

Handreiking geluidskartering van tramverkeer

Hulpmiddel ter vaststelling van emissie tramverkeer
in het kader van de EU-richtlijn omgevingslawaai

CROW-rapport 06-07

Thema: Infrastructuur

CROW is het nationale kennisplatform voor infrastructuur, verkeer, vervoer en openbare ruimte. Deze not-for-profitorganisatie ontwikkelt, verspreidt en beheert praktisch toepasbare kennis voor beleidsvoorbereiding, planning, ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud. Dit gebeurt in samenwerking met alle belanghebbende partijen, waaronder Rijk, provincies, gemeenten, adviesbureaus, uitvoerende bouwbedrijven in de grond-, water- en wegenbouw, toeleveranciers en vervoerorganisaties. De kennis, veelal in de vorm van richtlijnen, aanbevelingen en systematieken, vindt haar weg naar de doelgroepen via websites, publicaties, cursussen en congressen.

CROW heeft zijn activiteiten gebundeld in zeven thema's:

- Openbare ruimte
- Mobiliteit & Transport
- Verkeerstechniek
- Infrastructuur
- Besteksregelgeving
- Contractvormen
- Bouwprocesmanagement

CROW en diegenen die aan deze rapportage hebben meegewerkt, hebben de hierin opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze rapportage voorkomen. Gebruikers aanvaarden het risico daarvan. CROW sluit mede ten behoeve van diegenen die aan deze rapportage hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van de gegevens.

De inhoud van deze rapportage valt onder bescherming van de auteurswet. De auteursrechten berusten bij CROW.

CROW

Galvanistraat 1, 6716 AE Ede

Postbus 37, 6710 BA Ede

Telefoon (0318) 69 53 00

Fax (0318) 62 11 12

E-mail crow@crow.nl

Website www.crow.nl

Woord vooraf

Binnen de CROW-structuur werken van oudsher de drie openbaarvervoerbedrijven van Amsterdam, Rotterdam en Den Haag samen om hun gemeenschappelijke problemen op het gebied van trambanen en railvoertuigen op te lossen.

Geluid en trillingen in stedelijke gebieden zijn actuele onderwerpen. Onder auspiciën van de voormalige Coördinatiecommissie Railbouwkunde heeft de werkgroep 'Geluidsemissie Railvoertuigen' daarom een 'Handreiking geluidskartering voor tramverkeer' opgesteld.

Voor de stadstram zijn namelijk slechts in beperkte mate wettelijke kaders aangegeven voor de geluidsemissie, er zijn daarentegen in het Nationaal Milieu Plan 4 wel doelstellingen vastgelegd voor de geluidsbelasting aan gevels door wegverkeer. Voor de metro en sneltram zijn emissiewaarden voorgeschreven in de reken- en meetvoorschriften behorende bij de Wet geluidhinder. De gegevens waarop die waarden zijn gebaseerd, zijn echter sterk verouderd. De nieuwe Europese richtlijn omgevingslawaaï vereist echter dat iedere 5 jaar geluidsbelastingkaarten worden geproduceerd, waarin de bijdrage van trams ook aan de orde komt. Op basis van de geluidsbelastingkaarten dienen vervolgens actieplannen te worden opgesteld teneinde te voldoen aan de vastgestelde normen. Het is voor de railbedrijven echter niet duidelijk welke informatie nodig is en welke eisen er worden gesteld. De handreiking levert een verheldering van de problematiek op, zodat met de emissiegegevens van trams de geluidsbelasting in kaart kan worden gebracht en waardoor uiteindelijk een plan van aanpak kan worden opgesteld om tot algemeen aanvaardbare oplossingen te komen.

Uiteindelijk heeft dit geleid tot voorliggende Handreiking, die een hulpmiddel vormt bij de vaststelling van de emissie van tramverkeer in het kader van de EU-richtlijn omgevingslawaaï en bij het opstellen van geluidsbelastingkaarten.

Het project is gefinancierd door de gemeentelijke vervoersbedrijven GVB-A, HTM en RET, alsmede het Fonds Collectief Onderzoek.

Zonder het enthousiasme en de inzet van de werkgroepleden en andere betrokkenen zou het voorliggende resultaat niet tot stand zijn gekomen.

De directie van CROW is er van overtuigd dat met deze rapportage nuttige, bruikbare en praktische handreikingen beschikbaar zijn gekomen voor het maken van geluidsbelastingkaarten. Zowel gemeentelijke (milieu)diensten, trambedrijven, als technici betrokken bij geluidproblematiek van trams en alle andere belanghebbenden zullen hiervan kunnen profiteren.

CROW

dr. ir. I.W. Koster, directeur

Samenstelling van de werkgroep ‘Geluidsemissie Railvoertuigen’ bij afronding van de rapportage:

ing. R. Dik	GVB, Amsterdam
ir. E. van Haaren	DHV Ruimte en Mobiliteit BV, Amersfoort
G. van Keulen	AEA Technology Rail BV, Utrecht
ing. J.J.A. van Leeuwen	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu BV, Den Haag
ir. P.N. Scheepmaker	HTM, Den Haag
ing. L.P. van der Tang	RET, Rotterdam

Vanuit CROW is de werkgroep begeleid en voorgezeten door ir. A.J. van Leest.
Ir. E. van Haaren verzorgde de rapportage met bijdragen van ing. J.J.A. van Leeuwen.

Samenvatting

Als gevolg van de Europese richtlijn omgevingslawaai zullen de agglomeratiegemeenten in 2007 geluidsbelastingkaarten opstellen. Deze kaarten zijn gericht op de evaluatie van de geluidsbelasting ten gevolge van wegverkeer, railverkeer, luchtvaart en industrie. Op basis van de geluidsbelastingkaarten zullen gemeenten actieplannen vaststellen teneinde aan beoogde geluidswaarden te voldoen.

Tramverkeer wordt in de Nederlandse rekenmethode voor omgevingsgeluid gezien als onderdeel van het wegverkeer, en zal naar verwachting mee worden genomen in de geluidsbelastingkaarten ten gevolge van wegverkeer. Voor de productie van geluidsbelastingkaarten bestaat behoefte aan actuele gegevens van de emissie van tramverkeer in Nederland. Voor de actieplannen bestaat behoefte aan kennis van geluidsreducerende maatregelen.

Deze handreiking presenteert de beschikbare emissiegegevens van trams op basis van het reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai (RMW 2002), maar beschrijft ook de onderliggende data en verwijst naar rapporten die als bron hebben gediend. Daarmee wordt de bruikbaarheid van deze data verduidelijkt. Aanvullende informatie gaat in op actuele ontwikkelingen op het gebied van trammaterieel en spoorconstructies, waarmee de consequenties van de actuele situatie op de geluidsemisatie kunnen worden vastgesteld. Ingeval de emissie van bepaalde trams of spoorconstructies niet beschikbaar is, kan deze door metingen worden vastgesteld. Voor een dergelijke meting worden de uitgangspunten beschreven.

Nog niet voor alle nieuwe typen trams zijn op dit moment exacte emissiegegevens beschikbaar. Aan de Rotterdams Citadis zijn een beperkt aantal metingen uitgevoerd, voor de Amsterdamse Combino zullen medio 2006 emissiewaarden worden vastgesteld. Op basis van voorlopige resultaten is reeds vastgesteld dat de emissie van de Combino en de 11G/12G trams significant lager is, waardoor het zinvol is deze emissiegetallen te gebruiken voor de productie van geluidsbelastingkaarten in plaats van de getallen in het reken- en meetvoorschrift. In Amsterdam loopt men wat betreft opstellen geluidsbelastingkaarten voorop.

Indien actuele meetwaarden ontbreken, kan vooralsnog nog gebruik worden gemaakt van de algemene emissiegetallen volgens het reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai. De handreiking geeft aanbevelingen op welke wijze deze emissiegegevens kunnen worden toegesneden op een specifieke situatie. Tevens wordt een aantal opties gegeven voor een meer gedetailleerde geluidsemisatie, terwijl op een aantal punten duidelijk wordt gemaakt hoe op een praktische wijze de geluidsemisatie van trams in geluidsbelastingkaarten kan worden meegenomen.

Inhoud	pagina
1 Inleiding	7
2 Relevante wetgeving	8
2.1 Richtlijn omgevingslawaaï	8
2.2 Wet geluidhinder	9
2.3 Besluit geluidhinder spoorwegen	9
2.4 Andere toetsingskaders	9
3 Emissiegetallen tram	11
3.1 Emissie volgens reken- en meetvoorschriften	11
3.2 Aanvullende meetgegevens	14
3.3 Nieuwe ontwikkelingen	15
4 Aanpak geluidskartering trams	18
4.1 Geluidsbelastingkaarten en actieplannen tramverkeer	18
4.2 Selectie representatieve emissiegetallen	19
4.3 Aanbeveling uitvoering emissiemetingen	20
4.4 Conclusies en aanbevelingen	21

Bijlage 1

1 Inleiding

Voor de stadstram zijn geen eenduidige wettelijke kaders gesteld wat betreft de wijze waarop de geluidseffecten moeten worden vastgesteld. De stadstram kan worden meegenomen in de geluidsemissie van wegverkeer, waarbij de emissie voor de tram is gebaseerd op, gedateerde, metingen in Amsterdam, Den Haag en Rotterdam.

In 2004 is de Europese richtlijn omgevingslawaaï in de Nederlandse wetgeving geïmplementeerd [2].

Deze richtlijn schrijft voor dat geluidsbelastingkaarten en actieplannen worden vastgesteld voor zes agglomeraties in Nederland. In de actieplannen kunnen door gemeenten of beheerders van infrastructuur maatregelen worden beschreven die de geluidsbelasting beperken.

Het proces van de productie van de geluidsbelastingkaarten wordt uitgebreid weergegeven in de Handreiking omgevingslawaaï [1].

Voor de productie van geluidsbelastingkaarten bestaat behoefte aan actuele gegevens van de emissie van tramverkeer in de drie grote steden in Nederland. Voor de actieplannen bestaat behoefte aan inzicht in het effect van geluidsreducerende maatregelen, bijvoorbeeld een ander type spoorconstructie.

De emissiegegevens kunnen door de trambedrijven worden aangeleverd aan gemeentelijke milieudiensten voor de verwerking in de geluidsbelastingkaarten; het detailniveau van deze informatie dient nog nader te worden vastgesteld. De onderhavige handreiking geeft trambedrijven en gemeenten inzicht in de aanpak van geluidskartering van tramverkeer.

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de relevante wetgeving voor tramverkeer en geluidskartering. Er wordt in deze handreiking uitgegaan van beschikbare gegevens over de geluidsemissie van diverse tramvoertuigen in de drie grote steden. In hoofdstuk 3 wordt het gebruik van de emissiekentallen voor kartering van geluid door tramverkeer beschreven. Hoofdstuk 4 beschrijft een globale aanpak van geluidskartering van tramverkeer en geeft aanbevelingen voor het uitvoeren van emissiemetingen. In de bijlage wordt tenslotte een overzicht van de beschikbare emissiegegevens van trams gepresenteerd.

2 Relevante wetgeving

2.1 Richtlijn omgevingslawaai

De Europese richtlijn omgevingslawaai richt zich op de evaluatie en beheersing van geluidsbelasting van het leefmilieu. Deze richtlijn is in 2002 ingevoerd en in 2004 geïmplementeerd in de Nederlandse wetgeving [2]. Gemeenten in zes agglomeraties en bronbeheerders (trambedrijven) zullen als gevolg hiervan de komende jaren geluidsbelastingkaarten opstellen ter evaluatie van de geluidsbelasting. Aansluitend zullen actieplannen worden opgesteld, die inzicht bieden in de voorgenomen maatregelen waarmee de geluidsbelasting wordt beheerst.

Het proces van de productie van de geluidsbelastingkaarten wordt uitgebreid weergegeven in de Handreiking omgevingslawaai [1]. Bij de aanpak van geluidskartering speelt het technisch ambitieniveau van de gemeente een cruciale rol. Ook andere doelstellingen van de gemeente op het gebied van milieubeleid spelen hierbij een rol.

Geluidsbelastingkaarten dienen te worden opgesteld voor vier typen bronnen: wegverkeer, railverkeer, industrie en luchtverkeer. Op basis van aantal inwoners en verkeersintensiteiten zijn criteria gesteld.

