

Technische Regeling
Emissiemeetmethoden
Railverkeer 2006

Woord vooraf

De emissiekenmerken van een spoorvoertuig of van een spoorconstructie dienen middels metingen te worden bepaald. Voor vrijwel alle van het Nederlandse net gebruikmakende spoorvoertuigen is dit al gebeurd en zijn de kenmerken vastgelegd in de vorm van emissiekentallen in Bijlage IV van het Reken- en Meetvoorschrift geluidhinder 2006.

Voor het bepalen van de eigenschappen van afwijkende spoorvoertuigen en spoorconstructies is in deze technische regeling een aantal meetmethoden opgenomen.

1. Procedure A (eenvoudig). Op basis van deze procedure kan worden vastgesteld of een spoorvoertuig behoort tot een categorie waarvoor de kenmerken al zijn opgenomen in Reken- en Meetvoorschrift Wet geluidhinder.
2. Procedure B. Met deze procedure kunnen de emissiekentallen van spoorvoertuigen worden vastgesteld.
3. Procedure C. Met deze procedure kunnen correctietermen voor nieuwe types bovenbouw worden bepaald.

Deze technische regeling beschrijft deze drie procedures.

Deze regeling is tot stand gekomen onder verantwoordelijkheid van de CROW-stuurgroep Reken- en Meetvoorschriften. Bij de samenstelling van deze regeling waren onder meer de volgende deskundigen betrokken:

- dr. G.J. van Blokland, *M+P*
- ir. M.G. Dittrich, *TNO*
- ir. R. van Haaren, *DHV*
- ir. J. Hooghwerff, *M+P*
- ir. L.J.M. Jacobs, *Ministerie van VROM*
- ir. G. Janssen, *dBvision*
- ir. P. van Wijngaarden, *ProRail*

De begeleiding vanuit CROW werd verzorgd door ir. M.J. Eijbersen.

Inhoud

Woord vooraf	2
1 Inpassing in bestaande categorieën - Procedure A	4
1.1 Inleiding	4
1.2 Passagemetingen bij constante snelheid	4
1.3 Rapportage	5
2 Uitgebreide emissiemeetmethode - Procedure B.....	6
2.1 Inleiding	6
2.2 Opzet van de metingen.....	6
2.3 Bepaling van het tractiegeluid.....	9
2.4 Bepaling van het rolgeluid	10
2.4.1 Bepaling van de effectieve railruwheid	12
2.4.2 Bepaling van de gemiddelde totale effectieve ruwheid (meting).....	13
2.4.3 Bepaling van de effectieve wielruwheid van het materieel (berekening) ..	13
2.4.4 Bepaling van de totale effectieve ruwheid op gemiddeld Nederlands spoor (berekening)	14
2.4.5 Bepaling van de spoor- en voertuigbijdragen voor rolgeluid (meting en berekening)	14
2.4.6 Bepaling van de spooroverdrachtfunctie en de voertuigoverdrachtfunctie (berekening)	15
2.4.7 Bepaling van de bijdragen van spoor en voertuig (berekening).....	15
2.5 Bepaling van het aerodynamische geluid	16
2.6 Bepaling van het remgeluid	17
2.7 Bepaling van de emissiekentallen	18
2.7.1 Voor dB(A)-emissiegetallen	18
2.7.2 Emissiekentallen in octaafbanden	19
2.8 Rapportage	20
3 Methoden ter bepaling van wiel- en railruwheid	22
3.1 Bepaling relatie tussen verticale railtrilling en totale ruwheid	22
3.2 Gemiddelde railruwheid van het Nederlandse net.....	24
3.3 Bepaling van de overdracht van een spoor met een referentievoertuig	26
4 Meetmethode bovenbouw - Procedure C.....	28
4.1 Inleiding	28
4.2 Opzet van de metingen.....	28
4.3 Bepaling van de bovenbouwcorrectie termen.....	30
4.4 Rapportage	31
5 Toelichting.....	32
5.1 Procedure A: Eenvoudige methode (hoofdstuk 1).....	32
5.2 Procedure B: Uitgebreide emissiemeetmethode (hoofdstuk 2)	32
5.3 Methoden ter bepaling van wiel- en railruwheid (hoofdstuk 3)	36
5.4 Meetmethode bovenbouw (hoofdstuk 4)	37

1 Inpassing in bestaande categorieën - Procedure A

1.1 Inleiding

Deze procedure is bestemd voor de bepaling of een spoorvoertuig behoort tot een bestaande spoorvoertuigcategorie zoals beschreven in Bijlage IV van het Reken- en Meetvoorschrift Wet geluidhinder.

1.2 Passagemetingen bij constante snelheid

Er wordt gemeten op een ballastspoor met 54E1-rails op monoblok of duoblok dwarsliggers en onderlegplaatjes met een statische stijfheid van 300-500 kN/mm bij 60 kN voorlast (bijvoorbeeld type FC9/Tiflex/4,5mm/Kurkrubber). De railruwheid wordt gemeten en moet liggen onder de gemiddelde railruwheid van het Nederlandse spoornet $L_{tr,NL}$ zoals deze gegeven is in tabel 3.5.

Het spoor moet in een goede staat van onderhoud verkeren. De hellingshoek mag maximaal 1:100 bedragen en de kromtestraal moet minstens 5000 m zijn. Binnen een afstand van 25 m aan weerszijden van de meetlocatie mogen geen railonderbrekingen, lassen, loopvlakbeschadigingen of losse dwarsliggers voorkomen, die stootgeluid kunnen veroorzaken.

De conditie van de trein, de meetlocatie, meetomstandigheden en meetapparatuur moeten voldoen aan de beschrijving in paragraaf 2.2. De meetapparatuur bestaat uit een geluidniveaumeter geschikt voor octaafbandanalyse.

Het A-gewogen equivalente geluiddrukkniveau in octaafbanden $L_{pAeq,Tp,i}$ wordt op één meetdoorsnede gemeten op een afstand van 7,5 m uit het spoormiddenlijn en 1,2 m hoogte boven bovenkant spoorhoogte (BS). De meettijd is de passagetijd T_p van buffer tot buffer ($T_p = \text{treinlengte/snelheid}$). Er wordt gemeten bij constante snelheid, liggend in achtereenvolgens de volgende snelheidsgebieden (voor zover niet boven de maximumsnelheid):

1. Maximumsnelheid
2. 40-65 km/h (voorkeurssnelheid 50 km/h)
3. 65-90 km/h (voorkeurssnelheid 80 km/h)
4. 90-120 km/h (voorkeurssnelheid 100 km/h)
5. 120-160 km/h (voorkeurssnelheid 140 km/h)
6. 160-220 km/h (voorkeurssnelheid 200 km/h)
7. >220 km/h

De snelheden per gebied moeten minimaal 10% van elkaar verschillen. Voor getrokken materieel zonder tractie kan gebied 2 worden weggelaten. Per snelheidsgebied worden ten minste drie passages gemeten.

Een voertuig wordt tot een categorie toegelaten indien het gemeten geluiddrukkniveau $L_{peq,Tp,i}(v)$ op 7,5m bij iedere meetsnelheid v verhoogd met een toeslagterm $L_{diff,i}$ onder het volgens SRM2 berekende niveau $L_{peq,Tp,i,berekend}(v)$ ligt:

$$(1.1) \quad L_{peq,Tp,i}(v) + L_{diff,i} < L_{peq,Tp,i,berekend}(v)$$

$L_{diff,i}$ is een railruwheidstoetslag van het testspoor ten opzichte van gemiddeld spoor en wordt als volgt bepaald:

- $L_{diff,i} = 1$ bij snelheden waarbij rolgeluid domineert en de wielen beremd zijn met gietijzeren remblokken;
- $L_{diff,i} = 1$ bij snelheden waarbij tractiegeluid of aerodynamisch geluid domineert;
- $L_{diff,i} = 1 + Y_i(v)$ bij snelheden waarbij het rolgeluid domineert en de wielen **niet** met gietijzeren remblokken beremd zijn. Y_i is gedefinieerd als

$$(1.2) \quad Y_i(v) = L_{rtr,NL,i}(v) \oplus L_{rveh,i,c}(v) - L_{rtr,i}(v) \oplus L_{rveh,i,c}(v)$$

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

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

De gemiddelde railruwheid van het Nederlandse spoornet $L_{rtr,nl,i}(v)$ staat in tabel 3.5 (deze wordt energetisch gesommeerd naar octaafbanden). De gemeten wielruwheid $L_{rveh,i,c}$ wordt gebruikt indien beschikbaar. Anders worden default wielruwheden gebruikt uit tabel 3.5 behorende bij bekende treincategorieën.

Overschrijding in het niveau per octaafband (1.1) is toegestaan mits het gemiddelde van de overschrijdingen Δ_{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 (geen overschrijding) voor het verschil de waarde nul gehanteerd:

$$(1.3) \quad \Delta_{gem} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \max(\Delta_{i,j}, 0) \right]$$

Als er minstens vijf voertuigen worden getest en als deze al minstens 10.000 km hebben afgelegd onder normale bedrijfscondities, geldt de volgende versoepeling:

- $L_{diff,i}$ wordt met 1 dB verminderd;
- In (1.1) - (1.3) blijven de octaafbanden 63, 125 en 8000 Hz buiten beschouwing.

1.3 Rapportage

De rapportage bestaat uit de items vermeld in paragraaf 2.8 met uitzondering van items 6, 15, 16 en 17, 18 en 19. Verder wordt het gemeten geluiddrukkniveau in octaven voor alle gemeten snelheden weergegeven en vergeleken met de spectrale gegevens van de categorie waaraan het materieel zal worden toegekend. De railruwheidstoetslag $L_{diff,i}$ wordt vermeld, met een onderbouwing van de gemaakte keus voor $L_{diff,i}$.

2 Uitgebreide emissiemeetmethode - Procedure B

2.1 Inleiding

Deze procedure is bestemd voor de bepaling van de emissiekentallen voor nieuw materieel. De gegevens kunnen pas worden toegepast nadat de Minister van VROM daarvoor toestemming heeft gegeven.

2.2 Opzet van de metingen

Aantal en conditie van de spoorvoertuigen

Voor goederenwagons en ander getrokken materieel worden minstens vier exemplaren getest. Voor locomotieven en samengestelde treineenheden worden minimaal twee exemplaren getest, hetzij als één trein, hetzij in aparte passages, waarbij achteraf wordt gemiddeld. Indien het te meten materieel onderdeel van een trein met ander materieel uitmaakt, dient te worden gelet op de invloed van aangrenzende voertuigen.

De spoorvoertuigen moeten minstens 10.000 km hebben afgelegd onder normale bedrijfscondities, met het remsysteem ingeschakeld. Hierbij moeten ten minste 50 normale remmingen tot aan stilstand zijn uitgevoerd. Bovendien moeten er minimaal 20 snelremmingen zijn uitgevoerd, eveneens tot aan stilstand.

De spoorvoertuigen moeten onbeladen en met gesloten ramen en deuren worden bemeten. Tractievoertuigen zoals locomotieven dienen met een normale treklast te worden voorzien. Hulpapparatuur die normaliter in bedrijf is, dient ook tijdens de metingen aan te staan.

Specificatie van het te gebruiken spoor

Er wordt gemeten op een ballastspoor met 54E1-rails op monoblok of duoblok dwarsliggers en onderlegplaatjes met een statische stijfheid van 300-500 kN/mm bij 60 kN voorlast (bijvoorbeeld type FC9/Tiflex/4,5mm/Kurkrubber). De railruwheid wordt gemeten en moet liggen onder de gemiddelde railruwheid van het Nederlandse spoornet $L_{tr,NL}$ zoals deze gegeven is in tabel 3.5.

Het spoor moet in een goede staat van onderhoud verkeren. De hellingshoek mag maximaal 1:100 bedragen en de kromtestraal moet minstens 5000 m zijn. Binnen een afstand van 25 m aan weerszijden van de meetlocatie mogen geen railonderbrekingen, lassen, loopvlakbeschadigingen of losse dwarsliggers voorkomen, die stootgeluid kunnen veroorzaken.

De akoestische omgeving

De meetomgeving moet vrije veld condities bieden. De bodem moet vrij zijn van obstakels en er mogen zich geen reflecterende objecten in de omgeving bevinden zoals muren, gebouwen, hellingen of bruggen. Het spoor moet gelegen zijn in een vlakke omgeving. Er mogen zich geen obstakels bevinden in de nabijheid van de meetmicrofoons, die het geluidveld kunnen verstoren, zoals bijvoorbeeld personen. Ook de waarnemer mag zich niet op een positie bevinden, waar de geluidsmeting wordt beïnvloed. De bodem tussen het spoor en de meetmicrofoon moet zover mogelijk vrij zijn van sterk absorberende oppervlakken zoals sneeuw, hoog gras, andere sporen, of sterk reflecterende oppervlakken zoals water. Een ballastlaag van 10 cm of meer is toegestaan. De bodem wordt beschreven in het meetrapport.

