1. De omgeving voldoet aan de akoestische omgeving zoals geëist in de TR.



Figuur 2.1 Foto van de meetlocatie met de testrein [4].

### 2.3 Gegevens van het spoor

Het ballast spoor heeft rail profiel UIC 60 met betonnen dwarsliggers. Op de rails zijn tevens raildempers geïnstalleerd om de afstandsdemping te verhogen (type SilentTrack). Tabel 2.1 geeft een overzicht van de spoorgegevens. De TR vereist een spoor met UIC 54 profiel. Deze afwijking wordt besproken in paragraaf 5.3. De rail pad heeft een statische stijfheid van 600-700 kN/mm.

Tabel 2.1 Overzicht gegevens testspoor Vélím [5].

Track bed	Sleepers	Sleeper distance	Rail pad	Fastening	Rail
Ballast	B 91 S	0.6 m	Elastic ZW687a	Type W	UIC 60

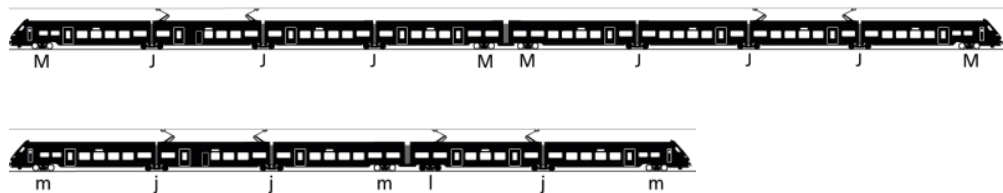
## 2.4 Omschrijving van de rytuigen

Ten behoeve van de categorie-indeling zijn zowel treinstellen met 5 bakken als met 8 bakken samen beschouwd. De ICNG-5 had ten tijde van de metingen ruim 40.000 km gereden sinds de laatste reprofiling en de ICNG-8 ruim 30.000 km. Volgens de TR dienen de spoorvoertuigen minstens 10.000 km te hebben afgelegd onder normale bedrijfscondities, met het remsysteem ingeschakeld.

De treinstellen bevatten motor- en loopdraaistellen en een aantal Jakobs-draaistellen. De wioldiameter van de wielen van de Jacobsdraaistellen is wat kleiner dan die van de normale draaistellen, zie ook Tabel 2.2 en Figuur 2.2.

Tabel 2.2 Kenmerken ICNG treinstellen [3].

ASPECT	5 BAKKEN	8 BAKKEN
Treinelengte	110 meter	165 meter
Aantal assen	14	20
Type aandrijving	Elektrisch	Elektrisch
Type rem	Disk/ED/ Magnetic	Disk/ED/ Magnetic
Locatie remschijf	Wiel	Wiel
Aantal motordraaistellen	3	4
Aantal loopdraaistellen	1	0
Aantal loop Jakobsdraaistellen	3	6
Wioldiameter loop (l) / Jakobs (J)	920 / 850	850
Wioldiameter motor (m)	920	920
Max snelheid	200 km/u	200 km/u
Asdichtheid	1 as/7,9m	1 as/8,2m

Figuur 2.2 Tekening van de ICNG-8 (boven) en ICNG-5 (onder) (ref. [www.railwiki.nl](http://www.railwiki.nl)).

## 2.5 Rijsnelheden

Naast de vereiste TSI snelheden van 80 km/h en de maximale snelheid van 200 km/h, zijn passages bij extra snelheden gemeten, zie Tabel 2.3. De geluidniveaus voor deze snelheid zijn op basis van de geluidsniveaus bij omliggende snelheden bepaald.

Voor de ICNG-8 zijn passage data van de railtrillingen overstuurd voor snelheden van 140 km/h en 200 km/h. Dit was niet het geval voor de ICNG-5 passages.

Tabel 2.3 Overzicht meetsnelheden per treintype.

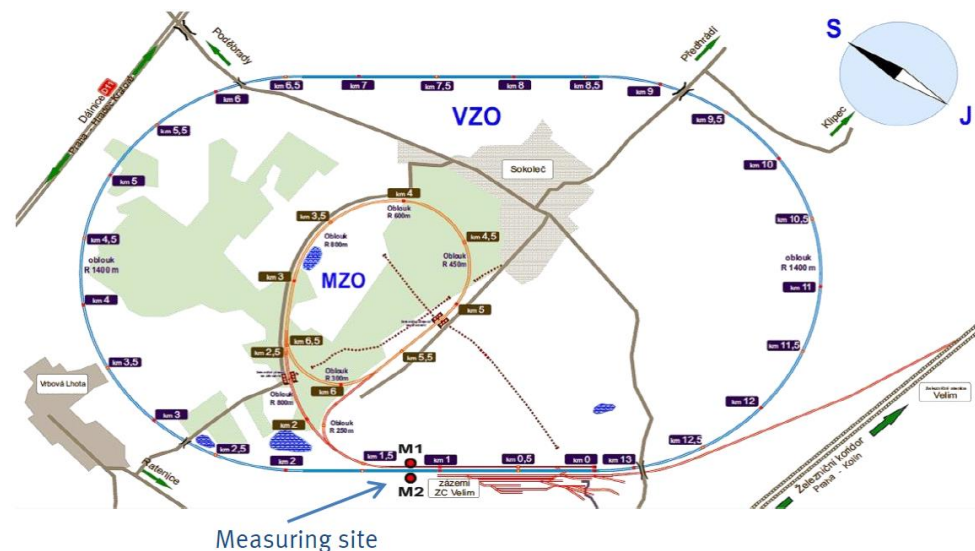
Snelheid [km/h]	# passages	
	ICNG-5	ICNG-8
50	3	3
80	3	3
100	3	3
140	3	2*
200	3	3*

\* Trillingsdata is overstuurd.

## 2.6 Posities van de meetmicrofoons en trillingsopnemers

Aan beide zijdes van het spoor is een microfoon geplaatst op 7.5m afstand vanaf hart spoor, zie Figuur 2.3. Onder één been van het testspoor was onder de railvoet een verticale versnellingsopnemer bevestigd.

Voor zowel de geluiddrukken als de versnellingsignalen zijn de niveaus en spectra over de gehele passagetijd  $T_p$  van de treinstellen bepaald.

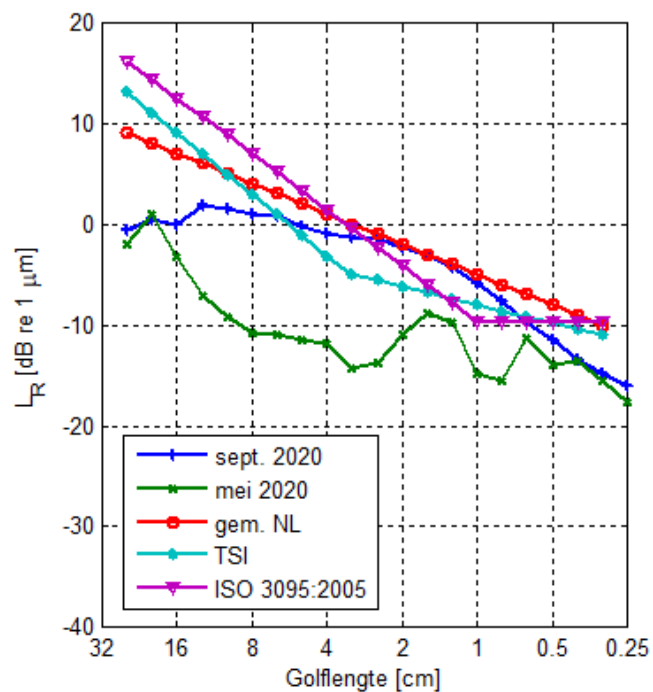


Figuur 2.3 Locatie van de meetlocatie op het test circuit in Vělim met aanduiding van de locatie van de meetmicrofoons [4].

## 2.7 Railruweidsmetingen

De railruweid is gemeten in mei 2020 [6] en in september 2020 [7]. In mei 2020 voldeed de railruweid aan alle limietwaarden van ISO, TSI en de gemiddelde Nederlandse ruweid, zie Figuur 2.4. In september 2020 was het spoor ruwer geworden en voldeed niet meer aan de TSI en ISO eisen, maar nog wel net aan de gemiddelde Nederlandse ruweid. Voor een procedure A meting wordt alleen geëist dat de railruweid onder de gemiddelde railruweid van het Nederlandse spoornet moet liggen.