Geluidsbelastingkaarten en actieplannen in de eerste tranche [1]:

- Agglomeraties met een bevolking van meer dan 250.000 personen
- Wegen waarop jaarlijks meer dan 600.000 voertuigen passeren
- Hoofdspoorwegen waarop jaarlijks meer dan 60.000 treinen passeren
- Burgerluchtvaartterreinen met jaarlijks meer dan 50.000 vliegtuigbewegingen

De verantwoordelijkheden voor de acties die uit de richtlijn volgen liggen bij het bevoegd gezag: de (bron-) beheerders van de infrastructuur (RWS, ProRail, provincies en Schiphol) en gemeenten binnen de agglomeraties.

Amsterdam, Den Haag en Rotterdam vallen binnen agglomeraties die voldoen aan het criterium voor de eerste tranche. De gemeenten zijn verantwoordelijk voor het opstellen van geluidsbelastingkaarten voor vier typen geluidsbronnen. Tramverkeer binnen de gemeente dient in die zin deel uit te maken van de geluidsbelastingkaarten die de gemeente zal moeten opstellen. Voor de eerste tranche dienen deze geluidsbelastingkaarten te worden gepubliceerd in 2007, waarna in 2008 actieplannen dienen te worden vastgesteld.

Geluidsbelastingen worden in navolging van de richtlijn uitgedrukt in L_{den} , een langtijd gemiddelde geluidsbelasting. Hoewel er wel een A-gewogen geluidsbelasting wordt bepaald, wordt als eenheid voor de geluidsbelasting 'dB' gehanteerd. De richtlijn introduceert ook een andere grootte: de L_{night} voor de nachtperiode. Deze grootte wordt gehanteerd zonder 10 dB(A) strafvoetstuk. Op deze punten wijkt de richtlijn af van de in Nederland tot nu gebruikelijke aanpak.

Er wordt volgens de Nederlandse wetgeving onderscheid gemaakt in tramverkeer dat onderdeel uitmaakt van het wegverkeer en tramverkeer op spoorwegen met geluidzones. Daarmee zijn er twee verschillende wetgevingen van toepassing. Tramverkeer dat onderdeel uitmaakt van het wegverkeer valt onder de Wet geluidhinder [2]. Metro- en sneltram verkeer vallen onder het Besluit geluidhinder spoorwegen [4], voor zover voor deze spoorwegen geluidzones zijn

vastgesteld. De betreffende tramlijnen zijn aangegeven op een kaart behorende bij het Besluit geluidhinder spoorwegen (uitvoering van de artikelen 105, 106 en 129 Wet geluidhinder). Omdat de gezoneerde tramlijnen geen onderdeel uitmaken van de hoofdspoorwegen van de eerste tranche omgevingslawaai worden de infrabeheerders niet verplicht geluidsbelastingkaarten en actieplannen op te stellen. Echter, aangezien deze gezoneerde tramlijnen wel binnen de agglomeraties van de eerste tranche liggen, zullen zij moeten worden meegenomen in de geluidsbelastingkaarten en actieplannen van de betreffende gemeenten. Dit geldt overigens ook voor de sneltram Utrecht-Nieuwegein/IJsselstein.

Tot dusver is gesproken over de geluidsemissie van trams op de doorgaande baan. De geluidsemissie van tramremises en onderhoudsbedrijven valt onder de regeling industrielawaai, en daarmee onder de vergunningregelgeving van de gemeente. Ook voor de remises geldt dat de gemeente de verantwoordelijkheid heeft de geluidsemissie van deze bronnen mee te nemen in de acties die volgen uit de richtlijn omgevingslawaai. Zowel voor de gezoneerde tramlijnen als voor de remises en onderhoudslocaties voor trams kan de gemeente de vervoersbedrijven wel verzoeken om gegevens over de geluidsemissie te verstrekken.

2.2 Wet geluidhinder

De Wet geluidhinder (Wgh) beschrijft de algemene wetgeving voor geluidhinder. Tramverkeer dat onderdeel uitmaakt van het wegverkeer wordt meegenomen als onderdeel van het wegverkeer, en valt daarmee onder het Reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai (RMW 2002). Dit is een regeling van de Minister van VROM van 27 maart 2002, LMV 2002 025825 [3], en beschrijft een reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai ter bepaling van de geluidsbelasting vanwege een weg: RMW 2002. Dit voorschrift beschrijft de emissiegetallen voor trams als onderdeel van het wegverkeer. In steden als Den Haag, Rotterdam en Amsterdam zal dit meestal het geval zijn.

2.3 Besluit geluidhinder spoorwegen

Sneltramverkeer op spoorwegen voorzien van geluidzones valt onder het Besluit geluidhinder spoorwegen (Bgs). Voorbeelden hiervan zijn de sneltram Utrecht-Nieuwegein en de sneltram in Amsterdam. Het bijbehorende Reken- en meetvoorschrift railverkeerslawaai (RMVR) beschrijft de bepaling van de geluidsbelasting ten gevolge van railverkeerslawaai. Vigerend is het RMVR uit 1996. Momenteel bestaat er een conceptversie RMVR 2004. In deze versie wordt de mogelijkheid geboden te corrigeren voor railruwheid en de toepassing van bronmaatregelen zoals raildempers.

2.4 Andere toetsingskaders

Aanvullend op de hierboven beschreven toetsingskaders is hierna een aanwijzing beschreven in het kader van de mogelijke hinder door tramverkeer. Er moet dan ook overwogen worden of deze aspecten meegenomen moeten en kunnen worden in het kader van de geluidskartering voor de Europese richtlijn omgevingslawaai. De gemeente zal uiteindelijk moeten besluiten welke van deze aspecten zij meeneemt in de geluidskartering.

Booggeluid

Voor booggeluid van railvoertuigen is geen wettelijk kader. Bij de berekening van de geluidsbelasting van railverkeer wordt in de regel geen rekening gehouden met booggeluid. Tramwegbedrijven hanteren in sommige gevallen wel een eigen interne richtlijn om hinder door booggeluid te beperken. In het Meerjarenprogramma Booggeluid zijn verschillende maatregelen tegen booggeluid onderzocht. CROW publiceerde de resultaten in 2003 [35].

Voelbare trillingen

Voor trillingen van railvoertuigen (en ook van normaal wegverkeer) bestaat geen wettelijk kader. De Wet geluidhinder onderkent het aspect 'trillingen' als gelijkwaardig aan 'geluid' wel degelijk maar stelt geen grenswaarden. Wel wordt vermeld dat grenswaarden nader vastgelegd kunnen worden, onder andere per Koninklijk Besluit (AmvB's, Algemene maatregel van bestuur). Dit is momenteel voor een aantal zaken reeds gerealiseerd, echter niet voor trillingen afkomstig van railverkeer.

Wel worden in het kader van milieuvergunningen door provincies en gemeenten voorschriften opgenomen waarin onder andere maximaal toelaatbare trillingsimmissiesterkten (binnenkomend bij de ontvanger ervan) bindend verklaard worden. Deze voorschriften baseren zich tegenwoordig steeds op de meet- en beoordelingsrichtlijn trillingen, opgesteld door de Stichting Bouwresearch (SBR). Door uitspraken van de Raad van State is inmiddels ruime jurisprudentie opgebouwd waarin de SBR richtlijn en de hierin gestelde streef- en grenswaarden centraal staan.

In de SBR-richtlijn Trillingen, meet- en beoordelingsrichtlijn deel A 'schade aan gebouwen' [8] worden per categorie bouwwerk en trillingsgevoelige funderingen, grenswaarden gesteld met het oog op mogelijke schade aan bouwwerken.

In de SBR-richtlijn Trillingen, meet- en beoordelingsrichtlijn deel B 'hinder voor personen' [9] worden voor herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd (weg- en railverkeer), voor nieuwe situaties, streefwaarden gesteld. Ook voor de gebouwfuncties 'onderwijs', 'kantoor' en 'bijeenkomst' zijn de aanbevolen waarden gegeven. Deze zijn minder streng dan de grenswaarden voor wonen. Voor de gebouwfunctie 'kritische werkruimte' is de grenswaarde het strengst.

In de SBR-richtlijn Trillingen, meet- en beoordelingsrichtlijn deel C 'verstoring van processen' [10] worden twee indelingssystematieken gepresenteerd. De criteria volgens Bolt, Beranek & Newman (BBN klassen) worden gehanteerd om een globale prognose voor relevante locaties te kwantificeren. Hiernaast wordt ook gewezen op het feit dat voor specifieke apparatuur zoveel als mogelijk de grenswaarden gehanteerd moeten worden die de fabrikant of leverancier verstrekt.

Laagfrequent geluid als gevolg van trillingen

Laagfrequent (LF-)geluid is geluid dat trillingen in het laagst hoorbare frequentiegebied heeft. Laagfrequent contactgeluid is het gevolg van door de bodem overgedragen trillingsenergie. Het laagfrequente geluid wordt veroorzaakt door de trillingen die onderdelen van de woningen (wanden) in trilling brengen die vervolgens geluid gaan afstralen. Deze trillingen zijn voor de mens niet als voelbaar te beschrijven maar worden wel akoestisch waargenomen. Het wordt veelal als hinderlijk gedreun of als gedonder ervaren. Het frequentiegebied van deze trilling ligt tussen circa 20 en veelal tot circa 200 Hz.

Om hinder te voorkomen wordt veelal getracht om uit te gaan van een streefwaarde van 35 dB(A) voor het maximaal toegelaten niveau ten gevolge van LF-geluid ($L_{Amax,LF}$) in de woning, zoals ook voorgesteld door COB [11]. Deze waarde wordt onder andere ontleend aan een classificatie volgens Hood die enkele malen in Engeland gebruikt is bij de ontwikkeling van railinfrastructuur.

Gemeentewerken Rotterdam gebruikt eveneens een streefwaarde van 35 dB(A) bij de ontwikkeling van de tunnels voor metro en light rail. Voorbeelden hiervan zijn de Calandlijn en het Statentracé (Randstadrail).

3 Emissiegetallen tram

3.1 Emissie volgens reken- en meetvoorschriften

Het reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai geeft emissiegetallen voor de geluidsemis­sie van trams als onderdeel van het wegverkeer. De emissiegetallen beschrijven de geluidsemis­sie als functie van de snelheid en de tram-verkeersintensiteit. De emissiegetallen worden gebruikt voor de bepaling van de geluidsbelastingen op geluidsgevoelige bestemmingen in akoestische onderzoeken, en kunnen ook worden gebruikt voor de vervaardiging van geluidsbelastingkaarten. De methodiek is toegepast in een aantal commercieel verkrijgbare rekenpakketten voor akoestisch onderzoek.

Sneltrams op gezoneerde tramlijnen worden nader beschreven in het reken- en meetvoorschrift railverkeerslawaai. De geluidsemis­sie is op eenzelfde wijze beschreven.

In de volgende paragrafen worden de beide reken- en meetvoorschriften nader toegelicht.

3.1.1 Reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai (RMW 2002)

Het reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai in herzien is 2002 (RMW 2002) [3]. De emissiegetallen voor trams zijn weergegeven in de toelichting, en zijn daarmee toch niet geheel eenduidig voorgeschreven. De emissiegetallen zijn gebaseerd op een onderzoek begin jaren negentig [28]. De metingen die in dat onderzoek gebruikt zijn, zijn 5 tot 10 jaar eerder uitgevoerd, medio jaren '80.

Er wordt onderscheid gemaakt in rekenmethode I en rekenmethode II. Rekenmethode I geeft emissiegetallen in dB(A) niveau, terwijl methode II de geluidsemis­sie in octaafbanden beschrijft.

De emissiegetallen in het voorschrift beschrijven de emissie zoals bepaald voor tramspoor op betonnen dwarsliggers in ballastbed en tramspoor in asfaltbeton. Een stangenspoor heeft een geluidsemis­sie die overeenkomt met die van spoor in ballastbed.

De emissiegetallen volgens rekenmethode I:

$$E_{\text{tram, ballastbed}} = 25 + 30 \log(v_{\text{tram}}) + 10 \log(Q_{\text{tram}}/v_{\text{tram}})$$

$$E_{\text{tram, asfaltbeton}} = 31 + 30 \log(v_{\text{tram}}) + 10 \log(Q_{\text{tram}}/v_{\text{tram}})$$

waarin:

$$v_{\text{tram}} = \text{rijnsnelheid in [km/h]}$$

$$Q_{\text{tram}} = \text{de tram-verkeersintensiteit [/h]}$$

Geluidsemis­sie en geluidsbelasting bij de ontvanger

De emissiegetallen beschrijven de geluidsemis­sie als een bron. In de akoestische modellen worden de akoestische eigenschappen van de omgeving beschreven, waaronder de absorptiegraad van de ondergrond, de afstand tot de geluidsgevoelige bestemming en eventuele reflecties.