Meteorologische omstandigheden en achtergrondniveau

Metingen mogen alleen plaatsvinden bij windsnelheden onder 5 m/s en als er geen neerslag is (regen of sneeuw). Het spoor moet droog, sneeuw- en ijsvrij zijn. Temperatuur, luchtvochtigheid, luchtdruk, windsnelheid en windrichting worden geregistreerd tijdens de metingen en vastgelegd in het rapport.

Achtergrondgeluid dat de metingen kan beïnvloeden moet tot een minimum worden gereduceerd. Het gemeten geluidsdrukniveau moet minstens 10 dB boven het achtergrondniveau liggen in alle octaaf- en 1/3-octaaftanden liggen.

Te meten grootheden en meetpositie

De meetpositie verschilt per type meting, en is in de betreffende paragraaf vermeld. De microfoon wordt horizontaal opgesteld gericht naar het spoor. Het geluidsdrukniveau wordt als tijdsignaal vastgelegd en uitgewerkt als equivalent ongewogen 1/3-octaafspectrum en octaafspectrum L_{peq, T_p} . Ook het totale ongewogen en A-gewogen niveau en de meettijd T_p worden vastgelegd. De meettijd T_p is de passagetijd van buffer tot buffer en gelijk aan de treinlengte gedeeld door de rijnsnelheid.

Voor materieel met tractie- of aerodynamische bronnen kunnen ook bijzondere metingen nodig zijn voor bronhoogtebepaling. Dit staat in de betreffende paragrafen.

Voor de bepaling van rolgeluid worden ook railtrillingen gemeten. Dit wordt in paragraaf 2.4 omschreven.

De rijnsnelheid wordt gemeten met behulp van een radar-doppler systeem of een systeem met een vergelijkbare nauwkeurigheid. Beneden de 100 km/h moet de gemeten rijnsnelheid binnen 3 km/h van de te rapporteren snelheid liggen; bij snelheden van 100 km/h en meer moet de gemeten snelheid binnen 5 km/h van de te rapporteren snelheid liggen.

Meetapparatuur

Voor de metingen zijn microfoons en trillingsopnemers met meetketen, een meerkanaals 1/3-octaafs en octaafanalysator en meerkanaals opnameapparatuur nodig. De trillingsopnemers dienen tegen vocht bestand te zijn en goed te worden bevestigd. De meetketens moeten goed worden afgesteld in verband met mogelijke oversturing van het meetsignaal.

Alle meetapparatuur waaronder analysatoren, kabels en recorders dient te voldoen aan de eisen voor 'type I' apparatuur volgens NEN-EN-IEC 61260. Microfoons dienen gekalibreerd te zijn met een nagenoeg vlakke frequentie karakteristiek in het vrije veld. De 1/3-octaaftfilters en octaafilters moeten voldoen aan NEN-EN-IEC 61260. De microfoons moeten van een windkap voorzien zijn. Vóór en na iedere meetserie worden de meetketens van de microfoons en de trillingsopnemers gekalibreerd met behulp van kalibratoren met een nauwkeurigheid van minstens $\pm 0,3$ dB (klasse 1 volgens HD 556 S1), bij één of meerdere frequenties in het relevante frequentiegebied. Meetresultaten moeten worden verworpen indien een verschil van meer dan 0,5 dB in de kalibratie optreedt. Het frequentiegebied is 20-10000 Hz. De kalibratoren moeten minstens eenmaal per jaar te worden gecontroleerd volgens HD 556 S1. De instrumentatie moet minstens tweejaarlijks worden gecontroleerd volgens NEN-EN-IEC 61260. De datum van de laatste kalibratie wordt gerapporteerd.

Definities

v	= rijsnelheid [km/h]
f	= frequentie [Hz]
λ	= golflengte van directe en effectieve ruwheden [m]
$L(f)$	= niveau in 1/3-octaaftband met frequentie f , volgens EN ISO 266
L_i	= niveau in octaafband i , waarbij $i = 1, 2, \dots, 8$ met bandfrequenties 63, 125, 250, 500, 1k, 2k, 4k, 8kHz
L_{ptot}	= totale geluidrukniveau van een passage [dB re $2 \cdot 10^{-5}$ Pa]
L_{pveh}	= equivalent geluidrukniveau van een passage, deelbijdrage van het voertuig [dB re $2 \cdot 10^{-5}$ Pa]
L_{pveh1}	= equivalent geluidrukniveau van een passage, tractiegeluid van het voertuig [dB re $2 \cdot 10^{-5}$ Pa]
L_{pveh2}	= equivalent geluidrukniveau van een passage, rolgeluid van het voertuig [dB re $2 \cdot 10^{-5}$ Pa]
L_{pveh3}	= equivalent geluidrukniveau van een passage, aerodynamisch geluid van het voertuig [dB re $2 \cdot 10^{-5}$ Pa]
L_{ptr}	= equivalent geluidrukniveau van een passage, deelbijdrage van het spoor [dB re $2 \cdot 10^{-5}$ Pa]
L_{rtot}	= totale effectieve ruwheidniveau van wiel en rail [dB re 1 micron]
L_{rveh}	= gemiddelde effectieve wielruwheidniveau van het voertuig [dB re 1 micron]
L_{rtr}	= gemiddelde effectieve railruwheidniveau van het spoor [dB re 1 micron]
$L_{rtr,dir}$	= gemiddelde directe railruwheidniveau van het spoor, zoals gemeten met een taster-meetsysteem [dB re 1 micron]
$L_{rtr,NL}$	= landelijk gemiddelde effectieve railruwheidniveau van het spoor [dB re 1 micron]
$L_{Hpr,veh}$	= overdrachtfunctie van effectieve ruwheid naar geluiddruk op de microfoonpositie bij geluidafstraling van het voertuig [dB re $20 \text{ Pa}/\sqrt{m}$]
$L_{Hpr,tr}$	= overdrachtfunctie van effectieve ruwheid naar geluiddruk op de microfoonpositie bij geluidafstraling van het spoor [dB re $20 \text{ Pa}/\sqrt{m}$]
$L_{Hpv,tr}$	= overdracht van verticale railkoptrilling naar geluiddruk op de microfoonpositie bij geluidafstraling van het spoor [dB re $20 \text{ Pa}/m/s$]
L_v	= equivalent niveau van verticale railkoptrilling, trillingsnelheid [dB re 10^{-6} m/s]
D_s	= afstandsdemping van het spoor, verticaal [dB/m]
E	= emissiegetal of emissieterm [dB(A)]
N_{as}	= aantal assen [-]

l_{veh} = voertuiglengte [m]
 \oplus = energetische sommatie: $x \oplus y = 10 \lg (10^{x/10} + 10^{y/10})$

2.3 Bepaling van het tractiegeluid

Indien het materieel eigen tractie heeft, zoals bijvoorbeeld bij locomotieven en treinen met vaste samenstelling en aangedreven draaistellen, moet het tractiegeluid apart worden gemeten. Tractiegeluid omvat ook het geluid van hulpapparatuur dat tijdens het rijden normaliter in bedrijf is. Voorbeelden van tractiegeluidbronnen zijn dieselmotoren, tandwieloverbrengingen en koelventilatoren.

Voor losse locomotieven wordt *maximaal optrekkend* vanaf stilstand tot 60 km/h gemeten. Voor locomotieven wordt op twee meetdoorsnedes gemeten, op 5 m, 20 m en indien nodig op 30m vóór het voertuig uit (gerekend vanaf de buffer). De snelheid bij het inrijden van de twee doorsnedes wordt geregistreerd. Het meetinterval duurt vanaf de start totdat de achterkant van het voertuig de microfoonddoorsnede 20 meter gepasseerd is. Er wordt gemeten optrekkend vanaf stilstand, en bovendien vanaf een startsnelheid van 20 en 40 km/h.

Materieel met eigen tractie wordt bij *constante snelheid* gemeten met als voorkeursnelheden 30 en 50 km/h. Daarbij dient het tractiesysteem vermogen te leveren zoals dat onder stabiele omstandigheden op vlak spoor het geval zou zijn. Daarbij zal een dieselaandrijving op een gemiddeld toerental draaien, echter niet het minimumtoerental. Materieel met eigen tractie wordt op één meetdoorsnede gemeten. In alle gevallen worden twee passages gemeten, waarvan de resultaten worden gemiddeld.

Het equivalente geluidsdrukniveau ten gevolge van tractie in octaven $L_{pveh1,i}$ wordt gemeten op 1,2 m boven BS en 7,5 m uit de centerlijn van het spoor. De meettijd is gelijk aan de passagetijd T_p .

De metingen worden per snelheid gemiddeld. Uit de gemiddelde spectra van de metingen op 7,5 m afstand wordt een spectrum als functie van treinsnelheid v bepaald met behulp van interpolatie:

$$(2.1) \quad L_{veh,i} = x_1(i) + y_1(i) \lg(v)$$

waarbij:

$L_{pveh1,i}$ = equivalent geluidsdrukniveau op 7,5 m ten gevolge van tractie in octaafband i ;
 $x_1(i)$ en $y_1(i)$ = constanten per octaafbandnummer die het lineaire verband tussen geluidsdrukniveau en $\lg(v)$ beschrijven.
 v = snelheid in km/h

Dit spectrum wordt voor de bepaling van de emissiekentallen geëxtrapoleerd naar hogere snelheden, tenzij op andere gronden bekend is hoe het tractiegeluid van de rijsnelheid afhangt. Er dient op te worden gelet dat het tractiegeluid overheerst ten opzichte van het rolgeluid.

Bronhoogtebepaling

Het tractiegeluid wordt toegekend aan verschillende bronhoogtes: ashoogte (0,5 m), 2 m of 4 m boven BS. De bronhoogtes kunnen worden vastgesteld op grond van bekende posities van fysieke bronnen, maar soms zijn speciale metingen nodig om dit objectief vast te stellen. Voor materieel met tractie en bronnen op ashoogte wordt een hoogte genomen van 0,5 m. Sommige bronnen moeten worden verdeeld over twee of meerdere hoogtes. De energetische sommatie van de deelbronnen $L_{pveh1,i}(h)$ moet overeenkomen met het totale niveau. Het tractiegeluid als functie van hoogte wordt aangeduid als octaafspectrum $L_{pveh1,i}(h)$, waarbij $h = 0,5$ m, 2 m of 4 m.

Tractiegeluidbronnen kunnen op meerdere hoogtes voorkomen, zoals bijvoorbeeld bij dieselloks of dieseltreinstellen, waar de uilaat, de inlaat en de motorruimte zelf een bron kunnen zijn. Bij elektrisch aangedreven materieel kunnen de inlaat en uitlaat van het koelsysteem een geluidbron op verschillende hoogtes hebben.

Een mogelijkheid om de bronhoogte te bepalen is door middel van een microfoonarraymeting. Een andere optie is een meting met twee microfoons op kortere afstand, bijvoorbeeld 4m, op een hoogte van 1,2 m en 4,5 m boven BS respectievelijk.

Indien de veiligheid het toestaat, verdient het de voorkeur om de bronhoogtebepaling uit te voeren door een meting op minder dan 4 m afstand, bijvoorbeeld door te meten op 2 meter afstand. De bronhoogte wordt gekozen afhankelijk van de maximum octaafbandwaarde uit de beide microfoonposities. Indien de octaafbandwaarde op 4,5 m hoger is dan op 1,2 m, wordt de bronhoogte voor de betreffende octaafband op 4 m gesteld. Als de octaafbandwaarde op 4,5 m gelijk is aan die op 1,2 m wordt de bron over 2 m en 4 m verdeeld. Als de octaafbandwaarde op 4,5 m kleiner is aan die op 1,2 m wordt de bron op 2 m gesteld.