Aangezien de railruweidsmetingen niet ouder mogen zijn dan zes maanden is voor de beoordeling van de ICNG-5 de railruweid van mei 2020 gebruikt en voor de ICNG-8 die van september 2020.



Figuur 2.4 Gemiddelde railruweidsniveaus als functie van golflengte vergeleken met limietcurves volgens TSI, ISO 3095:2005 en de gemiddelde railruweid voor Nederlands spoor.



## 3 Resultaten

### 3.1 Gemeten geluiddruk- en trillingsniveaus/spectra

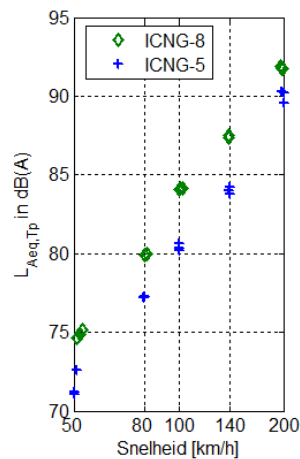
Tabel 3.1 en Figuur 3.1 geven de gemeten passageniveaus voor beide treinstellen voor verschillende snelheden. De spectra van de passageniveaus zijn getoond in Figuur 3.2. Met een standaarddeviatie die kleiner is dan 1 dB(A) reproduceren de passageniveaus goed voor de herhalingsmetingen bij alle rijnsnelheden. De passageniveaus van de ICNG-8 liggen voor alle rijnsnelheden hoger dan die van de ICNG-5. Dit is toe te schrijven aan een hogere gecombineerde rail/wiel ruwheid voor de ICNG-8, zie ook paragraaf 3.5.

Geluid- en trillingsspectra in tertsbanden zijn te vinden in bijlage A. Hier is te zien dat voor de hoogste snelheid van 200 km/h relatief veel hogere geluidniveaus worden gemeten in de lagere frequentiebanden onder de 200 Hz. Dit is toe te schrijven aan de bijdrage van aerodynamische geluidbronnen, zie ook paragraaf 3.6. In de hogere frequentiebanden, die het totale A-gewogen geluidniveau bepalen, is het wiel-rail rolgeluid nog steeds dominant.

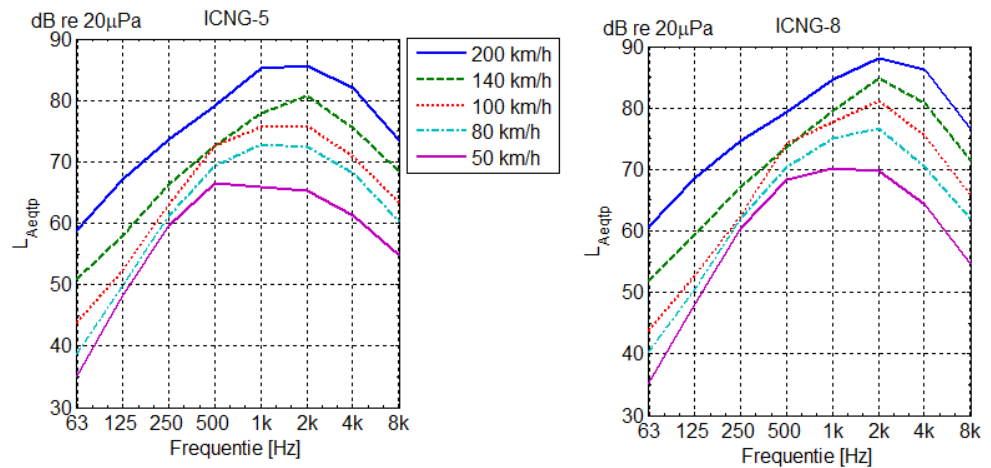
De verticale railtrillingsspectra in bijlage A vertonen een hoge piek bij 8 kHz. Dit is zeer waarschijnlijk een resonantie van de toegepaste versnellingsopnemer op de verbindingsslaag met de rails. Verder bevatten alle spectra een piek bij 1.6 kHz. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan het spoor en wordt niet door ruwheidseffecten veroorzaakt. In dat geval zouden de pieken meeschuiven in het frequentiegebied met de treinsnelheid.

Tabel 3.1 Gemiddelde passageniveaus  $L_{Aeq, Tp}$  in dB(A) re 20  $\mu$ Pa voor de microfoon aan de buitenzijde op 7.5 m t.o.v. hart meetspoor  $\pm$  standaarddeviatie.

Snelheid [km/h]	$L_{Aeq, Tp}$ in dB(A)			
	ICNG-5		ICNG-8	
	m1	m2	m1	m2
50	72 $\pm$ 0.8	72 $\pm$ 0.7	75 $\pm$ 0.3	76 $\pm$ 0.2
80	77 $\pm$ 0.05	78 $\pm$ 0.1	80 $\pm$ 0.1	80 $\pm$ 0.2
100	80 $\pm$ 0.2	81 $\pm$ 0.2	84 $\pm$ 0.05	85 $\pm$ 0.2
140	84 $\pm$ 0.2	85 $\pm$ 0.1	87 $\pm$ 0.01	88 $\pm$ 0.1
200	90 $\pm$ 0.2	90 $\pm$ 0.2	92 $\pm$ 0.06	92 $\pm$ 0.08



Figuur 3.1 Gemeten passageniveaus als functie van snelheid voor ICNG-5 and ICNG-8.



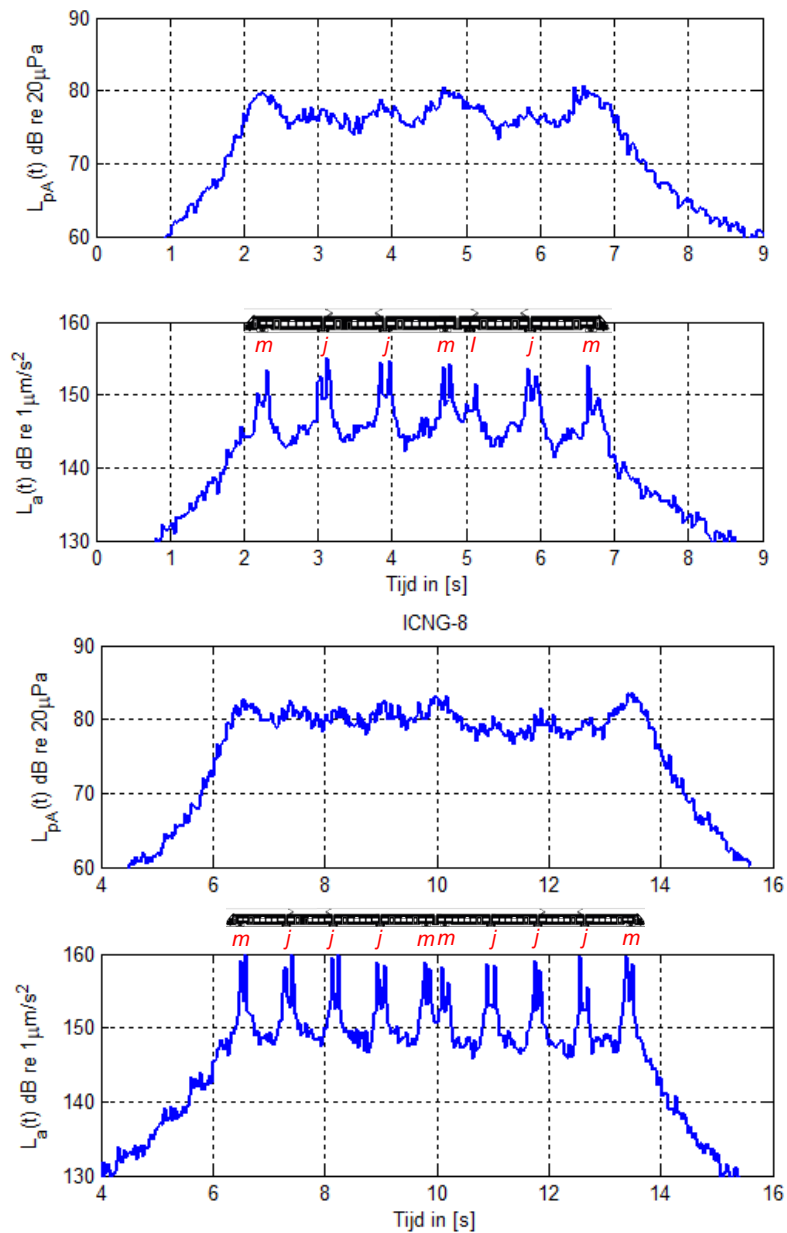
Figuur 3.2 Octaafband spectra van de gemeten passageniveaus van de ICNG-5 en ICNG-8.