In het reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai worden geluidsbronnen gedefinieerd ter hoogte van het wegdek/bovenzijde spoor, en in het midden van het spoor.

Zoals blijkt uit deze emissiegetallen bedraagt de emissie van railvoertuigen op een trambaanconstructie in asfaltbeton 6 dB(A) meer dan een constructie in ballastbed. In beide gevallen is de snelheidscoëfficiënt¹ gelijk aan 3. De getallen zijn bepaald voor de volgende typen trams:

- Amsterdamse trams: 6G, 8G, 9G, en 10G
- Rotterdamse trams: ZGT-6/6 en ZGT-6/4

Tramtype 11G/12G (Amsterdam) is vanaf 1989 in gebruik en is niet in het onderzoek van de tachtiger jaren opgenomen [28]. Omdat dit type tram voorzien was van schorten mag worden verwacht dat de geluidsemissie van dit type tram lager uitvalt.

Hoewel ook trams uit Den Haag in het onderzoek zijn meegenomen, zijn de resultaten daarvan niet in het reken- en meetvoorschrift wegverkeer opgenomen.

De emissiegetallen volgens rekenmethode II:

$$E_{\text{tram}} = A + 30 \log(v_{\text{tram}}) + 10 \log(Q_{\text{tram}}/v_{\text{tram}})$$

waarin:

v_{tram} = rijsnelheid in [km/h]

Q_{tram} = de tram-verkeersintensiteit [/h]

A = constante volgens onderstaande tabel.

Tabel 3-1 Emissiekental A per octaafband

Frequentie [Hz]	Octaafband i	Ballastbed of stangenspoor	Spoor in asfalt
63	1	29	32
125	2	39	47
250	3	46	54
500	4	53	59
1000	5	55	61
2000	6	54	58
4000	7	48	50
8000	8	36	38

Beperkingen in de emissiegetallen

De emissiegetallen in het voorschrift zijn bepaald voor rolgeluid met een snelheidsbereik van 15 tot 50 km/h. De emissiebeschrijving bevat geen gegevens over de emissie in bogen, op kruisingen en in wissels. Ook optrekken en afremmen zijn niet in de emissiebeschrijving opgenomen. Bij de bepaling van de emissiegetallen is uitgegaan van metingen, waarbij geen ruwheden van wiel en rail zijn gemeten.

Op basis van de rapportage die aan de beschrijving ten grondslag ligt [27], wordt aangegeven dat voor stootgeluid in wissels en op kruisingen een toeslag van 5 dB(A) gebruikt zou kunnen worden. Voor booggeluid wordt daarin een toeslag van 5 of 10 dB(A) voorgesteld.

Trams op een brug zullen een hogere geluidsemissie opleveren. De zogenaamde brugtoeslag is sterk afhankelijk van het type brug. Bepaling van deze toeslag is dan ook maatwerk. De toeslag heeft veelal een sterke laagfrequente bijdrage, waardoor de relatieve bijdrage op grotere afstand toeneemt.

¹ De snelheidscoëfficiënt is de factor voor vermenigvuldiging van de snelheidsterm $10 \cdot \log(v)$ in de emissieformule. Een snelheidscoëfficiënt van 3 betekent een toename van 9 dB(A) bij een verdubbeling van het snelheid.

In de emissiegetallen is ook geen rekening gehouden met lassen van slechte kwaliteit. Deze kunnen een eventuele verhoging van de geluidsemissie tot gevolg hebben, waardoor afwijkingen kunnen ontstaan. Er wordt in de regel uitgegaan van een goede staat van onderhoud.

3.1.2 Reken- en meetvoorschrift railverkeerslawaai (RMVR)

Ter vergelijking met het reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai (RMW 2002), worden hier tevens kort de emissiegetallen voor sneltrams volgens het reken- en meetvoorschrift railverkeerslawaai (RMVR) gepresenteerd. Ook hier wordt onderscheid gemaakt tussen rekenmethode I en II. Hieronder worden de emissiegetallen voor sneltram (categorie 7) op betonnen respectievelijk houten dwarsliggers in een ballastbaan gepresenteerd. Ook wordt het emissiegetal voor light rail (LR/A32) materieel gepresenteerd, zoals gemeten voor de Rijn Gouwe lijn. Tenslotte wordt de emissie van de HTM-tram weergegeven zoals beschreven in bijlage 1.

De emissiegetallen volgens rekenmethode I:

$$E_{\text{cat 7, beton}} = 18 + 22 \log(v) + 10 \log(Q)$$

$$E_{\text{cat 7, hout}} = 19 + 22 \log(v) + 10 \log(Q)$$

$$E_{\text{LR 7, beton}} = 17,1 + 19,4 \log(v) + 10 \log(Q)$$

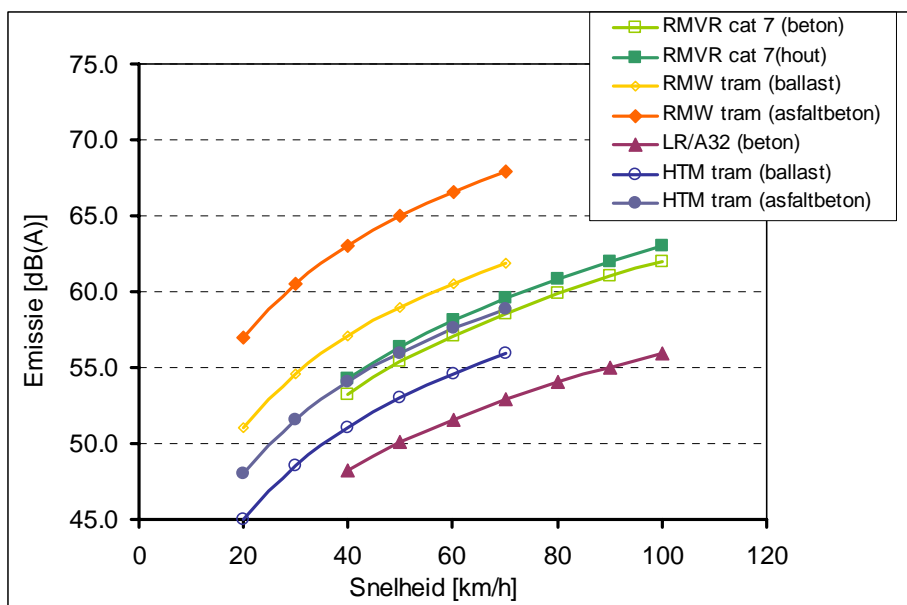
waarin:

$$v = \text{rijksnelheid in [km/h]}$$

$$Q = \text{de sneltram-verkeersintensiteit [h].}$$

De emissiegetallen voor sneltrams zijn gebaseerd op een TNO rapport uit 1991 [40]. Daarbij is uitgegaan van metingen aan sneltrams en metro's in Amsterdam, Rotterdam en Utrecht, welke medio jaren '80 zijn uitgevoerd.

In navolgende figuur worden de emissiegetallen volgens rekenmethode I uit het RMW en RMVR vergeleken. De figuur toont aanzienlijke verschillen in geluidsemissie in de verschillende situaties. Dit is een gevolg van het type materieel, het type trambaanconstructie en, in beperkte mate, de conditie van de baan. Het is dus van de belang voor geluidskartering de juiste emissiegetallen vast te stellen.



Figuur 3-1 **Vergelijking emissiegetallen RMW en RMVR**

Voor de rekenmethode II emissiegetallen volgens het RMW en het RMVR wordt verwezen naar het betreffende voorschrift [3], respectievelijk [5] en [6].

3.1.3 Toekomstige reken- en meetvoorschriften

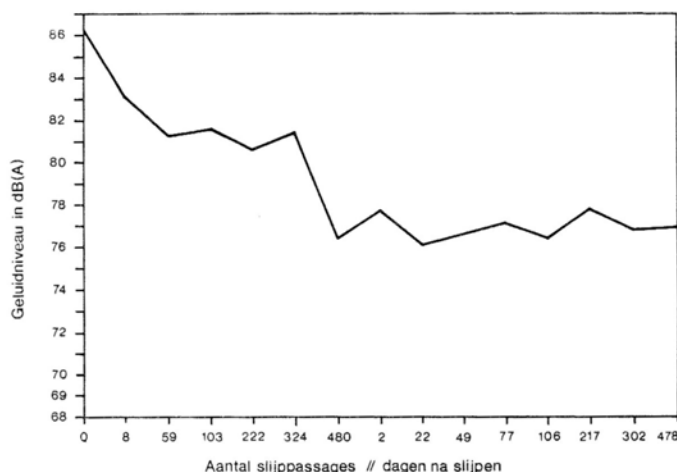
Naar verwachting zal het nieuwe Reken- en meetvoorschrift Railverkeerslawaai in 2006 worden ingevoerd. De eerste tranche van geluidskartering volgende de EU-richtlijn omgevingslawaai maakt gebruik van de bestaande rekenmethodiek. Het RMVR en RMW worden daarbij aangevuld met een standaard karteringsmethodiek (SKM). Voor de volgende ronde in 2011/2012 zullen naar verwachting aangepaste rekenmethodieken worden toegepast, zoals die zijn ontwikkeld in het EU-project Harmonoise [7].

3.2 Aanvullende meetgegevens

Effecten van ruwheid en golfslijtage

Ruwheid van spoorstaven (railruwheid²) is sterk van invloed voor het ontstaan van rolgeluid van trams. Metingen aan de Hillevliet te Rotterdam [24] waarbij er een sterk wisselende toestand van het spoor is geïntroduceerd, geven het beeld zoals weergegeven in de navolgende figuur.

² Railruwheid wil zeggen: kleine oneffenheden op het oppervlak van de spoorkop, waardoor kleine verticale trillingen ontstaan als de tram er overheen rijdt. Deze trillingen hebben een geluidsemissie van de tram tot gevolg.



Figuur 3-2 Verloop van het A-gewogen geluidniveau (SEL) na het uitvoeren van slijppassages met een slijptram en vervolgens, nadat het slijpproces was gestopt, ten tijde van het aantal dagen na het stopzetten van het slijpproces.

De ruwheid van spoorstaven geeft een beeld dat deze vanuit een ‘slechte’ uitgangspositie snel te verbeteren is. De eerste 100 passages met een slijptram geven al snel 4 tot 5 dB(A) verbetering. (Los van deze conclusie moet men zich dan ook afvragen of een slijptram niet beter ingezet kan worden nadat er met ‘de hand’ geslepen is). Wat ook opmerkelijk is, is dat meer dan een jaar geen slijp-onderhoud toch geen significante verhoging geeft in de geluidsemissie. Een en ander geeft aan dat er een balans moet worden gevonden tussen het aantal maal slijpen per week/maand teneinde te komen tot een optimale, dat wil zeggen economisch haalbare, lage geluidsproductie.