2.4 Bepaling van het rolgeluid

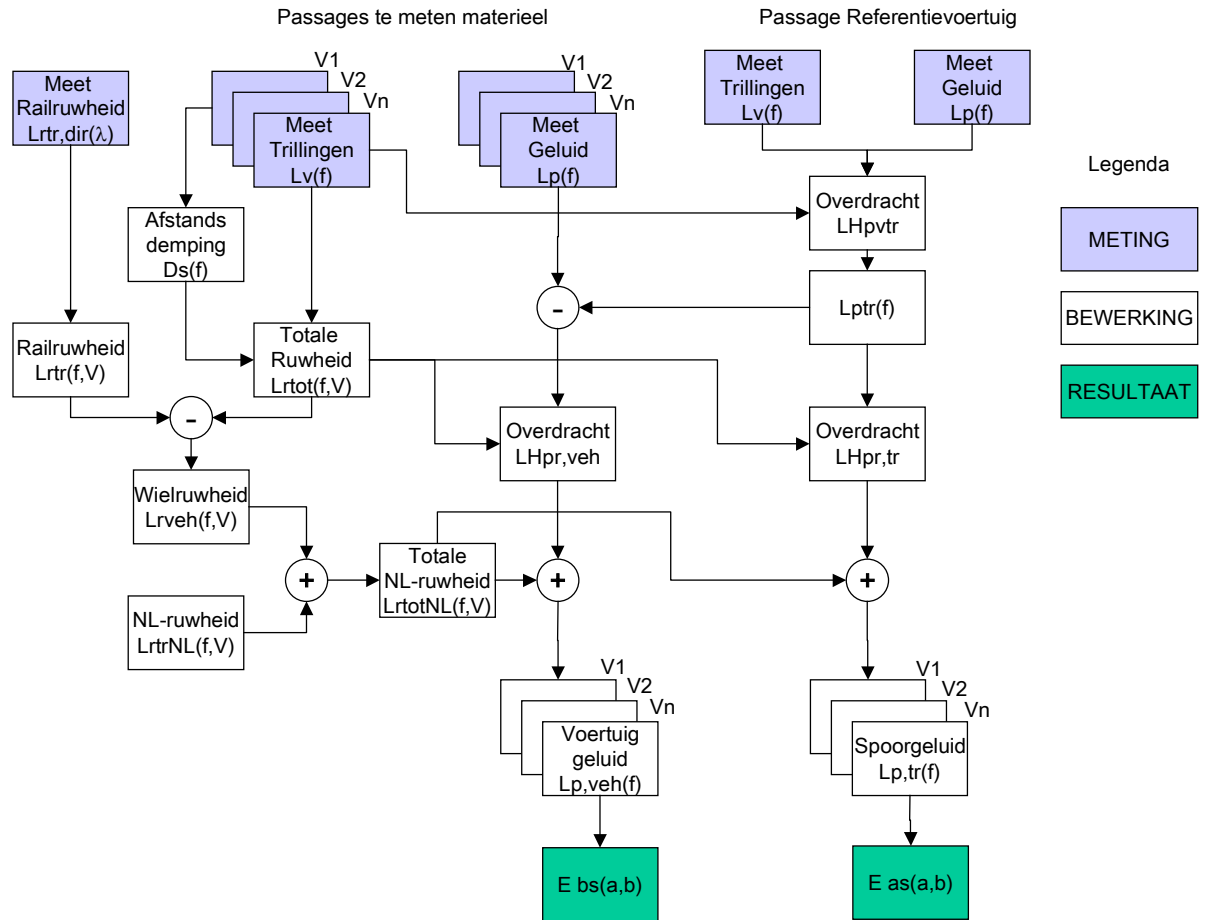
Voor de bepaling van het totale rolgeluid, wordt uitgegaan van vier kerngegevens:

1. wielruwheid
2. overdracht wiel → geluid
3. railruwheid
4. overdracht rail → geluid voor een bovenbouw van betonnen dwarsliggers in ballastbed

Deze kerngegevens worden uit meetgegevens herleid.

Een belangrijke kenmerk van de Procedure B is dat de railruwheid ter plaatse van de metingen wordt vervangen door de gemiddelde ruwheid op het Nederlandse net.

De afleiding van de vier hierboven genoemde kerngegevens en de correctie van railruwheid op de meetlocatie naar NL-ruwheid gebeurt in een aantal stappen. In onderstaand stroomschema is een overzicht van deze stappen weergegeven.



Figuur 2.1 Stroomschema van de behandeling van rolgeluid: van meetgegevens naar emissiegetallen.

De details van alle bewerkingsstappen zijn uitgewerkt in de paragrafen 2.4.1 tot en met 2.4.7.

Er wordt gemeten bij constante snelheid, liggend in achtereenvolgens de volgende snelheidsgebieden (voor zover niet boven de maximumsnelheid):

1. Maximumsnelheid
2. < 40 km/h (voorkeurssnelheid 30 km/h)
3. 40-65 km/h (voorkeurssnelheid 50 km/h)
4. 65-90 km/h (voorkeurssnelheid 80 km/h)
5. 90-120 km/h (voorkeurssnelheid 100 km/h)
6. 120-160 km/h (voorkeurssnelheid 140 km/h)
7. 160-220 km/h (voorkeurssnelheid 200 km/h)
8. >220 km/h

De snelheden per gebied moeten minimaal 10% van elkaar verschillen. Voor getrokken materieel zonder tractie kunnen de gebieden 2 en 3 worden weggelaten. Aanbevolen wordt om voor rol-, rem- en tractiegeluid zoveel mogelijk dezelfde meetsnelheden te hanteren.

De geluidsdruk wordt gemeten op 7,5 meter uit de middenlijn van het spoor en op 1,2 m ± 0,2 m hoogte ten opzichte van het loopvlak van de rails.

Indien tractiegeluid of andere bronnen bij genoemde snelheden domineren, dient de meting te worden uitgevoerd met uitgeschakelde tractiesysteem (getrokken materieel of uitgeschakelde tractie).

Er wordt op drie doorsneden langs het spoor gemeten op een onderlinge afstand van 10 tot 25 meter langs het spoor. De resultaten van deze doorsneden worden gemiddeld. Als alternatief kan op één doorsnede worden gemeten en worden gemiddeld over drie passages.

Het railtrillingsniveau wordt gemeten verticaal onder de railvoet, zo dicht mogelijk bij de dwarsligger op iedere meetdoorsnede. Het trillingsniveau wordt als tijdsignaal vastgelegd en uitgewerkt als equivalent ongewogen 1/3-octaafspectrum van het snelheidsniveau L_{veq} gedurende de meettijd T_p . Bij ten minste één meting worden beide rails gemeten om eventuele verschillen uit te middelen. Als uit één passage van de testvoertuigen blijkt dat de verschillen in trillingsniveau binnen ± 2 dB liggen, kan verder worden volstaan met trillingsmetingen aan de rail aan de kant van de meetmicrofoon. Als verschillen van meer dan 2 dB in trillingsniveau optreden tussen beide rails, moet het gemiddelde van de twee signalen worden genomen.

2.4.1 Bepaling van de effectieve railruwheid

De railruwheid L_{rtr} van de meetlocatie wordt gemeten in 1/3-octaven volgens de procedures omschreven in NEN-EN-ISO 3095:2005. De metingen mogen niet ouder zijn dan zes maanden. De railruwheid wordt in deze norm als functie van de golflengte gemeten.

Bij een snelheidsbereik van 20 km/h tot 250 km/h zou de railruwheid bekend moeten zijn voor golflengtes tussen 0,055 cm en 140 cm. State-of-the-art railruwheidsmeetsystemen leveren echter ruwheidsdata in een golflengtebereik van 0,16 cm tot 25 cm. Ontbrekende data mag door middel van extrapolatie worden bepaald.

De gemeten directe railruwheid dient te worden omgezet naar een effectieve railruwheid door te corrigeren met een contactfilter. Dit wordt gedaan in het golflengte domein. Een directe ruwheidsmeting geeft de directe ruwheid als functie van de golflengte. Hier wordt de weging van het contactfilter op toegepast:

$$(2.2) \quad L_{rtr}(\lambda) = L_{rtr,dir}(\lambda) + A_3(\lambda)$$

waarbij:

$L_{rtr}(\lambda)$ = effectieve railruwheid

$L_{rtr,dir}(\lambda)$ = directe railruwheid

$A_3(\lambda)$ = conversiespectrum als gevolg van het contactfilter, zie tabel 2.1.

Het is ook toegestaan andere specifieke gegevens te gebruiken voor de bepaling van het effect van het contactfilter als deze beschikbaar zijn.

De gevonden effectieve railruwheid als functie van de golflengte uit vergelijking (2.2) wordt geconverteerd naar een effectieve ruwheid als functie van de frequentie volgens de procedure uit paragraaf 3.1. Dit dient voor iedere rijnsnelheid te worden uitgevoerd.

Tabel 2.1 Conversiespectrum $A_3(\lambda)$ (contactfilter) als functie van de golflengte λ voor verschillende wieldiameters en wiellast

Golflengte [cm]	360 mm / 50 kN	680 mm / 50 kN	920 mm / 50 kN	920 mm / 25 kN	920 mm / 100 kN
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12,5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	-0.2	0.0	-0.2
6,3	0.0	-0.2	-0.5	-0.2	-0.6
5	-0.2	-0.4	-1.1	-0.5	-1.3
4	-0.5	-0.7	-1.9	-0.9	-2.2
3,15	-1.2	-1.5	-3.3	-1.6	-3.7
2,5	-2.0	-2.8	-5.0	-2.5	-5.8
2	-3.0	-4.5	-7.3	-3.8	-9.0
1,6	-4.3	-7.0	-9.8	-5.8	-12.5
1,25	-6.0	-10.3	-12.5	-8.5	-13.5
1	-8.4	-12.9	-13.8	-11.4	-13.5
0,8	-11.3	-13.6	-13.7	-12.6	-15.3
0,63	-11.9	-14.5	-15.1	-13.5	-16.4
0,5	-12.5	-15.5	-16.5	-14.5	-17.5
0,4	-13.9	-16.0	-16.4	-16.0	-18.4
0,315	-15.5	-16.5	-17.5	-16.5	-19.5
0,25	-17.0	-17.0	-17.8	-17.7	-20.5
0,2	-18.4	-17.5	-18.3	-18.6	-21.5
0,16	-19.9	-18.0	-18.8	-19.6	-22.4
0,125	-21.5	-18.5	-19.4	-20.6	-23.5
0,1	-22.9	-19.0	-19.8	-21.6	-24.5
0,08	-24.4	-19.5	-20.3	-22.6	-25.4
0,0063	-27.4	-20.5	-21.4	-24.6	-27.5
0,05	-28.9	-21.0	-21.8	-25.6	-28.4

2.4.2 Bepaling van de gemiddelde totale effectieve ruwheid (meting)

De gemiddelde totale effectieve ruwheid L_{tot} wordt herleid uit de verticale railtrilling van de railkop $L_v(f)$ in 1/3-octaven bij bepaalde treinsnelheid zoals omschreven in paragraaf 3.1.

Bij een snelheidsbereik van 20 km/h tot 250 km/h dient de railruwheid bekend te zijn voor golflengtes tussen 0,055 cm en 140 cm. Ontbrekende data dient door middel van extrapolatie te worden bepaald.

2.4.3 Bepaling van de effectieve wielruwheid van het materieel (berekening)

De gemiddelde effectieve wielruwheid van het materieel in 1/3-octaven $L_{r,veh}$ wordt herleid uit de totale effectieve ruwheid L_{tot} , en de uit meting bepaalde effectieve railruwheid L_{tr} :

$$(2.3) \quad L_{veh}(f) = 10 \lg(10^{L_{tot}(f)/10} - 10^{L_{rtr}(f)/10})$$

Als $L_{tot}(f) - L_{rtr}(f) < 1$ of negatief is dan wordt per frequentieband gesteld

$$(2.4a) \quad L_{veh}(f) = L_{tot}(f) - 7.$$

én

$$(2.4b) \quad L_{rtr}(f) = L_{tot}(f) - 1$$

De vergelijkingen (2.3) en (2.4a,b) zijn dusdanig dat de energetische som van wiel- en railruwheid steeds de totale effectieve ruwheid oplevert.

Het is ook toegestaan de wielruwheid direct te meten. Dit dient te geschieden op vergelijkbare wijze als bij de directe railruwheid, met een mechanische taster. De directe wielruwheid moet van minstens drie wielen per voertuig worden gemeten en steeds op drie parallelle lijnen op het loopvlak; in het midden van het loopvlak en op 10 mm aan weerszijden. Er wordt steeds gemiddeld over minstens drie omwentelingen. Al deze directe ruwheden worden weer als direct ruwheidsspectrum gemiddeld om een gemiddelde directe wielruwheid van het voertuig te verkrijgen. De direct gemeten wielruwheden dienen te worden omgezet naar effectieve ruwheden, analoog aan formule (2.2).

Bij een snelheidsbereik van 20 km/h tot 250 km/h dient de wielruwheid bekend te zijn voor golflengtes tussen 0,055 cm en 140 cm. Ontbrekende data dient door middel van extrapolatie te worden bepaald.

2.4.4 Bepaling van de totale effectieve ruwheid op gemiddeld Nederlands spoor (berekening)

De totale effectieve ruwheid op gemiddeld Nederlands spoor $L_{tot,NL}(f)$ wordt bepaald uit de gemiddelde Nederlandse effectieve railruwheid $L_{rtr,NL}(f)$ en de actuele effectieve wielruwheid van het te meten materieel $L_{veh}(f)$:

$$(2.5) \quad L_{tot,NL} = L_{rtr,NL}(f) \oplus L_{veh}(f)$$

\oplus = energetische sommatie.

$L_{r,tr,nl}(f)$ wordt bepaald met behulp van de gemiddelde Nederlandse directe railruwheid $L_{rtr,NL,dir}(\lambda)$. Deze $L_{rtr,NL,dir}(\lambda)$ is gegeven in de tabel in paragraaf 3.2. $L_{r,tr,NL}(f)$ volgt dan geheel op analoge wijze aan paragraaf 2.4.1 'Bepaling van de effectieve railruwheid' en paragraaf 'L_r(v,f) - Ruwheid als functie van frequentie, snelheidsafhankelijk' in paragraaf 3.2.