### 3.2 Achtergrondniveau

Het achtergrondgeluid varieerde rond de 40 dB(A) en lag daarmee minimaal 10 dB onder de gemeten niveaus van de treinmetingen over het hele frequentiegebied.

### 3.3 Tijdverloop van passageniveaus

Een tijdsverloopgrafiek van het A-gewogen geluidniveau en van het verticale versnellingsniveau van de rail bij een snelheid van 80 km/h wordt getoond in Figuur 3.3. De as-passages zijn duidelijk herkenbaar in het verloop van het versnellingsniveau. Voor de ICNG-5 is te zien dat de geluidniveaus bij passage van motordraaistellen hoger zijn dan voor de looddraaistellen. Omdat de railtrillingen niet dezelfde verhoging laten zien wijst dit op een bijdrage van tractiegeluid. Dit effect is minder duidelijk te zien voor de ICNG-8 omdat de rail- en wielruwheden hoger waren tijdens de meting, zie paragraaf 3.5. De figuur toont ook dat de versnellingniveaus bij as-passages voor de ICNG-8 hoger zijn dan voor de ICNG-5. De gemeten versnellingniveaus zijn omgerekend naar ruwheden waarmee de totale ruwheidsverschillen tussen beide treinstellen zichtbaar worden gemaakt, zie paragraaf 3.5.



Figuur 3.3 Niveauperloop van het A-gewogen geluidrukniveau van een passage bij 80 km/h 7,5m afstand van hart spoor en het verticale versnellingsniveau van de rail voor de ICNG-5 (boven) en de ICNG-8 (onder). De middelingstijd is 1/32 s. De 'm' geeft de motordraaistellen aan, 'j' de Jacobs-draaistellen en 'l' de loopdraaistellen.

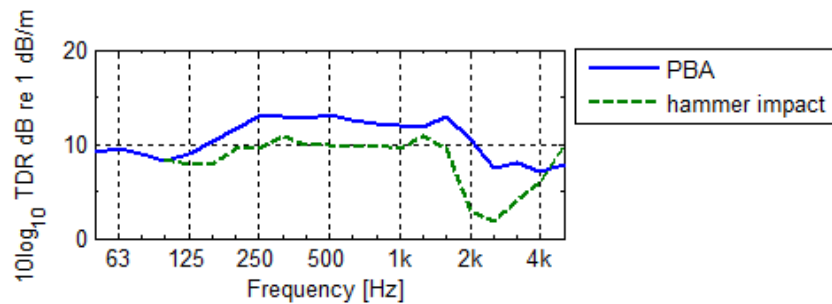
### 3.4 Afstandsdemping

De afstandsdemping van het belaste spoor is afgeleid uit de verticale railtrillingen opgenomen tijdens de treinpassage via een energetische iteratie methode [8]. Hierbij is gemiddeld over verschillende passages bij alle beschouwde snelheden van beide treinstellen. Figuur 3.4 toont de resultaten. Het feit dat de afstandsdemping bij een relatief hoge frequentieband van 1.6 kHz sterk afneemt toont aan dat het spoor relatief stijve railpads heeft. De rail wordt vanaf deze frequentie dynamisch ontkoppeld van de dwarsliggers door de railpads.

Boven deze frequentie is de afstandsdemping veel lager omdat de trillingen zich vrij kunnen voortplanten door de rail. Goede raildampers zorgen er juist in dit frequentiegebied voor dat de afstandsdemping toch hoger blijft.

Dit effect komt minder goed tot uiting in de afstandsdemping die in Vélim is bepaald met behulp van kunstmatige hamerexcitatie, gemeten in september 2019 [6]. Deze resultaten geven voor het gehele frequentiegebied een lagere afstandsdemping. Verschillen kunnen mogelijk worden verklaard door temperatuurverschillen tijdens de metingen die de stijfheid van de railpads kunnen beïnvloeden. Referentie [6] vermeldt de meteocondities niet.

De uit de railtrillingen afgeleide afstandsdemping wordt in de volgende paragraaf gebruikt om de gecombineerde ruwheden te berekenen.



Figuur 3.4 Gemiddelde verticale en laterale afstandsdemping als functie van de frequentie in 1/3 octaafbanden. 'PBA' staat voor Pass-by Analysis en is de energetische iteratie methode.

### 3.5 Gecombineerde ruwheden

De totale, effectieve ruwheid is bepaald met behulp van de relatie tussen gemeten verticale railkoptrilling, verticale afstandsdemping en totale ruwheid:

$$L_{rot,eff}(f) = L_{veq}(f) + 10 \lg \left( \frac{D_{vert}(f)}{8.68 \beta} \right) - A_2(f) - 20 \lg(2\pi f) \quad (3.1)$$

waarbij

$L_{rot,eff}(f)$  = totale effectieve ruwheidsspectrum [dB re  $10^{-6}$  m];

$L_{veq}(f)$  = equivalente trillingsspectrum [dB re  $10^{-6}$  m/s];

$\beta$  = aantal assen per meter ( $N/\ell_{veh}$ ; met N aantal assen;  $\ell_{veh}$  lengte treinstel),

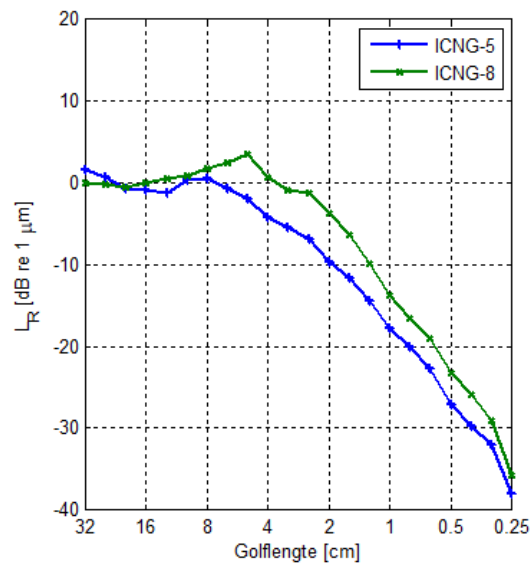
$D_{vert}(f)$  = spectrum afstandsdemping verticale railtrillingen [dB/m], zie Figuur 3.4;

$A_2(f)$  = conversiespectrum voor het verschil tussen verplaatsing van de rail in het contactpunt en de effectieve ruwheid (zie [2]).

De afstandsdemping, de gecombineerde ruwheden en overdrachtsfuncties van de wielen van de treinstellen zijn bepaald met behulp van de TNO Pass-by Analysis Software v3.1 [9].

Figuur 3.5 toont de gemiddelde gecombineerde ruwheid, rail en wielruwheid, voor beide treinstellen als functie van de golflengte. De gecombineerde ruwheid van de ICNG-8 is hoger dan voor de ICNG-5. Het is het onduidelijk wat hiervan de oorzaak is. Dit verklaart de hogere passageniveaus voor de ICNG-8.

De TR vraagt dat voor samengestelde treineenheden minimaal twee exemplaren getest moeten worden, hetzij als één trein, hetzij in aparte passages, waarbij achteraf wordt gemiddeld. Als de ICNG-8 en ICNG-5 beiden als één treintype in een categorie moeten worden ingedeeld is het de meest logische aanpak om resultaten van beide metingen energetisch te middelen.



Figuur 3.5 Gemiddelde gecombineerde ruwheid per treinsteltype als functie van golflengte.