3.3 Nieuwe ontwikkelingen

3.3.1 Lage vloer tram

Combino

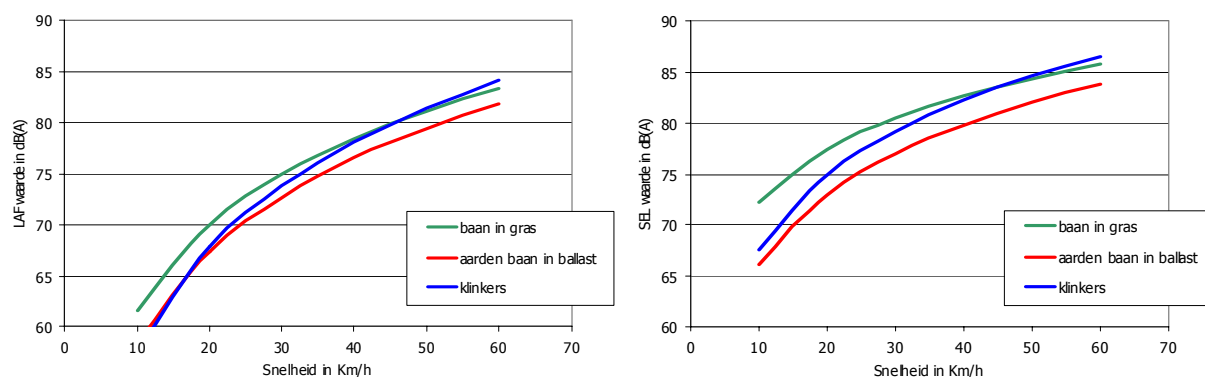
In Amsterdam zijn in 2005 metingen uitgevoerd om de emissie van de nieuwe Combino tram nader vast te stellen. Daarbij wordt ook de invloed van de bovenbouw en de railruwheid op de geluidsemissie vastgesteld. De diensten Ruimtelijke Ontwikkeling en Milieu en Bouwtoezicht van Amsterdam, zullen deze gegevens gebruiken voor geluidsbelastingkaarten en akoestische onderzoeken in het kader van de ruimtelijke ordening. Medio 2006 zullen de resultaten van de emissiebepaling van de Combino worden gerapporteerd [43], tevens zullen emissiegetallen voor de 11G en 12G trams worden bepaald [44]. Op basis van voorlopige resultaten is reeds vastgesteld dat de emissie van de Combino en de 11G/12G trams significant lager is, waardoor het zinvol is deze emissiegetallen te gebruiken voor de productie van geluidsbelastingkaarten in plaats van de getallen in het reken- en meetvoorschrift.

Zodra gegevens van de metingen aan de Combino beschikbaar komen, zullen deze in een nieuwe versie van onderhavige rapportage worden opgenomen.

Citadis

De Citadis tram in Rotterdam is een tram van de nieuwste generatie. De tram is een lage vloertram en heeft 6 wielstellen. Metingen zijn gedaan op drie typen trambaanconstructies: een vignolerail op dwarsliggers in een ballastbedbaan, een groefrail op dwarsliggers in een grasbaan en een groefrail op dwarsliggers in een baan van klinkers [42], [42].

De meetresultaten moeten met enige omzichtigheid gehanteerd worden. Bij de metingen is weliswaar middels railruwheidsmetingen gebleken dat ruwheid van de meetlocatie middelmatig is en vergelijkbaar met metingen op andere locaties met RET tramspoor. Er worden echter nog proeven genomen met wioldempers op de wielen van de Citadis trams. Voorsnog is er één proeftram uitgerust met wioldempers. Deze tram is echter niet opgenomen in de metingen.



Figuur 3-3 Geluidsemissie Citadis trams

Uit de metingen blijkt dat de Citadis op rail in ballastbed vergelijkbare geluidsniveaus geeft als het reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai en dus ook vergelijkbaar is met de oudere Rotterdamse tramtypen.

Volgens dit reken- en meetvoorschrift dient er bij rail in een klinkerverharding op een zelfde manier gerekend te worden als bij een asfaltverharding. Uit de metingen blijkt dat de Citadis op de baan in klinkers aanzienlijk stiller is dan wat volgens het RMW verwacht zou worden. Uit metingen van 1985 bleek al dat klinkers tot de groep (met o.a. ballastbed) stillere bovenbouwconstructies horen en dat asfalt niet tot deze groep behoort. Dit verschil wordt mogelijk veroorzaakt door het patroon en de vlakheidstoestand van de klinkerbestrating, zie voor een toelichting [47]. De recente metingen komen overeen met deze observatie.

Op een grasbaan maakt de Citadis 2-3 dB(A) meer geluid dan berekend wordt volgens het reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai.

In Den Haag worden binnen een aantal jaren waarschijnlijk ook lage vloertrams in gebruik genomen.

3.3.2 Bovenbouw

In het algemeen kan gesteld worden dat verschillen in geluidsemissie van trambanen o.a. veroorzaakt worden door het type wegdek (asfalt, beton, klinkers, gras, ballast) dat op eenzelfde onderbouwconstructie aanwezig is en het type onderbouwconstructie met eenzelfde bovenlaag (klinkers op zand met traversestangen, klinkers op beton, klinkers op betonnen dwarsliggers in ballastbed). Daarnaast speelt de railruwheid een belangrijke rol in de verschillen tussen meetresultaten.

In vergelijking tot de emissie van trams zoals beschreven in het RMW2002, worden tegenwoordig zwaardere rails en andere trambaanconstructies toegepast. Deze constructies kunnen afwijkingen in de geluidsemissies leveren. Verwacht wordt echter dat dit verschil minder groot zal zijn dan het verschil ten gevolge van het type tram. Aangeraden wordt voor de geluidskartering het meest representatieve type trambaanconstructie voor de in kaart te brengen situatie te selecteren.

Nieuwe ontwikkelingen zijn er ten aanzien van ingegoten spoorstaven: Embedded Rail in Beton (met S49 spoorstaven) en Embedded Rail in Asphalt (ERIA). De eerst genoemde constructie is toegepast in de Hobbemastraat in Den Haag. In 2001 zijn geluids- en trillingsmetingen uitgevoerd [45]. De geluidsemissie neemt circa 3 dB(A) toe, terwijl de trillingsemissie ca. 10 dB(A) afneemt. Er is daarbij geen rekening gehouden met verschillen in de railruwheid.

Beide spoorconstructies hebben zich nog niet op de lange termijn bewezen wat betreft geluidsemissie. Er is wel vastgesteld dat de trillingsemissie lager is, mede door de continue oplegging. Ook lijkt het erop dat de opbouw van golfslijtage minder snel plaatsvindt. Dit is waarschijnlijk ook een gevolg van de continue oplegging.

4 Aanpak geluidskartering TRAMS

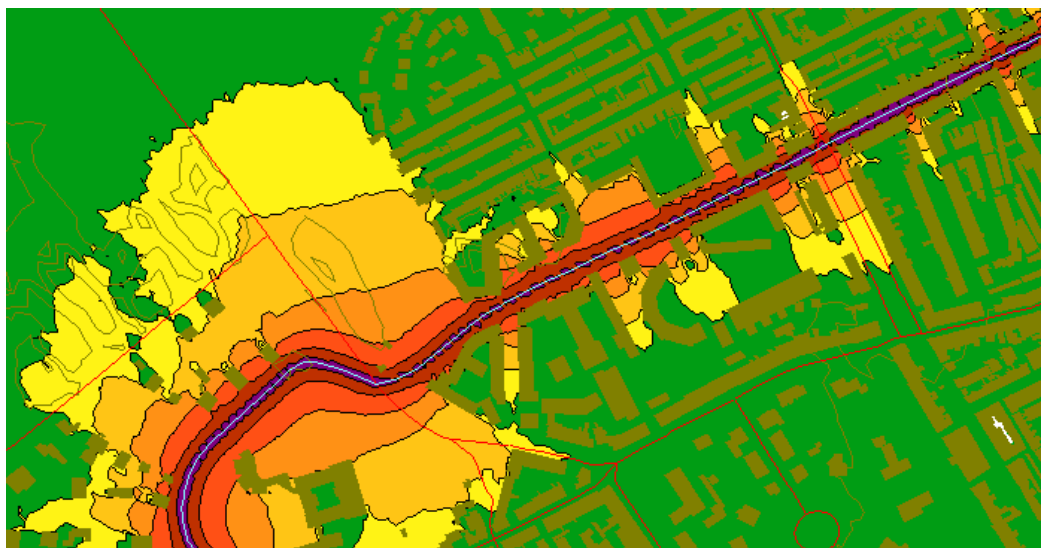
4.1 Geluidsbelastingkaarten en actieplannen tramverkeer

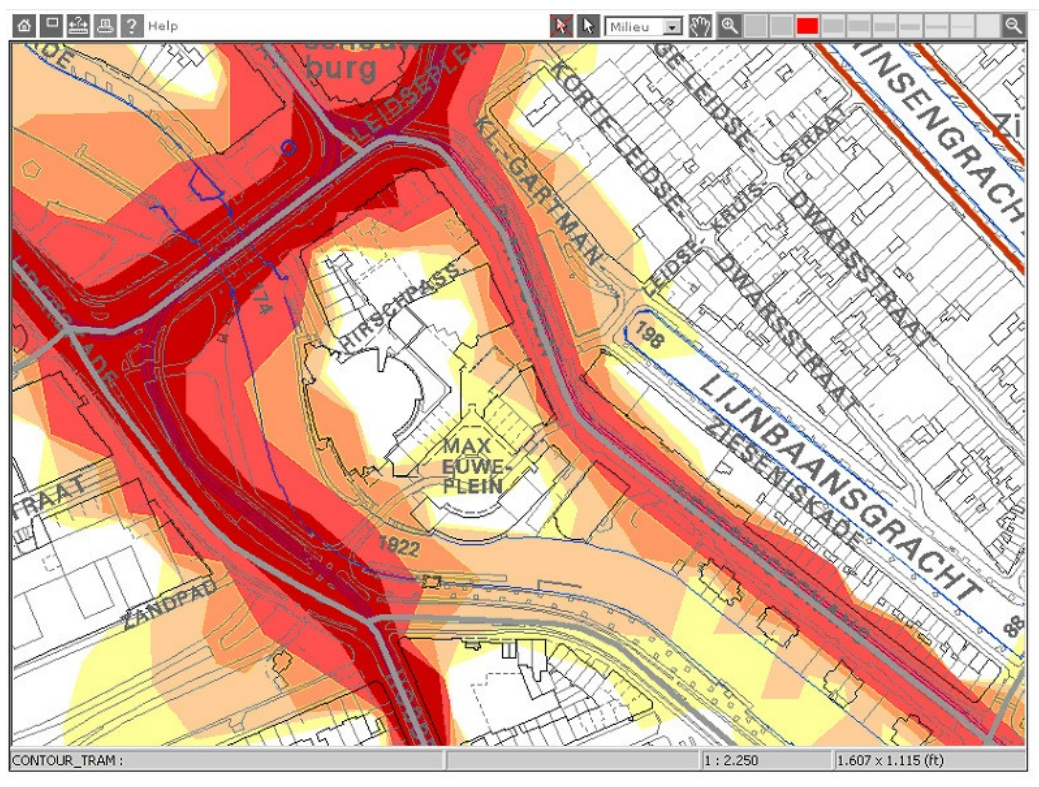
De geluidsbelasting ten gevolge van tramverkeer kan als onderdeel van wegverkeer worden berekend en gepresenteerd in geluidsbelastingkaarten zoals bedoeld. De kaarten zullen veelal de totale geluidsbelasting ten gevolge van wegverkeer weergeven. Het kan interessant zijn de geluidsbelasting ten gevolge van alleen het tramverkeer in kaart te brengen. Daarmee worden de knelpunten op twee niveaus duidelijk. De kaarten voor specifiek tramlawaai geven specifiek de knelpunten voor tramverkeer weer, terwijl de gecumuleerde wegverkeerkaarten, inclusief tramverkeer de integrale knelpunten weergeven.

Vergelijking van beide kaarten zal duidelijk maken op welke punten tramverkeer bijdraagt aan de geluidsknelpunten. Bij het opstellen van actieplannen kunnen op basis van deze kaarten specifieke maatregelen voor tramverkeer worden opgesteld.

Bij het opstellen van de geluidsbelastingkaarten is de keuze van het gewenste detailniveau van belang voor de benodigde informatie die verzameld moet worden. In het algemeen ligt afstemming met het detailniveau voor de wegverkeerkaarten voor de hand. Ook voor wegverkeer worden bij de productie van geluidsbelastingkaarten pragmatische keuzes gemaakt om het beheer van de vereiste informatie eenvoudiger te maken. Daarbij wordt gedacht aan een beperking in het aantal snelheidsklassen en een beperkte mate van detail in de verkeersintensiteiten.

Volgens de Wet geluidhinder dienen de geluidsbelastingkaarten de jaargemiddelde geluidsbelasting in L_{den} en L_{night} te beschrijven. De geluidsbelastingkaarten dienen uiteindelijk per geluidsbelastingklasse het aantal woningen, het aantal blootgestelden (in honderdtallen) en het geluidsbelast oppervlak te leveren. Figuur 4-1 geeft een tweetal voorbeelden van geluidsbelastingkaarten.





Figuur 4-1 Voorbeelden van (gedeelten van) geluidsbelastingkaarten voor tramverkeer. De eerste kaart is afkomstig uit Den Haag. De tweede kaart is van de Dienst RO van Amsterdam, deze is gebaseerd op beschikbare gegevens van 2005 en de berekende emissies zijn dus volgens het reken- en meetvoorschrift en niet gebaseerd op actuele metingen.