2.4.5 Bepaling van de spoor- en voertuigbijdragen voor rolgeluid (meting en berekening)

De spooroverdracht $L_{HpV,tr}$ in 1/3-octaven wordt bepaald door middel van de procedure omschreven in paragraaf 3.3. Het spoorgeluid L_{ptr} wordt uit de spooroverdracht en uit de verticale railtrilling berekend:

$$(2.6) \quad L_{ptr}(f) = L_{HpV,tr} + L_{V(f)}$$

(alle grootheden in 1/3-octaven en ongewogen).

Het voertuiggeluid wordt bepaald uit het energetische verschil tussen het totale geluidsdrukkniveau en het spoorgeluid:

$$(2.7) \quad L_{pveh}(f) = 10 \lg(10^{L_{ptot}(f)/10} - 10^{L_{ptr}(f)/10})$$

en als $L_{ptot}(f) - L_{ptr}(f) < 1$ of negatief, per frequentieband,

$$(2.8a) \quad L_{pveh}(f) = L_{ptot}(f) - 7$$

en

$$(2.8b) \quad L_{ptr}(f) = L_{ptot}(f) - 1$$

Vergelijkingen (2.7) en (2.8a,b) zijn dusdanig dat de energetische som van L_{pveh} en L_{ptr} altijd gelijk is aan L_{ptot} .

2.4.6 Bepaling van de spooroverdrachtfunctie en de voertuigoverdrachtfunctie (berekening)

De spooroverdrachtfunctie wordt bepaald uit:

$$(2.9) \quad L_{Hpr,tr}(f) = L_{ptr}(f) + L_{rtot}(f) + 10 \lg \frac{N_{as}}{I_{veh}}$$

en de voertuigoverdrachtfunctie uit:

$$(2.10) \quad L_{Hpr,veh}(f) = L_{pveh}(f) + L_{rtot}(f) + 10 \lg \frac{N_{as}}{I_{veh}}$$

(alle grootheden in 1/3-octaven en ongewogen). Deze overdrachtfuncties zijn genormeerd op het aantal assen per meter N_{as}/I_{veh} om ze onafhankelijk van de asdichtheid te maken.

Iedere passage levert een overdracht $L_{Hpr,tr}$ ¹. Deze overdrachten worden vervolgens gemiddeld. Deze gemiddelde overdracht wordt verder gebruikt in paragraaf 2.4.7.

Evenzo levert iedere passage een overdracht $L_{Hpr,veh}$. Deze overdrachten worden vervolgens gemiddeld. Deze gemiddelde overdracht wordt verder gebruikt in paragraaf 2.4.7.

2.4.7 Bepaling van de bijdragen van spoor en voertuig (berekening)

De rolgeluidsemissie van het voertuig wordt bepaald uit:

$$(2.11) \quad L_{pveh2,NL}(f) = L_{Hpr,veh}(f) + L_{rtot,NL}(f) + 10 \lg \frac{N_{as}}{I_{veh}}$$

en voor het spoor:

$$(2.12) \quad L_{ptr,NL}(f) = L_{Hpr,tr}(f) + L_{rtot,NL}(f) + 10 \lg \frac{N_{as}}{I_{veh}}$$

Noot: Deze twee formules zijn direct afhankelijk van de rijnsnelheid, doordat de totale ruwheid is uitgedrukt als functie van de frequentie (zie paragraaf 3.2).

¹ Deze overdrachten zullen in het algemeen dicht bij elkaar liggen. Indien dit niet het geval is duidt dit op de aanwezigheid van andere geluidbronnen of meetfouten.

Deze spectra worden verwerkt tot octaafspectra volgens:

$$(2.13) \quad L(f_c) = L(f-) \oplus L(f_c) \oplus L(f+)$$

waarbij:

f_c = octaafbandfrequenties

f_-, f_+ = naastliggende 1/3-octaafbandfrequenties

2.5 Bepaling van het aerodynamische geluid

Voorwaarden en meetomstandigheden

Indien het te meten materieel een maximumsnelheid heeft van meer dan 200 km/h moet de bijdrage van aerodynamische bronnen worden gemeten als dat voor de voorkomende berekeningen relevant is.

Ook treinmaterieel met een lagere maximumsnelheid kan een belangrijke aerodynamische geluidsbron hebben. Als bij de maximale rijnsnelheid het totale gemeten geluidsniveau meer dan 1 dB(A) hoger is dan de som van het rolgeluid en het tractiegeluid, dient voor dit materieel ook het aërodynamisch geluid bepaald te worden volgens de hier beschreven procedure.

Het aerodynamische geluid wordt bepaald door metingen tussen 250 km/h en de maximumsnelheid, in stappen van 50 km/h. Tijdens de metingen is de trein in dezelfde configuratie als tijdens normale dienstregeling.

De pantograaf of pantografen staan hierbij uit. Het equivalente geluidsdrukniveau in octaven met passagetijd T_p ten gevolge van het aerodynamische geluid wordt gemeten op 25 m en 3,5 m boven BS op één doorsnede en voor drie passages per snelheid. Het niveau op 7,5 m $L_{pveh3,i}$ wordt hieruit berekend.

De metingen worden per snelheid gemiddeld. Uit de gemiddelde spectra van $L_{pveh3,i}$ wordt een spectrum als functie van treinsnelheid v bepaald met behulp van interpolatie:

$$(2.14) \quad L_{pveh3,i} = x_3(i) + y_3(i) \lg(v)$$

waarbij:

$L_{pveh3,i}$ = geluidsdrukniveau spectrum op 7,5 m ten gevolge van het aerodynamische geluid

i = octaafbandnummer

$x_3(i)$ en $y_3(i)$ = constanten per octaafbandnummer die het lineaire verband tussen geluidsniveau en $\lg(v)$ beschrijven.

Dit spectrum mag worden geëxtrapoleerd naar lagere snelheden.

Bronhoogtebepaling

Het aerodynamische geluid wordt onderverdeeld naar bronhoogte: 2 m, 4 m of 5 m boven BS.

Het aerodynamische geluid als functie van hoogte wordt aangeduid als octaafspectrum $L_{pveh3,i}(h)$, waarbij $h = 2$ m, 4 m of 5 m.

Voorbeelden van aerodynamische bronnen zijn: de kop en staart van het treinstel (vooral hoge cabines en de neus-koppeling), pantografen en hun dakinstallaties, draaistellen en componenten onder de vloer, rijtuigovergangen, holttes en uitsteeksels zoals handvaten en slangen.

De bronhoogte kan het beste met arraymetingen worden bepaald aangezien metingen op kortere afstand meestal onmogelijk zijn in verband met veiligheid. Andere methodes zijn ook toegestaan indien beschikbaar.

De bijdrage van sommige bronnen kan worden gevonden door delen van de passagemeting op te delen in segmenten waar evidente verschillen optreden, bijvoorbeeld: de kop, bij de pantograaf, met pantograaf op- en ingetrokken.

2.6 Bepaling van het remgeluid

Remgeluid is het additionele geluid dat vrijkomt bij het remmen van het voertuig. Het remgeluid hoort bij het voertuig. Het remgeluid kan niet direct worden gemeten, maar moet worden bepaald uit het gemeten geluidniveau tijdens het remmen $L_{p,rem+rol}$ en het rolgeluidniveau dat wordt berekend bij de gemiddelde snelheid tijdens dat remmen $L_{p,rol}$. Dit rolgeluidniveau wordt per octaaf berekend met de kleinste kwadraten methode.

Het geluidniveau tijdens remmen $L_{p,rem+rol,i}$ wordt bepaald door het equivalente geluidsdrukkniveau tijdens de passagetijd T_p in octaven te meten tijdens een remmende passage van het materieel. Dit vindt plaats bij vijf voorkeurssnelheden, te weten 30 km/h, 50 km/h, 80 km/h, 100 km/h en de maximumsnelheid, steeds met één passage op één meetdoorsnede.

De meetsnelheden mogen van bovenstaande richtwaarden afwijken met maximaal 20%. Tijdens de passage wordt de snelheid gemeten. De gemiddelde snelheid tijdens de passage wordt gebruikt voor de berekeningen. De microfoonpositie is op 7,5 m afstand van de centerlijn van het spoor en op 1,2 m hoogte.

De remmen dienen in maximale stand te worden ingeschakeld op het moment dat de voorste buffer van het te meten materieel zich 20 m voor de meetdoorsnede bevindt.

Indien $L_{p,rem+rol,i}$ minder dan 1 dB hoger is dan het berekende rolgeluid $L_{p,rol,i}$, wordt het remgeluid in die octaafband verwaarloosd.

$$L_{p,rem,i} = 0$$

In de overige octaafbanden wordt het rolgeluid van het spoor $L_{p,rol,i}$ energetisch afgetrokken van $L_{p,rem+rol,i}$:

$$(2.15) \quad L_{pveh,rem+rol,i} = 10 \lg (10^{L_{p,rem+rol,i}/10} - 10^{L_{p,rol,i}/10}).$$

De grootheid $L_{pveh,rem+rol}$ is het geluid dat tijdens het remmen door het voertuig wordt afgestraald, en wordt dus aan de bron op ashoogte toegekend in Standaardrekenmethode 2.

2.7 Bepaling van de emissiekentallen

Op basis van de meetresultaten worden de kentallen bepaald die bij de berekeningen volgens dit voorschrift worden gebruikt. Het categorienummer van de nieuwe treincategorie wordt in het navolgende aangeduid met x .

2.7.1 Voor dB(A)-emissiegetallen

Ten behoeve van dB(A)-emissiegetallen als bedoeld in paragraaf 2.1 (van Bijlage IV van het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006) worden de deelbijdragen $L_{pveh1,i}$, $L_{pveh2,i}$, $L_{pveh3,i}$, en $L_{ptr,i}$ op één bronhoogte bepaald, namelijk BS (0,25 m). Uit de octaafband gegevens moeten de dB(A) waarden worden bepaald. De emissieterm voor niet-remmend materieel voor categorie $E_{nr,x}$ volgt uit:

$$(2.16) \quad E_{nr,x} = 10 \lg \sum_{i=1}^8 10^{L_{som,nr,i}/10}$$

met

$$(2.17) \quad L_{som,nr,i} = L_{ptr,nl,i} \oplus L_{pveh1,i} \oplus L_{pveh3,i} \oplus L_{pveh2,nl,i} + L_{m,i} - 39$$

$L_{m,i}$ = conversieterm voor de passagemeting (zie *formule 2.31*)

De emissieterm voor remmend materieel voor categorie $E_{r,x}$ wordt bepaald uit

$$(2.18) \quad E_{r,x} = 10 \lg \sum_{i=1}^8 10^{L_{som,r,i}/10}$$

met

$$(2.19) \quad L_{som,nr,i} = \max \{ L_{ptr,nl,i} \oplus L_{pveh1,i} \oplus L_{pveh3,i} \oplus L_{pveh2,nl,i}; L_{prem,i} \} + L_{m,i} - 39$$

De emissietermen voor niet-remmend en remmend materieel worden berekend voor het gehele snelheidsgebied dat voor het materieel relevant is. Vervolgens worden deze waarden met behulp van een kleinste kwadraten methode gefit op het volgende lineaire verband:

$$(2.20) \quad E_{r,x} = a_{r,x} + b_{r,x} \lg(v_x)$$

De waarden a_x , b_x , $a_{r,x}$ en $b_{r,x}$ worden vervolgens gebruikt voor de bepaling van de emissiegetallen conform paragraaf 2.1 (van Bijlage IV van het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006).

Door het lineair fitten tegen de snelheid kunnen afwijkingen ontstaan van de gemeten waarden. Als deze afwijkingen groter zijn dan 1 dB(A) dient het snelheidsgebied in delen worden gesplitst. Voor elk deelgebied worden dan afzonderlijk de waarden van a_x , b_x , $a_{r,x}$ en $b_{r,x}$ bepaald.

2.7.2 Emissiekentallen in octaafbanden

De emissiekentallen in octaafbanden worden uit emissiegegevens berekend voor de toepassing volgens hoofdstuk 3 (van Bijlage IV van het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006).