### 3.6 Vibro-akoestische overdrachtsfuncties

De gecombineerde overdrachtsfunctie  $L_H$  is een sommatie van de bijdrages van voertuig en spoor aan het totale passagegeluid en kan worden berekend door de gemeten totale passageniveaus te normaliseren op de gecombineerde ruwheid [11]:

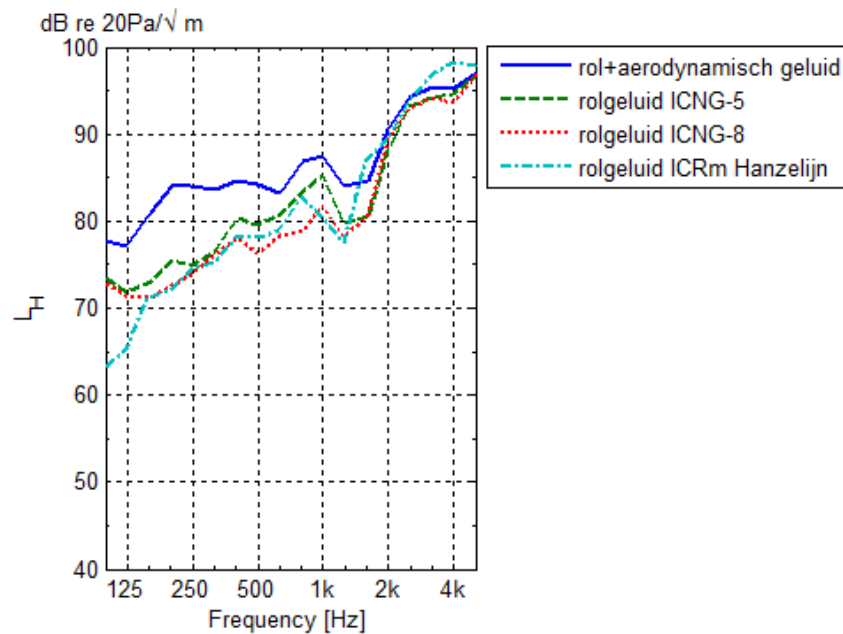
$$L_{H,tot}(f_{to}) \equiv L_{p,tot}(V, f_{to}) - 10 \log_{10} \left( \frac{N_{axle}}{L_{wagon}} \right) - L_{r,tot}(\lambda(V, f_{to})) \quad (3.1)$$

met  $f_{to}$  de tertsband middenfrequentie, en  $L_{p,tot}(V, f_{to})$  het passageniveau bij snelheid  $V$ . Er wordt ook een correctie uitgevoerd voor het aantal assen  $N_{axle}$  per lengte eenheid wagon  $L_{wagon}$ , omdat de gecombineerde ruwheid iets zegt over de gemiddelde ruwheid in één wiel/rail contact, terwijl het passageniveau ook wordt beïnvloed door het aantal wielen en de onderlinge afstand tussen de wielen.

Figuur 3.6 toont de gemiddelde overdrachtsfuncties bij 200 km/h en bij lagere snelheden. Te zien is dat de overdrachten hoogfrequent vrijwel gelijk zijn. Hier is de rolgeluidbijdrage van de wielen dominant. Voor lagere frequenties gaat de overdrachtsfunctie gemeten bij 200 km/h afwijken. Dit is een gevolg van de extra bijdrage van aerodynamische geluidbronnen. Deze afwijking zal groter worden bij

nog hogere snelheden als de bijdrage van aerodynamische bronnen sterker wordt [12]. Op 7,5 m afstand is de overdrachtsfunctie in het frequentiegebied boven de 2 kHz echter nog steeds aanzienlijk hoger. Dit betekent dat de rolgeluidbijdrage boven de aerodynamische bijdrage uitkomt in dit frequentiegebied.

Figuur 3.6 toont ook de overdrachtsfunctie gemeten op de Hanzelijn, gemeten met het ICRm materieel in 2015 [13]. Dit is een spoor met UIC54 profiel zonder raildempers. Deze vergelijking zal verder worden besproken in paragraaf 5.3.



Figuur 3.6 Overdrachtsfuncties voor de ICNG-5 en ICNG-8 gemiddeld over passages bij snelheden tussen 50-140 km/h als functie van de frequentie in 1/3 octaafbanden. Ook de overdrachtsfunctie gemeten bij 200 km/h is getoond (in blauw) en de overdracht gemeten op de Hanzelijn met ICRm materieel.

## 4 Inrichting van ICNG in categorie 9

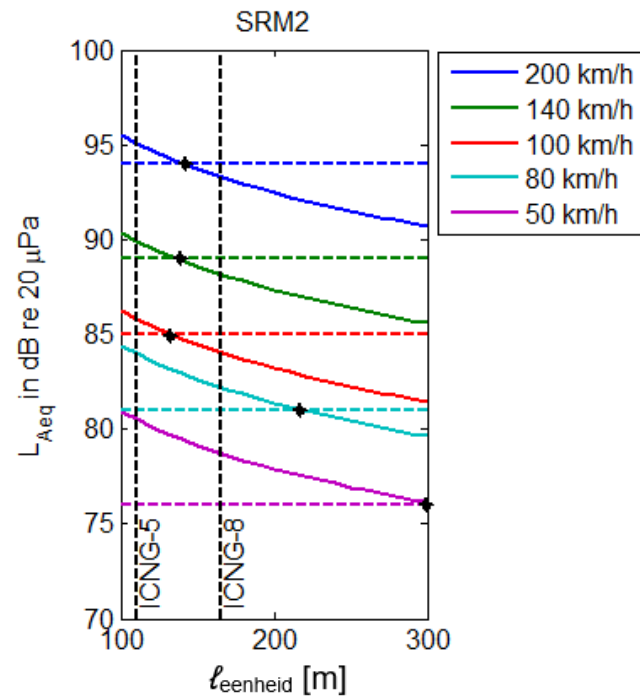
De indeling van het nieuwe ICNG materieel in categorie 9 vraagt om de definitie van het aantal rekeneenheden per type en de lengte per eenheid, ook wel baklengte genoemd. Deze keuze hangt samen met het aantal assen  $N$  per lengte eenheid trein  $\ell_{veh}$ : de asdichtheid  $\beta = N/\ell_{veh}$ . De standaard baklengte van categorie 9 is 200 meter met 26 assen, dus ca. 1 as per 8 m baklengte. Hierop zijn de emissiekentallen van categorie 9 ook gebaseerd. De ICNG treinstellen hebben een vergelijkbare asdichtheid, zie ook Tabel 4.1.

In het SRM is het begrip rekeneenheid geïntroduceerd om rekening te kunnen houden met uiteenlopende wagonlengtes en as-configuraties bij nieuwere treintypes. Deze lengtes kunnen afwijken van de traditionele personenrijtuiglengtes waardoor de definitie van een standaard baklengte niet meer evident is. Daarom wordt voor treinen met vaste configuraties een bepaalde rekeneenheid gedefinieerd, waardoor zij ook in een bestaande categorie in te delen zijn. Hierbij kan de lengte-eenheid afwijken van de daadwerkelijke lengte. Het aantal assen per eenheid is bij de bepaling van de emissieniveaus geen parameter, maar zit wel impliciet in de combinatie van de emissiekentallen en de baklengte per materieel type.

Het effect van de baklengte op het passage-niveau per octaafband, op 7,5 m afstand, is weergegeven in Figuur 4.1. De opties voor een gehele treinlengte van ICNG-5 en ICNG-8 als baklengte zijn weergegeven. Ook zijn de gemeten passageniveaus van ICNG-5/8 combinatie na ruwheidscorrectie voor de verschillende snelheden weergegeven. Te zien is dat de optimale baklengte, waarvoor categorie 9 het beste met de ruwheids-gecorrigeerde metingen overeenkomt, tussen die van ICNG-5 en ICNG-8 in ligt. Door de totale treinlengte van ICNG-5 of ICNG-8 als baklengte te kiezen wordt het passageniveau voor hogere snelheden respectievelijk ca. 1 dB overschat of onderschat. Om de baklengte zoveel mogelijk te laten aansluiten bij die voor het andere materieel in categorie 9, is gekozen voor een baklengte van 165 m. Vanuit gebruikersperspectief heeft het de voorkeur om de baklengte gelijk te houden voor ICNG-5 en ICNG-8. De ICNG-5 bestaat dan uit 0,67 eenheid en ICNG-8 uit 1 eenheid, zie Tabel 4.1. Bij deze keuze van baklengte worden de passage-niveaus voor lagere snelheden, 50 km/h en 80 km/h, met 1-3 dB overschat. Dit kan worden verklaard door de bijdrage van het tractiegeluid van categorie 9.

Tabel 4.1 Overzicht van de eigenschappen van de materieeltypen van categorie 9, inclusief een voorstel voor baklengte voor ICNG-5 en ICNG-8. Voor de bijbehorende passage-niveaus conform SRM bij verschillende snelheden en  $\ell_{eenheid}$ , zie Figuur 4.1.