4.2 Selectie representatieve emissiegetallen

Voor de productie van geluidsbelastingkaarten voor trams dienen allereerst representatieve geluidsemissiegetallen te worden vastgesteld. De emissiegetallen voor trams in het reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai zijn in het algemeen niet representatief voor lage vloertrams. Ook de 11G/12G trams in Amsterdam zijn naar verwachting stiller dan de in het meetvoorschrift aangegeven emissiegetallen.

Het is mogelijk de voorgeschreven emissiegetallen te gebruiken en de geluidsbelastingen daarmee te overschatten. De overschatting kan echter oplopen tot 5 à 10 dB, waardoor er geen sprake is van een representatieve geluidsbelasting.

Ook is het mogelijk aan de hand van beschikbare metingen de emissiegetallen aan te passen op de werkelijke situatie. Dit is bijvoorbeeld gedaan in Den Haag. Maar in dat geval waren ook een groot aantal gegevens beschikbaar, onder andere uit het onderzoek waarop ook de emissiegetallen in het reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai zijn gebaseerd.

Voor lage vloertrams ontbreken echter vooralsnog passende emissiegetallen, dat geldt ook voor een aantal typen bovenbouwconstructies. Voor dergelijke situaties zijn aanvullende metingen nodig. In de volgende paragraaf wordt beschreven aan welke eisen een aanvullend onderzoek ten minste zou moeten voldoen.

Suggestie: compenseren detailniveau

Bij het in kaart brengen van bijzondere situaties, zoals kruisingen, wissels en bogen, kan worden overwogen deze details niet mee te nemen in de geluidsbelastingkaarten. De onderschatting die hierdoor ontstaat, kan worden gecompenseerd door de tramsnelheid hoger in te voeren. Ter plaatse van dergelijke bijzondere situaties is de snelheid immers steeds lager. In de praktijk kan een constante snelheid van 40 of 50 km/h worden gebruikt.

Deze compensatiemaatregel vereenvoudigt de invoer en het beheer van de emissiedata.

Het separaat meenemen van booggeluid of discontinuïteiten (impulsgeluid) is afhankelijk van de bijdragen die plaatselijk optreden. Het toepassen van wieldempers of smering kan de bijdrage van booggeluid al significant reduceren. Het is daarom van belang de lokale geluidsemissie in dergelijke gevallen nader vast te stellen.

Indien er geen nadere informatie bekend is en men toch een specifieke situatie in kaart wil brengen kan gebruik worden gemaakt van de ‘Good Practice Guide for Noise Mapping’ [46]. De Guide is opgesteld door de EC werkgroep WG/AEN ter ondersteuning van het opstellen van geluidsbelastingkaarten door gemeenten en bronbeheerders. De toolkit 8 in de Good Practice Guide geeft een richtlijn voor het separaat in kaart brengen van lokale bronnen. Deze toolkit noemt een maximale booggeluidstoeslag van 12 dB(A). Voor impulsgeluid wordt een toeslag van 3 dB(A) over een lengte van 60 meter gehanteerd.

4.3 Aanbeveling uitvoering emissiemetingen

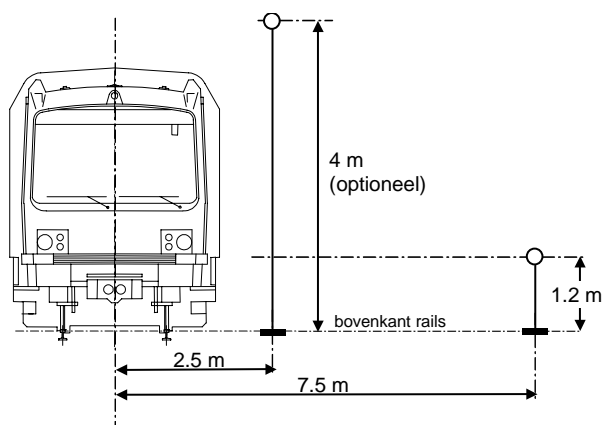
Het reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaaï geeft geen beschrijving hoe emissiemetingen aan trams dienen te worden uitgevoerd. In het algemeen worden metingen aan railverkeer uitgevoerd volgens NEN EN ISO 3095 [17]. Deze norm beschrijft de wijze waarop de geluidsmetingen en railruwheidsmetingen dienen te worden uitgevoerd. De emissiemeting van trams dient dan ook volgens deze norm te worden uitgevoerd. Opgemerkt dient te worden dat de eisen aan de railruwheid in deze norm van toepassing zijn voor (zwaar) railverkeer. Het kan nodig zijn hiervan af te wijken en een hogere railruwheid van het tramspoor toe te staan. Indien de geluidsemissie uiteindelijk zal worden gecorrigeerd voor de representatieve railruwheid heeft dit geen nadelige consequenties. Overigens is er (nog) geen representatieve railruwheid voor tramspoor gedefinieerd. Dit is ook afhankelijk van het onderhoudsregime en kan per railbeheerder verschillen.

Het reken- en meetvoorschrift railverkeer beschrijft in de bijbehorende Technische Regeling de aanpak die dient te worden gehanteerd bij de vaststelling van de emissie van railverkeer. Bij gebrek aan een meer toegesneden methode kan deze regeling worden gehanteerd. Wel dienen daar waar dat mogelijk en verantwoord is, enige vereenvoudigingen te worden aangebracht om de emissiebepaling kosteneffectief te laten zijn.

Om voor de toekomst vergelijkbare emissiewaarden te kunnen vergelijken, beveelt deze handreiking aan de emissiebepaling uit te voeren conform de volgende uitgangspunten:

- de metingen worden uitgevoerd volgens NEN EN ISO 3095 [17]
- de emissiemeting wordt uitgevoerd op een representatieve trambaanconstructie voor dat gebied, (zodanig worden metingen uitgevoerd voor verschillende constructies ter bepaling van de specifieke emissiegetallen),
- de metingen worden uitgevoerd met een gegeven onderhoudsconditie van spoor en tram(wielen) (het representatief onderhoudsniveau dient nader te worden vastgesteld door de beheerder),
- de ruwheid van de rail wordt gemeten en getoetst,
- de geluidsmetingen worden uitgevoerd op (2,5 en) 7,5 meter afstand uit het hart van de baan,

- de meting wordt uitgevoerd ter plaatse van tenminste 2 meetpunten, tenminste 15 meter van elkaar verwijderd,
- de metingen worden uitgevoerd voor 25, 50 en 70 km/u, teneinde het relevante snelheidsbereik te kunnen beschrijven,
- per meting en snelheid dienen tenminste 10 metingen te worden bepaald,
- aanvullend worden metingen uitgevoerd bij tractie en beremming, ter bepaling van de toeslag voor deze situaties.



Figuur 4-2 Opstelling microfoons emissiemeting van railverkeer

Bronscheiding wiel en rail: Het scheiden van bronnen (wiel en rail) is een methode die in de Technische Regeling voornamelijk wordt toegepast om voor beheerders van infrastructuur en materieel deelbijdragen inzichtelijk te maken. Aangezien de gemeenten in Nederland verantwoordelijk zijn voor de emissie van tram en baan, lijkt bronnscheiding niet nodig. Bovendien zal aanvullend onderzoek nodig zijn naar de geluidsafstraling van rails in diverse trambaanconstructies om deze bronnscheiding mogelijk te maken.

Deze emissiebepaling heeft alleen betrekking op rolgeluid. Ten einde tevens een inzicht te hebben in de bijdrage van booggeluid, wissels en kruisingen kan, voor de bepaling van emissietoeslag, aanvullend specifiek onderzoek nodig zijn. Dit onderzoek zal echter wel gelijk van opzet zijn als de emissiebepaling op rechtstand.

Op basis van de resultaten van de emissiemeting worden emissiegetallen bepaald die de geluidsemissie van de tram op de betreffende bovenbouw beschrijft. De emissie kan worden gecompenseerd voor de representatieve ruwheid van het tramspoor.

4.4 Conclusies en aanbevelingen

Er blijkt in de praktijk onduidelijkheid te bestaan over de te hanteren gegevens, de beschikbaarheid ervan alsmede de uitgangspunten bij het opstellen van geluidsbelastingkaarten van tramverkeer.

Als gevolg van de acties die uit de Europese richtlijn omgevingslawaai volgen, zijn de gemeenten binnen de zes grote agglomeraties verantwoordelijk voor het opstellen van geluidsbelastingkaarten en actieplannen voor vier typen geluidsbronnen. Tramverkeer binnen

de gemeenten dient in die zin deel uit te maken van de geluidsbelastingkaarten die de gemeente zal moeten opstellen.

De stappen die moeten worden gevolgd bij de acties volgens de richtlijn omgevingslawaai zijn nader beschreven in de Handreiking omgevingslawaai [1]. De 63 gemeenten in 6 agglomeraties zijn verantwoordelijk voor het opstellen van de geluidsbelastingkaarten en de actieplannen. Deze gemeenten zullen daartoe verschillende stappen doorlopen, zoals aangegeven in navolgend schema.



Bij de inventarisatie van gegevens en modellen zal worden vastgesteld welke emissiegegevens beschikbaar zijn voor het in kaart brengen van tramlawaai. De geluidsbelastingkaarten voor de eerste tranche moeten op 30 juni 2007 door gemeenten worden geleverd aan VROM. Op basis van de kaarten worden door de gemeenten actieplannen opgesteld die op 18 mei 2008 aan VROM moeten worden geleverd. VROM zal de gemeentelijke kaarten en actieplannen steeds gebundeld leveren aan de Europese Commissie. Vervolgens zullen iedere vijf jaar opnieuw geluidsbelastingkaarten en actieplannen moeten worden opgesteld.

In opdracht van het ministerie van VROM ondersteunt het projectbureau POLKA gemeenten, overheden en bronbeheerders bij het uitvoeren van acties die volgen uit de richtlijn omgevingslawaai (www.polka.org).

Emissiegegevens van trams kunnen worden gehaald uit het reken- en meetvoorschrift of kunnen opnieuw worden gemeten. De vraag is dan ook of in het eerste geval de gegevens nog representatief zijn. Recente meetresultaten duiden erop dat het interessant kan zijn om metingen van het vernieuwde materieel en nieuwe trambaanconstructies uit te voeren, omdat dit kan leiden tot lagere emissiewaarden dan in het reken- en meetvoorschrift worden gehanteerd. Investeren in metingen kan dus lonend zijn!