Voor niet-remmend materieel:

$$(2.21) \quad E_{bs,i,x'} = L_{ptr,NL,i} + L_{m,i}$$

$$(2.22) \quad E_{as,i,x'} = L_{pveh1,i}(as) \oplus L_{pveh3,i}(as) \oplus L_{pveh2,NL,i} + L_{m,i}$$

$$(2.23) \quad E_{2m,i,x'} = L_{pveh1,i}(2 m) \oplus L_{pveh3,i}(2 m) + L_{m,i}$$

$$(2.24) \quad E_{4m,i,x'} = L_{pveh1,i}(4 m) \oplus L_{pveh3,i}(4 m) + L_{m,i}$$

$$(2.25) \quad E_{5m,i,x'} = L_{pveh3,i}(5 m) + L_{m,i}$$

en voor remmend materieel:

$$(2.26) \quad E_{bs,r,i,x'} = L_{ptr,nl,i} + L_{m,i}$$

$$(2.27) \quad E_{as,r,i,x'} = \max\{L_{pveh1,i}(as) \oplus L_{pveh3,i}(as) \oplus L_{pveh2,nl,i} ; L_{prem,i}\} + L_{m,i}$$

$$(2.28) \quad E_{2m,r,i,x'} = L_{pveh1,i}(2 m) \oplus L_{pveh3,i}(2 m) + L_{m,i}$$

$$(2.29) \quad E_{4m,r,i,x'} = L_{pveh1,i}(4 m) \oplus L_{pveh3,i}(4 m) + L_{m,i}$$

$$(2.30) \quad E_{5m,r,i,x'} = L_{pveh3,i}(5 m) + L_{m,i}$$

waarbij:

$E_{h,i,x}$ = emissietermen in octaafbanden op de verschillende bronhoogtes h voor niet-remmend materieel [dB(A)]

$E_{h,r,i,x}$ = emissietermen in octaafbanden op de verschillende bronhoogtes h voor remmend materieel [dB(A)]

$L_{m,i}$ = conversieterm voor de passagemeting [dB]

$$(2.31) \quad L_{m,i} = 10 \lg \left(\frac{T}{3600} \right) - 10 \lg n - \overline{\Delta L_i} + L_{fA,i}$$

waarbij:

T = passagetijd van de trein of betreffende groep wagons [s]

n = aantal wagons

r = afstand van hart spoor tot de microfoon [m]

$\overline{\Delta L_i}$ = verzamelterm voor de overdrachtverzwakking [dB]

$L_{fA,i}$ = A-wegingsfilter voor octaafbanden [dB]

De verzamelterm $\overline{\Delta L_i}$ voor de overdracht is gedefinieerd als:

$$(2.32) \quad \overline{\Delta L_i} = 10 \lg \left(\frac{1}{25} \sum_{k=-12}^{k=12} 10^{(D_{L,i} + D_{B,i} - \Delta L_{GU}(\Phi_k)) / 10} \right) + 58,6$$

waarbij:

$\Phi_k =$	de openingshoek (totale openingshoek $25 \times 5^\circ = 125^\circ$)
$D_L =$	de verwakking door absorptie in lucht volgens Standaardrekenmethode 2;
$D_B =$	de bodemdemping volgens Standaardrekenmethode 2;
$\Delta L_{GU} =$	de geometrische uitbreiding volgens Standaardrekenmethode 2.

De emissiegegevens hierboven worden voor niet-remmend en remmend materieel berekend, voor elke octaafband, voor elke bronhoogte en voor het gehele snelheidsgebied dat voor het materieel relevant is. Vervolgens worden deze waarden met behulp van een kleinste kwadraten methode gefit op het volgende lineaire verband:

$$(2.33) \quad E = a + b \lg v$$

De gevonden waarden van de kentallen a en b , voor elke octaafband, voor elke bronhoogte, voor zowel remmend als niet remmend materieel worden vervolgens gebruikt voor de nieuwe materieelcategorie (conform tabel 3.1 van Bijlage IV van het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006).

Door het lineair fitten tegen de snelheid kunnen afwijkingen ontstaan van de gemeten waarden. Als deze afwijkingen groter zijn dan 1 dB dient het snelheidsgebied in delen worden gesplitst. Voor elk deelgebied worden dan afzonderlijk de waarden van a en b bepaald.

2.8 Rapportage

Het volgende wordt gerapporteerd voor de uitgebreide meetprocedure:

1. De aard en het doel van de metingen.
2. Naam en adres van de instantie en naam van de personen die de meting hebben uitgevoerd.
3. Datum en plaats van de metingen.
4. Gegevens van het spoor: het spoortype, het oplegsysteem(aanduiding, dikte, materiaal, statische stijfheid), bevestiging, dwarsliggers, railtype, railruwheid volgens NEN-EN-ISO 3095:2005.
5. Omschrijving van de meetlocatie: omgeving, bodem met eventuele begroeiing, omgevingstemperatuur, luchtvochtigheid, luchtdruk, windsnelheid en windrichting.
6. De spooroverdracht $L_{Hpr,tr}(f)$ en $L_{HpV,tr}(f)$.
7. Een lijst van de gebruikte meetapparatuur en type microfoons en versnellingsopnemers met serienummers en de laatste calibratiedatum.
8. Het achtergrondniveau als octaafspectrum en A-gewogen totale niveau.
9. Omschrijving van het/de voertuig(en), met typeaanduiding en de serienummers van het gemeten materieel; verklaring dat het gemeten materieel volledig representatief is voor het type materieel.
10. De rijnsnelheden en de bedrijfstoestand(en) tijdens de metingen.
11. Eventueel aanwezige hulpapparatuur en de bedrijfstoestand daarvan tijdens de metingen.
12. Voor zover aanwezig: de posities van de trillingsopnemers en van de meetmicrofoons.
13. Voor zover gemeten: de gemeten geluiddrukken en trillingsniveaus als totale niveaus en als 1/3- of octaafspectra op de diverse posities en bij de verschillende snelheden.

14. Van enkele passages het tijdverloop van het geluiddrukkniveau en van het ongewogen trillingsniveau (trillingsnelheid).
15. Als functie van de rijsnelheid en in octaafbanden: de herleide deelbijdragen voor tractiegeluid, rolgeluid van het spoor, rolgeluid van het voertuig, aerodynamisch geluid en remgeluid. Het rolgeluid wordt genormeerd naar de gemiddelde Nederlandse railruwheid.
16. De bepaalde effectieve railruwheid als functie van zowel de frequentie als de golflengte.
17. De herleide effectieve wielruwheid als functie van zowel de frequentie als de golflengte en de overdracht van het voertuig $L_{Hpr,veh}(f)$ in 1/3- octaven.
18. De afstanddemping van het spoor die gebruikt bepaald is om de totale ruwheden te bepalen.
19. De emissiekentallen voor de verschillende bronhoogtes, voor zover bepaald. Tevens wordt grafisch zichtbaar gemaakt hoe de gemaakte kleinste kwadraten fit past op de meetresultaten.

3 Methoden ter bepaling van wiel- en railruwheid

3.1 Bepaling relatie tussen verticale railtrilling en totale ruwheid

De totale effectieve ruwheid kan aan de hand van formule 3.1 worden berekend:

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

waarbij:

$L_{rot,eff}(f)$	=	totale effectieve ruwheidsspectrum [dB re 10^{-6} m];
$L_{veq}(f)$	=	equivalente trillingsspectrum [dB re 10^{-6} m/s];
β	=	aantal assen per meter (N/l_{veh} ; met N aantal assen; l_{veh} lengte wagon)
$D_s(f)$	=	spectrum afstandsdeмпing verticale railtrillingen [dB/m];
$A_2(f)$	=	conversiespectrum voor het verschil tussen verplaatsing van de rail in het contactpunt en de effectieve ruwheid.

Het correctiespectrum $A_2(f)$ wordt beschreven door de waarden uit tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spectra $A_2(f)$ voor het verschil tussen verplaatsing van de rail in het contactpunt en de effectieve ruwheid, voor drie categorieën van rail onderlegplaatjes

Frequentie [Hz]	Zacht onderlegplaatje	Medium onderlegplaatje	Hard onderlegplaatje
50	0.84	-5.0	-5.0
63	1.0	-3.0	-3.0
80	4.1	2.3	2.3
100	2.7	2.6	2.6
125	0.9	0.8	0.8
160	0.1	0.0	0.0
200	0.0	0.0	0.0
250	-0.6	0.0	0.2
315	-1.2	-2.6	-0.1
400	-1.3	-3.9	-2.8
500	-0.9	-4.8	-6.5
630	-0.9	-3.2	-8.1
800	-1.6	-2.6	-6.9
1000	-2.7	-4.3	-5.0
1250	-5.6	-6.2	-4.4
1600	-8.0	-7.5	-6.4
2000	-9.5	-8.8	-8.4
2500	-10.0	-9.8	-9.5
3150	-11.3	-11.2	-11.1
4000	-13.7	-13.6	-13.6
5000	-14.9	-14.8	-14.8
6300	-16.9	-16.8	-16.9
8000	-18.8	-18.7	-18.8
10000	-20.5	-20.4	-20.6

De categorieën zacht, medium en hard onderlegplaatje zijn gedefinieerd volgens tabel 3.2 met daarin de dynamische stijfheid van een plaatje in verticale richting.

Tabel 3.2 Verdeling van de rail onderlegplaatjes in drie categorieën afhankelijk van het type dwarsligger en de verticale dynamische stijfheid van het plaatje.

	Zacht onderlegplaatje	Medium onderlegplaatje	Hard onderlegplaatje
Betonnen bi-blok dwarsligger	≤ 400 MN/m	400-800 MN/m	≥ 800 MN/m
Betonnen dwarsligger	≤ 800 MN/m	≥ 800 MN/m	-
Houten dwarsligger	alle	-	-

De dynamische verticale stijfheid van een onderlegplaatje kan herleid worden uit het spectrum van de afstandsdemping, zie paragraaf 3.2. De laagste frequentie waarbij de afstandsdemping minder dan 4 dB/m is wordt gebruikt. In tabel 3.3 kan de stijfheid afgelezen worden.

Tabel 3.3 Herleiding van de verticaal dynamische stijfheid van het rail onderlegplaatje uit de laagste frequentie waarbij de afstandsdeмпing minder dan 4 dB/m is.

	80 MN/m	200 MN/m	400 MN/m	800 MN/m	1250 MN/m	2000 MN/m
Bi-blok dwarsliggers	300	480	710	1060	1400	1950
Betonnen dwarsliggers	280	450	610-850	1100-1380	1630	2040

Volgens bovenstaande formules kan de effectieve ruwheid worden afgeleid van het equivalente trillingsniveau $L_{veq}(f)$, waarbij de afstandsdeмпing $D_s(f)$ bekend moet zijn (zie paragraaf 3.2).

Middeling van de totale effectieve ruwheid

Iedere gemeten passage bij iedere snelheid levert een schatting op van de totale effectieve ruwheid volgens formule (3.1). Deze schatting wordt nauwkeuriger door deze effectieve ruwheden te middelen in het golflengtedomein voor de passages bij de verschillende snelheden. Deze middeling dient in het golflengtedomein te geschieden aangezien de effectieve ruwheid uitgedrukt als functie van golflengte onafhankelijk is van de passagesnelheid. De volgende procedure dient gevolgd te worden:

- Afhankelijk van de passagesnelheid worden alle schattingen voor de ruwheid omgezet van het frequentiedomein naar het golflengtedomein via formule (3.2) uit paragraaf 3.2.
- Alle geschatte ruwheden worden berekend bij dezelfde 'tertsgolflengtes' via lineaire interpolatie. De tertsgolflengtes zijn te vinden in de 'golflengte' kolom van tabel 3.5.
- De geschatte ruwheden worden per golflengte gemiddeld.
- Afhankelijk van de passagesnelheid wordt het gemiddelde ruwheidsspectrum weer teruggerekend van het golflengtedomein naar het frequentiedomein via formule (3.2) uit paragraaf 3.2.
- Geïnterpoleerd wordt op de frequentieschaal om de ruwheid op de bekende tertsbands middenfrequenties te verkrijgen.

3.2 Gemiddelde railruwheid van het Nederlandse net

Voor de railruwheid wordt een gemiddelde voor het Nederlandse net genomen. Deze wordt aangeduid met $L_{rr,nl}(\lambda)$, waarbij λ de golflengte in cm of meters is. In tabel 3.5 is het ruwheidsspectrum van het Nederlandse net in cijfers weergegeven, als functie van de golflengte.

Tabel 3.5 Gemiddelde ruwheidspectrum van het Nederlandse spoornet als functie van de golflengte.

Golflengte [cm]	NL gem.
16	7,0
12,5	6,0
10	5,0
8	4,0
6,3	3,0
5	2,0
4	1,0
3,15	0,0
2,5	-1,0
2	-2,0
1,6	-3,0
1,25	-4,0
1	-5,0
0,8	-6,0
0,63	-7,0
0,5	-8,0
0,4	-9,0
0,315	-10,0
0,25	-11,0
0,2	-12,0
0,16	-13,0
0,13	-14,0
0,1	-15,0

De conversie van $L_{rtr,NL,dir}(\lambda)$ naar $L_{rtr,nl}(f)$ volgt op de wijze geheel analoog aan paragraaf 2.4.1 'Bepaling van de effectieve railruwheid' en onderstaande paragraaf ' $L_r(v,f)$ - Ruwheid als functie van frequentie, snelheidsafhankelijk'.

Meetprocedure voor de verticale afstandsdeмпing

De afstandsdeмпing $D_s(f)$ is het aantal dB verzwakking van de verticale railtrilling per meter afstand tot het contactpunt. De afstandsdeмпing kan op verschillende manieren worden bepaald.

In de literatuur zijn diverse technieken voor de bepaling van de afstanddeмпing bekend. Als voorbeeld wordt hier één methode gegeven.

Twee trillingsopnemers worden onder het midden van de railvoet geplaatst bij twee opeenvolgende dwarsliggers. Tijdens een treinpassage bij 80 of 100 km/h wordt het 1/3-octaafspectrum van de railtrilling als functie van de tijd met een bemonsteringstijd van 1/32 s geregistreerd ('waterval'). Per frequentieband wordt het niveauverschil in dB tussen de twee opnemers bepaald van die spectra uit de 'waterval' die bepaald zijn in de tijdperiode dat het eerste wiel zich minder dan 2 m van de eerste trillingsopnemer bevindt. Dit niveauverschil gedeeld door de afstand van de twee opnemers is levert de afstandsdeмпing in dB/m.