Type	$\ell_{eenheid}$ SRM [m]	# reken- eenheden	Totale lengte [m]	# assen Trein	Lengte/ #assen ( $\beta^{-1}$ )
Thalys	200	1	200	26	7.7
ICE	201	1	201	32	6.3
Eurostar	201	2	402	64	6.3
ICNG-5	165	0,67	110	14	8.0
ICNG-8	165	1	165	20	8.3



Figuur 4.1 Verband tussen baklengte  $l_{eeenheid}$  en het passageniveau op 7,5 m volgens SRM2 bij verschillende snelheden voor categorie 9. De totale treinlengte voor de ICNG treinstellen zijn weergegeven met de verticale zwarte stippellijnen. De gemeten niveaus, na ruwheids-correctie, zijn aangegeven met de horizontale stippelijnen met een unieke kleur per snelheid, met op de snijpunten met de berekende waardes een (+) markering.



## 5 Procedure A Technische Regeling

Dit hoofdstuk beschrijft de toetsing van de resultaten van de geluidmetingen conform procedure A van de TR. Hierbij zijn de resultaten van de ICNG-5 en ICNG-8 gecombineerd, zodat er twee exemplaren van hetzelfde treintype kunnen worden beschouwd.

Er dient opgemerkt te worden dat formeel aan een aantal voorwaarden van de TR niet is voldaan:

- Het spoortype is UIC60 in plaats van UIC54. In paragraaf 5.3 worden de te verwachten verschillen in geluidsafstraling tussen beide spoortypes besproken.
- Het testspoor in Vélim is uitgerust met raildempers.
- Voor de snelheid van 140 km/h zijn de passages 2 keer herhaald in plaats van de vereiste 3 keer. Aangezien de passageniveaus voor alle herhalingsmetingen bij alle rijnsnelheden goed reproduceerde, met een standaarddeviatie lager dan 1 dB(A), zal dit naar verwachting geen effect hebben op het eindresultaat.

Naar bovenstaande afwijkingen is specifiek gekeken.

### 5.1 Railruwheidstoetslag

Ten eerste wordt uit de beschikbare ruwheidsdata in combinatie met de trillingsdata een correctie  $L_{diff}$  bepaald voor het verschil tussen de railruwheid op het meetspoor en op een spoor met de gemiddelde Nederlandse railruwheid. Dit is nodig om een directe vergelijking te kunnen maken met de emissiegegevens volgens het SRM. Vervolgens worden de gecorrigeerde meetresultaten worden getoetst aan rekenresultaten volgens het SRM met categorie 9 aan in de TR opgestelde criteria. Materieel mag volgens de TR in een bestaande SRM categorie worden ingedeeld indien:

$$L_{peq, Tp, i}(v) + L_{diff, i} < L_{peq, i, berekend}(v) \quad (5.1)$$

Met,

$L_{peq, Tp, i}$  het gemeten passageniveau bij snelheid  $v$ ,

$L_{peq, i, berekend}$  het met SRM berekende passageniveau bij snelheid  $v$ ,

$L_{diff, i} = 1 + Y_i(v)$  in dB bij snelheden waarbij het rolgeluid domineert en de wielen niet met gietijzeren remblokken geremd zijn, en met

$$Y_i(v) = L_{rtr, nl, i}(v) \oplus L_{veh, i, c}(v) - L_{rtr, i}(v) \oplus L_{veh, i, c}(v) \text{ in dB}, \quad (5.2)$$

en voor  $i=1,2,8$  (63, 125 en 8000 Hz banden) geldt  $Y_i(v) = \min(Y_i(v), 3,5)$

waarbij  $\oplus$  staat voor energetische sommatie,  $L_{r, i}(v)$  de ruwheid in octaafband  $i$  bij treinsnelheid  $v$ ,  $tr$  staat voor spoor/track,  $veh$  staat voor voertuig/vehicle,  $nl$  de gemiddelde railruwheid van het Nederlandse spoornet en  $c$  de treincategorie aangeeft.

Materieel mag worden ingedeeld in een categorie indien aan vergelijking (5.1) is voldaan, waarbij een kleine overschrijding in frequentiebanden is toegestaan. Overschrijding in het niveau per octaafband is toegestaan mits het gemiddelde van de overschrijdingen  $\Delta_{gem}$  kleiner is dan 1,5 dB. Bij de berekening van dit gemiddelde wordt het verschil  $\Delta_{i,j}$  in alle octaafbanden  $i$  en bij alle snelheden  $j$  gehanteerd. Hierbij wordt bij een negatief verschil, dus geen overschrijding, voor het verschil de waarde nul gehanteerd:

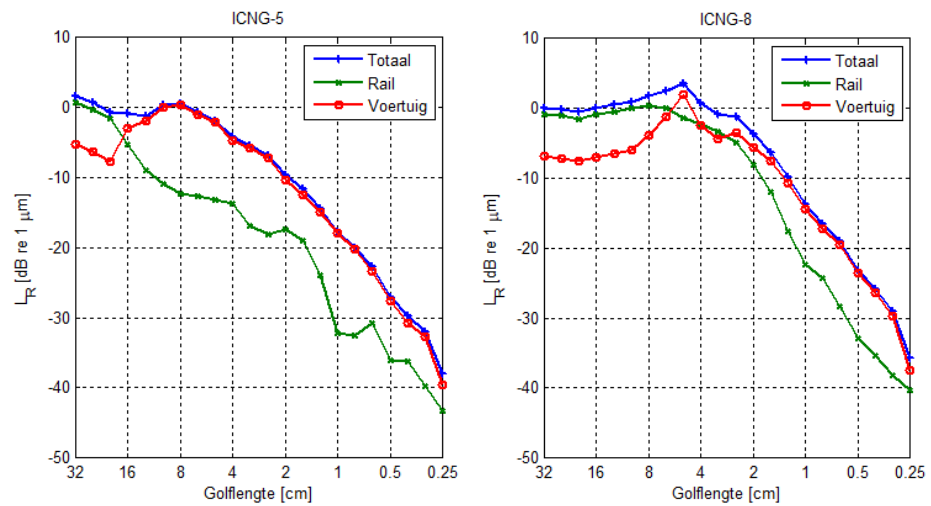
$$\Delta_{gem} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left( \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \max(\Delta_{gem,i,j}, 0) \right) \quad (5.3)$$

Indien de passageniveaus zijn gemiddeld over minimaal 5 voertuigen die minimaal 10.000 km hebben afgelegd onder normale bedrijfscondities, mag de toetsingsnorm in vergelijking (5.1) met 1 dB worden versoepeld. Bovendien hoeven dan eventuele overschrijdingen in de 63, 125 en 8000 Hz banden niet worden meegemiddeld in de overschrijding volgens vergelijking (5.3). Voor de beschouwde ICNG-5 en ICNG-8 treinstellen is gerekend met zowel dit versoepelde als het normale criterium om het speelveld in kaart te brengen.

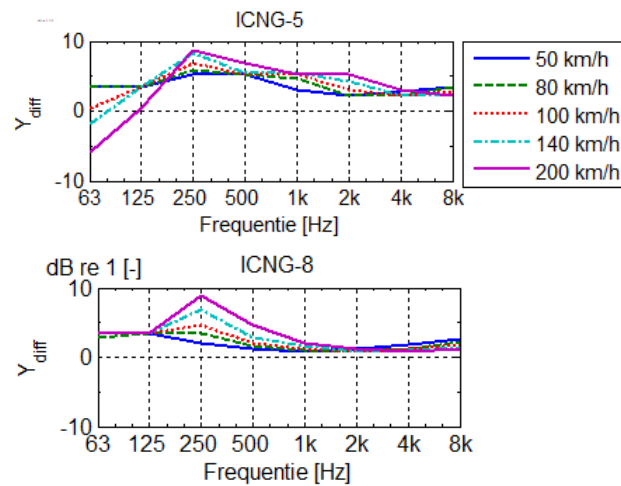
De rechter som  $L_{rtr,i}(v) \oplus L_{rveh,i,c}(v)$  in vergelijking (5.2) is gelijk aan de gecombineerde ruwheid, zoals afgeleid uit de railtrillingen in paragraaf 3.5. De linker som wordt bepaald uit de curve voor de gemiddelde railruwheid van het Nederlandse spoornet en de herleidde wielruwheid  $L_{rveh,i,c}(v)$ . Deze laatste kan worden herleid uit de totale ruwheid en de direct gemeten railruwheid, zie Figuur 5.1. Te zien is dat voor de ICNG-8 voor golflengte tussen 2-4 cm de gecombineerde ruwheid wordt bepaald door zowel wiel- als railruwheid. Voor golflengtes kleiner dan 2 cm is wielruwheid van de ICNG-8 hoger dan de railruwheid, en ook hoger dan de wielruwheid van de ICNG-5.