REFERENTIES

1. Handreiking omgevingslawaaï. Den Haag, Ministerie van VROM, september 2004.
2. Wet geluidhinder, 1979, wijziging ter implementatie van de Richtlijn Omgevingslawaaï (Stb 2004, 338), 2004.
3. Reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaaï 2002, Regeling van de Minister van VROM, nr. LMV 2002 025825. Den Haag, Ministerie van VROM, maart 2002.
4. Besluit geluidhinder spoorwegen, 1987.
5. Reken- en meetvoorschrift railverkeerslawaaï 1996. Den Haag, Ministerie van VROM, november 1996.
6. Concept Reken- en meetvoorschrift railverkeerslawaaï 2004. Den Haag, Ministerie van VROM, nog niet geformaliseerd.
7. www.harmonoise.org
8. SBR-richtlijn Trillingen, meet- en beoordelingsrichtlijn deel A 'schade aan gebouwen'.
9. SBR-richtlijn Trillingen, meet- en beoordelingsrichtlijn deel B 'hinder voor personen'.
10. SBR-richtlijn Trillingen, meet- en beoordelingsrichtlijn deel C 'verstoring van processen'.
11. Hinderlijkheid van constructiegeluid met laagfrequent karakter veroorzaakt door trillingen vanwege ondergrondse infrastructuur/Fase 1 praktijk/literatuurstudie. Gouda, Centrum voor Ondergronds Bouwen, december 2001.
12. Meetresultaten ORL-6 onderzoek tramtype GTL-8 's-Gravenhage, S. Riemens, Y.K. Wijnia en J.J.A. van Leeuwen, rapport 3216.A. Den Haag, Van Dorsser bv, 3 april 1984.
13. Meetresultaten ORL-6 onderzoek tramtype ZGT-6 Rotterdam, S. Riemens, Y.K. Wijnia en J.J.A. van Leeuwen, rapport 3216.B. Den Haag, Van Dorsser bv, 3 april 1984.
14. Meetresultaten ORL-6 onderzoek tramtype 9G Amsterdam, S. Riemens, Y.K. Wijnia en J.J.A. van Leeuwen, rapport 3216.C. Den Haag, Van Dorsser bv, 12 februari 1985.
15. Eindrapport typekeuringsmetingen aan trams type 9G, GTL-8 en ZGT-6, S. Riemens, Y.K. Wijnia en J.J.A. van Leeuwen, rapport 3216.E. Den Haag, Van Dorsser bv, 12 februari 1985.
16. ICG-publicatie RL HR 01 01 'Meetvoorschrift voor het meten van railvoertuigen', december 1977.
17. NEN EN ISO 3095 Acoustics – Measurement of noise emitted by railbound vehicles, februari 2001.
18. Praktijkmetingen trams te 's-Gravenhage, S. Riemens, Y.K. Wijnia en J.J.A. van Leeuwen, rapport 3507.B. Den Haag, Van Dorsser bv, 31 mei 1985.
19. Praktijkmetingen trams te Amsterdam, S. Riemens, Y.K. Wijnia en J.J.A. van Leeuwen, rapport 3507.C. Den Haag, Van Dorsser bv, 31 mei 1985.
20. Praktijkmetingen trams te Rotterdam, S. Riemens, Y.K. Wijnia en J.J.A. van Leeuwen, rapport 3507.D. Den Haag, Van Dorsser bv, 2 juli 1985.
21. Onderzoek naar de geluidsemissie van trams uit Amsterdam, Den Haag en Rotterdam op een zelfde meetlocatie - Meetresultaten langs een rechte baan, J.J.A. van Leeuwen, rapport 4508.A. Den Haag, Van Dorsser bv, januari 1988.
22. Onderzoek naar de geluidsemissie van trams uit Amsterdam, Den Haag en Rotterdam op een zelfde meetlocatie, - Controle metingen te Amsterdam, 's-Gravenhage en Rotterdam, J.J.A. van Leeuwen, rapport 4508.D. Den Haag, Van Dorsser bv, januari 1988.
23. Onderzoek naar de geluidsemissie van trams uit Amsterdam, 's-Gravenhage en Rotterdam op een zelfde meetlocatie', rapport GB-HR-10-02. Den Haag, Ministerie van VROM, april 1988.
24. Ruwheid en tramgeluid. Metingen aan de Hillevliet te Rotterdam T. ten Wolde, en J.J.A. van Leeuwen, onderzoeksrapport TPD-HAG-RPT-90-0108. Delft, TNO, 22 januari 1991.
25. Samenvatting van de studie tramlawaaï; bundeling van de eindrapporten T. ten Wolde, en J.J.A. van Leeuwen, rapport DGO 9201. In opdracht van GVBA, HTM, RET, V&W, VROM. oktober 1992.

26. Trams inpassen in Standaard-rekenmethoden voor wegverkeerslawaai. Deel 1: Methode, onderzoeksrapport TPD-HAG-RPT0-930105. Delft, TNO, 8 september 1993.
27. Trams inpassen in Standaard-rekenmethoden voor wegverkeerslawaai. Deel 2: Bestaande meetgegevens, onderzoeksrapport TPD-HAG-RPT0-930130. Delft, TNO, 4 november 1993.
28. Trams inpassen in Standaard-rekenmethoden voor wegverkeerslawaai. Deel 3: Emissiekentallen voor met constante snelheid rijdende trams in Amsterdam, 's-Gravenhage en Rotterdam, onderzoeksrapport TPD-HAG-RPT0-940158. Delft, TNO, 9 november 1994.
29. Trams inpassen in Standaard-rekenmethoden voor wegverkeerslawaai. Deel 4: Emissiekentallen voor remmende en optrekkende trams in Amsterdam, 's-Gravenhage en Rotterdam, onderzoeksrapport TPD-HAG-RPT0-950095. Delft, TNO, 28 juli 1995.
30. Geluidsemissie Haagse trams in combinatie met het nieuwe Reken- en meetvoorschrift weg-verkeerslawaai 2002 - Voorstel voor aanpassing emissie kentallen bij RMW-berekeningen, rapport L.02.1210.A. Den Haag, DGMR, 17 februari 2003.
31. Op het goede spoor. G.W. Reef, S. Teske en W.M. de Kuyper. In opdracht van de HTM en NBM West. Augustus 2002.
32. Geluidsmetingen aan diverse bovenbouwconstructies te Rotterdam, J.J.A. van Leeuwen, rapport 4330.A. Den Haag, Van Dorsser, augustus 1985.
33. Geluidsemissiemetingen aan Haags trammaterieel op bovenbouw met poerenconstructie, rapport L.02.1210.B. Den Haag, DGMR, februari 2003.
34. Noise emission of Light-Rail Vehicles - State of the Art - J.J.A. van Leeuwen. Naples, Italy, Proceedings Euronoise, 2003.
35. Maatregelen booggeluid railverkeer, Fred de Beer, Rik van Haaren, Jack Weener, rapport 03-03. Ede, CROW, 2003.
36. Reduction of low frequency noise in buildings close to a tunnel for light-rail in soft soil. E. van Haaren, Marco van de Bovenkamp, Arnold van Kampen: IWRN7 2004, Buxton, UK.
37. Curve Squeal Noise research program for railbound vehicles in the Netherlands. J.W. van den Brink, E. van Haaren, F. de Beer and J.J. Weener. Dearborn, USA, Proceedings InterNoise 2002.
38. Full scale measurements in the Curve Squeal Noise Research Program. E. van Haaren and J.W. van den Brink. Dearborn, USA, Proceedings InterNoise 2002.
39. Durable solutions to squeal noise? E. van Haaren. Prague, Czech Republic, Proceedings Internoise, 2004.
40. Emissiekentallen voor sneltram- en metrowagens conform het reken- en meetvoorschrift railverkeerslawaai, onderzoeksrapport TPD-HAG-RPT-910095. Delft, TNO, 11 juni 1991.
41. Geluidsmetingen CITADIS in ballast en klinkers. J.J.A. van Leeuwen A.Y. Kok, rapport L.2003.1152.A. Den Haag, DGMR, 9 september 2003.
42. RET – Geluids- en railruweidmetingen aan CITADIS op grasbaan. J.J.A. van Leeuwen, A.Y. Kok, rapport L.2003.1152.B. Den Haag, DGMR, 11 december 2003.
43. Geluidsemissie Amsterdamse Trams, Bepaling geluidsemissiegetallen Combino tram. E. van Haaren, H. van Lieshout, E. van Bergen. Amersfoort, DHV, te publiceren in 2006.
44. Geluidsemissie Amsterdamse Trams, Bepaling geluidsemissiegetallen 11G/12G trams. E. van Haaren, H. van Lieshout, E. van Bergen. Amersfoort, DHV, te publiceren in 2006.
45. Geluids- en trillingsonderzoek aan de trambaanconstructie in de Hobbemastraat te Den Haag. J. Keijzer, E. van Bergen, rapport Bg.K00.1192.R01. Amersfoort, DHV, 2001.
46. Good Practice Guide for Noise Mapping. Position paper EC working group WG/AEN, 2006. (http://europa.eu.int/comm/environment/noise/pdf/wg_aen.pdf)
47. Trambaanconstructies in stedelijk gebied – Afwegingsaspecten voor de toepassing. Publicatie 206. Ede, CROW, 2004.
48. Projectbureau POLKA voor ondersteuning van gemeenten, overheden en bronbeheerders bij het uitvoeren van acties die volgen uit de richtlijn omgevingslawaai (www.polka.org)

Bijlage 1 Aanvullende emissiegegevens

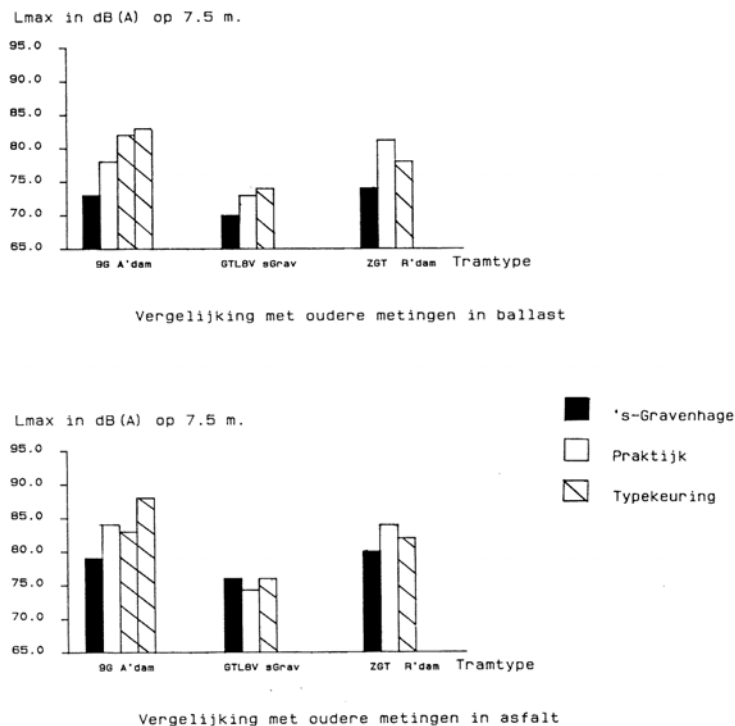
Deze bijlage beschrijft een overzicht van beschikbare emissie gegevens op basis van de bronnen die zijn weergegeven in de referentielijst. Het betreft gegevens die betrekking hebben op conventioneel materieel (hoge vloer tram) en oude typen bovenbouw (met S41 spoorstaaf). De metingen zijn voor een groot deel uitgevoerd in de jaren '80 van de vorige eeuw en hebben derhalve slechts een indicatieve waarde.

Typekeuringsmetingen

In de in gebruik zijnde reken- en meetvoorschriften zijn emissiegegevens opgenomen welke veelal afkomstig zijn uit metingen uitgevoerd in de tachtiger jaren. Voorbeelden hiervan zijn typekeuringsmetingen aan de oudere, maar op dit moment nog rijdende, trams in Amsterdam, Den Haag, en Rotterdam [12], [13] en [14]. De metingen zijn samengevat en verwerkt met akoestische overdrachtsmetingen in een eindrapport [15]. Deze meet sessies, die zijn uitgevoerd volgens het meetvoorschrift voor het meten van railvoertuigen van 1977 [16], leidden tot een wat opmerkelijke conclusie. De metingen in Amsterdam zijn twee maal uitgevoerd en tussen de metingen waren significante meetverschillen aanwezig. Een en ander heeft tot gevolg gehad dat het voorschrift en vervolgens de voorwaarden en condities van de metingen in discussie kwamen. Overigens is het van kracht zijnde meetvoorschrift nu de NEN EN ISO 3095 van 2001 [17].

Praktijkmetingen

Naar aanleiding van de discussie over golfslijtage en railruwheid zijn er praktijkmetingen uitgevoerd aan trams in Amsterdam, Den Haag, en Rotterdam [18], [19] en [20]. Er zijn vervolgens ook metingen uitgevoerd waarbij trams uit Amsterdam en Rotterdam naar Den Haag getransporteerd zijn om deze dus op dezelfde spoorconstructie en meetlocatie in Den Haag te laten rijden. Dit waren trams van het type GTL-8 uit Den Haag, de 9G uit Amsterdam en de ZGT 4/5 uit Rotterdam. Deze metingen zijn gerapporteerd in [21]. In [22] zijn overigens ook controlemetingen gerapporteerd die zijn uitgevoerd aan dezelfde trams die naar Den Haag zijn vervoerd, maar dan gemeten in de stad van origine. In combinatie met metingen op bijzondere locaties, zoals kruisingen en bogen, is in [23] een volledig overzicht gegeven.