In de rapportage wordt de gevonden afstandsdeмпing gerapporteerd, alsmede de gebruikte methode.

$L_r(v, f)$ - Ruwheid als functie van frequentie, snelheidsafhankelijk

De ruwheid L_r wordt vaak gegeven als functie van de golflengte λ , onafhankelijk van de rijsnelheid. Om met frequentiespectra te kunnen rekenen, wordt de ruwheid uitgedrukt als een frequentiespectrum $L_r(v, f)$, waarbij de ruwheid wel afhankelijk van de rijsnelheid wordt. De curve blijft hetzelfde, verschuift echter alleen in horizontale richting voor verschillende rijsnelheden.

De ligging van de curve wordt berekend met $L_r(v, f) = L_r(\lambda)$ waarbij

$$(3.2) \quad \lambda = \frac{v}{3,6f}$$

bijvoorbeeld: $L_r(\lambda=0.01\text{m}) = L_r(v=90\text{ km/h}, f = 2500\text{ Hz})$

Bij de berekening wordt de snelheid uitgedrukt in km/u.

Afhankelijk van de rijsnelheid kan het voorkomen dat de met de frequentiebanden van 50 Hz tot 10 kHz overeenkomende golflengtes niet precies overeenkomen met de tertsgolflengtes waarvoor de ruwheden bekend zijn. Via lineaire interpolatie kan de ruwheidsdata voor de betreffende golflengtes bepaald worden.

3.3 Bepaling van de overdracht van een spoor met een referentievoertuig

De spoortrillingsoverdracht $L_{\text{Hp},\text{tr}}(f)$ is de verhouding tussen geluiddruk ten gevolge van de afstraling van het spoor en de verticale trilling van de railkop. Deze wordt in 1/3-octaven bepaald met behulp van ten minste drie "referentievoertuigen".

Een referentievoertuig heeft als eigenschap dat zijn voertuigoverdracht $L_{\text{Hp},\text{veh}}$ beduidend lager is dan gemiddeld. Wagens met kleine massieve wielen (diameter < 800 mm) voldoen aan deze eigenschap. Als referentiewagen kan bijvoorbeeld worden gebruikt:

- NiNa: regionale personentrein waarvan het middenstuk (4 assen) kleine wielen heeft (630 mm).
- Habbiks: 4-assige goederenwagon, wieldiameter 680 mm.
- Rola: 8 of 10-assige goederenwagon voor vrachtwagenvervoer, wieldiameter 380 mm.
- Megafret: 8-assige goederenwagon, wieldiameter 780 mm.
- Novatrans: 8-assige goederenwagon, wieldiameter 730 mm.

-Laekkqs547: 3-assige autotransportwagon, wieldiameter 680 mm.

Voertuigen met sterk gedempte wielen of wiel- of draaistelafscherming zijn in het algemeen minder geschikt, omdat deze ook de bijdrage van het spoor kunnen beïnvloeden. Bij gebruik van kleine geveerde wielen, zoals die bij light rail voorkomen, moet worden aangetoond dat deze een verwaarloosbare bijdrage aan de rolgeluidafstraling hebben.

De spoortrillingsoverdracht wordt gemeten door de geluiddruk en railtrilling te meten tijdens passage van de referentievoertuigen. Hierbij wordt per definitie gesteld dat het gemeten geluid toegekend kan worden aan het spoor. Dit levert dan de gezochte spooroverdrachtfunctie:

$$(3.3) \quad L_{Hpvtr}(f) = L_{ptr,ref}(f) - L_{vref}(f)$$

waarbij:

$L_{Hpv,tr}(f)$ = spooroverdracht in 1/3-octaven van verticale railkoptrilling naar geluiddruk op 7,5 meter [dB re 20 Pa/m/s];

$L_{ptr,ref}(f)$ = equivalent geluidrukniveau in 1/3-octaven op 7,5 m tijdens passage van referentiewagons [dB re $2 \cdot 10^{-5}$ Pa];

$L_{v,ref}(f)$ = equivalent niveau van de trillingsnelheid van de railkop in 1/3-octaven tijdens passage van referentiewagons [dB re 10^{-6} m/s].

Deze overdracht moet worden gemiddeld over drie spoordoorsnedes en drie rijsnelheden. De wiel-en railruwheid zijn voor deze meting onbelangrijk. Zij moeten echter niet extreem zijn (geen golfslijtage of polygonisatie).

Met behulp van de spooroverdracht kan voor willekeurig materieel de afstraling van het betreffende spoor worden bepaald uit de railtrilling:

$$(3.4) \quad L_{ptr}(f) = L_{Hpv,tr}(f) + L_v(f)$$

waarbij:

$L_{Hpv,tr}(f)$ = spooroverdracht in 1/3-octaven van verticale railkoptrilling naar geluiddruk op 7,5 meter [dB re 20 Pa/m/s];

$L_{ptr}(f)$ = equivalent geluidrukniveau ten gevolge van spoorafstraling in 1/3-octaven op 7,5 m tijdens passage van willekeurig materieel [dB re $2 \cdot 10^{-5}$ Pa];

$L_v(f)$ = equivalent niveau van de trillingsnelheid van de railkop in 1/3-octaven tijdens passage van willekeurig materieel [dB re 10^{-6} m/s].

Indien de toepassing van een referentievoertuig onmogelijk is, is het ook toegestaan de overdracht te bepalen met behulp van bijzondere technieken voor zover bekend en beproefd.

4 Meetmethode bovenbouw - Procedure C

4.1 Inleiding

Deze procedure is bestemd voor de bepaling van de bovenbouwcorrectietermen voor nieuwe types bovenbouw, of voor akoestisch relevante wijzigingen aan een bestaand type bovenbouw.

4.2 Opzet van de metingen

Aantal en conditie van de testsporen

Voor de bepaling van de correctietermen voor de bovenbouw worden metingen uitgevoerd aan ten minste twee gedeeltes testspoor voorzien van de nieuwe bovenbouw, elk met een lengte van ten minste 100 meter. De constructie van de testsporen is over deze gehele lengte gelijk. Aangrenzend aan de testsporen ligt een ten minste 100 meter lang referentiespoor met een bovenbouwconstructie bestaande uit voegloze spoorstaven op betonnen monoblok dwarsliggers in ballastbed. De constructie van de referentiesporen dient representatief te zijn voor de constructie waar dit voorschrift op is gebaseerd, met bovenbouwcorrectietermen die gelijk zijn aan $C_{bb,i}$ uit tabel 3.5 (van Bijlage IV van het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006), met $bb=1$.

De metingen vinden bij elke locatie plaats op drie doorsneden van het testspoor, twee doorsneden van het referentiespoor. De resultaten van de metingen worden voor het referentiespoor en het testspoor gemiddeld over de meetdoorsneden. De meetomgeving tussen de microfoonpositie en de spoorbaan voor het referentiespoor en het testspoor dient zodanig te zijn dat er geen verschillen optreden in overdrachtdemping. Met andere woorden, de bodemeigenschappen, de uitvoering van het talud, hoogteligging e.d. dienen gelijk te zijn. Deze mogen echter wel verschillen voor de beide meetlocaties.

De railruwheid van de testsporen en de referentiesporen dient bij voorkeur zo laag te zijn dat deze ligt onder de ISO maximumcurve (zie NEN-EN-ISO 3095:2005). Als dat niet haalbaar is mogen de metingen met een hogere railruwheid worden uitgevoerd. In dat geval moet de totale ruwheid worden bepaald, dat is de som van de railruwheid en de wielruwheid. De totale ruwheid op de referentielocatie en op de testlocatie moet zoveel mogelijk gelijk zijn. Enige afwijkingen in de niveaus per octaafband zijn toegestaan, maar mogen niet leiden tot verschillen van meer dan 0,5 dB(A) in de A-gewogen bovenbouwcorrectie van formule 4.1 en 4.2. Het verschil in geluidemissie ten gevolge van verschillen in railruwheid tussen de referentielocatie en de testlocatie dienen te worden gecompenseerd (ruwheidemissiecorrectie) volgens formule 3.3d (van Bijlage IV van het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006).

In het geval dat mag worden aangenomen dat de bovenbouwcorrectieterm afhankelijk is van de spoorruwheid, zoals bijvoorbeeld het geval is bij raildempers, dient de bovenbouwcorrectieterm te worden gecorrigeerd (normalisatie NL spoorruwheid) naar de NL gemiddelde spoorruwheid. Een dergelijke correctie kan plaatsvinden door twee testlocaties te kiezen, één boven NL gemiddelde ruwheid en één onder NL gemiddelde ruwheid, waarna de bovenbouwcorrectieterm voor NL gemiddelde ruwheid spoor kan worden bepaald door interpolatie. In het geval een locatie een spoorruwheid heeft die de NL gemiddelde benaderd - wanneer de emissiecorrectie ten gevolge van ruwheid niet meer dan 0,5 dB(A) bedraagt - kan een dergelijke correctie achterwege blijven.

Zowel het testspoor als het referentiespoor liggen horizontaal en niet in een boog. Binnen een afstand van 25 m aan weerszijden van de meetdoorsneden mogen geen railonderbrekingen, lassen, loopvlakbeschadigingen of losse dwarsliggers voorkomen, die stootgeluid kunnen veroorzaken. Ook de constructieovergangen tussen referentiespoor, testspoor en overig spoor liggen op ten minste 25 m afstand van de meetdoorsneden.

Aantal en conditie van het passerende materieel

Voor de bepaling van de bovenbouwcorrectietermen worden op elk van de meetlocaties ten minste vijf treinpassages gemeten van met gietijzeren blokken beremd treinmaterieel met relatief hoge wielruwheid. Hierbij dient te worden uitgegaan van ten minste twee categorieën treinmaterieel (bijvoorbeeld categorie 2 en 4). Voor ieder type materieel wordt een bovenbouwcorrectieterm bepaald, die vervolgens wordt gemiddeld om representatief te zijn voor alle typen treinmaterieel.

Het rolgeluid van het passerende treinmaterieel dient dominant te zijn. Het treinmaterieel mag echter geen andere geluidsbronnen bezitten die de metingen kunnen beïnvloeden. Het passerende treinmaterieel dient verder te voldoen aan de eisen van paragraaf 2.2. De conditie van het passerende treinmaterieel wordt vastgelegd, in elk geval worden de treintypes, de treinnummers en het aantal passerende wagens vastgelegd. Het aantal treinpassages te meten op de beide meetlocaties dient binnen 20% aan elkaar gelijk te zijn.

Het treinmaterieel dient met constante snelheid (binnen 5%) en met uitgeschakelde remmen alle meetdoorsneden te passeren. De snelheid van het passerende materieel ligt tussen 100 en 160 km/h.

De akoestische omgeving

De meetomgeving voldoet aan de eisen van paragraaf 2.2.

Meteorologische omstandigheden en achtergrondniveau

De meteorologische omstandigheden en het achtergrondniveau voldoen aan de eisen van paragraaf 2.2.

Te meten grootheden en positie

Het A-gewogen equivalente geluidsdrukkniveau in octaafbanden $L_{pAeq,i}$ wordt op de meetdoorsneden gemeten op een afstand van 7,5 m uit het midden van de spoorlijn en 1,2 m hoogte boven BS.

Verder dient te worden voldaan aan de eisen uit paragraaf 2.2, met uitzondering van het aantal meetdoorsneden.

Trillingsmetingen behoeven niet te worden uitgevoerd, tenzij het wenselijk is om hierover te beschikken voor het bepalen van de spooroverdracht (bijvoorbeeld om de te bemeten bovenbouwconstructie te gebruiken voor de bepaling van eigenschappen van nieuw treinmaterieel).

Tevens wordt de railruwheid van zowel de testsporen als de referentiesporen gemeten, volgens de methode uit paragraaf 2.4.1.

Snelheidstoets

De methode gaat er van uit dat de bovenbouwcorrectietermen in octaafbanden onafhankelijk zijn van het type materieel en van de snelheid van de passerende treinen. Om dit te controleren dienen op één locatie twee extra treinpassages te worden gemeten met een afwijkende snelheid van ten minste 20% resp. 30%.

De verschillen in de bovenbouwcorrectiewaarden mogen niet groter zijn dan 3 dB in elk van de octaafbanden. Als de correctie afhankelijk blijkt te zijn van de snelheid dient nader onderzoek te worden uitgevoerd. Dit kan resulteren in een snelheidsafhankelijke correctieterm.

Meetapparatuur

Voor zover toepasselijk dient de meetapparatuur te voldoen aan de eisen uit paragraaf 2.2.