Als de golflengte van de ruwheid in de buurt komt van de fysieke afmetingen van het contactvlak zal de ruwheid bij deze golflengte het wiel/rail systeem moeilijker aanstoten. De ruwheidsspectra zullen sterker dalen bij hogere frequenties. Dit wordt het contactfilter effect genoemd. De gecombineerde ruwheid bevat impliciet het contactfilter, aangezien het railtrillingssignaal is gefilterd door het wiel/rail contactvlak tijdens de treinpassage. Directe ruwheidsmetingen, bevatten dit contactfilter niet. Daarom is het contactfilter ook toegepast op de directe railruwheidsresultaten om zo een zogenaamde *effectieve* ruwheid te verkrijgen.

De afgeleide railruwheidstoetslag is getoond in Figuur 5.2. Deze toeslag wordt op het aandeel rolgeluid van de gemeten passagespectra gezet voordat er een vergelijking met de rekenresultaten voor categorie 9 van SRM wordt gemaakt.



Figuur 5.1 Gemiddelde totale ruwheid en contact gefilterde railruwheid en afgeleide voertuigruwheid als functie van golflengte. Voor het contactfilter is het DPRS model gebruikt [10].



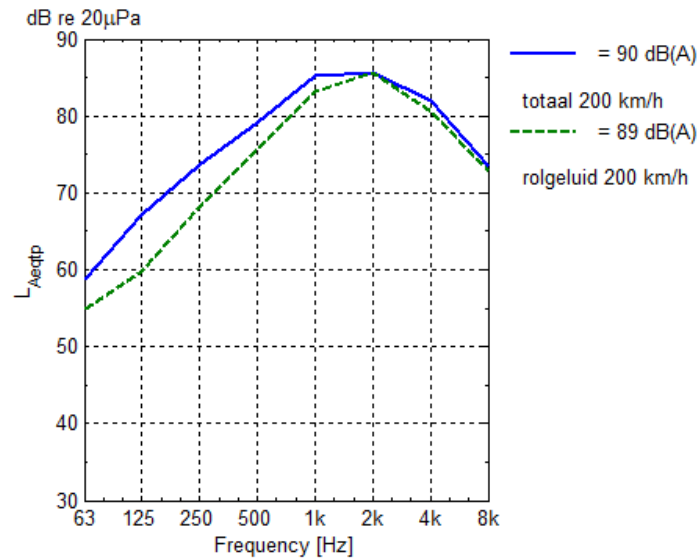
Figuur 5.2 Railruwheidstoelagen volgens vergelijking (5.2) per treinstel en snelheid als functie van de frequentie in octaafbanden.

### 5.1.1 Bijdrage rolgeluid en aerodynamisch geluid

De ruwheidscorrectie die in vergelijking (5.1) wordt uitgevoerd, dient alleen te worden toegepast voor het aandeel rolgeluid per octaafband voor een passage. Bij een snelheid van 200 km/h zal er ook een aerodynamische bijdrage zijn, die dus niet correleert met ruwheid. Daarom is voor de passage bij deze snelheid een afchatting gemaakt van het aandeel rolgeluid dat moet worden gecorrigeerd voor de ruwheid.

Het rolgeluidsspectrum bij een snelheid van 200 km/h kan worden geschat uit een kleinste kwadraten fit op het lineaire verband  $a_i + b_i \lg(v)$  per octaafband  $i$  voor snelheden tussen 50 km/h en 140 km/h. Door deze berekende bijdrage te vergelijken met de gemeten passageniveaus bij 200 km/h wordt de bijdrage van aerodynamische geluidbronnen zichtbaar, zie Figuur 5.3.

Zoals in paragraaf 3.6 al aangetoond, manifesteert zich dit in hogere niveaus in de lagere frequentiebanden. Op een afstand van 7,5 m worden de niveaus in de hogere frequentiebanden bepaald door rolgeluid en zijn bepalend voor het totale A-gewogen passageniveau.



Figuur 5.3 Aandeel rolgeluid van het passageniveau bij 200 km/h afgeleid uit de gemeten passageniveaus bij lagere snelheden, vergeleken met de gemeten passageniveaus bij 200 km/h.

## 5.2 Toetsing emissiecriterium

In Tabel 5.1 wordt voor alle beschouwde snelheden het gemeten passageniveau voor de beide treinstellen en het energetische gemiddelde van de voor de railruwheid gecorrigeerde passageniveaus getoond. Ook is het met SRM berekende passageniveau voor categorie 9 getoond tot een maximale snelheid van 200 km/h. De toegepaste baklengte voor ICNG is 165 m, zoals toegelicht in hoofdstuk 4. Alle bijbehorende spectra per snelheid zijn te vinden in bijlage B. In Tabel 5.1 is tevens de gemiddeld spectrale overschrijding van de octaafband-niveaus conform vergelijking (5.3) getoond.

In categorie 9 worden ook aerodynamische geluidbronnen meegenomen. De bronhoogtes voor aerodynamische bronnen wijken af van die voor rolgeluid. Voor rolgeluid is de bronhoogte beperkt tot 0 m en 0,5 m. Het aerodynamisch geluid van treinen wordt bij hogere snelheden relevant, en ontstaat op meer en grotere bronhoogtes dan rolgeluid. In categorie 9 worden de aerodynamische bronnen verdeeld over 0,5, 2, 4 en 5 m hoogte volgens een in de handleiding gedefinieerde verdeelsleutel.

Om in de huidige categorie 9 te kunnen worden ingedeeld mag de gemiddelde overschrijding voor snelheden tussen 50-200 km/h niet meer dan 1,5 dB bedragen. Tabel 5.1 laat zien dat de gecombineerde geluidemissie van ICNG-5 en ICNG-8 aan dit criterium voldoet, met inachtneming van de afwijkende meetcondities.

Zowel ICNG-5 en ICNG-8 zouden bij aparte beschouwing ook in categorie 9 passen, voor het normale criterium. Deze toetsingen zijn echter gebaseerd op een meetset aan één treinstel.

Tabel 5.1 Gemeten-,  $L_{diff}$ -gecorrigeerde- en SRM2-berekende geluidrukniveaus, voor een baklengte van 165 m, voor alle relevante snelheden. De tabel toont de gemiddelde overschrijdingen  $\Delta_{gem,c9}$ , met tussen haakjes de gemiddelde overschrijdingen volgens het versoepelde criterium.

Snelheid km/h	ICNG-5	ICNG-8	ICNG-5/8	SRM cat9	$\Delta_{gem,c9}$ dB
	$L_{Aeq,Tp}$ dB(A)	$L_{Aeq,Tp}$ dB(A)	$\langle L_{Aeq,Tp} + Y_{diff} \rangle$ dB(A)	$L_{Aeq,Tp,c9}$ dB(A)	
50	72	75	76	79	0 (0)
80	77	80	81	82	0 (0)
100	80	84	85	84	0,6 (0,3)
140	84	87	89	88	1,1 (0,7)
200	90	92	94	93	1,6 (1,2)
Gemiddeld (50-200 km/h):					<b>0,7 (0,4)</b>

### 5.3 Afwijking spoorconstructie

Formeel dient een procedure A meting te worden uitgevoerd op een spoor met UIC 54 railprofiel. Het gebruikte testspoor heeft een UIC60 railprofiel en raildempers. De buigstijfheid van UIC60 is 30% hoger dan UIC54 en de massa per lengte eenheid 11%.

In Figuur 3.6 is de gemeten gecombineerde overdrachtsfunctie van het testspoor in Vélím vergeleken met een meting aan een Nederlands spoor met UIC54 profiel zonder raildempers. De overdrachten zijn nagenoeg gelijk in het middenfrequente gebied (200-1250 Hz). Dit geeft aan dat het meetspoor in Vélím akoestisch equivalent is aan een UIC54 spoor zonder raildempers. Dit rechtvaardigt ook het SRM model voor de toets in paragraaf 5.2 zonder toepassing van extra raildemper toeslagen.