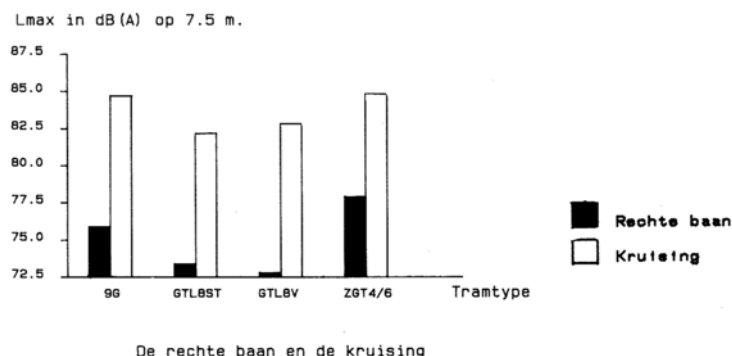
Figuur B1-1 **Vergelijking van metingen op eenzelfde spoorconstructie in Den Haag met metingen in de praktijk en typekeuringsmetingen in de stad van origine.**

De belangrijkste conclusies op basis van deze meetsessies zijn dat het type trambaanconstructie (bovenbouw) de belangrijkste parameter is in relatie tot de geluidsemissie. De variatie bij het betreffende onderzoek loopt op tot 7 dB(A). De trams op zich bezitten een relatief kleinere invloed in de geluidsemissie. De belangrijkste parameter is de ruwheid / golfslijtage van de spoorstaaf. De akoestische omgeving van de baan is relevant bij een vrije grasbaan. Deze invloed op het geluidniveau is al snel 3 tot 4 dB(A) gunstiger, puur als gevolg van de overdrachtseffecten. Variatie van de trambaanconstructie in een weg is ook relevant. Twee gemeten banen, beide in asfalt, variëren 2 tot 3 dB(A), hetgeen een gevolg is van de combinatie van railruwheid en verdere details in de spoorconstructie zoals bijvoorbeeld de railbevestigingsklemmen, railpads en voegvulling.

Metingen bij bogen en bij kruisingen.

Naast metingen aan spoor in rechtstand zijn in ditzelfde onderzoek [23] metingen uitgevoerd bij bogen en bij kruisingen en kruisingsvlakken.

Conclusie is dat de geluidsemissie van trams bij bogen, ondanks de lagere snelheid vrijwel altijd hoger zal zijn dan de geluidsemissie bij spoor in rechtstand en bij een snelheid van 40 km/h. Dit geldt zowel voor bogen en trams die piepen als voor niet piepende bogen en trams. Bij het meetonderzoek in Den Haag is met betrekking tot het booggeluid geen relatie gevonden met de boogstraal. Er kon tijdens dit onderzoek niet geconcludeerd worden dat een grotere boogstraal lagere niveaus tot gevolg had. Er is vastgesteld dat trams met gestuurde assen gunstig zijn ten aanzien van de reductie in booggeluid. Overigens is het toentertijd gemeten tramtype met gestuurde assen niet meer operationeel in deze conditie. De draaistellen werden vast gelast.



Figuur B1-2 Vergelijking van metingen in Den Haag tussen rolgeluid bij 40 km/h en stootgeluid bij 20 km/h.

Bij kruisingen en wissels treedt stootgeluid op. Ondanks de lagere rijnsnelheid is dat stootgeluid altijd hoger dan rolgeluid bij 40 km/h. Gemiddeld is dit stootgeluid circa 8 dB(A) hoger dan rolgeluid. Het kan opmerkelijk genoemd worden dat voor alle trams het stootgeluid vergelijkbaar was; er was geen wezenlijk verschil tussen de trams en de wieltypen.

Samenvatting van de studie tramlawaai

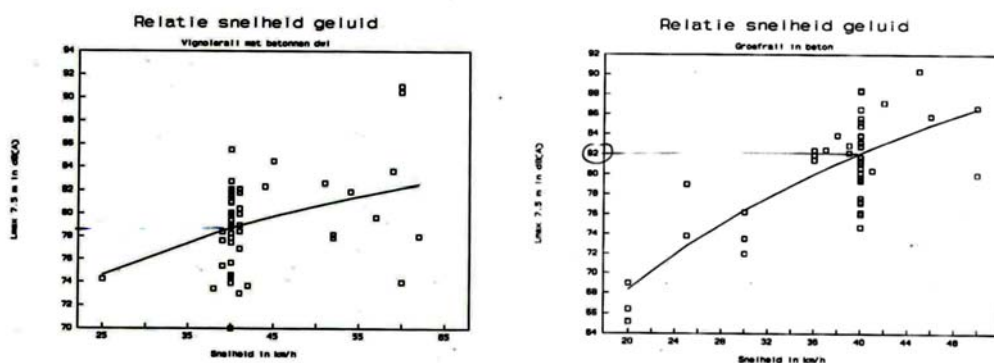
In de samenvatting van de studie tramlawaai [25] waarin een bundel van diverse rapporten is opgenomen zijn overzichten gemaakt van de gemiddelde geluidsemissie van de toentertijd rijdende trams. Navolgend zijn twee grafieken gegeven van de resultaten. De grafieken zijn uitgesplitst voor spoor in ballastbed en spoor in een wegdek.

Gemiddeld bedragen de resultaten:

- Voor vignoleraail in ballast: $L_{\max, 7.5 \text{ m}} = 79 + 20 \cdot L_g(v/v_0)$ [dB(A)]
- Voor groefraail in wegdek: $L_{\max, 7.5 \text{ m}} = 82 + 46 \cdot L_g(v/v_0)$ [dB(A)]

Hierin is v_0 gelijk aan 40 km/h.

Zoals uit deze getallen blijkt, kan worden geconcludeerd dat bij spoor in een wegdek er een gemiddeld 3 dB(A) hoger geluidsniveau aanwezig is ten opzichte van een spoor in een ballastbed. Ook is opvallend dat de snelheidsrelatie voor een spoor in een wegdek significant hoger is dan voor ballastspoor. Dit is zeer waarschijnlijk het gevolg van de hogere ruwheid van het spoor. Een en ander is ook terug te vinden bij de snelheidsrelaties van spoor met veel golfslijtage en bij raillassen en railonderbrekingen.



Figuur B1-3 Gemiddelde resultaten uit het rapport met de samenvatting tramlawaai uit 1991 met links de resultaten voor vignoleraail in ballastbed en rechts de resultaten voor groefraail in wegdek.

De eerste emissiekentallen voor met constante snelheid rijdende trams.

In 1994 heeft TNO een onderzoeksrapport opgesteld om trams in te passen in de standaard-rekenmethoden voor wegverkeerslawaaai [26]. Er zijn hiervoor emissiegetallen vastgesteld voor met constante snelheid rijdende trams. Een deel van deze emissiegetallen is gebruikt voor het reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaaai 2002.

Voor standaard rekenmethode I zijn de volgende waarden opgenomen. Deze waarden bedragen:

- Voor rail in ballast voor Amsterdam en Rotterdam [dB(A)] $25 + 30 \cdot \text{Lg}(v/v_0)$
- Voor rail in ballast voor Den Haag [dB(A)] $19 + 30 \cdot \text{Lg}(v/v_0)$
- Voor groefrail in asfalt voor Amsterdam en Rotterdam [dB(A)] $31 + 30 \cdot \text{Lg}(v/v_0)$
- Voor groefrail in asfalt voor Den Haag [dB(A)] $22 + 30 \cdot \text{Lg}(v/v_0)$
- Voor stangenspoor voor de drie steden [dB(A)] $26 + 30 \cdot \text{Lg}(v/v_0)$

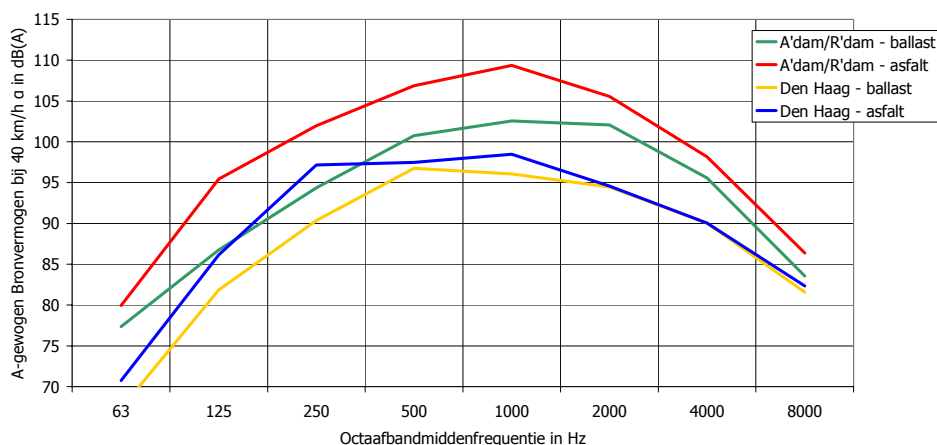
Hierin is v_0 gelijk aan 1 km/h.

De conclusie van het onderzoeksrapport zijn de in tabel B1-1 opgenomen getallen voor standaard rekenmethode II van het reken- en meetvoorschrift. Dit zijn dus waarden per frequentieband. De bepaalde bronvermogens per octaafband staan ook in figuur B1-4 weergegeven.

Tabel B1-1 Emissiegetallen ten behoeve van standaard rekenmethode II uit het in 1994 door TNO opgestelde een onderzoeksrapport [26].

		Amsterdam/Rotterdam				Den Haag			
		Spoor in ballast		Spoor in(asfalt)beton		Spoor in ballast		Spoor in(asfalt)beton	
band i	Frequentie	α	β	α	β	α	β	α	β
1	63	29.3	30	31.9	30	19.3	30	22.7	30
2	125	38.7	30	47.4	30	33.8	30	38.1	30
3	250	46.3	30	53.9	30	42.3	30	49.1	30
4	500	52.7	30	58.8	30	48.7	30	49.4	30
5	1000	54.5	30	61.3	30	48.0	30	50.4	30
6	2000	54.0	30	57.5	30	46.4	30	46.5	30
7	4000	47.5	30	50.1	30	42.0	30	42.0	30
8	8000	35.5	30	38.3	30	33.5	30	34.3	30

Hieruit blijkt dat er zeer grote verschillen aanwezig zijn tussen de steden. De vraag moet hierbij gesteld worden of alle metingen ook op representatieve spoorconstructies zijn uitgevoerd. VROM heeft indertijd besloten voor de Haagse emissiegetallen geen verder onderzoek te doen en deze gegevens niet in het reken- en meetvoorschrift op te nemen.



Figuur B1-4. Vastgestelde bronvermogens voor met constante snelheid rijdende trams. Deze emissiegetallen (alleen voor Amsterdamse en Rotterdamse trams) zijn gebruikt voor het reken- en meetvoorschrift wegverkeerslawaai.

De emissiegetallen voor Haagse trams

De geluidsemisatie Haagse trams in combinatie met het nieuwe Reken- en Meetvoorschrift Wegverkeerslawaai 2002 is na het verschijnen van dit rekenvoorschrift opnieuw vastgesteld [29]. Dit aangezien het emissiegetal (per octaafband) in het RMW 2002 is gebaseerd op het TNO-onderzoeksrapport [26]. Uit het rapport blijkt dat de toe te passen emissiegetallen voor trams uit Amsterdam en Rotterdam veel hoger zijn dan de toe te passen emissiegetallen voor de trams in Den Haag. In het RMW 2002 zijn de emissiegetallen voor Amsterdam/Rotterdam toegepast, de getallen voor Den Haag zijn niet toegepast. Hierbij moet opgemerkt worden dat het TNO-rapport met name voor Haagse trams uitgaat van metingen aan sporen met gemiddelde/goede tot zeer goede railconditie.

Voor sporen met een gemiddelde railconditie geldt dat de geluidsniveaus ten gevolge van Haags tramverkeer volgens het RMW 2002 circa 6 dB(A) te hoog wordt berekend voor een gesloten trambaan in een wegdek en circa 1,5 dB(A) voor een open trambaan met een akoestisch absorberende laag. Tabel B1-2 geeft de vastgestelde emissiegetallen voor Haagse trams. Hierbij is overigens voorgesteld om de getallen voor een baanconstructie met een gemiddelde railconditie te gebruiken. Emissiegetallen voor trams op een spoorbaan in extreem gladde conditie worden vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

Het vergelijken van alle meetresultaten van de metingen uitgevoerd in Den Haag geeft een onderscheid tussen, speciaal voor metingen geprepareerde spoorbanen en spoorbanen in een gemiddelde en representatieve conditie. De verwachting is dat dat in andere steden niet anders zal zijn. Genoemde emissiegetallen zijn van toepassing op spoorbanen met een gemiddelde en representatieve railconditie.