4.3 Bepaling van de bovenbouwcorrectie termen

Bovenbouwcorrectieterm voor Standaardrekenmethode 2 (SRM2)

De bovenbouwcorrectietermen van het testspoor in octaafbanden $C_{bb,test,i}$ zijn gelijk aan:

$$(4.1) \quad C_{bb,test,i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (L_{Aeq,test,i,j} - L_{Aeq,ref,i,j})$$

waarbij:

$L_{Aeq,test,i,j}$ = Het equivalente geluidsniveau tijdens de passage van trein j in octaafband i over de testsporen, energetisch gemiddeld over de meetdoorsneden.

$L_{Aeq,ref,i,j}$ = Het equivalente geluidsniveau tijdens de passage van trein j in octaafband i over de referentiesporen, energetisch gemiddeld over de meetdoorsneden.

n = Het aantal gemeten treinpassages.

Bovenbouwcorrectietermen voor Standaardrekenmethode 1 (SRM1)

De bovenbouwcorrectietermen voor SRM1 zijn afhankelijk van de materieelcategorie en worden als volgt berekend:

1. Maak een rekenmodel volgens SRM2 van een eenvoudige situatie van enkelspoor met zachte bodem en standaardtalud van 1 meter hoogte.
2. Bereken met dit rekenmodel de geluidsbelasting op een waarneempunt 25 meter uit hart spoor, 3,5 m hoogte boven BS.
3. Voer de berekening uit met de bovenbouwcorrectietermen C_{bb} uit tabel 3.5 (van Bijlage IV van het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006) met $bb=1$, en met de bovenbouwcorrectietermen van Standaardrekenmethode 2 van het testspoor.

4. Voer deze berekeningen uit voor elke materieelcategorie. Voor materieelcategorieën met een maximum snelheid van 140 km/h of hoger bij de volgende snelheden: 80, 100, 140 km/h. Voor materieelcategorieën met een lagere maximumsnelheid bij de volgende snelheden: 60, 80, 100 km/h. Hierbij wordt uitgegaan van een vaste treinintensiteit, bijvoorbeeld 10 wagens per uur.

De bovenbouwcorrectietermen voor Standaardrekenmethode 1 worden uit deze berekeningsresultaten als volgt bepaald:

$$(4.2) \quad C_{btest,c} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 (L_{Aeq,test,c,k} - L_{Aeq,beton,c,k})$$

waarbij:

- $C_{btest,c}$ = Bovenbouwcorrectieterm voor Standaardrekenmethode 1 voor het testspoor en materieelcategorie c .
- $L_{Aeq,test,c,k}$ = Berekende geluidbelasting voor het testspoor, materieelcategorie c , snelheidsparameter k .
- $L_{Aeq,beton,c,k}$ = Berekende geluidbelasting voor het referentiespoor met voegloos spoor op betonnen dwarsliggers, materieelcategorie c , snelheidsparameter k .
- k = snelheidsparameter $k=1$ voor de rekensnelheid 80 resp. 60 km/h, $k=2$ voor 100 resp. 80 km/h, $k=3$ voor 140 resp. 100 km/h.

4.4 Rapportage

De rapportage bestaat uit de items vermeld in paragraaf 2.8 met uitzondering van items 6, 11, 15-19. Voor item 9 volstaat de omschrijving en typeaanduiding van de voertuigen. Item 4 wordt opgenomen voor zowel de testsporen als voor de referentiesporen. Aanvullend hieraan worden de berekende bovenbouwcorrectietermen in octaafbanden en in dB(A) gerapporteerd. Beschrijving van de bepaling van de ruwheidemissiecorrectie van de bovenbouwcorrectieterm conform volgens formule 3.3d van Bijlage IV. Tevens worden de tussenresultaten van de berekeningen die hieraan ten grondslag liggen gerapporteerd. Indien de effectieve ruwheid gemeten is, wordt ook deze gerapporteerd.

5 Toelichting

5.1 Procedure A: Eenvoudige methode (hoofdstuk 1)

In Bijlage IV van het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006 is bepaald dat al het verkeer onder dienstregelingnummer over een gezoneerde spoorweg toegedeeld moet worden aan een van de genoemde categorieën. Bij inzet van nieuw materieel kan dit worden toegekend aan een bestaande categorie. Hiervoor moeten metingen worden gedaan volgens procedure A. Als het wenselijk is om voor nieuw materieel een nieuwe treincategorie te introduceren, bijvoorbeeld als het materieel stiller is dan de bestaande categorieën, dan zal dit gepaard moeten gaan met een nauwkeurige vaststelling van de emissiekentallen volgens procedure B (hoofdstuk 2).

De beschreven methode heeft als doel om nieuw materieel in een bestaande categorie in te delen. Er wordt wel rekening gehouden met de ruwheid van de wielen en het spoor, in de vorm van de correctieterm L_{diff} . Voor voertuigen die al minstens drie maanden in normale dienst in gebruik zijn, geldt een versoepeling van de eis ten opzichte van de eis voor nieuw materieel, namelijk:

- een extra marge van 1 dB in L_{diff} ;
- en de eis aan het geluiddrukkniveau geldt niet voor de octaafbanden 63, 125 en 8000 Hz.

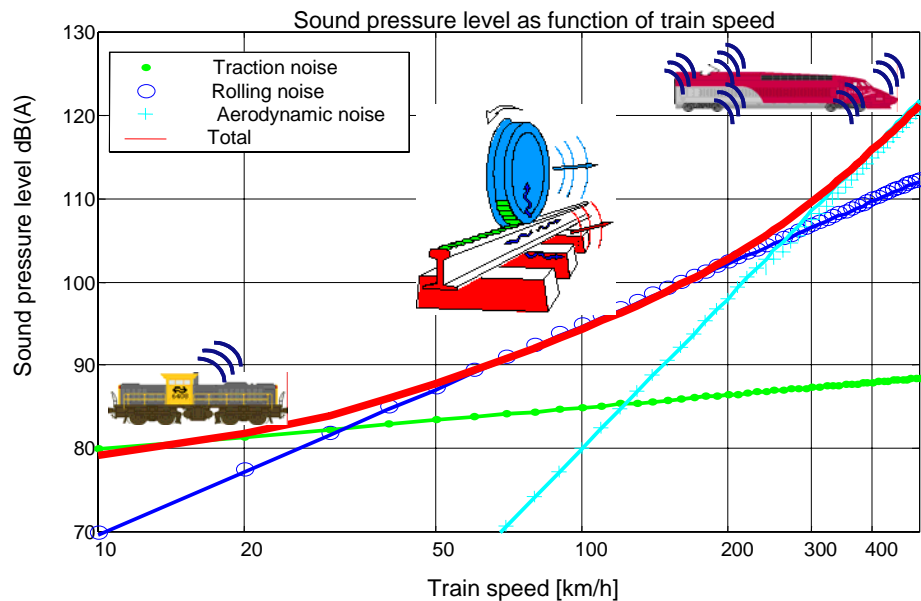
5.2 Procedure B: Uitgebreide emissiemeetmethode (hoofdstuk 2)

Het verschil met de in het voorschrift opgenomen spoorvoertuigcategorieën is dat treintypen niet meer ingedeeld worden op grond van uiterlijke kenmerken, maar door gemeten akoestische karakteristieken van de verschillende deelbronnen. Bij de bepaling van de geluidemissie wordt onderscheid gemaakt tussen tractiegeluid, rolgeluid, aerodynamisch geluid en remgeluid. Op deze wijze wordt het mogelijk allerlei materieel overeenkomstig de werkelijke geluidprestaties in dit voorschrift op te nemen. Met de uitkomsten van de metingen kan een database van geluidgegevens worden opgebouwd die onderdeel uitmaakt van het emissieregister.

Toelichting op de theorie

Het passeergeluid van een trein bestaat uit rolgeluid van het railvoertuig en het spoor, en overige bronnen zoals de aandrijving, hulpapparatuur en aerodynamisch geluid.

Over het algemeen domineert de aandrijving, voor zover aanwezig en hoorbaar, bij lage snelheden (onder ca. 50 km/h), rolgeluid tot ca. 200-300 km/h, en daarboven het aerodynamisch geluid. Al het geluid afkomstig van het voertuig wordt 'voertuiggeluid' genoemd, het rolgeluid afkomstig van de spoorconstructie wordt aangeduid met 'spoorgeluid'. Het spoorgeluid kan ook rolgeluid op een kunstwerk omvatten (bijv. stalen brug). Het spoorgeluid wordt in het voorschrift bepaald voor een trein rijdend op de stilste bovenbouw die momenteel voor standaard toepassing beschikbaar is, namelijk een baan op betonnen mono- of duoblok dwarsliggers in ballastbed. Het effect van andere bovenbouwtypes wordt verwerkt door bovenbouwcorrecties te gebruiken. Dit geldt ook voor de correcties voor kunstwerken en brugtoeslagen.



figuur 5.1 Illustratie van de curves voor de deelbijdragen van tractiegeluid, rolgeluid en aerodynamisch geluid als functie van de rijnsnelheid. De ligging van de rolgeluidcurve hangt sterk af van de gecombineerde wiel- en railruwheid.

De meetprocedure is gebaseerd op de volgende formules:

$$(6.1) \quad L_{ptot}(f) = L_{prol}(f) \oplus L_{ptractie}(f) \oplus L_{paero}(f)$$

$$(6.2) \quad L_{prol}(f) = L_{reff}(v, f) + L_{Hpr, eff, NL}(f) + 10 \lg(N/L)$$

$$(6.3) \quad L_{ptot}(f) = L_{ptr}(f) \oplus L_{pveh}(f)$$

$$(6.4) \quad L_{rtot}(\lambda) = L_{rtr}(\lambda) \oplus L_{rveh}(\lambda)$$

waarbij:

L_p = geluiddrukniveau [dB re $2 \cdot 10^{-5}$ Pa]

$L_{Hpr, eff, NL}$ = overdrachtfunctie van effectieve ruwheid naar geluiddruk, genormaliseerd naar het aantal assen per meter [dB re 20 Pa/ $\sqrt{\text{micron}}$]

L_r = effectieve ruwheidniveau [dB re 10^{-6} m]

F = frequentie [Hz]

λ = golflengte [m]

Indices: rol = rolgeluid, tractie=tractiegeluid, aero = aerodynamisch geluid, tot=totaal, tr = spoor, veh = voertuig.

De geluidemissie ten gevolge van rolgeluid kan worden uitgedrukt in termen van de factoren:

- Wielruwheid, gemiddeld over alle wielen;
- Responsie van het railvoertuig (wieltrilling naar geluiddruk);
- Railruwheid, gemiddeld op de meetlocatie;
- Responsie van het spoor (railtrilling naar geluiddruk).

Stootgeluid ten gevolge van voegen of wissels wordt bijgeteld bij het rolgeluid volgens een toeslagmethodiek volgens hoofdstuk 3 van Bijlage IV van het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006.

Voorbeeld voor goederenwagons met kunststof blokkenrem, nieuwe categorie

De meetprocedure voor indeling in een nieuwe categorie volgens procedure B is veelomvattend, maar kan beperkt blijven tot enkele onderdelen afhankelijk van de aard van het te bemeten materieel, en de bekendheid van karakteristieken van de meetlocatie. Als voorbeeld wordt een goederenwagon genomen met kunststof blokremmen.

In dit geval hoeft geen tractiegeluid of aerodynamisch geluid te worden bepaald. De betreffende paragrafen worden dan overgeslagen. Het rolgeluid moet worden bepaald volgens paragraaf 2.4. Als de railruwheid en de overdracht van het spoor bekend zijn, kan worden volstaan met meting van de verticale railtrilling en geluiddrukmeting op 7,5 m afstand bij de vermelde rijnsnelheden. Verder moet een aantal metingen van het geluid tijdens het remmen plaatsvinden. De overige handelingen zijn rekentechnisch van aard.

Voorbeeld voor goederenwagons met kunststof blokkenrem, inpassing in bestaande categorie

De inpassingsprocedure A verloopt voor een goederenwagon met kunststof blokremmen als volgt.

Er wordt op een voorgeschreven meetlocatie gemeten waarbij de railruwheid bekend is en onder de ruwheidslimiet ligt. De apparatuur en meetomstandigheden zijn overeenkomstig procedure A. De geluiddruk wordt op 7,5 m gemeten voor passages bij de in het voorschrift genoemde snelheden. Het A-gewogen geluiddrukkniveau in octaven wordt als functie van de logaritme van de snelheid als een lijn gefit. Indien nodig wordt bij meer snelheden gemeten om de curve nauwkeuriger te bepalen. Deze curve wordt vergeleken met een SRM2-curve in octaven met dezelfde berekeningsgrondslag (treintype, spoortype, etc.). Het materieel mag aan de betreffende categorie worden toegekend indien deze gemeten curve verhoogd met 1 dB onder de met SRM2 berekende curve ligt.

Conditie van het testspoor (paragraaf 2.2)

Een ideaal testspoor heeft een geluidbijdrage die minstens 10 dB onder dat van het voertuig ligt over het gehele frequentiegebied. Dit is praktisch moeilijk realiseerbaar, daarom wordt aanbevolen een testspoor te gebruiken dat een zo laag mogelijke spoorresponsie heeft, hetgeen uit een beperkt aantal eenmalige veldmetingen op verschillende spoorconstructies te achterhalen is.