## 6 Conclusies

Procedure A van de Technische Regeling Emissiemeetmethoden (TR) is toegepast om te beoordelen of het nieuwe ICNG materieel in SRM categorie 9 voor het schijf- en blokgeremde hogesnelheidsmaterieel kan worden ingedeeld voor snelheden tot 200 km/h. Hierbij is gebruik gemaakt van geluid- en trillingsmetingen van Alstom op het testspoor in Vélím, Tsjechië. Daarbij zijn twee ICNG treinstellen met 5 en 8 rijtuigen gemeten bij verschillende snelheden.

Bij de geluidmetingen is aan een aantal in de TR geëiste meetcondities niet voldaan, waarmee apart rekening gehouden is in de beoordeling:

- Het spoortype is UIC60 in plaats van UIC54 en het spoor is uitgerust met raildempers. Het effect op de geluidafstraling is echter voldoende klein vergeleken met Nederlands spoor.
- Voor de snelheid van 140 km/h zijn de passages 2 keer herhaald in plaats van de vereiste 3 keer. Aangezien de passageniveaus voor alle herhalingsmetingen bij alle rijnsnelheden goed reproduceerden, met een standaarddeviatie lager dan 1 dB(A), heeft dit geen effect hebben op het eindresultaat.

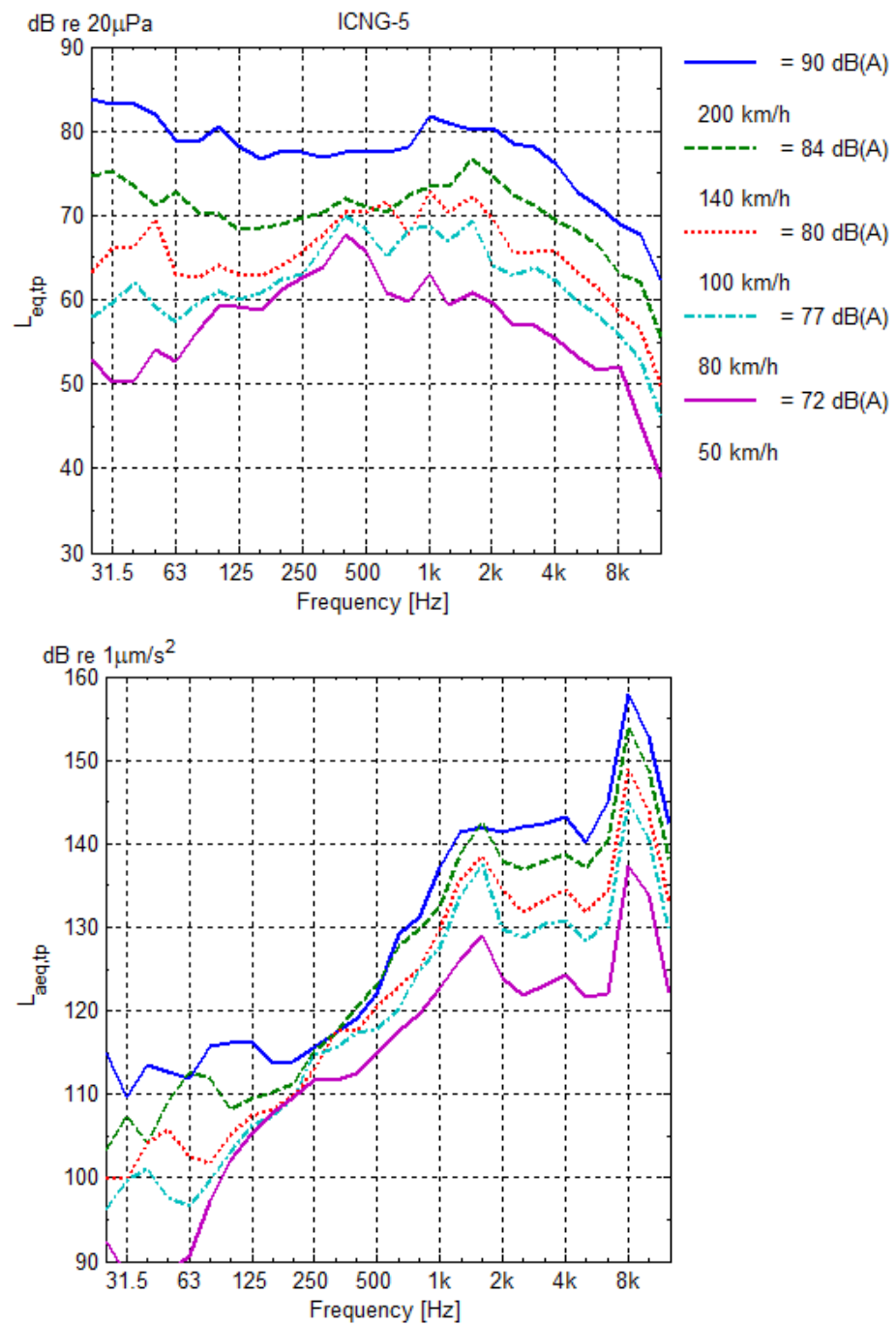
Met inachtneming van deze afwijkingen kan de combinatie ICNG-5 en ICNG-8 worden ingedeeld in categorie 9 van het Standaard Reken- en meetvoorschrift voor snelheden tot 200 km/h. Hierbij is voor de aerodynamische bronnen van de ICNG dezelfde bronhoogteverdeling aangehouden als voor categorie 9. Bij aparte beschouwingen passen ICNG-5 en ICNG-8 ook in categorie 9.

Er is een voorstel gedaan voor de inrichting van het ICNG materieel in categorie 9. Hierbij is de baklengte voor ICNG-5 en ICNG-8 gelijk gehouden. Bij een baklengte gelijk aan de treinlengte van ICNG-8 (165 m), bestaat ICNG-5 uit 0,67 rekeneenheid en ICNG-8 uit 1.