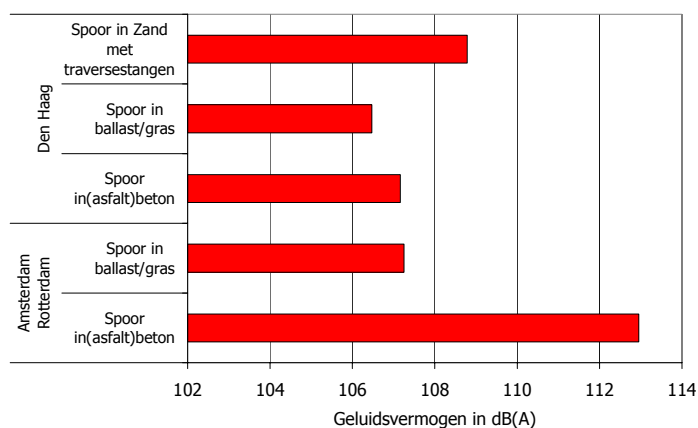
Tabel B1-2 Emissie kentallen in dB(A) voor Haagse trams

band i	Frequentie	spoorbaan in wegdek		vrije spoorbaan zonder wegdek*		spoorbaan zonder wegdek met traversestangen*	
		α	β	α	β	α	β
1	63	26	30	24	30	30	30
2	125	42	30	39	30	44	30
3	250	53	30	47	30	51	30
4	500	53	30	54	30	55	30
5	1000	54	30	53	30	57	30
6	2000	50	30	51	30	52	30
7	4000	46	30	47	30	47	30
8	8000	38	30	39	30	35	30

*Hierbij dient te worden opgemerkt dat bij berekeningen met het RMW 2002 bij de modellering van een vrije zonder wegdek (ook bij traversestrangen) een zacht bodemgebied onder het spoor dient te worden

Samenvatting emissie van 'oudere' tramtypen

Samengevat zijn voor de tramtypen 8G/9G uit Amsterdam, type GTL-8 uit Den Haag en de typen ZGT 4/6 en ZGT-6 uit Rotterdam de volgende bronvermogens van toepassing:

**Figuur B1-5 Samenvatting emissie van 'oudere' tramtypen**

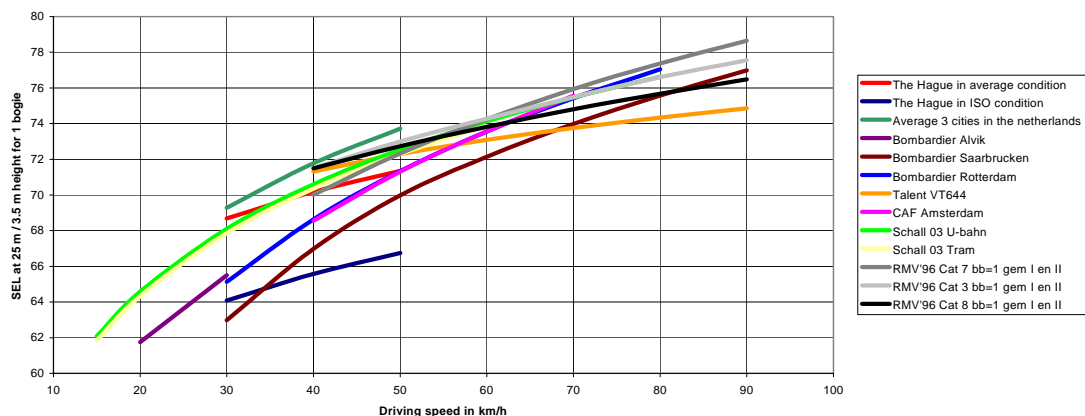
Alle gegevens van de geluidsemissie van trams, sneltrams, licht rail voertuigen en ook van langzaam rijdende heavy rail passagierstreinen met schijfremmen zijn bij elkaar gebracht. Deze gegevens zijn beschreven in [34].

Bij alle gegevens en bij alle metingen kan steeds een discussiepunt zijn: de ruwheid van zowel de wielen als van de spoorstaven. Aan de andere kant moet overwogen worden dat voor veel metingen er een statistisch acceptabele gemiddelde wielruwheid aangenomen kan worden. Uiteraard zijn de wielbanden in een goede conditie zonder oneffenheden en 'platte' kanten. De railconditie en de ruwheid hiervan is eveneens een punt van discussie. Soms worden testtracks speciaal geprepareerd voor een meting, maar ook zijn er veel metingen uitgevoerd waarbij het spoor in een representatieve conditie verkeert.

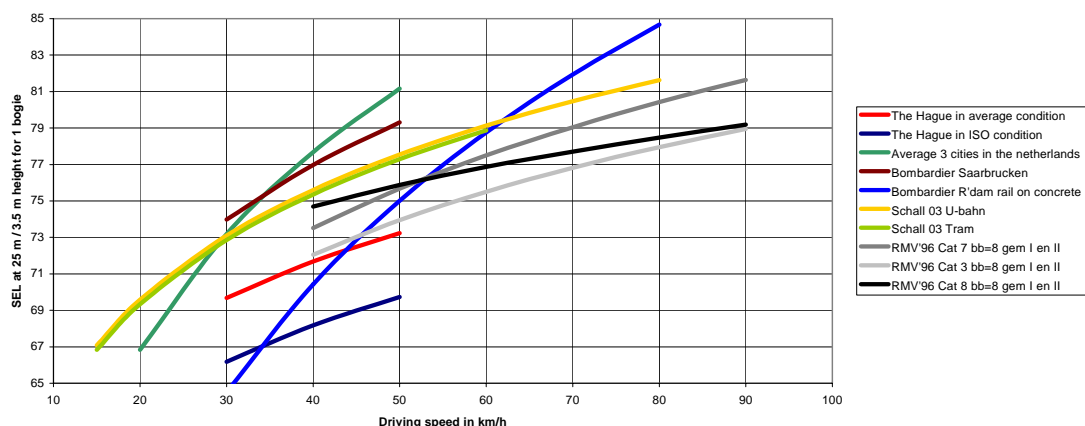
In figuur B1-6 en B1-7 zijn de resultaten van een aantal onderzoeken gegeven. Ten behoeve van een vergelijking zijn er relaties berekend op basis van het Duitse Schall 03 model en de Nederlandse reken- en meetvoorschriften.

Belangrijk is wel dat de grafieken de SEL-waarde geven op 25 m van het spoor, op een hoogte van 3,5 m boven het maaiveld. De waarde is van toepassing per draaistel. Hierdoor is verwarring van langere en kortere treinen niet meer mogelijk. Ook voor light rail treinen en voor trams is dit noodzakelijk omdat een voertuig-unit niet altijd hetzelfde aantal draaistellen (of assen) per unit bezit.

In de beide grafieken zijn lijnen gegeven van de Haagse tram rijdend op een zeer gladde spoorstaaf en dezelfde tram rijdend op een spoorstaaf met een gemiddelde spoorconditie. Zoals te zien in beide grafieken zijn deze verschillen behoorlijk significant.



Figuur B1-6. De geluidsemisatie per draaistel op een vignolerail met betonnen dwarsliggers in ballast.



Figuur B1-7. De geluidsemisatie per draaistel op een spoor in asfalt of beton.

De geluidsemisatie van de Haagse trams is vergelijkbaar met de emissie van light-rail voertuigen en ook van heavy-rail voertuigen (trein). De geluidsemisatie van light-rail voertuigen op spoor in ballast laat zien dat er enige variatie aanwezig is waardoor er een gemiddelde waarde bepaald kan worden. Voor spoor in asfalt of beton bestaat er in de praktijk een veel grotere variatie in de emissie. Dit is dan waarschijnlijk het gevolg van het type railbevestiging en daardoor een grotere ruwheid van de rail en ook een grotere variatie in de ruwheid.

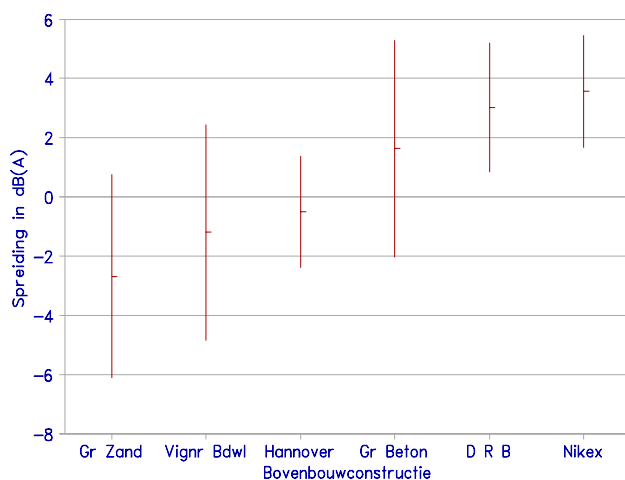
Bovenbouw

Om een beeld te verkrijgen van diverse trambaanconstructies is het rapport 'Op het goede spoor' goed te gebruiken [31]. Akoestische effecten van de diverse bovenbouwconstructies zijn ook in Rotterdam onderzocht [32]. Er zijn hier steeds direct na het slijpen van de spoorstaven metingen verricht. Op basis van deze onderzoeken is een voorstel gemaakt voor een classificatie van constructies. Het resultaat is weergegeven in tabel B1-3.

Tabel B1-3 **Classificatie van bovenbouwconstructies op basis van een vergelijkbare railruwheid.**
De getallen geven de verhoging in geluidsniveau weer ten opzichte van de stilste constructie
(dit is een akoestisch absorberende (zachte) omgeving in groep 1).

	Groep 1 (vrije baan)	Groep 2	Groep 3
Akoestisch zachte constructie (gras/ballast)	0 dB(A)	3 dB(A)	6 dB(A)
Akoestisch harde constructie (wegdek)	3 dB(A)	6 dB(A)	9 dB(A)

De uitgebreide verzameling van meetdata in diverse steden geeft een globaal overzicht van de eigenschappen van de bovenbouwconstructies. Bij onderzoeken ter bepaling van de stilste bovenbouwconstructie kunnen veel verstoringen optreden. Dit is vaak het gevolg van wisselende ruwheid van de spoorstaven. Door een groot aantal metingen statistisch te verwerken is het beeld van onderstaande afbeelding ontstaan. Aangegeven zijn de gemiddelden en de spreiding om deze gemiddelden. Het is duidelijk dat de spreiding vrij groot is. Bij de metingen varieert de standaarddeviatie tussen 2 en 4 dB(A).



Figuur B1-8 **De verschillen in spreiding in geluidsemissie van de gemeten bovenbouwconstructies**
(grotendeels veroorzaakt door de verschillen in railruwheid).

- Gr Zand = groefrail met traversestangen (zonder dwarsliggers) in zandbed
- Vignr Bdwl = vignoleraail op betonnen dwarsliggers in ballastbed
- Hannover Bovenbouw = de Hannover asfalt constructie, een in Den Haag niet meer
toegepaste, groefrail in asfaltbeton met ingieting en koperslakkeien
- Gr Beton = groefrail in een wegdek op een betonnen onderbouw
- DRB = directe rail bevestiging (op viaducten e.d.)
- Nikex = rail direct bevestigd op prefab betonnen platen

De meest geluidsarme bovenbouwconstructie voor rolgeluid lijkt een constructie bestaande uit een 'groefrail in zand' of uit een 'vignoleraail op betonnen dwarsliggers in ballast', mits deze in een goede onderhoudstoestand verkeert. Er moet hierbij echter wel opgemerkt worden dat er relatief weinig of geen metingen voorhanden zijn met vignoleraail op betonnen dwarsliggers met een grasmat tussen en naast de spoorstaven. Deze constructie is mede door de akoestisch gunstige grasmat relatief geluidsarm te noemen. Daarnaast is deze bovenbouwconstructie tevens visueel aantrekkelijk in de openbare ruimte.

Bovenbouwconstructies zijn lawaaierig te noemen indien er een directe koppeling aanwezig is tussen spoorstaaf en betonplaat. Het gevolg van zo'n koppeling is dat de betonplaat zeer makkelijk geluid kan afstralen. Dit komt omdat de betonplaat door de koppeling sterk in trilling komt. Voorbeelden zijn een constructie met een directe railbevestiging en de Nikex-plaat spoorconstructie.

COLOFON

CROW Handreiking geluidskartering van tramverkeer

Opdrachtgever : CROW
Project : Handreiking geluidskartering van tramverkeer
Auteurs : Rik van Haaren (DHV BV, Ruimte en Mobiliteit)
: Hans J.A. van Leeuwen (DGMR Industrie, Verkeer en Milieu BV)
Datum : mei 2006