De akoestische omgeving (paragraaf 2.2)

Bij twijfel over de geschiktheid van de meetomgeving, is de vrije veld conditie te controleren met behulp van een kleine kunstbron op het spoor die breedbandig geluid produceert. Bij halvering van de microfoonafstand dient het niveau met 6 dB toe te nemen.

Railtrillingen (paragraaf 2.2)

Bij de meting van verticale railkoptrilling moet worden gelet op de signaalconditionering om signaalvervorming (oversturing) te voorkomen. Het dynamisch bereik van trillingssignalen van de rail van passerende treinen kan groot zijn. Hoge piekwaarden van 10-100 m/s² komen voor bij hoge snelheden.

Voorbeelden bronhoogte bepaling bij tractiegeluid (paragraaf 2.3)

Ter illustratie twee voorbeelden van de bronhoogte bepaling:

Diesellok met uitlaat op het dak als dominante tractiegeluidbron

$$L_{pveh1,i} (4 \text{ m}) = L_{pveh1,i}$$

$$L_{pveh1,i} (2 \text{ m}) = 0$$

$$L_{pveh1,i} (\text{as}) = 0$$

Een reizigerstrein met elektrisch aangedreven draaistellen heeft als resultaat:

$$L_{pveh1,i} (4 \text{ m}) = 0$$

$$L_{pveh1,i} (2 \text{ m}) = 0$$

$$L_{pveh1,i} (\text{as}) = L_{pveh1,i}$$

Ruwheid van het meetspoor voor rolgeluid (paragraaf 2.4)

Voor de metingen wordt een lage ruwheid van het meetspoor voorgeschreven.

Als het meetspoor deze grenscurve overschrijdt, wordt de voertuigruwheid overschat. Om materieel met gladde wielen in te meten is het dus van belang om aan deze lage ruwheid van het meetspoor te voldoen.

Bepaling aerodynamische geluid (paragraaf 2.5)

Als het aerodynamische geluid slechts een kleine bijdrage levert aan het totale geluidsniveau, wordt dit in het voorschrift verwaarloosd.

In theorie neemt het ongewogen spectrum van het aerodynamische geluid toe met de zesde macht van de rijsnelheid. Dit komt overeen met 60 lg v oftewel 18 dB per snelheidsverdubbeling. Het dB(A)- niveau zal niet altijd precies deze wetmatigheid volgen wegens de eigenschappen van het wegingsfilter. In het voorschrift wordt uitgegaan van een lineaire benadering tussen het geluidsniveau en lg v . Als de metingen hiertoe aanleiding geven, kan echter een hogere orde benadering worden gebruikt.

Bij de bronhoogte bepaling is in het voorschrift uitgegaan van het slechtste geval bij gebrek aan informatie. Dat wil bijvoorbeeld zeggen dat als niet bekend is of de bron op 4 m of 5 m ligt, 5 m wordt genomen. Of wanneer de bron op ashoogte of 2 m hoogte ligt, dan 2 m wordt genomen. Als aanvullende gegevens beschikbaar zijn waaruit de bronhoogte aantoonbaar kan worden gemaakt, bijvoorbeeld antennemetingen of andere geëigende technieken, kan een andere verdeling over de bronhoogtes as(0,5 m), 2 m, 4 m en 5 m worden gemaakt. De energetische sommatie van de deelbronnen $L_{pveh3,i}(h)$ moet overeenkomen met $L_{pveh3,i}$ op 7,5 m.

Voorbeelden:

Als het pantograafgeluid dominant is, is het resultaat:

$$L_{pveh3,i} (5 \text{ m}) = L_{pveh3,i}$$

$$L_{pveh3,i} (4 \text{ m}) = 0$$

$$L_{pveh3,i} (2 \text{ m}) = 0$$

$$L_{pveh3,i} (\text{as}) = 0$$

Als het aerodynamische geluid gelijkmatig over de verschillende bronhoogtes is verdeeld (dit kan alleen uit nader onderzoek blijken), dan is het resultaat:

$$L_{pveh3,i} (5 \text{ m}) = L_{pveh3,i} - 6$$

$$L_{pveh3,i} (4 \text{ m}) = L_{pveh3,i} - 6$$

$$L_{pveh3,i} (2 \text{ m}) = L_{pveh3,i} - 6$$

$$L_{pveh3,i} (\text{as}) = L_{pveh3,i} - 6$$

Bepaling remgeluid (paragraaf 2.6)

Het remgeluid wordt als functie van $\lg v$ lineair benaderd. Als de metingen hiertoe aanleiding geven, mag het snelheidsgebied in deelgebieden worden opgesplitst, waarbinnen dan de lineaire benadering wordt toegepast.

Bepaling emissiekentallen (paragraaf 2.7)

De in deze paragraaf berekende emissiekentallen zijn geldig voor een spoorconstructie met index $b=1$ voor SRM1, resp. $bb=1$ voor SRM2. Voor andere spoorconstructies worden de bovenbouwcorrecties uit dit voorschrift toegepast, tenzij er redenen zijn om aan te nemen dat deze voor de nieuwe categorie onjuist zijn. In dat geval moeten extra metingen worden verricht voor de betreffende bovenbouw.

5.3 Methoden ter bepaling van wiel- en railruwheid (hoofdstuk 3)

Volgens de formules in paragraaf 3.1 wordt de ruwheid berekend uit het equivalente trillingsniveau $L_{veq}(f)$, waarbij de afstandsdemping $D_s(f)$ bekend wordt verondersteld. De afstandsdemping $D_s(f)$ is het aantal dB verzwakking per meter afstand tot het contactpunt. De opgenomen gegevens zijn geldig voor een standaard Nederlands spoor.

De afstandsdemping kan ook worden herleid uit meetgegevens.

Meetmethodieken hiervoor zijn beschikbaar, in te delen in:

- impact-responsiemetingen langs het spoor (zonder trein);
- herleiding uit de verticale railtrilling tijdens treinpassages.

Er is ook meetsoftware beschikbaar die in staat is de afstandsdemping uit het signaal van een enkel trillingsopnemer te bepalen.

Hieronder is een mogelijke methodiek beschreven die gebruik maakt van twee trillingsopnemers bij een treinpassage.

Twee trillingsopnemers worden onder het midden van de railvoet ter plaatse van twee opeenvolgende dwarsliggers geplaatst. Tijdens een treinpassage bij 80 of 100 km/h wordt het 1/3-octaafspectrum van de railtrilling in korte intervallen geregistreerd, bijv. 50 milliseconde.

Per frequentieband wordt de helling bepaald van de 20 lg van de amplitude van het signaal van een naderende of weggrijdende trein.

De gradiënten van deze hellingen (dB/meter) per frequentieband komen overeen met de afstandsdemping $D_s(f)$.

Validatie en monitoring van materieelkarakteristieken

Om de meetonzekerheid verder te verkleinen of om de emissie na verloop van tijd te checken is het mogelijk met behulp van monitoring meer data te verzamelen. Daarbij wordt gemeten op een aangewezen meetlocatie die voldoet aan de eisen in paragraaf 2.2 (lage railruwheid, vast spoortype). De geluiddruk op 7,5 meter en de verticale railtrilling worden continu geregistreerd. Ook de treinsnelheid wordt gemeten.

Uit de totale ruwheid kan een beeld worden verkregen van de variatie in wielruwheid, voor zover deze de railruwheid overschrijdt. Met behulp van de procedures in 2.4 kan de totale ruwheid worden herleid uit de verticale railkoptrilling en de rijsnelheid.

De geluidsdruk kan worden gebruikt om variatie in het totale geluid te meten, echter deze variatie zal mede afhangen van de variatie in wielruwheid. Alleen als het aandrijfgeluid of het aerodynamisch geluid sterk domineert, kan daarover de spreiding worden bepaald.

Een andere methode om de spreiding onder diverse exemplaren te monitoren is de meting van de overdracht tussen verticale railtrilling en de geluidsdruk op dezelfde meetlocatie. Daarmee worden verschillen ten gevolge van wielruwheid geëlimineerd.

Monitoring is niet verplicht en is geen vervanging voor de volledige meetprocedure B. Wel kunnen de resultaten van monitoring aanleiding vormen opnieuw een typekeuringsmeting uit te voeren, al dan niet gedeeltelijk.

Achtergronddocumenten

Voor meer informatie wordt verwezen naar:

[1] F.G. de Beer, H.W. Jansen, M.G. Dittrich: 'STAIRRS Level 2 measurement methods: Indirect roughness and transfer function', TNO-TPD-rapport, Delft, juli 2002.

[2] M.H.A. Janssens, H.W. Jansen, M.G. Dittrich: 'Evaluation of the interim measurement protocol for railway noise source description', Proceedings IWRN 2004, Buxton

[3] M.H.A. Janssens, M.G. Dittrich, F.G. de Beer, C.J.C. Jones, 'Railway noise measurement method for pass-by noise, total effective roughness, transfer functions and track spatial decay', proceedings IWRN8, Buxton, 2004.

[4] TSI Noise for conventional rail, AEIF, Brussels.

5.4 Meetmethode bovenbouw (hoofdstuk 4)

In deze paragraaf wordt een meetmethode beschreven voor een nieuw of gewijzigd type bovenbouw. Het betreft een vrij eenvoudige verschilmeting tussen het nieuwe type bovenbouw en de standaard bovenbouw van ProRail (voegloos spoor op betonnen dwarsliggers in ballastbed).

Met bovenbouw wordt bedoeld de constructie waarmee de rails zijn bevestigd aan de onderbouw (het dijklichaam of een kunstwerk). De methode is bedoeld om de geluidstoeslag van deze constructie te testen. Dit is vooral van belang voor de bepaling van het rolgeluid van de treinen. Aangezien het rolgeluid sterk afhankelijk is van de ruwheid van zowel de rails als de wielen, is het van belang juist deze parameters onder controle te houden. De methode is erop gebaseerd dat de totale ruwheid van rails en wielen samen voor het testspoor en het referentiespoor aan elkaar gelijk zijn. Dit wordt bereikt door de ruwheid van de rails zo laag mogelijk te maken, maar de ruwheid van de wielen juist relatief hoog. De methode is er dus uitdrukkelijk niet op gericht om het effect van een andere railruwheid in kaart te brengen. Het effect van de railruwheid kan in rekening gebracht worden volgens paragraaf 3.4 van Bijlage IV van het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder 2006.

De beschreven meetmethode gaat er van uit dat de bovenbouwcorrectietermen in octaafbanden onafhankelijk zijn van het type materieel en van de snelheid van de passerende treinen. Met behulp van een beperkte controlemeting bij afwijkende snelheden wordt deze aanname gecontroleerd voor wat betreft de snelheid. Voor het controleren van de afhankelijkheid van materieeltype zou materieel met een geheel ander wiel gebruikt moeten worden (bijvoorbeeld een sterk afwijkende wieldiameter), hetgeen op grote praktische bezwaren stuit.

Dat de bovenbouwcorrectie onafhankelijk is van de snelheid is een empirisch gegeven. Een voorbeeld waarbij wel een afhankelijkheid van de snelheid wordt verwacht is een nieuwe bovenbouw voorzien van een geluidmaatregel die specifiek is afgestemd op een bepaalde frequentie, bijvoorbeeld een getunedede raildemper. Als deze demper bijvoorbeeld is afgestemd op passerende treinen met 140 km/h zal deze demper wellicht in een stationsomgeving, waar de treinen veel langzamer rijden, andere geluidsreductie eigenschappen vertonen. In dit geval moeten bij toepassing in het stationsgebied extra metingen worden uitgevoerd. Ook een afwijkend railprofiel van het standaard gebruikte profiel 54E1 kan frequentieafhankelijk gedrag vertonen, en daarmee een toeslag hebben die afhankelijk is van de treinsnelheid.

De correctietermen worden bepaald door een verschilmeting uit te voeren tussen het spoor met nieuwe bovenbouw en een referentiespoor. Bij de metingen dient te worden gecontroleerd dat het referentiespoor representatief is voor de bovenbouwconstructie uit dit voorschrift met voegloos spoor op betonnen dwarsliggers in ballastbed. Dit is mogelijk door de technische constructie van het referentiespoor te controleren, zoals bijvoorbeeld het merk en type van de onderlegplaatjes en de andere van belang zijnde parameters (zie hiervoor NEN-EN-ISO 3095:2005, Annex E). Een andere mogelijkheid is de meetresultaten over het referentiespoor te vergelijken met berekeningen volgens SRM2.

De bovenbouwcorrectietermen voor SRM2 kunnen direct uit de meetresultaten worden gehaald. Voor de bepaling van de correctietermen voor SRM1 moet rekening worden gehouden met de frequentieafhankelijkheid van zowel de bovenbouwcorrectie, als de materieleigenschappen. Daarom worden de correctietermen voor SRM1 bepaald op basis van geluidberekeningen met behulp van SRM2. Hierbij worden berekeningen uitgevoerd op een punt dicht bij de spoorlijn, en bij drie snelheden van het passerende materieel. De gemiddelde correctieterm van deze drie snelheden wordt gebruikt als een representatieve waarde voor berekeningen op grond van SRM1.