## 7 Referenties

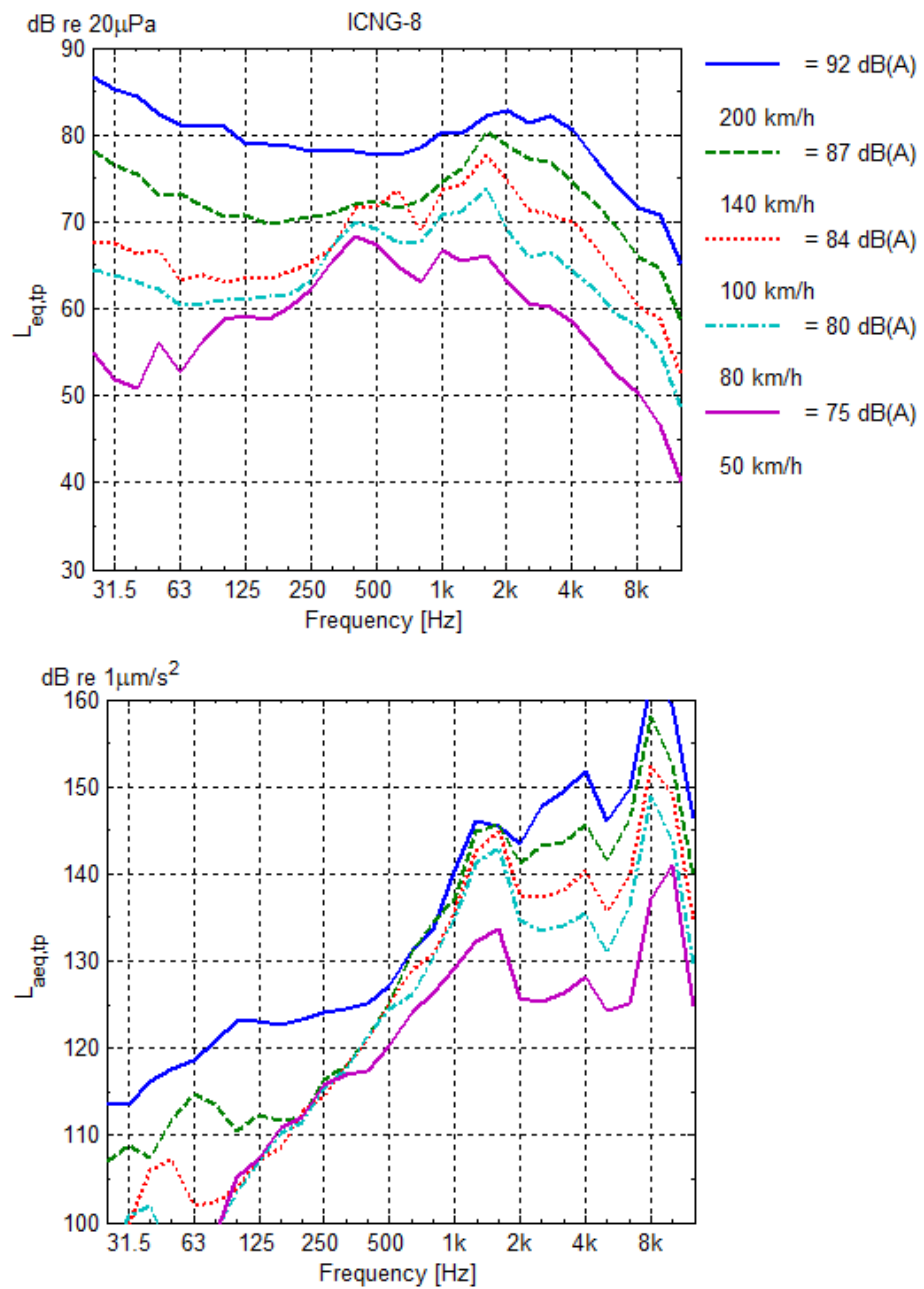
- [1] Reken- en meetvoorschrift Railverkeerslawaaï, Ministerie van VROM, 2012.
- [2] Technische Regeling Emissiemeetmethoden Railverkeer, Ministerie van VROM, 21 december 2006.
- [3] Wolf, M. Voorlopige geluidscategorie indeling ICNG, SII/MW/6320/03-770919, Ricardo Rail, 2020.
- [4] TSI NOI Type Test Exterior, Alstom CORADIA Stream ICNG (5-Car), report P-18-A-1771-RE6-V3, December 17, 2020.
- [5] TSI NOI Type Test Exterior, Alstom CORADIA Stream ICNG (8-Car), P-18-A-1771-RE9-V1, February 01 2021.
- [6] Hejzlar, L., Parameters of the reference section for measurement of acoustic parameters on the track of the large test circuit of VUZ Test Centre Vélím, report TZ 032/2020, mei 2020.
- [7] Test of Acoustic Rail Roughness, report P-18-A-1771-RE8-V1P-18-A-1771-RE8-V1, 18 december 2020.
- [8] Dittrich, M.G., Letourneaux, F., Dupuis, H., Background for a New Standard on Pass-by Measurement of Combined Roughness, Track Decay Rate and Vibroacoustic Transfer Functions, IWRN11 Proceedings, Sweden, September 2013.
- [9] Jansen, H.W., Dittrich, M.G., Beer de, F. Pass-by Analysis Software, Theoretical manual, TNO 2003.
- [10] Thompson, D.J., Railway noise and vibration: mechanisms, modelling and means of control, Elsevier, Great Britain, 2009.
- [11] Janssens, M.H.A. , Dittrich, M.G., de Beer, F.G., Jones, C.J.C.: Railway noise measurement method for pass-by noise, total effective roughness, transfer functions and track spatial decay, Journal of Sound and Vibration 293 (2006) 1007–1028.
- [12] Jansen, H.W., Dittrich, M.G., Separation of rolling noise and aerodynamic noise by in-service measurement of combined roughness and transfer functions on a high speed slab track, Proceedings 10th IWRN, Nagahama, Japan, 2010.
- [13] Jansen, H.W., Dittrich, M.G., Akoestische metingen aan aangepaste ICRm rijtuigen op de Hanzelijn, TNO 2015 R11265A.

## A Geluid- en trillingspectra



Figuur A.1 Gemeten geluidniveaus (boven) en verticale versnellingniveaus (onder) voor de ICNG-5 in tertsbanden bij verschillende snelheden.

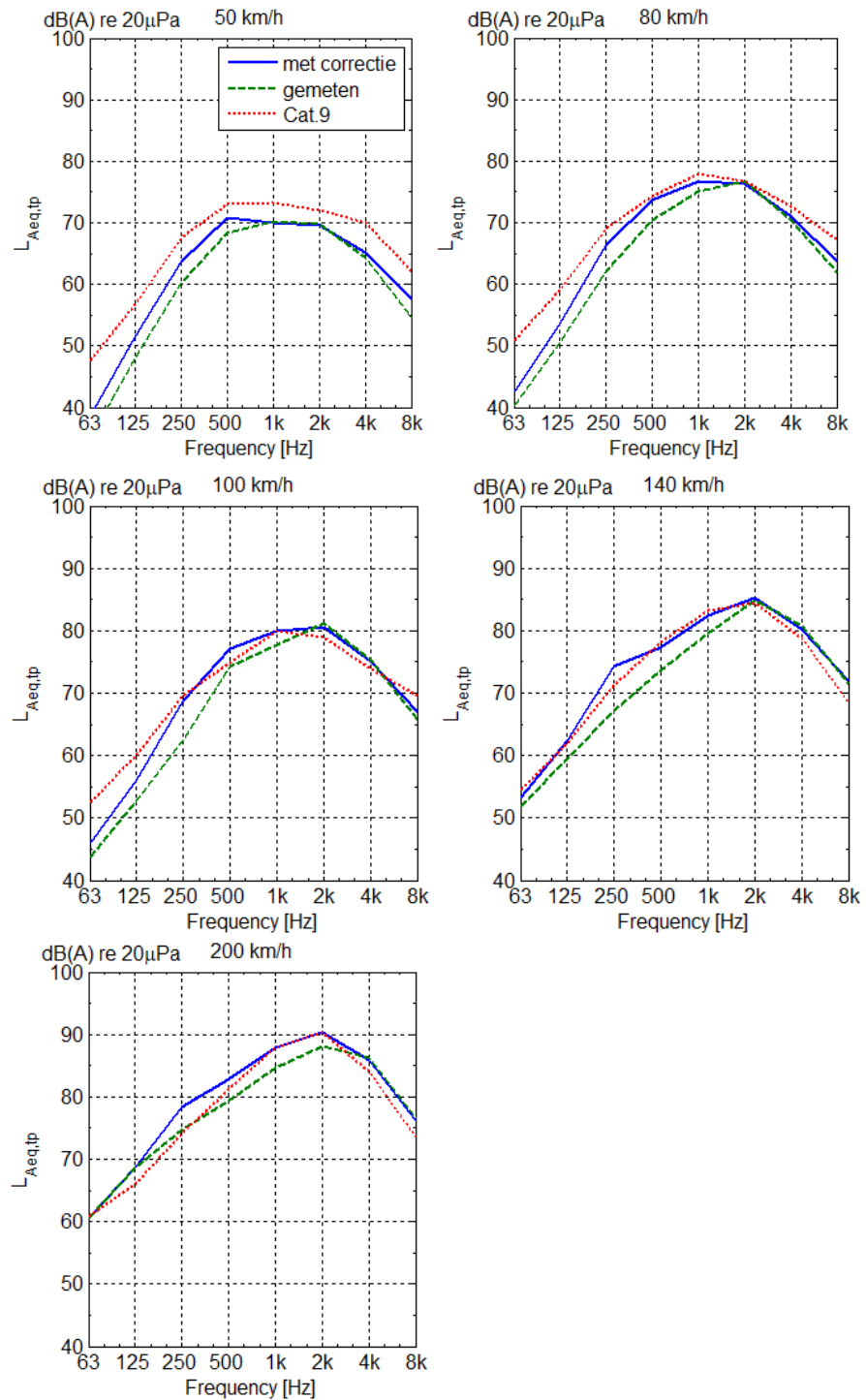




Figuur A.2 Gemeten geluidniveaus (boven) en verticale versnellingniveaus (onder) voor de ICNG-8 in tertsbanden bij verschillende snelheden (data bij 200 en 140 km/h zijn overstuurd).

## B Spectra procedure A

### Combinatie ICNG-5/ICNG-8



Figuur B.1 Gemeten, gecorrigeerde en volgens met SRM berekende passageniveaus voor categorie 9 in tertsbanden bij verschillende snelheden, conform procedure A van de TR.